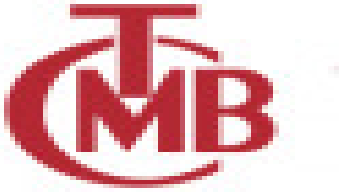
12th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ECONOMETRICS STATISTICS AND OPERATIONS RESEARCH

May 26-29 2011 Denizli -TURKEY

SPONSORS

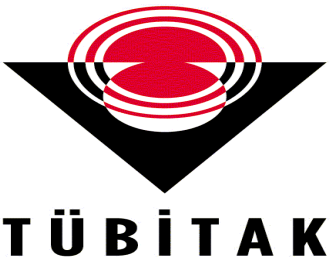
Central Bank of the Republic of Turkey (TCMB)



Southern Aegean Development Agency (GEKA)



Scientific and Technical Research Council of Turkey (TUBITAK)



PROCEEDINGS OF THE 12th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ECONOMETRICS STATISTICS AND OPERATIONS RESEARCH

Editor

Bülent GÜLOĞLU

Assistant Editor

Şaban NAZLIOĞLU

Editorial Board

Celal KÜÇÜKER

Mehmet BALCILAR

Aşkıner GÜNGÖR

Mehmet İVRENDİ

Atalay ÇAĞLAR

İrfan ERTUĞRUL

Sevcan GÜNEŞ

Serdar İSPİR

Özcan MUTLU

Özgür ALTUNTAŞ

Sinem KANGALLI

Umut UYAR

© Pamukkale University

Denizli, 2011

No part of the material protected by this copyright may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage and retrieval system, without written permission from the Pamukkale University. Author(s) have right to publish their article elsewhere electronically or in another publication.

Printed in TURKEY

İmaj Yayınevi

Fakülteler Mahallesi Dirim Sk. 23/1

Phone :0312 319 3225

PREFACE

The first Symposium on Econometrics, Operations Research and Statistics is organized as a bi-annual national event in 1993. Later on, it has been organized as an annual international event. This year, Pamukkale University, Department of Econometrics is hosting the symposium. The symposium takes place on 26-29 May 2011, in Denizli- Turkey. It is one of the important international events in the area of Econometrics, Operations Research and Statistics.

The main objective of the Symposium is to promote theoretical and empirical studies in all areas of Econometrics, Operations Research and Statistics. Symposium also covers, researches analyzing the sensitivity of econometric models to alternative economic policies, international economics, macroeconomics, microeconomics, industrial economics and regional economic issues.

The book contains the full texts of the papers presented in the areas of econometrics, operations researches and statistics. The papers not only asked some important questions but also addressed some important issues.

We would like to thanks to The Central Bank of the Republic of Turkey (TCMB), the Scientific and Technical Research Council of Turkey (TUBITAK) and the Southern Aegean Development Agency (GEKA) for their financial contributions, to the rector of Pamukkale University, Hüseyin BAĞCI for his friendly effort to facilitate the symposium, to the scientific and organizing committees for their valuable time and to the Symposium secretariat for disciplined and well organized works.

Bülent GÜLOĞLU

Head of the Organizing Committee

OPERATIONS RESEARCH

1-10	KARELİ ATAMA PROBLEMİNİN GENETİK ALGORİTMA VE BENZETİMSEL TAVLAMA YAKLAŞIMLARI İLE ÇÖZÜLMESİ A.Hande EROL Serol BULKAN
11-19	TERCİHLERE GÖRE SINAV MERKEZLERİNDE SINAVA GİRECEK PERSONELİN GİDECEKLERİ MERKEZLERİN ULAŞTIRMA MODELİ İLE TESPİTİ Adalet EREN Evren ÇETİN
20-28	DONDURULMUŞ GIDA SEKTÖRÜNDE FAALİYET GÖSTEREN BİR FİRMANIN TEDARİK ZİNCİRİ DAĞITIM AĞI STRATEJİLERİNİN SİMÜLASYON İLE ANALİZİ Aliye Ayça SUPÇİLLER Mehmet Ulaş KOYUNCUOĞLU
29-38	VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE TÜRKİYE'DEKİ KONTEYNER TERMİNALLERİNİN ETKİNLİK ÖLÇÜMÜ Alpaslan ATEŞ Soner ESMER
39-50	DEVLET HAVA MEYDANLARININ ETKİNLİĞİNİN VERİ ZARFLAMA ANALİZİ (VZA) İLE ÖLÇÜLMESİ Arda KIRANKABEŞ Feyzan ARIKAN
51-65	WEAPON TARGET ASSIGNMENT WITH COMBINATORIAL OPTIMIZATION TECHNIQUES Asım TOKGÖZ Serol BULKAN
66-69	VIKOR YÖNTEMİ İLE TEDARİKÇİ PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ Atakan ALKAN Suphi ÇAKIR Zerrin ALADAĞ
70-81	ÇOK YANITLI YÜZEY PROBLEMLERİNDE BULANIK PARETO ÇÖZÜMLERİN BULANIK KARAR VERME YAKLAŞIMI İLE

	DEĞERLENDİRİLMESİ Ayşen APAYDIN Özlem TÜRKŞEN
82-94	TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE SCOR MODELİ VE VERİ ZARFLAMA ANALİZİ(VZA) ENTEGRASYONU Bahar Bumin ÖZYÖRÜK Fethullah AYDOĞDU
95-102	PARÇA AİLESİ ÜRETİMİNDE HİYERARŞİK İŞGÜCÜ ATAMASI YAPAN VE U-TİPİ ÜRETİM HATTINI DENGELEYEN BİR MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİSİ Banu SUNGUR Filiz ÇALIŞKAN
103-108	ÇEVRESEL ETKİNLİĞİN ÖLÇÜLMESİ: AB-27 ÜLKELERİ VE TÜRKİYE İÇİN BİR KARŞILAŞTIRMA Bengisu FIRAT Aylin Çiğdem KÖNE
109-113	KRİZLERİN BANKACILIK SEKTÖRÜNDEKİ VERİMLİLİK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ Erhan ÇENE Ali Hakan BÜYÜKLÜ
114-120	OTOMOTİV ÜRETİMİ ÜZERİNE ŞANS KISITLI STOKASTİK PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI Ersoy ÖZ İbrahim GÜNEY
121-129	DETERMINATION OF OPTIMAL KITCHEN FAUCETS STYLES BY A NEW GENETIC ALGORITHM Ezgi AKTAR DEMIRTAS F. Burçin OZSOYDAN
130-135	A DISCRETE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION ALGORITHM FOR THE CAPACITATED P-MEDIAN PROBLEM Fehmi Burçin OZSOYDAN Aydin SİPAHİOGLU

136-141	ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN ARI KOLONİ ALGORİTMASI VE GENETİK ALGORİTMA İLE ÇÖZÜLMESİ Güneş DEMİR Serol BULKAN
142-152	ACİL LOJİSTİK YARDIM OPERASYONLARINDAN DEPREM LOJİSTİĞİ İÇİN KDS ÖNERİSİ Gürbüz ÜNAL Cevriye GENCER Doğan KARADOĞAN
153-162	THE MEASUREMENT OF EFFICIENCY IN TURKISH FINANCIAL SECTOR USING DATA ENVELOPMENT ANALYSIS FOR THE YEAR 2009 Hale KIRER Billur ŞENİĞNE Burcu YAVUZ TİFTİKÇİGİL
163-173	HİZMET KALİTESİNİ BELİRLEYEN FAKTÖRLERİN ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ İLE ÖNEM DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ Halil SAVAŞ
174-186	STATISTICAL ANALYSIS OF BOTTLENECK OCCURRENCE IN CALL CENTERS: QUEUING SCIENCE PERSPECTIVE IN A PUBLIC BANK Halim Kazan
187-197	ÖDEMELERDE GECİKMEYE İZİN VERİLMESİ DURUMU ALTINDA EKONOMİK SİPARİŞ MİKTARI MODELİNİN ANALİZİ Harun SULAK Mustafa BAYHAN
198-203	A MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMMING MODEL FOR MULTIPLE ROUTED MILK-RUN TRAINS IN PRODUCTION ENVIRONMENT Hüseyin Selçuk KILIÇ M. Bülent DURMUŞOĞLU Murat BASKAK
204-210	TRAJECTORY TRACKİNG PERFORMANCE COMPARİSON OF GENETİC ALGORİTHM AND ANT COLONY OPTİMİZATİON FOR

	PID CONTROLLER TUNİNG ON WATER LEVEL PROCESS İrem DÜZDAR Serol BULKAN
211-219	İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROL - YALIN ÜRETİMİN KAHRAMANMARAŞ TEKSTİL SANAYİNDE UYGULANMASI İrfan ERTUĞRUL Onur ÖZVERİ Akay GÜNDOĞAN
220-228	WARM-UP PERIOD DETERMINATION FOR A STORAGE SYSTEM SIMULATION MODEL FOCUSING ON MATERIAL HANDLING OPERATIONS Kemal SUBULAN Çağla CERGİBOZAN A. Serdar TAŞAN
229-238	A MEDİUM TERM PLANNİNG MODEL FOR A LEAD/ACİD BATTERY CLOSED-LOOP SUPPLY CHAİN Kemal SUBULAN A. Serdar TAŞAN
239-248	ÇOK KRITERLI KARAR VERME TEKNIKLERI İLE OTOBÜS TERMINAL KONUMUNUN BELIRLENMESI: DENIZLI ÖRNEĞI Leyla ÖZGÜR Durcan ÖZGÜN İŞLİ Aşkıner GÜNGÖR
249-254	DECISION MODEL TO CHOOSE GOVERMANTEL SUPPORTING FOUNDATION FOR A R&D PROJECT Mehlika KOCABAŞ Zerrin ALADAĞ Gülşen AKMAN
255-265	İNTERNET HİZMETİ VEREN BİR İŞLETMENİN KUYRUK MODELİ YARDIMIYLA ETKİNLİĞİNİN ÖLÇÜLMESİ (SORUNLU) Mert Tunga EKENCİ
266-276	ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ İLE KIRIKKALE BELEDİYESİ HALK EKMEK DAĞITIMI

	Muhammet DEGE Erhan SUNGUR Burak AYTAÇ Tamer EREN
277-286	HASTANE ACİL DEPARTMANLARINDA KAYNAKLARIN ETKİN KULLANIMININ GELİŞTİRİLMESİ İÇİN BİR BİLGİSAYARLI BENZETİM MODELİ Muhammet GÜL Erkan ÇELİK
287-294	VERİ ZARFLAMA ANALİZİ SKORLARININ GEÇERLİLİĞİNİN ARACI REGRESYON MODELLERİ İLE SINANMASI Münevver TURANLI A. Mete ÇİLİNGİRTÜRK
295-303	ARAŞTIRMA GÖREVLİSİ SEÇİM KRİTERLERİNİN ANALİTİK HİYERARŞİ YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ: TÜRKİYE VE ALMANYA ÜLKELERİ İÇİN ÖRNEK BİR UYGULAMA Naciye Tuba YILMAZ
304-310	BİR FİRMADA MÜŞTERİ ÖNCELİKLERİNİN TOPSİS YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ Nevra YAMAN Ediz ATMACA
311-324	İŞLETMELERDE ETKİNLİK VE PERFORMANS DEĞERLENDİRMEDE AHP VE TOPSIS ANALİZLERİNİN KULLANIMI: ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA Nezih TAYYAR Fatma ŞİMŞEK
325-340	İMKB'YE KOTE EDİLMİŞ SİGORTA ŞİRKETLERİNİN MALİ ANALİZİNİN AHP VE TOPSIS YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ Nezih TAYYAR Selin TEKİN
341-349	PETRO-KİMYA ENDÜSTRİSİNE YÖNELİK ETKİNLİK ANALİZİ: DEA VE TOBİT MODEL UYGULAMASI Oğuz KARA

350-355	SINAVLARA GÖZETMEN ATAMASININ HEDEF PROGRAMLAMA METODU İLE OPTİMİZASYONU Oğuzhan KIRILMAZ Ümit TERZİ
356-363	A COST EFFECTIVENESS MALMQUIST PRODUCTIVITY INDEX Khalil PARYAB Rashed KHANJANİ Nikolaos MANİADAKİS Leila JALALZADEH
364-375	YATIRIM KARARLARININ OPTİMİZASYONUNDA KARAR VERME YÖNTEMLERİNİN KULLANIMI İLE BETON KATKI MALZEMESİ ÜRETİMİNE YÖNELİK BİR YATIRIM MODELİ UYGULAMASI Semih COŞKUN Selim BEKÇİOĞLU Durcan Özgün İŞLİ
376-383	ANALİTİK AĞ SÜRECİ İLE ÖĞRENCİ BİLGİ SİSTEMLERİ'NİN DEĞERLENDİRİLMESİ Semra ERPOLAT
384-392	BİLGİ ÖNERİ SİSTEMİ: GRUP HALİNDE KARAR ALMAYA YARDIMCI OLACAK OLASILIKSAL ÇOK KRİTERLİ BİR YAKLAŞIM Semra ERPOLAT
393-400	PARALLEL MACHINE SCHEDULING WITH SEQUENCE-DEPENDENT SETUPS TIMES AND START-TO-START DEPENDENCY USING GA Serol BULKAN Başar GÜÇLÜ Semih ÖZEL
401-407	COMPARISON OF LEARNING STRATEGIES FOR MATHEMATICS ACHIEVEMENT BETWEEN TURKEY AND ITS NEIGHBOURS Serpil KILIÇ Erhan ÇENE İbrahim DEMİR

408-415	ETKİN DEPO YERLEŞİMİNİN DÜZENLENMESİ İÇİN BİR MODEL: ELEKTRONİK FİRMADA UYGULAMA ÇALIŞMASI Sevgi AK Bahar ÖZYÖRÜK
416-421	A HEURISTIC METHOD FOR CONSTRAINED CONSUMABLE RESOURCE ALLOCATION IN ALTERNATIVE FUZZY NETWORKS S. S. HASHEMIN
422-429	KÜRESEL MORTGAGE KRİZİ SONRASI TÜRKİYE BANKACILIK SEKTÖRÜNDE BİLANÇOYA DAYALI MALİ ETKİNLİK ANALİZİ Sibel ATAN
430-439	SAĞLIK TESİSLERİNİN ANP TEKNİĞİ KULLANILARAK PLANLANMASI Turgay ÖZTÜRK Kasım BAYNAL Zerrin ALADAĞ
440-448	ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ İLE FASONCU SEÇİMİ Vesile Sinem ARIKAN KARGI Ahmet ÖZTÜRK
449-459	ESNEK ÜRETİM SİSTEMLERİNDE DİNAMİK ÇİZELGELEME Yasemin YAVUZ Filiz ÇALIŞKAN

KARELİ ATAMA PROBLEMİNİN GENETİK ALGORİTMA VE BENZETİMSEL TAVLAMA YAKLAŞIMLARI İLE ÇÖZÜLMESİ

A. Hande EROL[1], Serol BULKAN[1]

[1] Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Göztepe Yerleşkesi Kadıköy, 34722 İstanbul
e-posta: handerol83@hotmail.com , sbulkan@marmara.edu.tr

ÖZET
Kareli Atama Problemleri, yöneylem araştırması dalı içinde kombinatoryal en iyileme veya matematikteki tesis yerleşimi problemleri kategorisinden eniyileme problemlerinden biridir. Kareli Atama Problemi NP-zor sınıfında olan en zor problemlerden biridir. Tesis içi planı ve yerleşim çalışmalarında çoğunlukla görülen atama probleminin özel bir halidir. Kareli Atama Problemleri'nin klasik atama problemlerinden farkı doğrusal olmayan amaç fonksiyonunu esas alan atama çiftleri arasında bir etkileşim olmasıdır. Tesis yerleşim tasarımı problemleri, çeşitli akış ilişkilerinin de değerlendirilmesini gerektiren problemlerdir ve literatürde Kareli Atama Problemleri olarak çözümlendirilmesi yoluna sıkça gidilmiştir. Kareli Atama Problemi olarak modellenen problemler için yeniden çözüm tekniklerinden yola çıkılarak, en iyi sonuç elde edilenden sezgisel yaklaşıma ve sezgisel yaklaşımdan yarı sezgisel yaklaşıma kadar farklı birçok metod mevcuttur. En iyi sonuç elde edilen metodlarla problemleri çözmek çok uzun zaman gerektirmektedir. Bu çalışma, Kareli Atama problemlerinin sezgisel bir optimizasyon tekniği olan genetik algoritma ve benzetimsel tavlama yöntemi ile çözümünü içermektedir. Çalışma, geliştirilen yaklaşımların Kareli Atama Problemi örnekleri üzerinde çözülebilirliğini kapsamaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, Kareli Atama Problemi'nin daha iyi anlaşılması için Kareli Atama Problemi'nin tanımlanması, günümüze kadar literatürde yapılan çalışmaların sonuçlarının, çalışmada kullanılan çözüm metodları ile bulunan sonuçlarla karşılaştırılmasıdır. Kullanılan tekniklerin incelenmesi ve geliştirilen yeni yaklaşımlar, bu alanda yapılacak olan diğer çalışmalara yol gösterecektir. Literatür araştırması ve çalışmadaki yeni yaklaşımların sonuçları, yeni çalışmalar için kaynak teşkil edebilecektir.

Anahtar Kelimeler: Benzetimsel tavlama**,** Kareli Atama Problemi, optimizasyon, sezgisel yöntemler

GENETIC ALGORITHMS AND SIMULATING ANNEALING APPROACH FOR SOLVING QUADRATIC ASSIGNMENT PROBLEMS

ABSTRACT
The Quadratic Assignment Problem (QAP) is a special kind of assignment problem frequently seen in layout and location studies. QAP is one of the most difficult problems in the NP-hard class, which implies that finding a polynomial time algorithm to solve it unlikely. In regards to the resolution techniques for the QAP modeled problems, there are different methods ranging from exact to heuristic and meta-heuristic ones. It takes a long time to have an optimum solution with exact algorithms, so heuristic algorithms are improved for obtaining optimum solution, and several heuristics have been proposed for handling near optimum solutions. This paper consists of resolution techniques for the QAP modeled problems. In this paper, Genetic Algorithm (GA) and Simulated Annealing (SA) procedure are developed, and these algorithms are implemented to test problems from the QAPLIB. QAP statement and its complexity are fully explained, and solution algorithms for this problem are summarized briefly. SA technique and GA are explained and these algorithms' computational results are compared. The results are compared with each other and test problems' optimum and near optimum solutions in the literature.
Keywords: Heuristic algorithms, optimization, Quadratic Assignment Problem, Simulated Annealing

1. GİRİŞ
Kareli Atama Problemleri (KAP) tesis içi planı ve yerleşim çalışmalarında çoğunlukla görülen atama probleminin özel bir halidir. KAP' nin klasik atama problemlerinden farkı doğrusal olmayan amaç fonksiyonunu esas alan atama çiftleri arasında bir etkileşim olmasıdır (Duman ve Or, 2007).
KAP, NP-zor sınıfında olan en zor problemlerden biridir. Tesis yerleşimi, paralel ve dağınık hesaplama ve kombinatoryal veri analizi gibi birçok alandaki gerçek hayat problemlerinin modellenmesinde en iyi bilinen özelliklere sahiptir ve tesis yeri seçiminde minimum toplam maliyeti bulma problemi olarak tanımlanmaktadır (Loiola ve diğerleri, 2007).
KAP olarak modellenen problemler için yeniden çözme tekniklerinden yola çıkılarak, en iyi sonuç verenden sezgisel yaklaşıma ve yarı sezgisel yaklaşıma kadar farklı birçok metod mevcuttur (Gilmore, 1962). Dal-Sınır

algoritması, Kesme Yüzeyi ve Dal-Sınır algoritması ile dinamik programlama birleşimi gibi metodları içeren KAP için birçok değişik teknikler kullanılmaktadır (Lawler, 1963). KAP birçok gerçek hayat problemini modellemektedir.

KAP için birçok sezgisel yaklaşım, en iyi yaklaşık sonuç için kullanılmaktadır (Loiola ve diğerleri, 2007). Kareli Atama Problemleri Kütüphanesi (KAPK-QAPLIB)' ndeki boyutu 36'yı bulan bazı test problemlerinde başarılı çözümler elde edilmiş olsa da, tam çözüm yöntemleri boyutu 15'i geçen problemlerde genel olarak başarısız olmuştur (Erdoğan, 2006).

Doğrusal atama problemlerinin aksine, KAP'ları kombinatoryal en iyi sonuç veren, en zor problemler arasında yer almaktadır. KAP'ların çözümü için zorluk, problemin hesaplama zorluğu anlamındadır. KAP, polinom zamanda çözüm yöntemini bulmanın zor olduğu, NP-zor sınıfındadır. Gezgin Satıcı Problemi (GSP), grafik gruplama problemi, maksimum klik (clique) problemi gibi birçok NP-zor sınıfındaki problemler, KAP'ların özel halleri olarak formüle edilebilmektedir (Ji ve diğerleri, 2006).

Bu çalışma, KAP'ların sezgisel bir optimizasyon tekniği olan Genetik Algoritma (GA) ve Benzetimsel Tavlama (BT) yöntemi ile çözümünü içermektedir. KAP'ı çözebilecek, GA ve BT yaklaşımlarından yararlanan bir metodoloji geliştirilmiştir. GA rastlantısal arama tekniklerini kullanarak çözüm bulmaya çalışan, parametre kodlama esasına dayanan sezgisel bir arama tekniğidir. BT, büyük boyutlu kombinatoryal optimizasyon problemleri için iyi çözümler veren olasılıklı bir arama yöntemidir. Çalışma, geliştirilen yaklaşımların KAP örnekleri üzerinde çözülebilirliğini kapsamaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, KAP'ın daha iyi anlaşılması için KAP'ın tanımlanması, günümüze kadar literatürde yapılan çalışmaların sonuçlarının, çalışmada kullanılan çözüm metodları ile bulunan sonuçlarla karşılaştırılmasıdır.

2. KARELİ ATAMA PROBLEMLERİ İÇİN LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

KAP olarak modellenen problemler için yeniden çözme tekniklerinden yola çıkılarak, en iyi sonuç verenden sezgisel yaklaşıma ve yarı sezgisel yaklaşıma kadar farklı birçok metod mevcuttur (Gilmore, 1962). Genel en iyi sonucu elde etmek için, dinamik programlama, kesme yüzeyi teknikleri, dal-sınır prosedürleri olmak üzere üç tane en iyi çözüm tekniği mevcuttur. KAP'ın karmaşıklığına bağlı olarak problem büyüklüğü 30'dan büyük olan birçok KAP, en iyi çözüm teknikleri tarafından çözüm için zorlanmaktadır (Ji ve diğerleri, 2006). Dal-sınır çözüm tekniğinin performansı, önemli derecede etkinliğine ve içerdiği alt sınırların kalitesine bağlıdır. Bu tekniklerin performansı, paralel uygulamalarda uygun donanım kullanımları tarafından geliştirilebilmektedir. Roucairol, Pardalos ve Crouse, Clausen ve Perregard çalışmaları, KAP için birkaç paralel dal-sınır algoritması içermektedir. Mautor ve Roucairol, çok atomlu dallandırma kuralını (polytomic branching rule) kullanmış, aynı anda mevcut olan diğer dal-sınır çözümüne dönüştürmek için maliyet matrisindeki simetriden nasıl faydalanılacağını göstermiştir (Erol ve Bulkan, 2009).

Christofides ve Benavent tamsayılı programlamaya dayanan ağaç KAP (Tree QAP) çözümünden en iyi sonucu bulmak için dal-sınır çözüm tekniği hazırlamışlardır. Bu sınırlar, dinamik programlamada çözüm olarak kullanılan Lagrangian gevşetme (Lagrangian relaxation) metodu kullanılarak hesaplanmıştır (Christofides ve Benavent, 1989).

2.1. KARELİ ATAMA PROBLEMLERİ İÇİN EN İYİ SONUÇ VEREN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ VE ALT SINIR YÖNTEMLERİ

KAP için belirli boyutlu ($n<30$) problemler için en iyi sonuç veren çözüm yöntemleri ve alt sınır yöntemler mevcuttur. KAP'lar, dal-sınır gibi en iyi sonuç veren teknikler tarafından en iyi alt sınırların belirlenmesi için belli başlı öneme sahiptir. Etkili alt sınırlar henüz bulunamamıştır (Ji ve diğerleri, 2006).

Şimdiye kadar, KAP için Gilmore-Lawler alt sınırına (GLA) dayalı veya bunun benzeri alt sınırlar kullanılmıştır. GLA dışında, KAP için kullanılan özdeğer sınırları, doğrusal programlama (DP) ve ikili-doğrusal programlama sınırları, kareli programlama sınırları, çokyüzlü sınırlar, yarı-belirli (semi-definite) programlama (YBP) sınırları gibi birçok sınır tekniği mevcuttur. KAP için sınır teknikleri karşılaştırıldığında; en önemli konular, sınırın gücü ve hesaplamada gereken hesaplama gideridir. Özdeğer sınırı tekniği bütün simetrik örneklerde etkin bir şekilde hesaplanabilmektedir, fakat hesaplama zamanı, sabit terim kullanıldığından, GLA'dan daha uzundur. DP ve YBP genellikle çok güçlü sınırlar üretmekte, fakat hesaplama çabası diğer sınırların hesaplama zamanını aşmaktadır. Halen, bu sınırlar problem büyüklüğü 30'dan büyük durumlarda etkin sayılmamaktadır (Ji ve diğerleri, 2006).

2.2. KARELİ ATAMA PROBLEMLERİ İÇİN SEZGİSEL VE SEZGİ ÖTESİ YAKLAŞIMLAR

KAP'ın tesis yerleşimi problemi gibi NP-zor yapıda olmasından dolayı çözümü için sezgisel yöntemler geliştirilmiştir ve bu sezgisel çözüm yöntemleri genellikle KAP için iyi sonuçlar vermektedir. KAP'ın zorluğu, sezgisel araştırma metodlarının gelişiminde, bu problemi bir test problemi haline getirmiştir. Yerel aramalar, benzetimsel tavlama, tabu arama, genetik algoritmalar, Açgözlü rastgeleleştirilmiş uyarlamalı arama tekniği

(Greedy Randomized Adaptive Search Procedure) (ARUA) ve diğer teknikler KAP için uyarlanmıştır. Değişik sezgisel teknikler, problem yapısına göre değişiklik göstermektedir (Ji ve diğerleri, 2006).
KAP için çözüm zamanlarının, yerleştirilecek tesis sayısı arttıkça üstel olarak arttığı ispatlanmıştır (Tavakkoli-Moghaddain ve Shayan, 1998).
KAP için yapısal ve belirleyici gelişmiş tekniklerden tabu arama ve simülasyona dayalı metodlara kadar birçok sezgisel yaklaşım mevcuttur (Burkard ve Çela, 1996). Yerel arama, başlangıç atamasından başlamakta ve yerel değişikliklere göre mevcut atamanın sürekli geliştirilmeye çalışılmasına dayanmaktadır. Eğer mevcut atamanın komşuluğunda, daha iyi atama bulunursa, mevcut atama ile yer değiştirilip yerel arama devam etmektedir. KAP'da, bir permütasyon çözümünün komşuluğu genellikle, iki tesis yerinin yerlerinin değiştirilmesi ile elde edilen permütasyon kümeleri olarak tanımlanmaktadır. Komşuluk esasına dayalı en basit yerel arama tekniği, 2-opt olarak bilinen tekrarlamalı geliştirme tekniğidir (Ji ve diğerleri, 2006).
Ramkumar ve diğerleri, KAP çözümü için GA odaklı yerel arama tekniğini önermişlerdir (Ramkumar ve diğerleri, 2008). Bu çözüm tekniğinde, komşu (adjacent), ikili (pair-wise) ve ekleme (insertion) veya hareketli (sliding) operatörleri olarak adlandırılan, üç farklı mutasyon operatörü mutasyon döngüsünü oluşturmak için yerel arama tekniğiyle birleştirilmiştir. Mutasyon döngüsünün geçerliliği üzerine çalışılmıştır.
Yerel arama teknikleri, kombinatoryal problemlerin ve komşuluk yapılarının çözümünde kullanılan en gözde metodlardır. Goldbarg ve diğerleri 3-atamalı komşuluk tekniğini geliştirmiş ve klasik 2-değişimli komşuluk (2-exchange neighborhood) metoduyla karşılaştırılmıştır. 3-atamalı komşulukta, 2- değişimli komşuluk tekniğine göre bulunan ortalama değerler % 20' ye yakın iyi sonuç vermiştir (Goldbarg ve diğerleri, 2008).
KAP için sezgi ötesi tekniklerin kullanılmasına son zamanlarda daha sık rastlanır olmuştur. KAP için sezgi ötesi yaklaşımlar Chwif ve diğerleri, El-Baz ve diğerleri, Ramkumar ve diğerleri, Solimanpur ve diğerleri, Tavakkoli-Moghaddain ve Shayan, Chiang ve Chiang, Duman ve Or tarafından hazırlanmıştır. Duman ve Or'un çalışması, söz konusu literatürde en çok kullanılan üç sezgi ötesi yaklaşımın (Tabu Araması, BT ve GA) karşılaştırmasını sunması açısından önemli bir çalışmadır. KAP problemleri için daha ayrıntılı temel bilgi, Burkard, 1990; Çela, 1998; Rendl, 2002; Taillard, 1995 tarafından hazırlanan çalışmalardan edinilebilir. KAP problemleri için ayrıntılı literatür araştırmaları için Loiola ve diğerleri (2007), güncel olarak detaylı literatür çalışması için Erol, 2010 tarafından hazırlanan çalışmadan yararlanılabilir.
BT, sezgi ötesi yaklaşımların başta gelenlerinden biridir. Bundan dolayı, BT tekniğinin KAP için ilk uygulanan teknik olmasına şaşırmamak gerekmektedir (Ji ve diğerleri, 2006).
Burkard ve Rendl'ın kombinatoryal eniyileme problemleri için termodinamikten esinlenmiş simülasyon teknikleri (thermodynamically motivated simulation procedure) BT metodunun ilk uygulamalarıdır. Bu çalışma, o zaman için mevcut sezgisel yaklaşımların birçoğundan daha iyi sonuç vermiştir (Burkard ve Çela, 1996). Buna ilişkin metod, hesaplama zamanında ve çözüm kalitesi arasında göze alabileceğimiz kayıplara ilişkin gelişmeyi sağlamaktadır (Burkard ve Çela, 1996). Thonemann ve Bölte, KAP için, geliştirilmiş BT tekniğini önermişlerdir. Sezgi ötesi tekniğine çok yakın olan BT, Nissen ve Paul tarafından uygulanmıştır (Ji ve diğerleri, 2006).
BT kullanılarak KAP için uygulanan diğer yaklaşımlar; Bos, 1993; Yip ve Pao, 1994; Burkard ve Çela, 1995; Peng ve diğerleri, 1996; Tian ve diğerleri, 1996, 1999; Mavridou ve Pardalos, 1997; Chiang ve Chiang, 1998; Misevicius, 2000, 2003; Tsuchiya ve diğerleri, 2001; Siu ve Chang, 2002 ve Baykasoglu, 2004 yaklaşımlarıdır (Loila ve diğerleri, 2007).
GA, Darwin'in doğal seçim teorisine dayanan sezgisel bir yöntemdir. GA çözüm kümelerini oluşturup, bu çözümleri, genellikle amaç fonksiyonu değeri gibi bazı uygunluk ölçütlerine dayanan, daha iyi sonuçlarla değiştirmeye çalışmaktadır (Burkard ve Çela, 1996).
Bilinen GA'lar Nugent'ın problem büyüklüğü 20 ve 30 olan problemler için en iyi bilinen sonucu bulamamaktadır. Problem büyüklüğü 100' e kadar olan daha büyük problemlerde tabu arama teknikleri kullanılmaktadır. Ahuja ve diğerleri (2000) geniş çaplı KAP'ları için GA'ların bir çeşidi olan açgözlü genetik algoritma (greedy genetic algorithm) olarak adlandırılan bir teknik kullanarak sonuç oluşturmuşlardır. Drezner (2003) problem odaklı çaprazlama (crossover) kuralı ve tabu aramasıyla yeni bir GA geliştirmiş, Ahuja ve diğerlerinin elde ettiği sonuçlardan daha iyi sonuçlar bulmuşlardır. Kullanılan bu yeni GA, KAP'ların çözümünde en iyi sezgisel yaklaşımlardan biri olmuştur (Ji ve diğerleri, 2006). Migkikh ve diğerleri, yerel ve genel arama tekniklerinin avantajlarını birleştiren hibrid tekniğini tanımlamışlardır (Migkikh ve diğerleri, 2000).
KAP için karınca kolonileri, yinelenen yerel arama (iterated local search) ve diğer özelleştirilmiş metodları geliştirilmiştir. Genel anlamda sezgi ötesi yaklaşımların performansı arama alanının büyüklüğü ile kuvvetli bir şekilde ilişkili olduğu düşünülmektedir (Ji ve diğerleri, 2006).
Liu ve diğerleri, değişken komşuluk bulanık sürü (variable neighborhood fuzzy particle swarm) algoritması olarak adlandırılan hibrid sezgi ötesi bulanık şeması (hybrid meta-heuristic fuzzy scheme) tasarlamışlardır (Liu ve Abraham, 2007). Misevicius (2004) "kaydırılmış mutasyonlar (shift mutations)'' olarak adlandırılan etkili yeniden başlayan mekanizması (effective restart mechanism) kadar iyi olan kuvvetli yerel geliştirilmiş prosedürü

(robust local improvement procedure) olan geliştirilmiş hibrid GA'sını kullanmıştır. Drezner (2008) KAP'ların çözümünde hidrid GA'ların her çeşidini kullanarak geniş çaplı hesaplamalar yapmıştır.

3. KARELİ ATAMA PROBLEMLERİ

KAP, tesis içi planı ve yerleşim çalışmalarında çoğunlukla görülen atama probleminin özel bir halidir (Duman ve Or, 2007). KAP, NP-zor sınıfında olan en zor problemlerden biridir. Tesis yerleşimi, paralel ve dağınık hesaplama ve kombinatoryal veri analizi gibi birçok alandaki gerçek hayat problemlerinin modellenmesinde en iyi bilinen özelliklere sahiptir ve tesis yeri seçiminde minimum toplam maliyeti bulma problemi olarak tanımlanmaktadır.

KAP problemleri şu şekildedir: n potansiyel yerleşim alanı ve bu alanlardan her biri bir alana yerleştirilecek olan n tesis olduğu varsayılırsa; c_{ij}, tesis i ve j arasındaki birim uzaklığın maliyeti ve d_{ij}, yerleşim alanı i ve j arasındaki uzaklık ise; tüm olası permütasyonlar için minimize edilmeye çalışılan maliyet f, tüm i=1,…,n için tesis i'nin yerleşim alanı p(i)'ye atanması durumu için aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$f = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} c_{ij} d_{p(i)p(j)}$$

KAP, hesaplama açısından bakıldığında, en iyi sonuca ulaşma açısından çözümü zor olan problem tipidir. KAP karmaşıklığı hakkında birçok görüş mevcuttur. Karmaşıklık çözülemeyen vakaları nitelendirmektedir.

Karmaşıklık, kombinatoryal en iyi sonuç veren problemleri çözmek, problemin içindeki zorluğu analiz etmek, problemler arasındaki bağlantılar ve çözümlerini göstermek için yeni çözüm yöntemlerinin geliştirilmesinde önemli bir role sahiptir (Pardalos ve diğerleri, 1994).

4. KARELİ ATAMA PROBLEMLERİ İÇİN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Bu çalışmada BT ve GA yaklaşımları uygulaması yapılmıştır. Bu nedenle bu yaklaşımların üzerinde durulmuş, BT ve GA yaklaşımları hakkında literatürde yapılan çalışmalar, bu yaklaşımların adımları anlatılmıştır ve bu yaklaşımlar hakkında bilgi verilmiştir.

4.1. Genetik Algoritma Yaklaşımı

GA, Darwin'in doğal seçim teorisine dayanan sezgisel bir yöntemdir. GA çözüm kümelerini oluşturup, bu çözümleri, genellikle amaç fonksiyonu değeri gibi bazı uygunluk ölçütlerine dayanan, daha iyi sonuçlarla değiştirmeye çalışmaktadır (Burkard ve Çela, 1996). GA, ilk olarak John Holland, meslektaşları ve Michigan Üniversitesi'ndeki öğrencileri tarafından ortaya atılmıştır (Holland, 1975). Bunlar güçlü arama algoritmaları olarak kendilerini ispatlamış ve çeşitli alanlardaki zor problemlerle başa çıkmak için kullanılmışlardır. GA'nın asıl etkisi, çok çeşitli problemlerde başarıyla uygulanabilmesinden kaynaklanmaktadır.

Birçok alanda uygulama imkânı ve uygulamaları olan GA işleme adımları şöyle açıklanabilmektedir (Emel ve Taşkın, 2002):

- Arama uzayındaki tüm mümkün çözümler dizi olarak kodlanır.
- Genellikle rassal bir çözüm kümesi seçilir ve başlangıç populasyonu olarak kabul edilir.
- Her bir dizi için bir uygunluk değeri hesaplanır, bulunan uygunluk değerleri dizilerin çözüm kalitesini gösterir.
- Bir grup dizi belirli bir olasılık değerine göre rassal olarak seçilip çoğalma işlemi gerçekleştirilir.
- Yeni bireylerin uygunluk değerleri hesaplanarak, çaprazlama ve mutasyon işlemlerine tabi tutulur.
- Önceden belirlenen kuşak sayısı boyunca yukarıdaki işlemler devam ettirilir.
- İterasyon, belirlenen kuşak sayısına ulaşınca işlem sona erdirilir.
- Amaç fonksiyonuna göre en uygun olan dizi seçilir.

Şekil 1'de GA'nın akış diyagramı gösterilmiştir.

4.2. Benzetimsel Tavlama Metodu

Benzetimsel Tavlama (BT) yaklaşımı kareli optimizasyon problemleri için iyi çözümler veren olasılıklı karar verme yöntemi olarak görülebilmektedir. "Sıcaklık" kontrol parametresi ve minimizasyon problemleri için çözümün daha iyi bir çözüme ulaşmasının kabulü olasılığını değerlendirmektedir.

Metropolis Algoritması da denilen BT yaklaşımı, bir metalin soğuyarak ve donarak minimum enerjili kristal yapısına dönüşmesi ile daha genel bir sistemde minimumun araştırılması arasındaki benzerlikten yararlanmaktadır (Cura, 2008)."Benzetimsel Tavlama" ismi, katıların fiziksel tavlanma süreci ile olan benzerlikten ileri gelmektedir. BT algoritması, birbirlerinden bağımsız olarak, Kirkpatrick, Gelatt ve Vecchi, ve Cerny tarafından ortaya konmuştur. Literatürde bilgisayar tasarımı, görüntü işleme, moleküler fizik ve kimya, çizelgeleme gibi farklı alanlardaki birçok optimizasyon problemine uygulanmıştır.

```
Prosedür Genetik Algoritma {
        Başlangıç populasyonunu oluştur
        Kriterleri belirle
        do
        {
                Kromozomları uygunluk fonksiyonuna göre değerlendir
                Kromozomları eşleştirme havuzuna gönder
                Kromozomlara çaprazlama operatörünü uygula
                Kromozomlara değişim operatörünü uygula
                Populasyondaki tüm kromozomlara tamir operatörünü uygula
                Her bir kromozomun uygunluk değerine göre Rulet tekerleği yöntemini uygula
                Yeni populasyonu bir önceki populasyondan oluştur
        } while(!(iterasyon sonu mu) veya !(iyileşme durdu mu))
                En iyi kromozomu sonuç olarak al
        }
```

Şekil 1. Genetic Algoritma akış diyagramı (Biroğul ve Güvenç, 2007)

BT katı maddelerin tavlanması işleminden esinlenerek geliştirilmiştir. Algoritma geçerli bir çözümden başlamakta ve problem için rastgele yeni durumlar üretmekte ve bu durumlar için maliyet fonksiyonunu hesaplamaktadır. Tavlama süreci yüksek sıcaklıklardan başlayıp, daha kötü çözüm olasılığı sıcaklık düşümüne bağlı olarak azalmaktadır. BT yaklaşımı, güçlü bir optimizasyon tekniğidir ve büyük kombinasyonlu problemleri optimum veya genel çözme yeteneğine sahiptir. Bu metod yerel en iyi çözümü garanti eden optimizasyon tekniklerine benzemektedir ancak yerel optimumları atlama işlemini de yapmaktadır. Herhangi bir katı madde erime noktasını aşıncaya kadar ısıtılıp arkasından katılaşıncaya kadar soğutulursa, bu maddenin yapısal özellikleri soğuma hızına bağlı olarak değişmektedir. Yavaş soğutulacak olursa gelişmeler gözlenirken, hızlı soğutulduğunda yapılarında bozulmalar gözlemlenmektedir. Isıtılan ve ardından belli bir hızla soğutularak en iyi biçime ulaştırılan madde, bir sistemdeki parçacık gibi algılanırsa bu tavlama sürecinden BT elde edilmiş olur. Tavlama termik işlemdir ve düşük enerjili durum katı hali temsil etmektedir (Tosun ve diğerleri, 2009).

Tavlama iki adımdan oluşmaktadır:

1- Katı maddenin erime noktası olan azami seviyeye kadar ısının artırılması,

2- Isıtılmış maddenin soğutularak katı haline dönüştürülmesidir.

BT'nin en önemli avantajı lokal minimumda takılmaması ve genel minimuma ulaşabilmesidir. Bunun için malzemenin yeterince ısıtılması veya algoritma başlangıç seviyesine yüksek enerjili seviyeden başlanması gerekir. Soğutma işlemi yavaş yavaş, belli iterasyonda ve maddenin enerjisi sıfır oluncaya kadar yapılmalıdır.

BT yüksek bir sıcaklık değeriyle başlar. Her bir hesaplama adımında mevcut çözümün komşuları arasında birçok çözüm üretilir. Yeni bulunan çözümler belirlenen kriterlere göre kabul edilir veya reddedilir. Her hesaplama adımından sonra sıcaklık belli bir fonksiyona göre azaltılır. Algoritma istenen iterasyona ulaştığında, sıcaklık olarak minimum seviyeye indiğinde veya istenen çözüme ulaşıldığında algoritma sonlandırılır. Sıcaklığın başlangıç değerinin belirlenmesi (malzemenin en yüksek enerjili olduğu durum), algoritmanın adım sayısının belirlenmesi (malzemenin ısı alışverişi yapmadığı durumun tespiti veya malzemenin soğutulması) ve adım büyüklüğünün seçilmesi (malzemenin soğutulma hızı) dikkat edilmesi gereken hususlardır.

Monte Carlo algoritmasında; sıcaklığın belli değerleri için optimal çözüm üretilebilmektedir. Sıcaklık, büyük seçildiğinde genel minimumu hassas bir şekilde yakalayamamakta, küçük değerlerindeki çözümde ise çözüm yerel minimumlara takılma riski taşımaktadır. BT bu mahsuru ortadan kaldırmıştır. BT, değişik sıcaklık değerlerinde çözüm aradığından genel minimumu kolayca yakalamaktadır.

Şekil 2'de BT yaklaşım prosedürü gösterilmiştir.

```
Begin
        Başlangıç çözümü seç
        Başlangıç sıcaklığı seç (t=100)
        Sıcaklık azaltım fonksiyonu belirle
        repeat
                repeat
                        Yeni bir komşu çözüm üret
                        if (yeni - eski) < 0 then yeni çözümü seç
                        else begin
                                [0,1] aralığında rassal sayı üret (r)
                                if r < ( 1 / (exp(abs(yeni - eski)/t) ) then yeni çözümü seç
                        end
                until iterasyon sayısına kadar
                t = f(t);
        until (t < 0) veya uygun çözüm bulununcaya kadar
End
```

Şekil 2. Benzetimsel tavlama yaklaşımı prosedürü
(Yiğit ve Türkbey, 2003)

5. GENETİK ALGORİTMA VE BENZETİMSEL TAVLAMA YAKLAŞIMLARI UYGULAMASI

Bu çalışmada, GA ve BT algoritması Java programlama diliyle kodlanmış ve tüm denemeler Intel ® Core(TM) 2 Duo 1.83 Ghz işlemcili bir bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Program, Java Development Kit 1.6 kullanan Eclipse Classic 3.5.2 ve JCreator LE 4.50 ile geliştirilmiştir. İki algoritma, ayrı ayrı her problem için farklı başlangıç çözümleriyle 5'er kez koşturulmuştur.

KAPK aracılığıyla elde edilen farklı boyutlardaki 21 problem kümesi önerilen algoritmanın uygulanması için program girdisi olarak kullanılmıştır. Her bir problem kümesinin akış matris değerleri ve uzaklık matris değerleri kullanılmıştır.

5.1. Genetik Algoritma Uygulaması

Problemin boyutuna (n) göre, ana program n tane departmanı n tane lokasyona atama yapmaktadır. Her problem örneği için n! olası atama vardır, fakat büyük boyutlu problemler için tüm bu atamaları dahil etmek imkansızdır. Programı tüm problem örneklerinden sonuç alabilecek şekilde çalıştırmak için, populasyon boyutu, rastgele n*10 olarak belirlenmiştir. Bu n*10 atamaları Populasyon Listesi'ne gönderilmekte ve her çalıştırma sonunda bu liste sıfırlanmaktadır. Ebeveynlerin seçimi, rulet tekerleği seçimi ile üretilen rassal sayıya göre, atama sıralaması olarak belirlenmektedir. Bu şekilde iki tane ebeveyn elde edilmektedir.

Program her çalıştırıldığında iki tane ebeveyn elde edilmektedir. Uygulama için iki noktalı çaprazlama tekniği kullanılmıştır. İki ebeveyn seçildikten sonra, iki çocuk (çocuk1 ve çocuk2 olarak adlandırılan), program tarafından rastgele olarak belirlenen iki çaprazlama noktasına göre oluşturulmaktadır.

Çaprazlama noktaları rulet tekerleği seçimi tekniğiyle oluşturulmuştur. Ebeveynler seçildikten sonra, rulet tekerleği yöntemine göre belirlenen rassal iki sayıya göre çaprazlama noktaları belirlenmektedir. Her nesilde, her kromozom bir diğer kromozomla rastgele olarak eşleşmiştir.

Genetik algoritmada bir nesil oluşturduktan sonra, ebeveyn populasyonu olarak kullanılacak yeni populasyon şu şekilde oluşturulmaktadır:

- Ebeveyn populasyonu ve çocuk populasyonu amaç fonksiyonu değerleri küçükten büyüğe sıralanmakta,
- Ebeveyn populasyonunun belirli bir bölümü, sıralamalar eşit olmayacak şekilde, çocuk populasyonunun belirli bir bölümü yeni populasyonu oluşturmaktadır. Boyutun 10 katı büyüklüğünde olacak şekilde yeni populasyonun geriye kalan %50'si, çocuk populasyondan rassal olarak alınmış ve yeni populasyona eklenmiştir.

Her bir problem örneğinde departman ve lokasyonların atamaları için akış ve uzaklık matris değerlerine göre, akış matris değeri uzaklık değeriyle çarpılmakta ve bu maliyetin sonucu ikili olarak hesaplanmaktadır. Amaç fonksiyonu değeri (toplam maliyet), maliyet ikililerinin toplamına göre işlemin sonucu belirlenmektedir.

5.2. Benzetimsel Tavlama Yaklaşımı Uygulaması

Bir BT algoritmasının başarısında seçilecek tavlama planının büyük önemi vardır. Tavlama planıyla sıcaklık parametresinin başlangıç değeri (T_b), sıcaklığın nasıl değiştirileceğine ilişkin sıcaklık fonksiyonu T(t), her sıcaklıkta gerçekleştirilmesi gereken iterasyon sayısı I(t) ve sıcaklık parametresinin son değeri (T_f) belirlenmektedir.

Başlangıç sıcaklığı (T_b): Eğer son çözümün başlangıç çözümünden bağımsız olması isteniyorsa, sıcaklık parametresinin başlangıç değeri, denenen hareketlerin büyük bir oranının kabul edilmesine olanak tanıyacak

derecede yüksek seçilmelidir. Başlangıç sıcaklığının belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden biri, bir başlangıç kabul oranının (r_0) seçilmesi ve mevcut çözümden üretilen hareketlerin r_0'lık oranının kabul edildiği en düşük sıcaklığın belirlenmesidir. Bu çalışmada; başlangıç sıcaklığı kabul edilen durumların tüm durumlara oranı (γ), değişik problemler için Markov zincirinde 0,2-0,5 arasında değişen değerler olarak belirlenmiştir.

Her sıcaklıkta gerçekleştirilecek hareket sayısı (I(t)): Sıcaklık düşürülmeden önce her sıcaklıkta sistemin denge durumuna ulaşmasına yetecek kadar yüksek sayıda iterasyon gerçekleştirilmelidir. Çalışmada algoritmadan geri besleme alan bir tavlama planı kullanılmıştır. İlk içsel döngüde, her sıcaklıkta M(t) gibi kabul edilebilir bir sayıda hareketin kabul edilmesi istenmektedir. Bu değer $A_0 = 2000* n/ (1- \gamma)$ şeklinde hesaplanmaktadır. İstenen sayıda hareket kabul edildikten sonra sıcaklık azaltılmaktadır. Dolayısıyla her sıcaklıkta, kullanılan kabul fonksiyonundan elde edilecek değerlere göre, farklı sayıda iterasyon gerçekleştirilmektedir. Kabul edilmesi istenen hareket sayısı, problemde yer alan takım sayısının iki katı olacak şekilde belirlenmiştir. Her bir sıcaklık düşüşünde, onaylanan sayı $A_k = 0.8\ (5*A_o)^{1/k}$ şeklindedir. Araştırma boyunca etkili sıcaklıklarda birçok deneme yapılmıştır. Tekrarlama oran azalması, deneme yanılma yoluyla elde edilmiştir. Ayrıca, sıcaklık azaldıkça kabul edilecek hareket sayısı azalacağından iterasyonları fazla uzatmamak için bir üst sınır kullanılmıştır. Üst sınır da M(t)'nin 3 katı olarak seçilmiştir.

Sıcaklık azaltma fonksiyonu T(t): T(t+1)= r.T(t) şeklinde geometrik bir fonksiyon kullanılmıştır. Sıcaklık azaltma oranı (r) 0,99 olarak alınmıştır.

Bitiş sıcaklığı (Tf): Bitiş sıcaklığı, yapılan ön denemelerden elde edilen sonuçlara dayanarak 0,001 olarak belirlenmiştir.

Durdurma durumu; iki sıralama sonucunda elde edilen en iyi sonuç (toplam maliyet) değişiklik olmama durumuyla sağlanmıştır. d ve f matrisleri simetrik ise; s. elementle t. element arasındaki yer değiştirme ile p' permütasyonu elde edildiğinde toplam maliyet fonksiyonu aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır;

$$\Delta(p,s,t) = Z(p') - Z(p) = -2\sum_{\substack{k=1 \\ k\neq s.t}}^{n} (f_{p(z)p(k)} - f_{p(t)p(k)})(d_{sk} - d_{tk})$$

Maliyet fonksiyonuna göre $\Delta(p)$ matrisi $\Delta(p) = [\Delta_{st}]_{nxn}$ şeklinde bulunmaktadır. Burada Δ_{st}, p permütasyonunda s. elementle t. element arasındaki yer değiştirmeden ortaya çıkan maliyet fonksiyonu farkını temsil etmektedir. Bu matriste negatif değer kalmayıncaya kadar işlem devam edilmiştir. Yeni nesillerin devamı için içsel döngüde Switching operatörü kullanılmıştır. En iyi sonuç elde etmek adına bu operatör seçilmiştir. Sürecin optimizasyonu için Java programlama dili kullanılmıştır.

6. UYGULAMA SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bir sezgisel yaklaşımın performansı, performans sonuçları ya en iyi bilinen (ya da -biliniyorsa- optimum çözüm) ya da başka bir sezgisel yaklaşımın sonucuyla karşılaştırılarak ölçülebilir. Bu çalışmada, en iyi bilinen sonuçla kıyaslama yoluna gidilmiştir. GA ve BT sezgisel yaklaşımlarının performansı, 5 koşum yapıldıktan sonra programdan elde edilen sonuçların ortalaması, literatürdeki en iyi bilinen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Tablo 1'de, 21 problem seti için GA ve BT yaklaşımlarının en iyi bilinen sonuçlara maksimum yaklaşım yüzdesi, en iyi bilinen sonuçlar ve GA ve BT yaklaşımlarının saniye cinsinden ortalama çözüm zamanı (Central Processing Unit-CPU) gösterilmiştir.

Yeni soğutma planı ile BT algoritması etkinliği ve iki noktalı çaprazlama tekniği ile geliştirilmiş GA etkinliği, KAPK'dan alınan 21 problem seti için test edilmiştir. En İyi Bilinen Sonuca (EİBS) göre performans kriteri belirlenmiştir. Sonucun etkinliğini ölçmek adına En İyi Bilinen Sonuca Yaklaşma (EİBSY) kriteri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\textbf{EİBSY} = \frac{[\ (\textbf{TM} - \textbf{EİBS})\ *\ 100\ ]}{\textbf{EİBS}}$$

TM; BT ve GA yaklaşımlarının uygulama sonucunu, EİBS ise literatürde şimdiye kadar bulunan en iyi bilinen sonucu temsil etmektedir.

Uygulama sonuçlarına göre önerilen GA yaklaşımı en iyi sonuca ya da en iyiye yakın bir sonuca ulaşmıştır ve BT yaklaşımından daha iyi sonuç vermiştir. 21 problem seti arasında 4 tane problem seti (Rou15.dat, Scr15.dat, Esc16j.dat, Had12.dat) için en iyi sonuçlara ulaşılmıştır. BT yaklaşımı ile elde edilen ortalama çözüm zamanı, GA yaklaşımı ile elde edilen ortalama çözüm zamanından daha uzundur.

Tablo 1. GA ve BT yaklaşımları sonuçlarının seçilen KAP için en iyi bilinen sonuçlara yaklaşması ve çözüm zamanları

	Problem	En iyi bilinen sonuca yaklaşma (%)		En iyi bilinen sonuç	GA Ortalama çözüm zamanı (saniye)	BT Ortalama çözüm zamanı (saniye)
		GA	BT			
1	**Lipa50a.dat**	0,0100	-	62093*	10,20	-
2	**Rou15.dat**	0,0000	0,000	354210*	21,32	15,74
3	**Rou20.dat**	0,0306	0,104	725522*	34,20	19,38
4	**Tai30a.dat**	0,0639	0,868	1818146	15,56	72,64
5	**Tai40a.dat**	0,0659	1,239	3139370	26,51	233,20
6	**Tai.50a.dat**	0,0717	1,843	4941410	36,95	462,34
7	**Tai60a.dat**	0,0972	1,930	7208572	10,03	926,32
8	**Scr15.dat**	0,0000	0,000	51140*	18,25	20,24
9	**Scr20.dat**	0,0002	0,210	110030*	32,47	7,90
10	**Tho30.dat**	0,0308	0,073	149936*	2,38	43,23
11	**Bur26h.dat**	0,0011	0,008	7098658	3,62	32,86
12	**Chr15a.dat**	0,0040	0,834	9896*	0,70	6,79
13	**Esc16j.dat**	0,0000	0,000	8*	0,63	8,80
14	**Had12.dat**	0,0000	0,000	1652*	1,04	2,34
15	**Had20.dat**	0,0014	0,062	6922*	2,70	12,21
16	**Kra30b.dat**	0,0639	0,172	91420*	10,88	70,23
17	**Ste36a.dat**	0,1182	0,254	9526*	31,14	0,27
18	**Tai15b.dat**	0,0035	0,004	51765268*	4,15	5,45
19	**Tai25b.dat**	0,0225	0,552	344355646*	9,15	19,64
20	**Tai30b.dat**	0,0868	1,374	637117113	20,30	27,45
21	**Tai35b.dat**	0,0425	1,103	283315445	23,60	56,34

* En iyi bilinen sonuçlar

Tablo 2'de 21 problem seti için GA ve BT yaklaşımları amaç fonksiyonu (toplam maliyet) sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 2. GA ve BT yaklaşımları sonuçlarının seçilen KAP için en iyi bilinen sonuçlarla karşılaştırılması

	Problem	Uygulamadan elde edilen en iyi sonuçlar		En iyi bilinen sonuç
		GA	BT	
1	**Lipa50a.dat**	62098	-	62093*
2	**Rou15.dat**	354210*	354210*	354210*
3	**Rou20.dat**	725722	735432	725522*
4	**Tai30a.dat**	1898146	2118146	1818146
5	**Tai40a.dat**	3313370	4139370	3139370
6	**Tai.50a.dat**	4998410	5141410	4941410

7	**Tai60a.dat**	7212653	8380574	7208572
8	**Scr15.dat**	51140*	51140*	51140*
9	**Scr20.dat**	110040	198023	110030*
10	**Tho30.dat**	149793	148993	149936*
11	**Bur26h.dat**	7098826	7099626	7098658
12	**Chr15a.dat**	9936	10293	9896*
13	**Esc16j.dat**	8*	8*	8*
14	**Had12.dat**	1652*	1652*	1652*
15	**Had20.dat**	6931	7023	6922*
16	**Kra30b.dat**	91530	92432	91420*
17	**Ste36a.dat**	9663	9867	9526*
18	**Tai15b.dat**	51785348	51775216	51765268*
19	**Tai25b.dat**	345675646	399855646	344355646*
20	**Tai30b.dat**	698617223	1089117913	637117113
21	**Tai35b.dat**	293814545	435615454	283315445

* En iyi bilinen sonuçlar

7. GELECEK ÇALIŞMALAR

Kullanılan tekniklerin incelenmesi ve geliştirilen yeni yaklaşım, yapılacak olan diğer çalışmalara yol gösterecektir. Bu çalışma, yeni çalışmalar için kaynak teşkil edebilecektir. İleride yapılacak yeni çalışmalar arasında yeni bir çözüm tekniği olan daha önce geliştirilmemiş melez genetik algoritma bulunmaktadır. Özellikle asimetrik problem örnekleri için, bu yeni yaklaşım, mevcut çalışmada elde edilen sonuçlardan daha iyi sonuç verebilecektir.

Diğer problem setleri için de yaklaşımlar test edilebilir. BT yaklaşımı geliştirilirse GA yaklaşımı ile elde edilen sonuçlardan daha iyi sonuçlar elde edilebilecektir. Aynı zamanda, girdi değişkenlerin değerlerine göre atamalar yapıldığında ve yeni geliştirilen melez genetik algoritma buna göre programlandığında, asimetrik problem örnekleri sonuçlarından daha etkili sonuçlar elde edilebilecektir.

KAYNAKLAR

Ahuja, R.K.; Orlin, J.B.; Tiwari, A.: "A greedy genetic algorithm for the quadratic assignment problem", Computers and Operations Research, 27 (10) **(2000)** 917–934.

Biroğul, S.; Güvenç, U.: "Genetik Algoritma ile Çözümü Gerçekleştirilen Atölye Çizelgeleme Probleminde Ürün Sayısının Etkisi", Akademik Bilişim'07 - IX. Akademik Bilişim Konferansı, 31 Ocak - 2 Şubat 2007, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya

Burkard, R.E.; Çela, E.: "Quadratic and three-dimensional assignments: An annotated bibliography", Technical report 63, Discrete Optimisation Group, Technische Universität Graz, Austria, **(1996)**.

Chiang, W.C.; Chiang, C: "Intelligent local search strategies for solving facility layout problems with the quadratic assignment problem formulation", European Journal of Operational Research, 106 **(1998)** 457-488.

Cura, T.: "Modern Sezgisel Teknikler ve Uygulamaları", Papatya Yayıncılık, İstanbul, Türkiye **(2008)**.

Çela, E.: "The Quadratic Assignment Problem: Theory and Algorithms", Kluwer Academic Publishers, Dordrecht **(1998)**.

Emel, G.G.; Taşkın, Ç.;"Genetik Algoritmalar Ve Uygulama Alanları**",** Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt XXI, Sayı 1, **(2002)** 129-152.

Erol, A.H.: "A Heuristic Solution Algorithm For The Quadratic Assignment Problems", Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul **(2010)**.

Erol, A.H.; Bulkan, S.: "A Survey For Quadratic Assignment Problems", The 10th Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference, 14-16 Aralık 2009, Japonya.

Erol, A.H.; Bulkan, S.: "Kareli Atama Problemi ve Çözüm Tekniklerinin İncelenmesi", Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 29. Ulusal Kongresi, 22-24 Haziran 2009, Bilkent Üniversitesi, Ankara.

Goldbarg, E.F.G.; Maculan, N.; Goldbarg, M.: "A New Neighborhood for the QAP", Electronic Notes in Discrete Mathematics, 30 **(2008)** 3-8.
Ji, P.; Wu, Y.; Liu, H.: "A Solution Method for the Quadratic Assignment Problem (QAP)", The Sixth International Symposium on Operations Research and Its Applications (ISORA'06), Xinjiang, China, August 8-12, **(2006)** 106–117.
Lawler, E.L.: "The quadratic assignment problem", Management Science, **(1963)** 586–599.
Loiola, E.M.; Abreu, N.M.M.; Boaventura-Netto, P.O.; Hahn, P.; Querido, T.: "A survey for the quadratic assignment problem", European Journal of Operational Research, 176 **(2007)** 657–690.
Taillard, E.D.: "Comparison of Iterative Searches for the Quadratic Assignment Problem", Location Science, 3 **(1995)** 87–105.
Tavakkoli-Moghaddain, R.; Shayan, E.: "Facilities layout design by genetic algorithms", Computers and Industrial Engineering, 35(3-4), (1998) 527-530.
Tosun, S.; Öztürk, A.; Erdoğmuş, P.; Biçend, Y.; Hasırcı, U.: "Elektrik Güç Sisteminde Optimal Yakıt Maliyetinin Benzetim Tavlama (BT) Algoritması İle Belirlenmesi", 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye.
Yiğit, V.; Türkbey, O.: "Tesis Yerleşim Problemlerine Sezgisel Metotlarla Yaklaşım", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 18, No 4, **(2003)** 45-56.

Tercihlere Göre Sınav Merkezlerinde Sınava Girecek Personelin Gidecekleri Merkezlerin Ulaştırma Modeli ile Tespiti

Adalet EREN* **Evren ÇETİN****

Özet

Bu çalışmada personel seçim sürecinde sınava girecek adayların memnuniyetini maksimum yapacak en uygun sınav merkezi planlaması amaçlanmıştır. Parametreler belirlenirken tercihlerden sapmaları minimize eden en uygun mesafeler belirlenmiştir. Araştırma verileri, Ulaştırma modeli ile WinQSB paket programı ve VAM tekniği kullanılarak çözülmüştür. Çözümün en iyi sonuç olduğu MODİ testi ile tespit edilmiştir. Ortalama aday tercih sapma değeri 159 km. bulunurken adayların memnuniyetini sağlamak konusunda % 91,6 lık başarı sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: İnsan kaynakları yönetimi, doğrusal programlama, ulaştırma modeli, VAM tekniği, MODİ testi.

1.Giriş

Personel seçimi, personel yönetiminin en önemli sürecidir. Bu sürecin etkinliği personel yönetiminin diğer fonksiyonel alanlarının etkinliğini de etkiler ve onlardan etkilenir. Gerçekte personel seçme, personel yönetiminde başarı sağlamanın ön koşuludur. Personel seçmede yapılan hataların sonradan düzeltilmesi çok güç ve pahalı olduğundan, titiz ve dikkatli olmak gerekliliği vardır(Öztürk, 1995:4). Karar almada kullanılabilecek çok çeşitli modeller ve teknikler geliştirilmiştir. Bunlar; doğrusal programlama, ulaştırma modelleri, leontief modeli, stok modelleri, oyun kuramı, bekleme hattı modelleri, dinamik programlama vb.dir(Yeşilyurt, 1996:2).

Ulaştırma modeli; kaynaklardan hedeflere veya sunum merkezlerinden istem merkezlerine mal veya hizmet dağıtımı yapılırken, bu dağıtım işleminin minimum maliyetle nasıl gerçekleştirilebileceğini araştıran bir doğrusal programlama tekniğidir (www.kho.edu.tr, 2001). Bu modelin esası, işletmenin elindeki üretim kaynaklarını gerekli kullanım yerlerine aktararak, toplam taşıma maliyetlerini en aza indirmektir (Tekin, 1991:81). Model aynı zamanda, dağıtım yollarının seçimini içermeyen fakat benzer matematik yapıya sahip diğer problemlerin çözümünde de kullanılır (Taha, 200: 163).

Ulaştırma problemi, yöneylem araştırmasında iyi bilinen bir optimizasyon problemidir (Yang ve Liu, 2007:879). Ulaştırma modelinin ismi, bu modelin sadece nakliyat sistemlerinde kullanıldığı düşüncesine sebep olsa da günümüzde ulaştırma modelleri işletmelerin kuruluş yeri seçiminden personelin işe yerleştirilmesi de dahil birçok alanda kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, Ankara'da hizmet sektöründe faaliyet gösteren ve yeniden yapılanma sürecine girmiş olan ve faaliyet alanını genişletmek isteyen firmanın personel planlama sürecinde ulaştırma modeli kullanılmıştır.

2. Modelin Belirlenmesi

Firma, mevcut durumda sadece büyük şehirlerde faaliyet göstermekte iken yeni

* Dr., G.Ü., İİBF, Ekonometri Bölümü, Ankara (adaleteren@yahoo.com)
** G.Ü.İİBF, Ekonometri Bölümü, Ankara (evrencetin80gmail.com)

süreçte 81 ilde de faaliyet göstermek için bir dizi planlar yapmaktadır. Bu planların en önemlisi ve en teferruatlı olanı süreç personel planlamasıdır. Yeni süreçte farklı uzmanlık alanlarında ve farklı statülerde birçok personel ihtiyacı bulunmaktadır. Bu ihtiyaçlara göre her ilde görevlendirecek personel kadrolarını planladıktan sonra, Türkiye çapında sınav yapılarak personel seçimi yapılması öngörülmüştür. Buna göre mevcut imkânlar değerlendirilerek yapılacak sınav için 10 sınav merkezi tespit edilmiştir.

Tespit edilen sınav merkezlerinin kapasiteleri sınırlı sayıda olduğu için her adayın tercih ettiği sınav merkezinde sınava girmesi imkânsızdır. Sınav merkezlerinin kapasitesinden azami derecede faydalanmak ve adayların memnuniyetini sağlamak maksadıyla adaylardan 10 sınav merkezinden adaylara seçme hakkı tanınmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir. Yapılan sınav planlaması sonrasında personel alımı ile ilgili ilan yayınlanmış ve sınava katılacak adaylara, belirlenen 10 sınav merkezinden 3 adet tercih etme hakkı tanınmıştır.

Başvuru süresi dolduğunda 81 ilden toplam 15389 kişi sınava başvurmuştur. Başvuru sonunda adayların tercih ettiği sınav merkezleri ve merkezlerin kapasiteleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Sınav Merkezleri Kapasiteleri ve Tercih Edilme Miktarları

Sınav Merkezi	Kapasite	1 inci Tercih	2 inci Tercih	3 üncü Tercih
Ankara	5774	4279	4279	3569
Erzurum	1012	198	260	276
G.Antep	821	517	679	714

Isparta	3212	672	563	832
İstanbul	**2132**	4347	3212	2493
İzmir	1880	879	1790	3555
Kayseri	1508	865	1397	1480
Malatya	**454**	1189	505	627
Samsun	**700**	1348	1177	1027
Tekirdağ	**590**	1095	1527	816
Toplam	18083	15389	15389	15389

Tablo 1 incelendiğinde sınava başvuran aday sayısı (15389) sınav merkezlerinin kapasitesinden (18083) azdır, ancak 10 sınav merkezinden 4 tanesinin (İstanbul, Malatya, Samsun, Tekirdağ) kapasitesinden fazla tercih edildiği görülmektedir. Bu duruma göre adaylara en uygun sınav merkezi tahsis edilmesi gerekmektedir.

Öncelikle modelin oluşturulması safhasında optimum çözümü ararken amacın belirlenmesi gerekmektedir. Problemin tanımlamasında da ifade edildiği gibi amaç sınava girecek adayların memnuniyetini maksimum yapacak en uygun sınav merkezi planlamasını yapmaktır. Bu memnuniyetin hesaplanabilir olması için kantitatif değerler alması gerekmektedir. Adayların tercihlerini yaparken özellikle ikamet ettiği yerlere yakın sınav merkezlerini veya iskân sıkıntısı yaşamayacakları yerleri öncelikle tercih ettikleri değerlendirilmiştir. Dolayısıyla memnuniyet hesaplanırken adayların tercih ettikleri merkezlerden sapmaların mesafelerle hesaplanması uygun çözümün bulunmasında yardımcı olacaktır. Tercih edilen merkezlerden sapmalar ne kadar az olursa amaca o kadar yaklaşmış oluruz. Sapmalar mesafelerle ifade edileceğinden dolayı amacımız çözüm sonucunda çıkan toplam mesafenin en az olmasıdır. Geliştirilecek model en küçükleme modeli olacaktır.

2.1. Karar Değişkenlerinin Belirlenmesi

Modelin karar değişkenleri sınav merkezlerine planlanacak olan adaylardır. Yalnız burada dikkat edilmesi gereken husus, planlanacak olan adayların tercihleri de göz önüne alınarak planlanacaktır. Dolayısıyla tercihler karar sürecinde önemli bir faktördür. O zaman adayların yaptıkları tercihlere göre sınav merkezlerine planlanması karar değişkenleri olacaktır. Burada tercihler grubu sunum merkezleri, sınav merkezleri ise kabul merkezleri olarak değerlendirildiğinde modelimiz doğrusal programlamanın özel bir hali olan Ulaştırma Modeline benzetilmiş olacaktır.

Sunum merkezleri, adayların yaptığı üç tercihin gruplandırılmasıyla ile tespit edilecektir. Örneğin, birinci tercihi Tekirdağ, ikinci tercihi Ankara, üçüncü tercihi İstanbul olan toplam 71 kişi bulunmaktadır. Bu üç tercihi yapmış olan adayların 10 sınav merkezine planlama alternatifini temsil eden toplam 10 adet karar değişkeni mevcuttur.

239 sunum merkezinin (üç tercihin gruplandırılması) ve 10 kabul merkezinin (sınav merkezleri) bulunduğu modelde toplam 2400 adet karar değişkeni bulunmaktadır.

2.2. Parametrelerin Belirlenmesi

Karar değişkenlerini belirledikten sonra modelin amaç fonksiyonundaki değişkenlerin parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Parametreleri belirlerken, tercihlerden sapmaları en aza indirmek amacına ulaşmayı sağlayacak en uygun mesafeler tespit edilmelidir. Öncelikle her sunum merkezinde tercih edilen sınav merkezlerine denk gelen kabul merkezlerindeki karar değişkenlerine parametre belirlenecek diğer kabul merkezlerine parametre belirlenmeyecektir. Örneğin Ankara-Gaziantep-Kayseri sunum merkezinde, Ankara kabul merkezindeki x_{2010}, Gaziantep kabul merkezindeki x_{2012} ve Kayseri kabul merkezindeki x_{2016} karar değişkenlerine parametre belirlenecek diğer 7 karar değişkenine parametre belirlenmeyecektir.

Buradaki amacımız adayların tercih ettiği 3 sınav merkezinden birisine planlamaktır. Tercihlere göre parametreleri belirlerken iller arası karayolları mesafeleri dikkate alınmıştır. İlk olarak belirlenen parametre sunum merkezlerinde ilk tercih edilen sınav merkezine karşılık gelen kabul merkezinin karar değişkeninin parametresi "0" olarak belirlenmiştir. Örneğin Ankara-Gaziantep-Kayseri sunum merkezinde Ankara kabul merkezindeki karar değişkeni olan x_{2010} 'un parametresi "0" olacaktır. Buradaki amacımız ilk tercihlerin değerini en aza indirgeyerek çözüme öncelikli girmesini sağlamaktır.

İkinci belirlenecek parametre ise sunum merkezlerindeki ikinci tercihlerin ilk tercihlere olan mesafeleri ikinci tercihlere karşılık gelen kabul merkezindeki karar değişkeni parametresi olarak belirlenir. Örneğin Ankara-Gaziantep-Kayseri sunum merkezinde ikinci tercih olan Gaziantep'in Ankara'ya olan mesafesi 672 km'dir. Bu mesafe Gaziantep kabul merkezine karşılık gelen karar değişkeni x_{2012} 'nin parametresi olarak belirlenir.

Son olarak üçüncü tercihlerin ikinci tercihlerde yapıldığı gibi birinci tercihteki sınav merkezine olan mesafe ilgili kabul merkezine yazılacaktır. Ancak üçüncü tercihlerin en son çözüme girmesi istenmektedir. Üçüncü sırada tercih edilen bazı sınav merkezlerin mesafeleri ikinci sırada tercih edilen sınav merkezlerinin mesafelerinden daha az olabileceği için ikinci tercihlerden önce çözüme girme durumu söz konusudur. Dolayısıyla iller arasındaki mesafeler dikkate alındığında en büyük mesafe değeri temel alınarak yeni bir mesafe değeri

hesaplanması uygun bulunmuştur. Buna göre iller arası mesafeler içerisinde en fazla mesafe değeri 1944 km'dir. Üçüncü sırada tercih edilen sınav merkezlerinin birinci tercih edilen sınav merkezlerine olan mesafelerine 2000 değeri ekleyerek bu problem çözülmüştür. Örneğin; Ankara-Gaziantep-Kayseri sunum merkezinde üçüncü tercih olan Kayseri'nin Ankara'ya olan mesafesi 319 km'dir. Bu sunum merkezinin Kayseri kabul merkezine karşılık gelen x_{2016} değişkeninin parametresi 2319 (319+2000) olacaktır.

Ayrıca ilgili sunum merkezinde tercih edilmeyen yedi sınav merkezindeki karar değişkenlerine parametre hesaplanmamıştır. Böylece çözüme başlamadan önce bu değişkenler temel dışı değişken olması sağlanmıştır. Bu şekilde 239 sunum merkezinin 10 kabul merkezine karşılık gelen toplam 717 karar değişkenine belirtilen şekilde parametreler belirlenmiştir.

2.3. Amaç Fonksiyonun Belirlenmesi:

Modelin karar değişkenleri ve parametreleri belirledikten sonra modelin amaç fonksiyonu yazılabilir. Modelin amacı adayların memnuniyetini sağlamak için tercihlerinde oluşacak sapmaları minimize etmek olacaktır. m adet sunum merkezi ve n adet istem merkezi olan bir ulaştırma probleminde, j. istem merkezi b_j miktarında ürün isterken i. sunum merkezi de ancak a_i miktarında ürün sunabilmektedir. i. arz merkezinden j. istem merkezine bir birim malin gönderilme maliyeti c_{ij} kadardır (Kabak, 2000: 5). Ulaştırma problemlerinin standart gösterimi ulaştirma tablosu ile olur (Winston, 1994). Ulaştırma probleminin doğrusal programlama problemi olarak matematiksel modeli ise aşağıdaki gibidir (Hallaç, 1983: 418):

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Minimum } Z = c_{11} X_{11} + c_{12} X_{12} + ... + c_{1,n-1} X_{1,n-1} + c_{1n} X_{1n} + c_{21} X_{21} + c_{22} X_{22} + ... + c_{2,n-1} X_{2,n-1} + c_{2n} X_{2n} + ... + c_{m-1,1} X_{m-1,1} + c_{m-1,2} X_{m-1,2} + ... + c_{m-1,n-1} X_{m-1,n-1} + c_{m-1,n} X_{m-1,n} + c_{m1} X_{m1} + c_{m2} X_{m2} + ... + c_{m,n-1} X_{m,n-1} + c_{mn} X_{mn}$$

2.4. Kısıtlayıcı Fonksiyonların Belirlenmesi:

Amaç fonksiyonunu belirledikten sonra modelin kısıtlarının belirlenmesi gerekmektedir. Modelimizde üç grup kısıt bulunmaktadır. Birinci grup kısıtlar sunum merkezlerinin kısıtları. Yani ilk üç tercihleri aynı olan adayları grupladığımızda her grubun sayısı sunum merkezinin kapasitesini temsil etmektedir. Örneğin ilk üç tercihi sırasıyla Ankara, İstanbul, Erzurum olan aday sayısı 14'tür. Dolayısıyla Ankara-İstanbul-Erzurum sunum merkezinin kapasitesi 14 olacaktır. Bu kısıt aşağıdaki gibidir;

$$x_{2080}+x_{2081}+x_{2082}+x_{2083}+x_{2084}+x_{2085}+x_{2086}+x_{2087}+x_{2088}+x_{2099}=14$$

Kısıtı sadeleştirecek olursak, Ankara-İstanbul-Erzurum sunum merkezlerinin sadece Ankara, İstanbul ve Erzurum kabul merkezlerine karşılık gelen karar değişkenleri parametre alacağından diğer değişkenler herhangi bir değer almayacaktır. Dolayısıyla kısıt aşağıdaki gibi sadeleştirilebilir;

$$x_{2080}+x_{2081}+x_{2084}=14$$

Modelin sunum merkezleri kısıtlarını matematiksel ifadesini yazmadan önce bir tanımlama yapmak yazılacak modeli sadeleştirecektir. Her sunum merkezi olarak değerlendirilen tercihler grubunu seçen aday grubu miktarı Sunum değişkeni ile tanımlanacaktır. Dolayısıyla $Sunum_i$ değişkeni i'nci tercih grubunu seçen aday miktarını göstermektedir. Böylece sunum merkezleri kısıtının matematiksel ifadesi aşağıda ifade edilmiştir.

$$\sum_{i=0} x_{ij} = Sunum_j$$

Sunum merkezlerinin kısıtları diğer bir ifade ile gruplandırılmış olan üçlü tercihleri seçen aday miktarları aşağıdaki Tablo 2'de verilmiştir:

Tablo 2: Üçlü Tercih Gruplarını Seçen Aday Miktarları/ Sunum Merkezleri, Sunum Miktarları

SUNUM MERKEZİ / TERCİH GRUBU	$SUNUM_i$	SUNUM MERKEZİ / TERCİH GRUBU	$SUNU M_i$	SUNUM MERKEZİ / TERCİH GRUBU	$SUNU M_i$
ANKARA-TEKİRDAĞ-ISPARTA	15	GAZİANTEP-ANKARA-İSTANBUL	22	İZMİR-ISPARTA-ANKARA	67
ANKARA-TEKİRDAĞ-İSTANBUL	41	GAZİANTEP-ANKARA-KAYSERİ	22	İZMİR-ISPARTA-İSTANBUL	58
ANKARA-TEKİRDAĞ-İZMİR	14	GAZİANTEP-ANKARA-MALATYA	22	İZMİR-İSTANBUL-ANKARA	229
ANKARA-TEKİRDAĞ-KAYSERİ	23	GAZİANTEP-TEKİRDAĞ-İSTANBUL	45	İZMİR-İSTANBUL-TEKİRDAĞ	22
ANKARA-TEKİRDAĞ-MALATYA	17	GAZİANTEP-ISPARTA-MALATYA	5	İZMİR-İSTANBUL-ISPARTA	40
ANKARA-TEKİRDAĞ-SAMSUN	21	GAZİANTEP-İSTANBUL-ANKARA	22	İZMİR-İSTANBUL-KAYSERİ	22
ANKARA-ERZURUM-GAZİANTEP	15	GAZİANTEP-İSTANBUL-İZMİR	9	İZMİR-İSTANBUL-MALATYA	11

ANKARA-ERZURUM-MALATYA	14	GAZİANTEP-İSTANBUL-MALATYA	7	İZMİR-İSTANBUL-SAMSUN	13
ANKARA-GAZİANTEP-TEKİRDAĞ	12	GAZİANTEP-İZMİR-ANKARA	14	İZMİR-KAYSERİ-ANKARA	13
ANKARA-GAZİANTEP-ISPARTA	11	GAZİANTEP-İZMİR-İSTANBUL	13	İZMİR-MALATYA-ERZURUM	13
ANKARA-GAZİANTEP-İSTANBUL	14	GAZİANTEP-KAYSERİ-ANKARA	40	İZMİR-SAMSUN-ANKARA	13
ANKARA-GAZİANTEP-KAYSERİ	22	GAZİANTEP-KAYSERİ-MALATYA	121	KAYSERİ-ANKARA-TEKİRDAĞ	13
ANKARA-ISPARTA-GAZİANTEP	12	GAZİANTEP-MALATYA-ANKARA	49	KAYSERİ-ANKARA-ERZURUM	49
ANKARA-ISPARTA-İSTANBUL	45	GAZİANTEP-MALATYA-İZMİR	19	KAYSERİ-ANKARA-GAZİANTEP	58
ANKARA-ISPARTA-İZMİR	155	GAZİANTEP-MALATYA-KAYSERİ	85	KAYSERİ-ANKARA-ISPARTA	40
ANKARA-ISPARTA-KAYSERİ	23	GAZİANTEP-SAMSUN-MALATYA	22	KAYSERİ-ANKARA-İSTANBUL	85
ANKARA-ISPARTA-SAMSUN	51	ISPARTA-ANKARA-GAZİANTEP	31	KAYSERİ-ANKARA-İZMİR	112
ANKARA-İSTANBUL-TEKİRDAĞ	122	ISPARTA-ANKARA-İSTANBUL	49	KAYSERİ-ANKARA-MALATYA	31
ANKARA-İSTANBUL-ERZURUM	19	ISPARTA-ANKARA-İZMİR	211	KAYSERİ-ANKARA-SAMSUN	22
ANKARA-İSTANBUL-GAZİANTEP	44	ISPARTA-ANKARA-KAYSERİ	22	KAYSERİ-TEKİRDAĞ-ANKARA	9
ANKARA-İSTANBUL-ISPARTA	140	ISPARTA-ANKARA-SAMSUN	31	KAYSERİ-GAZİANTEP-ANKARA	58
ANKARA-İSTANBUL-İZMİR	726	ISPARTA-ERZURUM-İSTANBUL	18	KAYSERİ-GAZİANTEP-MALATYA	85
ANKARA-İSTANBUL-KAYSERİ	135	ISPARTA-İSTANBUL-ANKARA	49	KAYSERİ-ISPARTA-ANKARA	22
ANKARA-İSTANBUL-MALATYA	23	ISPARTA-İSTANBUL-İZMİR	31	KAYSERİ-İSTANBUL-ANKARA	58
ANKARA-İSTANBUL-SAMSUN	202	ISPARTA-İSTANBUL-MALATYA	21	KAYSERİ-İSTANBUL-GAZİANTEP	12
ANKARA-İZMİR-TEKİRDAĞ	22	ISPARTA-İZMİR-ANKARA	112	KAYSERİ-İSTANBUL-İZMİR	7
ANKARA-İZMİR-GAZİANTEP	23	ISPARTA-İZMİR-İSTANBUL	40	KAYSERİ-İSTANBUL-MALATYA	13
ANKARA-İZMİR-ISPARTA	112	ISPARTA-İZMİR-SAMSUN	16	KAYSERİ-İZMİR-ANKARA	40
ANKARA-İZMİR-İSTANBUL	436	ISPARTA-KAYSERİ-ANKARA	22	KAYSERİ-MALATYA-ANKARA	31
ANKARA-İZMİR-KAYSERİ	76	ISPARTA-KAYSERİ-İSTANBUL	19	KAYSERİ-MALATYA-GAZİANTEP	67
ANKARA-İZMİR-MALATYA	13	İSTANBUL-ANKARA-TEKİRDAĞ	382	KAYSERİ-MALATYA-İSTANBUL	13
ANKARA-İZMİR-SAMSUN	49	İSTANBUL-ANKARA-ERZURUM	40	KAYSERİ-SAMSUN-ANKARA	40
ANKARA-KAYSERİ-ERZURUM	15	İSTANBUL-ANKARA-GAZİANTEP	85	MALATYA-ANKARA-ERZURUM	13
ANKARA-KAYSERİ-GAZİANTEP	40	İSTANBUL-ANKARA-ISPARTA	94	MALATYA-ANKARA-GAZİANTEP	76
ANKARA-KAYSERİ-ISPARTA	76	İSTANBUL-ANKARA-İZMİR	895	MALATYA-ANKARA-İSTANBUL	67
ANKARA-KAYSERİ-İSTANBUL	220	İSTANBUL-ANKARA-KAYSERİ	94	MALATYA-ANKARA-İZMİR	22

ANKARA-KAYSERİ-İZMİR	184	İSTANBUL-ANKARA-MALATYA	13	MALATYA-ANKARA-KAYSERİ	22
ANKARA-KAYSERİ-MALATYA	58	İSTANBUL-ANKARA-SAMSUN	184	MALATYA-TEKİRDAĞ-İSTANBUL	16
ANKARA-KAYSERİ-SAMSUN	193	İSTANBUL-TEKİRDAĞ-ANKARA	760	MALATYA-ERZURUM-ANKARA	79
ANKARA-MALATYA-GAZİANTEP	22	İSTANBUL-TEKİRDAĞ-ERZURUM	13	MALATYA-ERZURUM-ISPARTA	15
ANKARA-MALATYA-ISPARTA	15	İSTANBUL-TEKİRDAĞ-GAZİANTEP	13	MALATYA-ERZURUM-KAYSERİ	40
ANKARA-MALATYA-İSTANBUL	22	İSTANBUL-TEKİRDAĞ-ISPARTA	31	MALATYA-GAZİANTEP-ANKARA	67
ANKARA-MALATYA-İZMİR	12	İSTANBUL-TEKİRDAĞ-İZMİR	319	MALATYA-GAZİANTEP-ERZURUM	22
ANKARA-MALATYA-KAYSERİ	40	İSTANBUL-TEKİRDAĞ-KAYSERİ	9	MALATYA-GAZİANTEP-İSTANBUL	22
ANKARA-SAMSUN-ERZURUM	19	İSTANBUL-TEKİRDAĞ-MALATYA	31	MALATYA-GAZİANTEP-İZMİR	18
ANKARA-SAMSUN-ISPARTA	31	İSTANBUL-TEKİRDAĞ-SAMSUN	76	MALATYA-GAZİANTEP-KAYSERİ	247
ANKARA-SAMSUN-İSTANBUL	256	İSTANBUL-ERZURUM-ANKARA	10	MALATYA-İSTANBUL-ANKARA	31
ANKARA-SAMSUN-İZMİR	170	İSTANBUL-ERZURUM-İZMİR	11	MALATYA-İSTANBUL-GAZİANTEP	14
ANKARA-SAMSUN-KAYSERİ	247	İSTANBUL-GAZİANTEP-ANKARA	31	MALATYA-İSTANBUL-İZMİR	31
ANKARA-SAMSUN-MALATYA	12	İSTANBUL-GAZİANTEP-TEKİRDAĞ	22	MALATYA-İSTANBUL-KAYSERİ	22
TEKİRDAĞ-ANKARA-İSTANBUL	71	İSTANBUL-GAZİANTEP-MALATYA	31	MALATYA-İSTANBUL-SAMSUN	16
TEKİRDAĞ-ANKARA-İZMİR	15	İSTANBUL-ISPARTA-ANKARA	31	MALATYA-İZMİR-ANKARA	40
TEKİRDAĞ-ANKARA-KAYSERİ	22	İSTANBUL-ISPARTA-TEKİRDAĞ	12	MALATYA-İZMİR-İSTANBUL	60
TEKİRDAĞ-ANKARA-SAMSUN	31	İSTANBUL-ISPARTA-İZMİR	40	MALATYA-İZMİR-KAYSERİ	15
TEKİRDAĞ-ERZURUM-İSTANBUL	14	İSTANBUL-ISPARTA-MALATYA	6	MALATYA-KAYSERİ-ANKARA	58
TEKİRDAĞ-ISPARTA-İSTANBUL	5	İSTANBUL-İZMİR-ANKARA	373	MALATYA-KAYSERİ-GAZİANTEP	112
TEKİRDAĞ-İSTANBUL-ANKARA	427	İSTANBUL-İZMİR-TEKİRDAĞ	94	MALATYA-KAYSERİ-ISPARTA	9
TEKİRDAĞ-İSTANBUL-ERZURUM	27	İSTANBUL-İZMİR-ISPARTA	31	MALATYA-KAYSERİ-İSTANBUL	22
TEKİRDAĞ-İSTANBUL-GAZİANTEP	25	İSTANBUL-İZMİR-KAYSERİ	11	MALATYA-KAYSERİ-İZMİR	10
TEKİRDAĞ-İSTANBUL-ISPARTA	22	İSTANBUL-İZMİR-SAMSUN	40	MALATYA-KAYSERİ-SAMSUN	11
TEKİRDAĞ-İSTANBUL-İZMİR	229	İSTANBUL-KAYSERİ-ANKARA	58	MALATYA-SAMSUN-GAZİANTEP	12
TEKİRDAĞ-İSTANBUL-KAYSERİ	49	İSTANBUL-KAYSERİ-TEKİRDAĞ	13	SAMSUN-ANKARA-TEKİRDAĞ	22
TEKİRDAĞ-İSTANBUL-MALATYA	22	İSTANBUL-KAYSERİ-İZMİR	49	SAMSUN-ANKARA-ERZURUM	31
TEKİRDAĞ-İSTANBUL-SAMSUN	49	İSTANBUL-MALATYA-ANKARA	49	SAMSUN-ANKARA-GAZİANTEP	22
TEKİRDAĞ-İZMİR-ANKARA	5	İSTANBUL-MALATYA-TEKİRDAĞ	5	SAMSUN-ANKARA-ISPARTA	13

TEKİRDAĞ-İZMİR-İSTANBUL	58	İSTANBUL-MALATYA-GAZİANTEP	31	SAMSUN-ANKARA-İSTANBUL	472
TEKİRDAĞ-KAYSERİ-ANKARA	6	İSTANBUL-MALATYA-KAYSERİ	5	SAMSUN-ANKARA-İZMİR	184
TEKİRDAĞ-KAYSERİ-İSTANBUL	18	İSTANBUL-SAMSUN-ANKARA	238	SAMSUN-ANKARA-KAYSERİ	175
ERZURUM-ANKARA-ISPARTA	16	İSTANBUL-SAMSUN-TEKİRDAĞ	67	SAMSUN-TEKİRDAĞ-İSTANBUL	39
ERZURUM-ANKARA-İSTANBUL	40	İSTANBUL-SAMSUN-ERZURUM	9	SAMSUN-TEKİRDAĞ-İZMİR	13
ERZURUM-ANKARA-İZMİR	15	İSTANBUL-SAMSUN-İZMİR	31	SAMSUN-ERZURUM-ANKARA	13
ERZURUM-ANKARA-KAYSERİ	11	İSTANBUL-SAMSUN-KAYSERİ	10	SAMSUN-ISPARTA-ANKARA	31
ERZURUM-ANKARA-MALATYA	7	İZMİR-ANKARA-TEKİRDAĞ	8	SAMSUN-İSTANBUL-ANKARA	211
ERZURUM-GAZİANTEP-ANKARA	8	İZMİR-ANKARA-ISPARTA	121	SAMSUN-İSTANBUL-ERZURUM	6
ERZURUM-GAZİANTEP-MALATYA	9	İZMİR-ANKARA-İSTANBUL	121	SAMSUN-İSTANBUL-İZMİR	23
ERZURUM-İSTANBUL-ANKARA	31	İZMİR-ANKARA-KAYSERİ	31	SAMSUN-İZMİR-ANKARA	31
ERZURUM-İZMİR-ANKARA	22	İZMİR-ANKARA-MALATYA	22	SAMSUN-İZMİR-İSTANBUL	22
ERZURUM-İZMİR-İSTANBUL	22	İZMİR-ANKARA-SAMSUN	22	SAMSUN-KAYSERİ-ANKARA	19
ERZURUM-KAYSERİ-MALATYA	11	İZMİR-TEKİRDAĞ-İSTANBUL	22	SAMSUN-MALATYA-ANKARA	21
ERZURUM-MALATYA-İSTANBUL	6	İZMİR-ERZURUM-ANKARA	31		

Sınav merkezlerinin kapasiteleri de modelimize benzer şekilde kısıt olarak eklenecektir. Kabul merkezleri yani sınav merkezleri kısıtını eklerken sunum merkezleri kısıtında yapıldığı gibi sınav merkezi kapasiteleri Talep değişkeni ile temsil edilecektir. $Talep_j$, j'inci sınav merkezinin kapasitesini temsil etmektedir. Dolayısıyla kabul merkezi kısıtlarının matematiksel ifadesi aşağıdaki şekilde olacaktır.

$\sum_{i=1} x_{ij} \leq Talep_i$

Sınav merkezlerinin kapasite kısıtları Tablo 3'te verilmiştir:

Tablo3: Sınav Merkezleri Kapasiteleri

Sınav Merkezi	$Talep_j$
Ankara	5774
Erzurum	1012
G.Antep	821
Isparta	3212
İstanbul	2132
İzmir	1880
Kayseri	1508
Malatya	454
Samsun	700
Tekirdağ	590

Son olarak karar değişkenlerimizin negatif olmaması için pozitif olma kısıtını modelimize ekliyoruz.

$X_{ij} \geq 0$, i=1,2,…,239 ; j=0,1,…,9

2.5. Ulaştırma Modelinin Oluşturulması:

Problem, ulaştırma problemi çözüm algoritmalarına uygun bir yapı içerisinde olduğu için WinQSB paket programı yardımıyla VAM tekniği kullanılarak çözülecektir. Optimuma en yakın sonucu veren Vogel'in Yaklaşım Yöntemi (VAM), William R. Vogel tarafından 1958'de ileri sürülmüştür(Hillier ve Lieberman, 1990: 225). Çözüme başlamadan önce ulaştırma modelinin oluşturulması gerekmektedir. Ulaştırma modelini oluşturmadan önce hâlihazırdaki modelin ulaştırma modeline uygunluğuna bakılmalıdır.
Problemin uygun çözümü varsa; toplam istem toplam sunumdan fazla olamaz. Eğer uygun çözümde karar degişkenleri (X_{ij}) tam sayı değerinde değilse, çözüm kullanışlı olmaz. Problemin en az bir optimum çözümü var diyebilmek için sunum (a_i), istem (b_j) ve karar değişkenleri (X_{ij}) tam saıi değerinde veya 0 olmalıdır. Genel ulaştırma modellerinde, tüm üretim merkezinde üretilen ürünlerin toplam sunumunun, tüketim merkezlerinin toplam istemine eşit oldugu kabul edilir (Kotaman, 1998: 7). Durum böyle ise problem dengeli ulaştırma problemidir (Tabuk, 2006: 7) Gerçek uygulamalı problemlerde bu dengelenmiş durum olmayabilir. Yani elverişli sunum miktarı istemden az olabilir veya istemden çok olabilir. Fakat ulaştirma tekniklerinin problemlerin çözümünde uygulanabilmesi için problem dengelenmiş duruma getirilmelidir. Toplam istem ve toplam sunum eşitliği sağlamak için probleme kukla (dummy/)/sanal üretim ve tüketim merkezi eklenir.

Bu çalışmada da dengelenmiş durum varsayımı sağlanamamıştır. Sınav merkezlerinin toplam kapasitesi 18083 iken sunum merkezlerinin toplam sunum miktarı 15389'dır. Kapasite ve sunum arasında 2694 birimlik bir fark vardır. Talep sunumdan 2694 birim daha fazladır. Yani model dengelenmemiştir. Bu tür ulaştırma problemlerinde talep fazlası var denilir(Esin,2003). Modele talep fazlasını karşılayacak veya diğer bir ifadeyle talep fazlası kadar sunum sağlayacak hayali bir sunum merkezi eklenir. Modelde yarattığımız bu yapay kapasite için, ulaştırma modeli formülasyonuna yeni bir satır vektörü eklenir. Bu satır maliyet vektöründeki ulaştırma maliyetlerini belirleyecek katsayılar, var olan maliyetlerden daha büyük veya sıfır olacak biçimde seçilir(Esin,2003).

Modelimizi dengelemek için yeni oluşturulacak hayali sunum merkezinin adı "Sanal Sunum Merkezi" olacaktır. Yeni sunum merkezi vektörünün karar değişkenleri, parametreleri ve sunum merkezi kısıtı Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4: Sanal Sunum Merkezi Kısıtı

	Ankara	Erzurum	G.Antep	Isparta	İstanbul	İzmir	Kayseri	Malatya	Samsun	Tekirdağ	Sunum 240
Sanal Sunum Merkezi (Karar Değişkenleri)	X_{2400}	X_{2401}	X_{2402}	X_{2403}	X_{2404}	X_{2405}	X_{2406}	X_{2407}	X_{2408}	X_{2409}	2694
Sanal Sunum Merkezi (Parametreleri)	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	

Sanal sunum merkezleri karar değişkenlerinin Her sınav merkezi için parametresi 5000 olarak belirlenmiştir. Çünkü modelde en büyük değer olan 3451 değerinden daha fazla bir değer belirlenmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, 5000 değeri uygun bir değer olduğundan parametre olarak belirlenmiştir. Dengelenmiş modelin matematiksel ifadesi aşağıda verilmiştir:

$\text{Min } Z = \sum_{i=1} \sum_{j=0} c_{ij} x_{ij}$

$\sum_{j=0} x_{ij} = \text{Sunum}_i$

$\sum_{i=1} X_{ij} \leq \text{TALEP}_i$

$X_{ij} \geq 0,\ i=1,2,\ldots,240;\ j=0,1,\ldots,9$

Matematiksel model oluşturulup ulaştırma matrisi elde edildikten sonra modelin çözümüne geçilmiştir.

3.SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Modelin çözümü WinQSB paket programı ile yapılmıştır. 84 iterasyondan sonra bir çözüme ulaşılmıştır. Öncelikle ulaşılan çözümde bozulma durumunun olup olmadığını kontrol edilmelidir. Bilindiği gibi ulaştırma modellerinde temel değişken sayısı satır ve sütun sayılarının 1 eksiğine eşit ise ulaşılan çözüm temel çözüm yani bozuk olmayan çözümdür. Modelde temel değişken sayısı 249'dur. 240(Sunum Merkezi) + 10(Sınav Merkezi) - 1=249 denklemi sonucu temel değişken sayısına eşit olduğundan ulaştığımız çözüm temel çözümdür.

Bu kontrolden sonra yapılması gereken ulaştığımız çözümün en iyi çözüm olup olmadığının kontrolüdür. Çözümün en iyi sonuç olup olmadığını test etmek için ulaşılan çözüme MODİ testi uygulanmıştır. Başlangıç çözümünün en iyi olup olmadığını belirleyebilmek için kullanılan yöntemlerden en önemlileri Atlama Taşı Yöntemi ve Çoğaltan(MODİ) Yöntemi'dir.

MODİ yöntemi, araştırmacıyı her hücrenin değerlemesini ayrı ayrı yapmaktan kurtaran ve bu değerlemeleri simültane olarak yapmayı sağlayan bir optimalite test yoludur (Serper, 1974:37). Modi testi uygulandığında $U_i + V_j - C_{ij} \leq 0$ koşulu dağıtım yapılmayan tüm gözeler için sağlanmıştır. Dolayısıyla çözüm optimal çözümdür. Modi testinin sonuçları incelendiğinde 47 gözenin $U_i + V_j - C_{ij}$ değerlerinin "0" olduğu tespit edilmiştir. Bu durum şöyle ifade edilebilir, bazı gözelere yapılan dağıtımları bu gözelere kaydırdığımızda optimal çözüm değişmeyecektir. Diğer bir ifade ile modelin birden fazla optimal çözümü mevcuttur. Değeri 0'dan farklı olan temel olmayan değişkenlerin parametre değerlerine en az

$U_i + V_j - C_{ij}$

işleminde elde edilen değer eklendiğinde çözüme giren temel değişkenlerden biri olacaktır.

Çözüm mevcut probleme sağlayacağı katkı ve yöneticilerin ulaşmak istediği sonuçlar açısından değerlendirildiğinde uygulanabilir olduğu değerlendirilmiştir. Problem tanımlanırken ilk tercih olarak edilen merkezlerden dört tanesinde (İstanbul, Malatya, Samsun, Tekirdağ) 4103 kişilik bir kapasite aşımı olduğu tespit edilmişti. Yani bu dört sınav merkezini ilk tercihten seçenlerin sayısının toplamı, kapasiteleri toplamından 4103 birim fazladır. Ulaşılan çözüm incelendiğinde 9996 adayın ilk tercih ettiği sınav merkezine 5363 adayın ikinci tercih ettiği sınav merkezine atandığı tespit edilmiştir. Bu durumda 4103 birimlik kapasite yetersizliğinden dolayı 5363 – 4103 = 1290 aday yol masrafına katlanmak zorunda kalmıştır. Bu da sınava katılacak adayların yaklaşık %8,4'une eşittir. Yani sınav merkezi atamasında %91,6'lık bir başarı sağlanmıştır denilebilir.

Modelin çözüm değeri 15.910.950 olarak hesaplanmıştır. Modeli oluştururken adayların memnuniyetini sağlamak maksadıyla amaç fonksiyonu, tercihlerden sapmayı minimize etmek olarak belirlenmişti. Çıkan bu sonuç bize adayların tercihlerinden sapma miktarını vermektedir. Ancak bu değer içerisinde Sanal Sınav Merkezi olarak modele dâhil edilen hayali sınav merkezi değerleri de bulunmaktadır.

Sanal Sunum Merkezi değerlerini, bulunan sonuçtan çıkarıldığında asıl sapma miktarı bulunmuş olacaktır. Adayların tercihlerinden sapma miktarı 2440950 olarak hesaplanmıştır. Sınava giren 15359 aday miktarına oranlandığında ortalama aday tercih sapma miktarı yaklaşık olarak 159 km olarak hesaplanır.

Tablo 5: Sanal Sunum Merkezleri

	Gelinen Nokta	Ulaşılan	Gönderilen	Birim Maliyet	Toplam Maliyet	Azaltılmış Maliyet
248	Sanal Sunum Merkezi	Erzurum	603	5000	3015000	0
249	Sanal Sunum Merkezi	Isparta	2091	5000	10455000	0

Tablo 6'da incelendiğinde bazı ilginç sonuçlarla karşılaşılmıştır.

Tablo 6 : Sonuç Tablosundan Bir Kesit

	Gelinen Nokta	Ulaşılan	Gönderilen	Birim Maliyet	Toplam Maliyet	Azaltılmış Maliyet
63	TEKİRDAĞ-İSTANBUL-İZMİR	İSTANBUL	140	132	18480	0
65	TEKİRDAĞ-İSTANBUL-KAYSERİ	İSTANBUL	49	132	6468	0
66	TEKİRDAĞ-İSTANBUL - MALATYA	İSTANBUL	22	132	2904	0
67	TEKİRDAĞ-İSTANBUL -SAMSUN	İSTANBUL	49	132	6468	0
115	İSTANBUL-ANKARA-TEKİRDAĞ	ANKARA	382	453	173046	0
116	İSTANBUL-ANKARA -ERZURUM	ANKARA	40	453	18120	0
117	İSTANBUL-ANKARA-G.ANTEP	ANKARA	85	453	38505	0
118	İSTANBUL-ANKARA-ISPARTA	ANKARA	94	453	42582	0
119	İSTANBUL-ANKARA -İZMİR	ANKARA	895	453	405435	0

120	İSTANBUL-ANKARA -KAYSERİ	ANKARA	16	453	7248	0
123	İSTANBUL-ANKARA -SAMSUN	ANKARA	184	453	83352	0

Kapasitesinden fazla tercih edilen Tekirdağ ile İstanbul atamaları karşılaştırıldığında İstanbul'u ilk tercihi olan bazı adayların ikinci tercihlerine atanırken ilk tercihleri ilk tercihi Tekirdağ olup ikinci tercihleri İstanbul olan bazı adaylar İstanbul'a atanmıştır. Bu da VAM çözüm tekniğinin algoritması gereği katlanılacak maliyeti en aza indirmek için bu şekilde bir atama yapılmıştır. Buna benzer atamalar her sınav merkezinde mevcut olup bu sayede üçüncü tercihlere atama yapılmaması sağlanmıştır.

Problemin diğer bir ayrıntısı ise aday sayısından fazla sınav merkezi kapasitesi olmasıdır. Bazı sınav merkezlerinde kapasite fazlası olması beklenmekte idi. Çözüm sonucunda Erzurum'daki sınav merkezinde 603 kişilik, Isparta'daki sınav merkezinde ise 2091 kişilik kapasite kullanılmayacaktır. İki sınav merkezinde de yapılacak sınav planlaması ve hazırlıklarında belirlenen sayılar kadar harcanacak maliyetten tasarruf edilecektir.

Yapılan değerlendirmeler ışığında bir kurumun yapacağı sınav için planlama safhasında karşılaşılan problemlere ilişkin uygulanan yöntem problem sahalarına tamamıyla çözüm bulmuştur. Asıl amaç olan adaylarının memnuniyeti sağlamak konusunda %91,6'lık bir başarı sağlandığı görülmüştür. Bu tür problemlerde, problemlerin ulaştırma modeli ile modellenerek VAM tekniği algoritması ile çözümlendiğinde, istenilen en uygun sonuca ulaşılacağı değerlendirilmektedir.

Kaynakça

Esin, Alptekin (2003), Yöneylem Araştırmasında Yararlanılan Karar Yöntemleri, Gazi Üniversitesi.

Hallaç, O. (1983), Kantitatif Karar Verme Teknikleri (Yöneylem Araştırması), Alfa Basım Yayın Dağıtım, İstanbul.

Hillier, F.S. ve Lieberman, G.J. (1990), İntroduction to Operations Research, Mc Graw-Hill, New York.

Kabak, M. (2000), Kara Kuvvetleri Akaryakıt İkmal Sistemlerinde Ulaştırma Modelleri Yardımıyla Maliyet Optimizasyonu, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

KOTAMAN, S. (1998), Silahlı Kuvvetlerde İkmal Sistemlerinin Ulaştırma Modelleri Yardımıyla Maliyet Olarak Minimizasyonu, Basilmamiş Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Istanbul.

Öztürk, Zekai (1995), İşletmelerde Personel Seçim Yöntemleri ve Psikoteknik, , Ankara

Serper, Ö. (1974), Doğrusal Ulaştırma Programlaması (İdeal Çözüm ve Uygulama), Bursa.İTİA Yayınları, No: 8.

TABUK, M. (2006), Taşıma Problemlerine Çözüm Önerileri, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Taha, Hamdi A. (2000), Operations Research: An Introduction, 5.Baskı, Prentice-Hall, ABD,

Tekin, M.(1991) Kantitatif Karar Verme Teknikleri.

Yang L. Ve Liu, L. (2007), "Fuzzy Fixed Charge Solid Transportation Problem and Algorithm" Applied Soft Computing, 7, s.879-889.

Yeşilyurt, Cavit (1996), Nonlineer Matematik Programlama Modellerinden Kuadratik Programlama ve Sivas Ulaş Süt Fabrikasında Bir Uygulama, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.

Winston, W.L. (1994), Operations Research: Applications and Algorithms, Duxbury Press, California.

www.kho.edu.tr/yayınlar/bilimdergisi/doc/2001-2/8-bilder.doc

DONDURULMUŞ GIDA SEKTÖRÜNDE FAALİYET GÖSTEREN BİR FİRMANIN TEDARİK ZİNCİRİ DAĞITIM AĞI STRATEJİLERİNİN SİMÜLASYON İLE ANALİZİ

Aliye Ayça Supçiller [a], Mehmet Ulaş Koyuncuoğlu
[a] Pamukkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, asupciller@pau.edu.tr

Özet
Ürün imalatçıdan son tüketiciye ulaşıncaya kadar fabrikadan, perakendeciden ve dağıtıcıdan belirli aşamalarla ilerler. Bu aşamalarda bir ulaştırma ve yönetim planlaması söz konusudur. Çünkü müşterinin arz ettiği ürünü ulaştırmak, ürünün hammadde aşamasından nihai ürün aşamasına kadar olan bütünsel süreci planlamaktan geçer. Dolayısıyla kullanılacak dağıtım ağının, ürün ve üretim sürecinin özelliğine göre tasarlanması gerekir. Son zamanlarda ülkemizde de tüketimi artan dondurulmuş gıda pazarındaki ürünlerin, fiziksel özelliklerinden dolayı kısa sürede üreticiden son kullanıcıya tedarik edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda yapılan çalışmanın amacı, dondurulmuş gıda sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın aylık talep tahmini verilerini kullanılarak uygun dağıtım ağı stratejilerinin geliştirilen simülasyon modelleri yardımıyla analiz etmektir. Çalışmada, genel merkezi İstanbul'da bulunan ve 3 tip dondurulmuş gıda dağıtan bir firmanın 2010 yılında gerçekleştirdiği satış miktarları baz alınarak 2011 yılı için aylık olarak talep tahmini yapılmıştır. Firmanın kullanabileceği 3 farklı dağıtım ağı stratejisine ve farklı filo büyüklüklerine göre simülasyon modelleri ARENA 10.0'da geliştirilmiştir. Optimum tedarik zinciri dağıtım ağı ve filo büyüklüğünü belirlemek amacıyla performans kriterleri, SPSS 16.0'da istatistiki olarak analiz edilmiştir. Sonuç olarak tedarik zinciri dağıtım ağı analiz edilen firma için optimum ağ tasarım yöntemine karar verilmiş ve öneriler sunulmuştur.
Anahtar Kelimeler: Tedarik Zinciri Yönetimi, Simülasyon, Dağıtım Ağı, Dondurulmuş Gıda, Optimizasyon

1.GİRİŞ

Ekonomik ve teknolojik alandaki gelişmeler bireylerin beslenme ve tüketim alışkanlıklarını zamanla değiştirmektedir. Günümüzde kolay ve değişik şekillerde hazırlanabilen, mevsim dışı olmasına karşın doğal özelliklerini tazesine en yakın şekilde koruyan dondurulmuş gıdaların beslenmedeki tüketim oranı giderek artmaktadır. Dondurulmuş gıdaların tedarik aşamaları genel anlamda dondurma işlemine tabi tutulacak ürünlerin üreticiden veya tedarikçilerden temin edilmesi, dondurulması ve tasarlanan dağıtım ağları ile müşteriye ulaştırılması sürecini kapsamaktadır. Dondurulmuş gıdaların fiziksel özellikleri dolayısıyla tazeliğini koruması gerekliliği, müşterilerin kolayca ulaşabileceği bir yerde ve zamanında olabilmesi, üretici firmanın tedarik zincirini iyi planlanmış olmasını zorunlu kılar. Tedarikçilerden hammaddelerin sağlanması sırasında kaynak türü (taşıma araçları), miktarı, taşıma kapasitesi, ortalama teslimat süresi ve taşıma yönü (ya da dağıtım yönü stratejisi) doğru seçilmelidir. Planlanan sürede hammaddenin tedarik edilmesi, dönemlik talep artışı veya azalışı baz alınarak doğru zamanda işletmenin bu ürünleri doğru miktarda dondurması ve müşteriye doğru kaynakla ulaştırması tedarik zincirinin esnekliği açısından çok önemlidir.

Günümüzde tedarik dağıtım ağı tasarımı, tedarikçi seçimi, ürün/kalite süreci geliştirme konularında yapılan geniş kapsamlı çalışmalar, bu konuya verilen önemi açıkça göstermektedir. Tedarik zinciri dağıtım ağlarını sundukları ürünlerin özelliklerine göre iyi tasarlamış işletmeler ürün kalitesini, üretim kalitesini ve teslimat kalitesini artırmış olur. Tedarik zinciri dağıtım ağı iyi planlanmamış bir işletme ise müşteri tatminini sağlayamayacağı için müşteri portföyünü zamanla kaybedecektir. Bu da hiç şüphesiz gösteriyor ki; işletmeler hangi alanda faaliyet gösteriyor olursa olsun rekabet edebilirliği, artık ürettikleri ürünlerde değil kullandıkları tedarik zincirindedir.

Bu çalışmanın ilk bölümünde tedarik zinciri dağıtım ağı tasarımı önemine dikkat çekilmiştir. Tasarlanacak dağıtım ağı için kabaca performans kriterlerinin önemine değinilmiştir. İkinci bölümde ise tedarik zinciri yönetimi konusunda bilgi verilmiş ve literatürde daha önce yapılan çalışmalar ve kullanılan yöntemler zamana göre sıralanmıştır. Üçüncü yani uygulama bölümünde ise genel merkezi (dağıtım deposu) İstanbul'da bulunan ve 3 tip (meyve, sebze ve hazır gıda olarak sınıflandırılmıştır) dondurulmuş gıda üreten/dağıtan bir firmanın 2010 yılında gerçekleştirdiği satış miktarları baz alınarak 2011 yılı için aylık olarak talep tahmini bilgileri verilmiştir. Daha sonra işletmenin kullanabileceği 3 farklı dağıtım ağı stratejisine ve farklı filo büyüklüklerine (5, 7, 10 taşıyıcı araç sayılarıyla) göre simülasyon modelleri ARENA 10.0'da geliştirilmiştir. Geliştirilen simülasyon modellerinden optimum tedarik zinciri dağıtım ağı ve filo büyüklüğüne sahip olan senaryoyu belirlemek için parametreler ve performans kriterleri SPSS 16.0'da istatistiki olarak analiz edilmiştir. Sonuç bölümünde ise tedarik zinciri dağıtım ağı analiz edilen firma için optimum ağ tasarım yöntemine karar verilmiş ve öneriler sunulmuştur.

2. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

2.1. Tedarik Zinciri Yönetimi Kavramı ve Önemi

Ürünlerin hammadde olarak temin edilmesinden müşteriye sunulmasına kadar olan süreçte tüm malzeme ve bilgi akışının planlanması, uygulanması ve kontrolünü içeren Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY); 1990'lardan beri araştırmacıların ve uygulayıcıların çok fazla ilgisini çekmektedir. Bunun en büyük nedenlerinden bir tanesi TZY' nin sunduğu bütünleşik yönetim sisteminin tüm zincirdeki ortakların ihtiyaçlarını karşılamada ve memnuniyetlerini arttırmada etkin bir yaklaşım sunmasıdır. Ayrıca geniş olan kapsamından dolayı, TZY' nin amaçlarına ulaşmak için tek bir dönemlik veya tek bir projelik çalışmalar yeterli olmamaktadır. Bu da çeşitli kaynaklar tarafından TZY' nin çok fazla ilgi görmesine neden olarak görülmektedir.

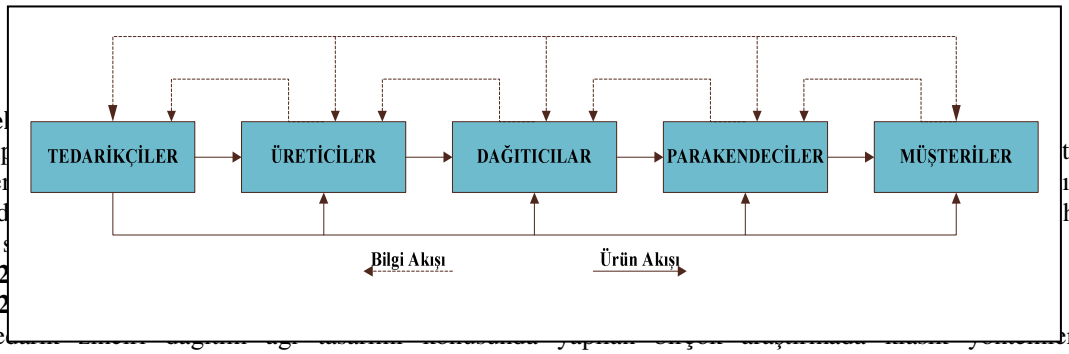
Tedarik zinciri, ilk tedarikçiden son kullanıcıya kadar olan planlama, malzemelerin, parçaların ve ürünlerin koordinasyonu ve kontrolü ile ilgilenen birleştirilmiş faaliyetler dizisidir. Organizasyondaki iki farklı akış olan malzeme ve bilgi ile ilgilenir (Stevens, 1989).

Tedarik zincirinde konusundaki araştırmalar üç farklı sistem fonksiyonu koordinasyonunu incelemiştir (Bhatnagar ve diğerleri, 1993). Bu araştırma ise üç kategoride sınıflandırılmıştır: alıcı-satıcı koordinasyonu, üretim dağıtım koordinasyonu ve stok dağıtım koordinasyonudur (Thomas and Griffin, 1995). Bir tedarik zinciri süreci çok sayıda kurumsal kaynağın bütünleştirmesine sağlar. (tedarikçiler, üreticiler, dağıtıcılar ve perakendeciler): hammadde sağlanması, belirtilen hammaddelerin nihai ürüne dönüştürülmesi, nihai ürünlerin perakendeciler aracılığıyla teslimatı bu bütünleştirilen sürecinin koordinasyonudur (Beamon, 1998).

Min ve Zhou (2002) TZ'yi farklı fonksiyonları gerçekleştirmek için birbirleriyle ilişkili iş süreçlerini eşgüdümlü olarak yürüten bütünleşik bir sistem olarak tanımlamıştır. Tanımda bahsedilen fonksiyonlar şunlardır: (1) hammadde ve parçaların elde edilmesi, (2) bu hammadde ve parçaların bitmiş ürüne dönüştürülmesi, (3) bu ürünlere katma değer katılması, (4) bu ürünlerin perakendecilere veya müşterilere dağıtılması ve iletilmesi, (5) çeşitli iş birimleri arasındaki bilgi değişiminin sağlanması. TZ'nin temel amacı firmanın kendisinin ve TZ ortaklarının operasyonel etkinliğini, üretkenliği ve rekabet üstünlüğünü temin etmektir.

TZY işletmelere, hem maliyet hem de hizmet düzeyi bakımından rekabet avantajı sağlamaları için bütünleşik ve sistematik bir yaklaşım sunmaktadır (Kabak, 2008).

Ürün akışı ve bilgi akışı tedarik zinciri sürecinde ters yönlüdür. Ürünün üretilme safhasından tüketiciye ulaşma safhasına doğru ürün akışı vardır. Tüketiciden geriye doğru, yani dağıtım ve üretim süreçlerine doğru bilgi akışı sağlanarak tedarik zincirinin entegrasyonu sağlanır. Şekil 2.1'de bir ürünün hammadde aşamasından tüketim aşamasına kadar olan tedarik zinciri süreci gösterilmiştir.



Şe

Tip tıcılar veya
per ığında TZ;
ted hammadde,
iç

2.2

2.2

Te r üzerinde odaklanılmıştır (Clark ve Scarf, 1960). Cohen ve Moon (1990), Cohen ve Lee (1989) PILOT adı verilen bir program ile kısıtlı optimizasyon simülasyon modeli geliştirerek tedarik zinciri maliyeti gibi çeşitli performans parametrelerini analiz etmiştir. PILOT modeli özellikle çeşitli üretim, taşıma ve birden çok çıktı miktarı olması durumunda kullanılmaktadır.

Williams (1983) tedarik zinciri dağıtım ağının bir dinamik programlama algoritması ile simülasyonunu geliştirmiştir. Yapılan çalışmada tedarik zincirindeki tüm maliyetleri performans kriteri olarak kullanmış ve optimum bir model sunmuştur. Geçmişte, tedarik zinciri aşamaları için analitik modeller tasarlanmıştır (Cohen ve Lee, 1988; Pyke ve Cohen, 1993, 1994). Yiyecek tedarik zinciri dağıtım ağlarını ARENA simülasyon modeli yazılımı ile yapmıştır (Cohen ve Lee, 1989). ARENA simülasyon modelleri ara yüzlerinde işletmelerdeki ürünün fiziksel akışına odaklanmaktadır. Ürünlerin konteyner ile taşınması aşamasında sipariş miktarı gelişleri ve ürünlerin bekleme süreleri Poisson dağılımına uygun olarak gerçekleşmiştir.

Newhart ve diğerleri (1993), tedarik zincirini iki aşamalı yaklaşım kullanarak tasarlamıştır. Birinci aşamada sezgisel ve matematiksel modelin kombinasyonu sağlanarak farklı ürün tipleri için tedarik zinciri boyunca minimum stok miktarı hedeflenmiştir. İkinci aşamada ise tablo tabanlı stok modeliyle minimum güvenlik stoğu miktarı ve teslimat süresine ulaşılmıştır. Tedarik zincirinde önemli performans kriterleri olarak; toplam taşıma maliyeti, teslimat süresi, taşıma mesafesi, taşıyıcı araç kullanım oranı ve teslim edilen ürün sayısı Chow (1994) tarafından tanımlanmıştır.

Zincirin performansı açısından tedarik zincirinin dinamik yönlerini birleştirememek zincirin performansı açısından büyük bir dezavantajdır. Ayrıca sistemin karmaşıklıklarını ve belirsizliklerini modellemek için toplam lojistik zincirinin performansını simülasyon ile analiz etmiştir (Slats ve diğerleri, 1995). Simpson ve Vakharia (1999), tedarik zinciri yönetiminde üretim-dağıtım planlamasını için matematiksel programlama ve simülasyon modeli kombinasyonunu önermiştir. Kurulan analitik modelde dağıtım kapasitesi ve minimum stok miktarı üzerine odaklanılarak üretim-dağıtım ağı tasarlanmıştır.

İşletmeler ancak ve ancak fiyat, farklılaştırma, zaman, esneklik, kalite ve hizmet konularında öncülük sağlayarak rekabet avantajı sağlarlar. Ürünlerin özelliklerinde farklılaştırmaya gitmek, müşteriye zamanında teslimat yapmak, Pazar koşullarına karşı çevik ve esnek olmak, yüksek kaliteli üretmek ve düşük fiyata satmak rekabette öncelikler arasındadır (Erdal, 2007).

Her sistemde olduğu gibi tedarik zinciri sisteminde de planlama ve/veya uygulama süreçlerinde belirsizlikler oluşabilmektedir. Tedarik zincirindeki belirsizlikler sistemin kendi içerisinden ve/veya sistemin çevresinden kaynaklanıyor olabilir. Nereden kaynaklanırsa kaynaklansın belirsizliklerin kesin olarak varsayılarak tanımlaması ve modellemesi kurulan modellerin gerçekçi olmayan sonuçlar üretmesine neden olur. Tedarik zinciri yönetimi içerisinde yer alan konuların en önemlilerinden birisi tedarik zinciri (TZ)'nin stratejik olarak planlaması ve bunu gerçekleştirmek için gerekli modellerin geliştirilmesidir. TZ modellemesinde stratejik analiz yaklaşımları temel olarak; konum-atama kararları, talep planlama, dağıtım kanalı planlama, stratejik anlaşmalar, yeni ürün geliştirme, dış kaynak kullanımı, tedarikçi seçimi, bilgi teknolojileri seçimi, fiyatlandırma ve ağ yapılandırma problemleri ile ilgilenir. (Kabak, 2008).

Ağ tasarım problemlerinin dinamik ve belirsizliklerini göz önüne alarak Benzetim, genetik algoritma ve optimizasyon tekniklerini bir arada kullanılarak melez bir yöntem geliştirilmiştir (Koo, Adhitya, Srinivasan & Karimi, 2008).

Albino ve diğerleri (2007), yaptıkları çalışmada öncelikle tedarik zinciri için endüstriyel bölgeler tanımlamışlardır. Daha sonra üretim sürecine uygun tedarik zinciri ağı tasarlamıştır. Tasarlanan bu ağ endüstriyel bölgelere entegre edilerek ağın her aşaması kombinasyonlu olarak depolama yerleri farklılaştırılmıştır. Farklı depolama yerlerine sahip ağ yapıları simülasyon modelleriyle analiz edilmiştir.

Aliev ve diğerleri (2007), çalışmalarında bulanık-genetik algoritma yaklaşımı kullanarak tedarik zinciri yönetiminde bütünleşik bir üretim-dağıtım planlama sistemi kurmuşlardır.

2.2.2. Tedarik Zinciri Dağıtım Ağı Tasarım Yöntemleri

Dağıtım, tedarik zinciri içinde, ürünün tedarikçi aşamasından müşteri aşamasına taşınması ve depolanması adımlarında gerçekleştirilmektedir. Hammaddeler ve bileşenler, tedarikçilerden bitmiş ürünlerin müşterilere gönderildiği üreticilere taşınmaktadır. Dağıtım, hem tedarik zinciri maliyetini hem de müşteri deneyimlerini birlikte direkt olarak etkilediğinden, firmanın da tüm karlılığının kilit faaliyeti olmaktadır.

Dünyanın karlı firmaları, bu başarılarını operasyonunun tüm süreçlerini anlayarak tasarladıkları dağıtım ağları ile gerçekleştirmişlerdir. Aynı sektördeki firmalar genellikle çok farklı dağıtım ağları seçmektedirler. Uygun dağıtım ağı, düşük maliyetten yüksek cevap verebilme yeteneğine kadar değişik tedarik zinciri amaçlarının sağlanması için kullanılmaktadır.

Sürekli geliştirilen, müşteri ihtiyaçlarına göre tasarlanan dağıtım ağı, müşteri memnuniyetini sağlayacağından tedarik zincirin en önemli konularından biridir.

Tedarik zincirinde dağıtım ağı tasarlanırken, dağıtım merkezlerinin firmaya kattığı değerler ve hangi aşamada başka bir dağıtım merkezi eklenmesi gerektiği belirlenmelidir.

Tedarik zincirinin herhangi iki farklı aşaması arasındaki dağıtımın gerçekleşmesine yönelik uygulanan bir takım seçenekler bulunmaktadır. Dağıtım ağı tasarlanırken iki önemli karar üzerinde önemle durulmaktadır:

1. Ürün müşteriye mi teslim edilecek yoksa müşteri ürünü bir yerden mi alacak?
2. Ürün akışı bir aracıdan (ya da ara yerleşkeden) geçerek mi sağlanacak?

Firmanın bulunduğu sektör ve bu iki sorunun cevabı temel alınarak, ürünlerin tesislerden müşterilere taşınmasında, 6 farklı dağıtım ağı tasarımı kullanılmaktadır. Bu 6 farklı dağıtım ağı tasarımı aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır: (Chopra & Mendil, 2010: 91)

1. Üretici Depolaması ile Doğrudan Dağıtım
2. Üretici Depolaması ile Dağıtım Sırasında Birleştirme
3. Dağıtıcı Depolaması ile Paket Taşıyıcı Dağıtımı
4. Dağıtıcı Depolaması ile Son Müşteri Teslimatı
5. Üretici/Dağıtıcı Depolaması ile Müşterinin Gelip Alması
6. Perakendeci Depolaması ile Müşterinin Gelip Alması

2.3. Dondurulmuş Gıda Sektörü ve Gelişimi

Yaşam tarzının farklılaşmasıyla birlikte tüketim tercihleri ve davranışları da değişmeye başlamıştır. Özellikle gıda tüketim ve talebinde bu tür farklılaşmalara oldukça sık rastlanmaya başlanmıştır. Sağlıklı ürün tüketimi konusunda bilinçlenen tüketici ekolojik ve güvenilir ürünlere yönelmektedir. Gıda ürünlerinin birçoğu yılın her döneminde bulunabildiğinden tüketimi daha kolay olmaktadır. Ancak gıda tüketimi tarzında en önemli değişiklik

aile bireylerinin ve özellikle de ev hanımlarının ekonomik hayata atılmalarıyla meydana gelmiştir. Ev kadınlarının çalışmaya başlamasıyla ev dışı gıda tüketiminde (fast food, hazır gıda, lokanta) ve evde hazır gıda tüketiminde artışlar başlamıştır. Evde hazır gıda tüketimi veya ev dışı gıda tüketiminin sağladığı en önemli fayda zamandan tasarruftur (Keskin, 2002). Gıda sektöründe üç tip tedarikçi ürünü vardır: biri taze ve donmuş ürünler, biri kuru bakkaliyelik ürünler bir diğeri ise dondurulmuş üründür (Jansen ve diğerleri, 2003).

Önceleri sebzeler, et ve et ürünleri ile hamur işlerinde tüketim ihtiyacını gidermek için kullanılmaya başlanan dondurulmuş gıdaların ürün yelpazesi, günümüzde çok fazla gıda türünü kapsamaktadır.

Dondurulmuş gıdalar dünyada ilk kez ABD 'de 1930' lu yıllarda, Avrupa'da ise ilk kez İngiltere 'de 1948 yılında perakende olarak piyasaya sürülmüştür. Türkiye 'de 25 yıl önce başlayan dondurulmuş gıda üretimi ise günümüzde hızlı bir artış göstermekte olup, mevcut sanayi tesislerinin önemli bir bölümü teknolojik bakımdan batı ülkelerinin standardına sahiptir. Tesislerde ürünler soğuk hava ile hızlı dondurma " sharp freezing" metodu yada bireysel hızlı dondurma (IQF) metodu ile dondurulmaktadır.

Dondurulmuş gıda sektörü üretim, ihracat ve istihdam arttırıcı etkisi nedeniyle Türkiye ekonomisine son dönemlerde önemli katkılar sağlamaktadır. Türkiye'deki dondurulmuş gıda tüketim potansiyelinin oldukça yüksek olması, uluslar arası firmalarında iştahını kabartmaktadır. Çünkü Türkiye'de dondurulmuş gıda tüketimi 0.5 kg'dan 1 kg'a doğru yaklaşmaktadır. Ancak, diğer ülkelerle kıyaslandığında oldukça düşük düzeyde olduğu görülmektedir. ABD'de kişi başına yıllık dondurulmuş gıda tüketimi 50 kg, AB ülkelerinden Danimarka'da 45 kg, İsveç'te 45 kg, Norveç'te 43 kg, Almanya'da 31 kg, Birleşik Krallıkta 45 kg, İspanya'da 29 kg'dır. Türkiye'de dondurulmuş gıda tüketiminin de bu düzeylere yaklaşma ihtimali oldukça yüksek olduğundan, sektörde faaliyet gösteren firmalar arasında yoğun bir rekabetin yaşanması kaçınılmazdır. Tüketiciler sahip oldukları ekonomik, sosyal ve kültürel özellikleri nedeniyle satın alma sürecinde farklı davranışlar ve farklı tercihler ortaya koymaktadır. Dondurulmuş gıda sektöründe faaliyet gösteren üretim ve pazarlama firmaları açısından, tüketicilerin sahip olduğu bu özelliklerin bilinmesi yol gösterici olması bakımından önem arz etmektedir.

3. UYGULAMA

3.1. Üretim Süreci ve Ürün Taşıma Operasyonları

Yapılan çalışmada genel üretim, depolama ve dağıtım merkezi İstanbul'da bulunan bir dondurulmuş gıda firması incelenmiştir. Bu firmada 3 tip ürün üretilmekte ve dondurma işlemine tabi tutulmaktadır. Bunlar; dondurulmuş meyve, sebze ve hazır gıdadır (et ve et ürünleri, balık, pizza, mantı, milföy vb. ürünler). Firmanın kalite politikası, üretilen ve dondurma işlemine tabi tutulan ürünlerin optimum dağıtım ağı yöntemiyle kısa sürede müşteriye ulaştırmaktır. Genel merkezde 3 farklı ürün tipi için önceden planlanmış ve tasarlanmış 3 depo bulunmaktadır. Bu depolar 3 ürün için de firmanın üretim kapasitesine göre planlanmıştır. İşletme mevcut durumda genel merkezden bölgelere, buradan da illere dağıtım yaparak anlaşmalı olduğu marketler aracılığıyla ürünlerini müşteri kitlesine ulaştırmaktadır. Bu taşıma sürecinde ortak özelliklere sahip (boyut, m^3 kapasite, ton kapasite) 10 adet taşıyıcı araç(40' TEU Reefer konteynır) kullanılmaktadır. Bu araçlar dondurulmuş gıdanın ısısını koruyucu özelliklerinden dolayı seçilmiştir. Bu araçların şehirlerarası yollarda hızları sabit olarak 90 km/saat olduğu varsayılmıştır.

Dondurulmuş ürünler 10 kg'lık esnek kasalara paketlenmektedir. Fakat paketlenmiş ürünler hacimsel özelliklerinden dolayı aynı tip taşıyıcı araçlara farklı sayıda paketlerle yüklenebilmektedir. Aşağıdaki tablolarda meyve, sebze ve hazır gıdanın paketlendiği kasaların ve taşıyıcı araçların boyutsal özellikleri, kapasiteleri ve tonajları yer almaktadır. Konteynırlar aşağıda tabloda belirtilen kasa ağırlığını taşıyabilecek kapasitededir.

Tablo 3.1: Ürünlerin Kasa Kapasitesi ve Araç (Konteynır) Taşıma Kapasitesi

Ürünler	Araç Kapasitesi (araç/kasa)	Araç Kapasitesi (ton)
Meyve	452	4,52
Sebze	308	3,08
Hazır Gıda	1424	14,24

Araçlar genel merkezden doldurulduktan sonra bölgelerin talep oranlarına göre depolara ürünleri taşımaktadır. Bölgelerden hazır bulunan taşıyıcı araçlar hazırlanarak illerin talepleri doğrultusunda ürünler sevk edilmektedir. İllerdeki soğutma depolarında belli süre bekleyen ürünler anlaşmalı olunan marketlerin kamyonlarıyla paketler halinde taşınmaktadır. Bu süreçte mümkün olunan en kısa sürede ürünler müşteri raflarında hazır edilmektedir. Genel merkezden bölgelerin merkezlerine, bölgelerden şehirlere olan mesafeler hesaplanmış ve simülasyon modelinin mesafe matrislerine (distance matrix) eklenmiştir.

3.2. Ürünlerin Bölgelere ve İllere Göre Talep Oranları

Çalışmanın birinci aşamasında, 3 ürün için ayrı ayrı 2010 yılı aylık gerçekleşen satış verilerinden 2011 yılı için aylık olarak talep tahminleri yapılmıştır. Her bir ürün için yapılan 2011 yılı aylık talep verileri geliştirilecek olan simülasyon modellerinin girdisi olarak kullanılacaktır.

İşletme 7 bölgeye ve toplamda 24 İl'e ürün sevk etmektedir. Bölgelerin 3 ürün tipi için de talep oranlarının aynı olduğu varsayılmıştır. Buna göre aşağıdaki tabloda bölgelerin ve İllerin dondurulmuş gıdalara talep oranları verilmiştir.

Tablo 3.2: Dondurulmuş Gıdaların Bölgelere Göre Talep Oranları

Bölgeler	Talep Oranları (%100)
Marmara	54,06
İç Anadolu	14,72
Ege	14,05
Akdeniz	6,21
Güney Marmara	5,5
Güney Doğu Anadolu	4,06
Karadeniz	1,4

Tablo 3.3: Dondurulmuş Gıdaların Bölgelerden İllere Talep Oranları

Marmara	Talep Oranları (%100)
İstanbul	50
Kocaeli	15
Zonguldak	10
Edirne	25
İç Anadolu	Talep Oranları (%100)
İstanbul	60
Kocaeli	25
Zonguldak	15
Ege	Talep Oranları (%100)
İzmir	80
Muğla	20
Akdeniz	Talep Oranları (%100)
Antalya	40
Denizli	20
Afyon	15
Isparta	10
Denizli	15
Güney Marmara	Talep Oranları (%100)
Bursa	60
Eskişehir	15
Çanakkale	25
Güney Doğu Anadolu	Talep Oranları (%100)
Adana	40
Gaziantep	30
Elazığ	15
Mardin	15
Karadeniz	Talep Oranları (%100)
Samsun	45
Ordu	25
Trabzon	30

3.3. Modelde Kullanılacak Süreler ve Dağılımları

Modelde kullanılan süreler ve bu sürelere ait dağılımlar Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4: Ürünlerin Gelişler Arası, Paketleme ve Boşaltma Süreleri

Ürünler/İşler	Gelişler arası süresi(dak.)	Paketleme süresi(dak.)	Boşaltma süresi(dak)
Meyve	*TRIA(0.94, 0.47,0.31)	**Constant(0.469)	Constant(21)
Sebze	TRIA(1.33, 0.66,0.44)	Constant(0.666)	Constant(20)
Hazır Gıda	TRIA(0.30, 0.15 ,0.10)	Constant(1.4853)	Constant(63)

*Üçgensel dağılım; **Sabit dağılım

Bölgelerden illere sevkiyat sırasında taşıyıcı araçların hazırlık süreleri aşağıdaki gibidir (dakika);

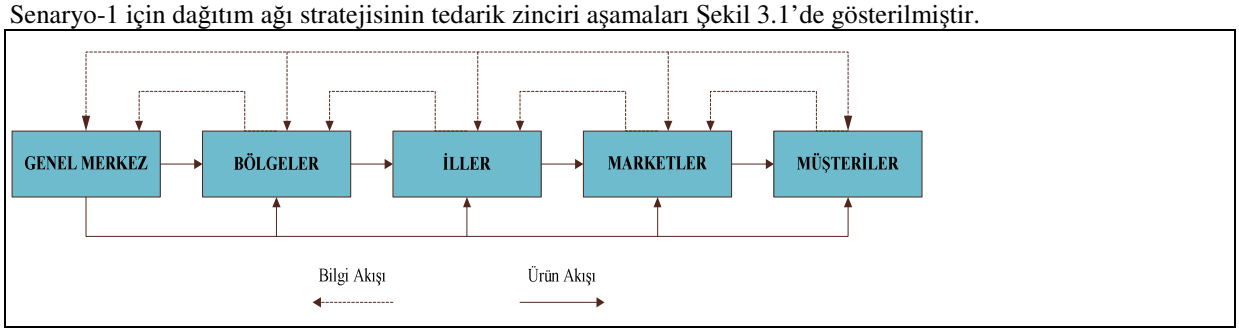
- Marmara Dağıtım Hazırlık: TRIA(1, 2, 2.5)

- Güney Marmara Dağıtım Hazırlık: TRIA(15, 20, 25)
- Akdeniz Dağıtım Hazırlık: TRIA(12, 16, 20)
- Karadeniz Dağıtım Hazırlık: TRIA(15, 50, 65)
- Ege Dağıtım Hazırlık: TRIA(5, 7, 10)
- İç Anadolu Dağıtım Hazırlık: TRIA(4, 6, 8)
- Güney Doğu Anadolu Dağıtım Hazırlık: TRIA(15, 25, 30)

İşletmenin kullanabileceği alternatif üç dağıtım ağı stratejisi sırayla aşağıdaki gibi verilmiştir.

1. Genel Merkezden-Bölgelere-İllere-Marketlere Dağıtım Stratejisi (Senaryo-1)

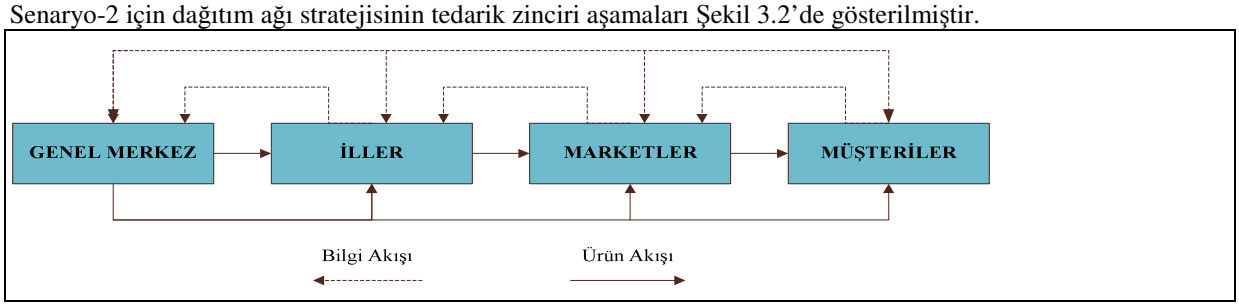
Senaryo-1 için dağıtım ağı stratejisinin tedarik zinciri aşamaları Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Senaryo-1

2. Genel Merkezden - İllere - Marketlere Dağıtım Stratejisi (Senaryo-2)

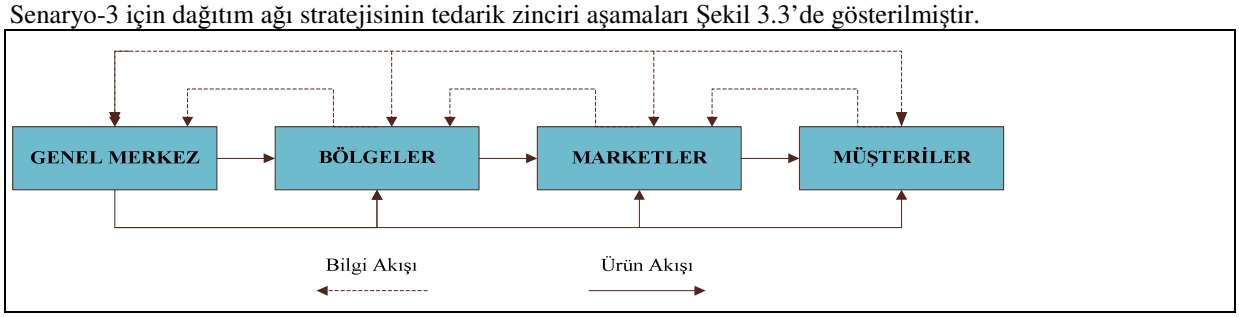
Senaryo-2 için dağıtım ağı stratejisinin tedarik zinciri aşamaları Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Senaryo-2

3. Genel Merkezden - Bölgelere - Marketlere Dağıtım Stratejisi (Senaryo-3)

Senaryo-3 için dağıtım ağı stratejisinin tedarik zinciri aşamaları Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Senaryo-3

Geliştirilen simülasyon modellerinde kullanılan performans kriterleri şunlardır:

- Ürünleri çıktı miktarları (müşterilerin karşılanan ürün talepleri)
- Ürün teslimat süresi (ortalama ulaştırma süresi)
- Araç kullanım oranları (40' TEU Reefer konteynırların kullanım oranları)

3.4. Geliştirilen Simülasyon Modellerinin SPSS ANOVA Analizi

İncelenen işletmenin tedarik zinciri dağıtım ağı stratejilerinin analizi için simülasyon modelleri geliştirilmiştir. Bu model Arena 10.0 yazılımında hazırlanmıştır. Arena yazılımı; Rockwell Software firması tarafından geliştirilmiş, Windows ara yüzüne sahip, yönetimsel kararlarda kullanılan güçlü bir simülasyon yazılımıdır. Siman simülasyon dilini kullanan Arena, kullanıcının modeli ekrana çizmesine imkan vererek model içerisindeki modüllere doğrudan bilgi girişi yapmasını sağlar. Her Siman modülü modellenen gerçek sürecin bir faaliyetini temsil etmektedir.

Simülasyon sistem çıktıları sezgisel olarak düşünüldüğünde 3 ürün tipi tek bir ürün gibi düşünülebilir. Bunun nedeni tek tür araçla taşınması ve sürekli aynı parti miktarıyla müşterilere ulaşmasıdır. Böyle düşünüldüğünde tek ürün olarak en büyük talep oranına sahip olan hazır gıda seçilmiştir. İşlemler hazır gıda üzerinden yapılmış

olup analizler bu yönde şekillenmiştir. Geliştirilen simülasyon modelleri günde 24 saat, 365 gün, 24 saatlik ısınma süresi(warm-up period) ve 10 tekrarlı(10 replications) olarak çalıştırılmıştır. Geliştirilen simülasyon modellerinin 5, 7, 10 araçlık filo büyüklükleri ve kurulan senaryoları (dağıtım ağı stratejileri) 3 şekilde sıralanmıştır.

Elde edilen verilere SPSS' de ANOVA test uygulanırken öncelikle 10 tekrarın ortalaması alınarak, dağıtım ağı stratejisi senaryoları ve araç sayıları arasında anlamlı bir farkın olup olmadığı test edilmiştir. Verilere normal dağılım testi uygulanmış ve çıktı miktarlarının, araç kullanım oranlarının, teslimat sürelerinin normal dağılıma uygun olarak dağıldığı saptanmıştır. Homojenlik testi olarak "Duncan Test" kullanılmış ve hipotezler bu test üzerinden karşılaştırılmıştır. $\alpha = 0,05$ anlamlılık düzeyinde (% 95 güven seviyesinde) yapılan homojenlik testi senaryolar ve araç sayılarının aralarında anlamlı bir farkın olup olmadığını(anlamlılığı) net olarak ortaya koymaktadır.

Tablo 3.5: Ürün (Hazır Gıda) Çıktı Miktarı İçin ANOVA Sonucu

Çıktı Miktarı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Anlamlılık(p)
Araç Sayısı	$2,263x10^{10}$	2	$1,131x10^{10}$	44,449	0,002
Dağıtım Ağı Stratejisi	$2,212x10^{8}$	2	$1,106x10^{8}$	0,435	0,675
Hata	$1,018x10^{9}$	4	$2,545x10^{8}$		
Toplam	$1,095x10^{14}$	9			

Şekil 3.4: Çıktı Miktarı

SPSS Analizi sonucunda dağıtım ağı stratejisi senaryoları arasında anlamlı bir fark olmadığı gözlemlenmiştir ($p>\alpha$). Yani senaryoların değişmesinin çıktı miktarı üzerinde anlamlı bir etkisi olmamaktadır. Bu nedenle genel olarak çıktı miktarının araç sayısına göre optimum olduğu Senaryo-2 seçilmelidir. Araç sayıları arasında anlamlı bir fark olduğu gözlemlenmiştir ($\alpha>p$). Yani araç sayısının değişmesi çıktı miktarını da anlamlı bir şekilde değiştirmiştir. 7 araçlık filo büyüklüğünün müşteri talebini karşılamaktadır ve 10 araçlık filo büyüklüğünde kullanım oranları çok düşüktür. Bu nedenle optimum araç sayısı 7 filo büyüklüğü seçilmelidir.

Tablo 3.6: Ortalama Teslimat Süresi İçin ANOVA Sonucu

Ortalama Teslimat Süresi	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Anlamlılık(p)
Araç Sayısı	48,347	2	24,173	40,421	0,002
Dağıtım Ağı Stratejisi	2,097	2	1,049	1,754	0,284
Hata	2,392	4	0,598		
Toplam	918,796	9			

Şekil 3.5: Ortalama Teslimat Süresi

SPSS Analizi sonucunda dağıtım ağı stratejisi senaryoları arasında anlamlı bir fark olmadığı gözlemlenmiştir (p>α). Yani senaryoların değişmesinin ortalama teslimat süresi üzerinde anlamlı bir etkisi olmayacaktır. Bu nedenle ortalama teslimat süresinin daha düşük olduğu Senaryo-2 seçilmelidir. Araç sayıları arasında anlamlı bir fark olduğu gözlemlenmiştir (α>p). 7 ve 10 araçlık filo büyüklüğü arasında anlamlı bir fark yoktur. Fakat 5 ile 7 veya 5 ile 10 arasında anlamlı bir fark vardır. Yani araç sayısının değişmesi ortalama teslimat süresini de anlamlı bir şekilde değiştirmiştir. Simülasyon modellerinde 1 yıl boyunca kaynakların(araçların) kullanımının ciddi bir maliyeti olduğu görülmüştür. Hedefimiz kaynakları verimli kullanmak olduğu için 7 araçlık filo büyüklüğünü seçilmelidir.

Tablo 3.7: Araç Kullanım Oranları İçin ANOVA Sonucu

Araç Kullanım Oranları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Anlamlılık(p)
Araç Sayısı	0,341	2	0,170	1740,476	0,000
Dağıtım Ağı Stratejisi	0,008	2	0,004	43,186	0,002
Hata	0,000	4	$9,791x10^{-5}$		
Toplam	4,187	9			

Şekil 3.6: Araç Kullanım Oranı

SPSS Analizi sonucunda dağıtım ağı stratejisi senaryoları arasında anlamlı bir fark olduğu gözlemlenmiştir (α>p). Yani senaryoların değişmesinin araç kullanım oranları üzerinde anlamlı bir etkisi olmaktadır. Bu nedenle araç kullanım oranının daha düşük olduğu Senaryo-2 seçilebilir. Araç sayıları arasında anlamlı bir fark olduğu gözlemlenmiştir (α>p). Yani araç sayısının değişmesi araç kullanım oranını da anlamlı bir şekilde değiştirmiştir. 5 araçlık filo büyüklüğünde ortalama araç kullanım oranı % 90 dolaylarında seyrettiğinden aylık talep esnekliklerini oluşturabileceği darboğazdan karşılayamama durumunda yetersiz kalabilir. Bu nedenle optimum araç sayısı 7 seçilmelidir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tedarik zinciri dağıtım ağı stratejileri hem işletmelerin hem de ülkelerin piyasada rekabet edebilmelerini büyük ölçüde etkilemektedir. Tedarikçi seçimi, üretim süreci tasarımı, kapasite planlama ve müşteri portföyü seçimi başta olmak üzere tedarik zinciri yönetimini etkileyen başlıca etmenlerdir. Tedarik zincirinin her aşamasında iyi bir planlama ve tasarım olmak zorundadır. Bunlardan ilki tedarik zinciri dağıtım ağı stratejisidir. Müşteriye üretilen ürünlerin tam zamanında, optimum yoldan, en az kaynak kullanarak ulaştırılması dağıtım ağı stratejisinin en önemli faktörleridir.

Gerçekleştirilen bu çalışmada, bir dondurulmuş gıda firması seçilmiş ve ürettiği ürünleri müşterilerine ulaştıracağı dağıtım ağı stratejisi analiz edilmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur. Genel merkezden sırasıyla bölgelere, illere ve marketlere dağıtım yapılmaktadır. Bu mevcut sistemde 10 araçlık filo büyüklüğü kullanılarak ürünler müşterilere ulaştırılmaktadır. Fakat bu sistemde atıl kaynak kullanımı ve talepler karşısında yetersiz kalma durumlarıyla karşılaşılmaktadır. Bu durumun en önemli nedenlerinden biri talep tahminlerinin iyi yapılmamış olmasıdır. Diğer bir neden ise dağıtım yolu seçimidir. Yani genel merkezden müşterilere ulaştırılmak üzere sevk edilen ürünlerin hangi depolama merkezlerini kullanacağı ve buralardan müşterilere ulaşana kadar geçtiği bütün düğüm noktaları teslimat süresini uzatmaktadır. Dondurulmuş gıdaların fiziksel özelliklerinden dolayı en kısa sürede market raflarına ulaşması gerekmektedir.

Analiz sonucunda, çalışmada en etkin kaynak kullanımını, en iyi talep karşılama oranını ve en düşük teslimat süresini Senaryo-2 sağlamıştır. Bu senaryo genel merkezden depolanan ürünlerin doğrudan illerdeki depolara ve marketlere sevk edilmesini kapsamaktadır. Sonuç olarak talepleri tam zamanında, eksiksiz ve en az kaynakla(verimlilik prensibi için) sağlayan Senaryo-2'de 7 araçlık filo büyüklüğü kullanılmasıyla optimum teslimat süresi elde edilmektedir ve talepler gerçekleşen miktar ile örtüşmektedir.

Geliştirilen simülasyon modelleri farklı alanda faaliyet gösteren firmalara uygulanabilecek esneklikte ve güçlüktedir. İşletmelerin tedarik zinciri dağıtım ağını belirlemede bu modelleri kullanmaları karar destek gücünü artırmaları yönünde fayda sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Albino, V., Carbonara, N., Giannoccaro, I., 2007, "Supply Chain Cooperation In Industrial Districts: A Simulation Analysis", European Journal of Operational Research 177, 261-280.

Aliev, R.A., Fazlollahi, B., Guirimov, B.G., Aliev, R.R., 2007, "Fuzzy-Genetic Approach To Generate Production-Distribution Planning In Supply Chain Management", 177, 4241-4255.

Beamon, B.M., 1998, "Supply Chain Design and Analysis: Models and Methods", Department of Mechanical, Industrial, and Nuclear Engineering, University of Cincinnati, Production Economics, 55, 281-294.

Bhatnagar, R., Chandra, P., and Goyal, S.K., 1993, "Models for multi-plant coordination", European Journal of Operational Research 67, 141-160.

Chopra, S., Meindl, P., "Supply Chain Management: Strategy, Planning & Operation (4. Baskı b.)", New Jersey, USA: Prentice Hall. 2010.

Christopher, M., 1992, "Logistics and Supply Chain Management: Strategies for Reducing Cost and Improving Services", Financial Times, Pitman, London.

Chow, G., Heaver, T.D., Henriksson, L.E., 1994, "Logistic Performance: Definition an Measurement", International Journal of Physical Distribution and Logistics Management 24,17-28.

Clark, A.J., Scarf, H.,"Approximate solutions to a simple multi-echelon inventory problem, in: Studies in Applied Probability and Management Science", Stanford University Press, Stanford, CA, 1962, pp. 88-110.

Clark, A.J., Scarf, H., "Optimal policies for a multi-echelon inventory problem", Management Science 6 (4) (1960) 475-490.

Cohen, M.A., Lee, L.L., 1988, "Strategies Analysis of Integrated Production-Distribution System: Models and Methods", Operational Research 36, 216-228.

Erdal, M., "Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetimi Stratejisi", İstanbul Üniversitesi, 2007, ss.2-4.

Gürbüz, İ.B., Acar, B., 2002. "Bursa İlinde Yer Alan Dondurulmuş Gıda Sanayinin Dış Ticarette Karşılaştığı Sorunlar", Türkiye V. Tarım Ekonomisi Kongresi Bildiriler Kitabı, 18-20 Eylül, s:211-216, Erzurum.

Jansen, D.R., Weert, A., Beulens, A.J.M., Huirne, R.B.M., 2003, "Simulation model of multi-compartment distribution in the catering supply chain", European Journal of Operational Research, 133, 210-224.

Kabak, Ö., "Olabilirsel Doğrusal Programlama İle Tedarik Zinciri Ağ Yapısının Modellenmesi ve Bir Uygulama", İstanbul Teknik Üniversitesi, 2008, s.3.

Keskin, G., "Dondurulmuş Gıda", Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü, TEAE, S-1, N-8, Aralık, 2002.

Koo, L.Y., A. Adhitya, R. Srinivasan, I.A. Karimi, 2008, "Decision Support for Intergarted Refinery Supply Chains Part 2. Design and Operation", Computers & Chemical Engineering, 32, 2787-2800.

Pyke, D.F., Cohen, M.A., 1994, "Multiproduct integrated production—distribution systems", European Journal of Operational Research 74, 18-49.

Pyke, D.F., Cohen, M.A., 1993, "Performance Characteristics of Stochastic Integrated Production-Distribution Systems", European Journal of Operational Research 68, 23-48.

Simpson, N.C., Vakharia, A.J., "Integrated production/distribution planning in supply chains: an invited review", Euro. J. Oper. Res. 115 (1999) 219–236.

Slats, P.A., Bhola, B., Evers, J.J.M., Dijkhuizen, G., 1995, "Invited Review, Logistic Chain Modelling", European Journal of Operational Research 87, 1-20.

Thomas, D., Griffin, P.M. (1995), "Coordinated supply chain management: A review, Working Paper", School of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, 98, 1-18.

Williams, J.F., "A hybrid algorithm for simultaneous scheduling of production and distribution in multi-echelon structures", Management Science 29 (1) (1983) 77-92.

http://karayollari-haritasi.uni.cc/iller-arasi-kac-km-kac-saat1.html

Veri Zarflama Analizi ile Türkiye'deki Konteyner Terminallerinin Etkinlik Ölçümü

[1] Alpaslan ATEŞ [2] Soner ESMER
[1]Rize Üniversitesi Turgut Kıran Denizcilik Yüksekokulu
[2]Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi

Özet

Uluslararası tedarik zinciri içinde en önemli ulaştırma ve lojistik altyapısı olan limanların verimli çalışması tüm tedarik zincirini doğrudan etkilemektedir. Bu anlamda limanların verimliliğini ölçmek hayati önem taşır.
Konteyner terminallerinde verimlilik analizleri hesaplanırken parametrik olmayan bir yöntem olan Veri Zarflama Analizi (VZA) literatürde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu anlamda literatürdeki benzer çalışmalar incelendiğinde VZA analizi için dört adet girdi ve bir adet çıktı değişkeni kullanıldığı görülmektedir. Bu bulguya paralel bir şekilde bu çalışmada Türkiye'de faaliyet gösteren tüm konteyner terminallerinin girdi değişkenleri olarak; rıhtım\iskele uzunluğu, gemi yanaşma yeri sayısı, konteyner elleçleme de kullanılan vinç sayısı ve konteyner stok alanı; çıktı değişkeni olarak elleçlenen konteyner miktarı kullanılarak verimlilik analizleri yapılmıştır.
Bu anlamda çalışmanın amacı Türkiye'de konteyner yüküne hizmet veren 15 konteyner terminalin 2010 yılı verimliliklerini VZA analizi ile ölçmektir. Değerlendirilen terminaller içerisinde İzmir, Marport, Kumport ve MIP konteyner terminalleri analiz sonuçlarına göre verimli oldukları saptanmıştır. Fakat Alport konteyner terminalinin en düşük verimlilik değerine sahip olduğu belirlenmiştir.
Anahtar Kelimeler: Türkiye, Konteyner terminali, Verimlilik, Veri zarflama analizi

1. Giriş

Dünya ekonomisinde 1970'li yıllardan itibaren görülen küreselleşme ile beraber ülkeler hatta kıtalar arasında dış ticaret miktarlarında önemli derecede artışlar görülmektedir. Artan dış ticaret, beraberinde ulaştırma sistemlerinde talep yaratmaktadır (Ateş ve diğerleri, 2010). Ulaştırma, insan veya eşyanın bir noktadan başka bir noktaya hareketini ifade eder. Başka bir ifadeyle ulaştırma, üretilen mal ve hizmetlerin farklı taşıma sistemleri ile üretim noktalarından tüketim noktalarına hareketini sağlar.
Uluslararası lojistik yönetiminin ana faaliyetlerinden birisi olan ulaştırmanın, en önemli modu olan deniz taşımacılığı, ulusal ve uluslararası ticarette çok önemli bir role sahiptir. Dünya yük taşımacılığının yaklaşık % 90'ı deniz taşımacılığı ile gerçekleştirilmektedir(Ateş, 2010). Dünya taşımacılığında bu oranda yüksek kapasiteye sahip olan deniz taşımacılığının diğer taşımacılık türlerine (Karayolu, Havayolu ve Demiryolu) göre çeşitli avantajlarının bulunması kaçınılmaz bir durum olmalıdır. Bu noktada deniz taşımacılığının avantajları şöyle sıralanabilir: yüksek taşıma kapasitesi, mesafeye göre değişmekle beraber ekonomik oluşu, konforu, çevreci ve daha emniyetli olmasıdır.
Deniz taşımacılığı gemi, yük ve liman olmak üzere üç temel bileşenden oluşmaktadır (Ateş ve diğerleri, 2010). Deniz taşımacılığın verimliliğini etkileyen temel bileşenlerden birisi liman verimliliğidir. Limanların verimli işletilmesinin temel koşullarından biri ise yeni teknolojileri zamanında tedarik etme veya yeni teknolojileri oluşturma ile sağlanabilir (Ateş, 2010).
Limanlar, deniz taşımacılığı ile diğer taşımacılık türlerinin birleştiği noktalar, bulunduğu bölgenin gelişmesinde çok önemli bir paya sahiptirler. Ayrıca liman yatırımları oldukça yüksek maliyetlere sahiptir. Bu gibi nedenlerden dolayı limanların performanslarını belirlemek liman idaresi açısından her zaman önemli bir konu olmuştur. Limanların performanslarını belirlemek sadece liman işletmecisi açısından değil aynı zamanda ulusal ve bölgesel liman/taşımacılığın planlaması açısından da önem arz eder (Filipini and Prioni, 1994; Oum and Yu, 1994; Regan and Golob, 2000; Alder and Golany, 2001; Cullinane et al., 2006; Al- Eraqi et al., 2008; Ateş, 2010). Limanların performansını belirlemede birçok yöntem - bir performans göstergesi oluşturarak (Talley, 1994), belirli bir zaman periyodunda optimum elleçleme miktarı ile güncel verileri karşılaştırarak (Talley, 1998), limanın toplam faktör verimliliğinin hesaplanması (Kim and Sachish, 1986) ve çoklu regresyon analizi kullanılarak limanın performans ve verimliliğinin belirlenmesi (Tongzon, 1995) Simülasyon yöntemi (Esmer, 2010) - kullanılmasına rağmen son yıllarda kullanımı yaygın olan performans ölçümlerinden biri Veri Zarflama Analizi'dir.
Denizyolu ile yük taşımacılığı, denizyolunun farklı birçok taşımacılık sistemi ile yapılabilmektedir. Özellikle 1980'li yıllardan sonra denizyolu taşımacılık sistemleri içerisinde konteyner taşımacılığının diğer denizyolu taşımacılık sistemleri içerisindeki oranı giderek artmaktadır. Limanlar, konteyner taşımacılığının artması ile beraber kendi limanlarına daha fazla yük çekebilmek için yoğun bir rekabet içerisine girmişlerdir. Liman piyasası, liman trafiğinin kaçınılmaz yoğunluğundan dolayı tekelci bir yapıya sahiptir. Fakat intermodal taşımacılık ve konteyner taşımacılığında meydana gelen hızlı gelişmeler bu tekelci yapıyı önemli derecede etkilemektedir. Özellikle komşu konumdaki limanlar intermodal taşımacılığın gelişmesinden dolayı sadece kendi

hinterlantlarına değil farklı limanlara ait hinterlantlara da hizmet verebilmektedir (Cullinane et al., 2004; Ateş, 2010). Bu nedenle konteyner terminallerinin verimli bir şekilde işletilmesi liman idareleri ve gemi sahipleri için de temel hedeftir.

Bu anlamda çalışmanın amacı Türkiye'de konteyner yüküne hizmet veren 15 konteyner terminalin 2010 yılı verimliliklerini VZA analizi ile ölçmektir.

2. Önceki Çalışmalar

Son yıllarda, konteyner terminallerinin verimliliğini belirlemek için kullanılan yöntemler içinde parametrik olmayan bir yöntem olan VZA oldukça yaygın kullanıma sahiptir.

Veri Zarflama Analizi kullanılarak limanların etkinlik durumlarını karşılaştıran literatürde birçok çalışma mevcuttur. Bunlardan; Avustralya ve Asya limanlarının etkinlik durumlarını karşılaştıran çalışmalara (Tongzon, 2001, 2005; Cullinane et al., 2005 and Lee, 2005), Doğu Afrika ve Orta Doğu limanları için (Al- Eraqi et al., 2008), Avrupa limanları için (Barros and Athanassious, 2004; Barros, 2006; Cullinane et al., 2006 and Trujillo and Tovar, 2007) ve Türkiye lianları için (Baysal ve diğerleri, 2004; Bayar, 2005 ve Ateş, 2010) örnek verilebilir.

VZA ile limanların verimliliği ile ilgili olarak literatürdeki ilk çalışma Roll and Hayuth'un 1993 yapmış oldukları çalışmadır (Cullinane and Wang, 2007). Fakat bu çalışma uygulamadan ziyade teorik bir yaklaşım sergilemiştir.

Martinez-Bundria ve diğerleri (1999) yılında 26 İspanya limanını düşük, orta ve yüksek karmaşıklığa sahip olarak üç grup altında VZA ile bu limanların etkinliklerini değerlendirmişlerdir. Bu çalışma sonucunda yüksek karmaşıklığa sahip limanlar yüksek verimlilikte, orta karmaşıklığa sahip limanlar düşük karmaşıklığa sahip limanlara göre daha verimli olduğu sonucuna varmışlardır.

Cullinane ve diğerleri (2005) yılında yapmış oldukları çalışmada 2001 yılı verilerine göre dünyanın ilk 30 limanı içerisine giren konteyner limanları ile 5 Çin konteyner limanının verimliliklerini karşılaştırmak için VZA uygulamasından yararlanmışlardır. Ve bu karşılaştırma için 1992-1999 yılları periyodunda 8 yıllık veriden yararlanmışlardır.

Cullinane and Wang (2006) 2002 verilerini kullanarak Avrupa'nın 24 ülkesine ait 10 000 TEU elleçleme kapasitesinin üzerinde olan 69 konteyner terminalinin verimliliklerini VZA'dan yararlanarak belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda farklı bölgelerde bulunan limanların etkinlik değerleri arasında önemli farklılıklar olduğu sonucuna varmışlardır. Doğu Avrupa ve İskandinavya'da bulunan limanların verimliliklerinin daha düşük olduğunu ifade etmişlerdir.

Wang and Cullinane (2006) yılında yapmış oldukları çalışmada 2003 yılı verilerinden yararlanarak 29 Avrupa ülkesine ait yıllık elleçleme miktarı 10 000 TEU'nun üzerinde olan 104 konteyner terminalinin verimliliğini VZA ile belirlemişlerdir. Çalışmada çıktı olarak elleçlenen konteyner miktarı ve girdi olarak ise; terminal uzunluğu (m), terminal alanı (ha) ve kullanılan ekipmanların toplam maliyeti (milyon pound) olarak belirlenerek analiz edilmiştir.

Barros (2006) operasyonel ve finansal değişkenler kombinasyonu ile 2002 ve 2003 yılları verilerinden yararlanarak İtalya limanlarının verimliliğini VZA uygulayarak belirlemiştir.

Hsuan et al. (2005) 1996 yılı verilerine dayanarak Asya Pasifik bölgesindeki 16 adet konteyner terminalinin verimliliğini belirlemek için 6 girdi ve 2 çıktı kullanarak VZA uygulaması ile belirlemişlerdir.

Rios et al. (2006); 2002, 2003 ve 2004 yıllarına ait yıllık verilerden yararlanarak 15 Brezilya, 6 Arjantin ve 2 Uruguay konteyner limanlarının verimliliklerini belirlemek için 5 girdi parametresi ve 2 çıktı parametresi kullanarak VZA ile etkinlik analizi yapmışlardır. Bu çalışma kapsamında incelenen limanların %60'ının verimli olduğu sonucuna varmışlardır.

Lin and Tseng (2007) yılında Asya-Pasifik bölgesinde bulunan önemli konteyner terminallerinin verimliliğini 2 çıktı (gelen gemi sayısı ve elleçlenen konteyner miktarı) ve 4 girdi (konteyner stok alanı, gantry crane sayısı, konteyner terminal uzunluğu ve su derinliği) değerini göz önüne alarak VZA ile verimlilik analizini yapmışlardır.

Al-Eraqi et al. (2008) yılında Orta Doğu ve Doğu Afrika'da bulunan 22 adet limanın performanslarını belirlemek için 2000-2005 yılları arasında 6 yıllık verilerden yararlanarak yapmış oldukları çalışmada dört adet girdi değeri ve iki adet çıktı değerini kullanmışlardır.

Baysal ve diğerleri (2004) yılında TCDD işletmesinde bulunan ve konteyner taşımacılığına hizmet veren 7 terminalin etkinliğini VZA uygulaması ile değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada 2000 yılı verilerine göre 2 adet girdi (personel sayısı, yük elleçleme kapasitesi) ve 2 adet çıktı (elleçlenen yük ve yıllık gelir değişkeni kullanılmıştır. Çalışma sonucunda Haydarpaşa, Mersin ve İzmir konteyner terminallerinin CCR girdi ve çıktı yönelimli olarak etkin oldukları sonucuna varmışlardır.

Ek olarak;

- Tongzon (2001) yılında 1996 verilerine göre Avustralya'nın 4 ve uluslararası 12 konteyner limanında,
- Valentina ve Gray 2001 yılında 1998 verilerine göre dünyanın ilk 100 limanı içerisinde yer alan 31 konteyner terminalinde,

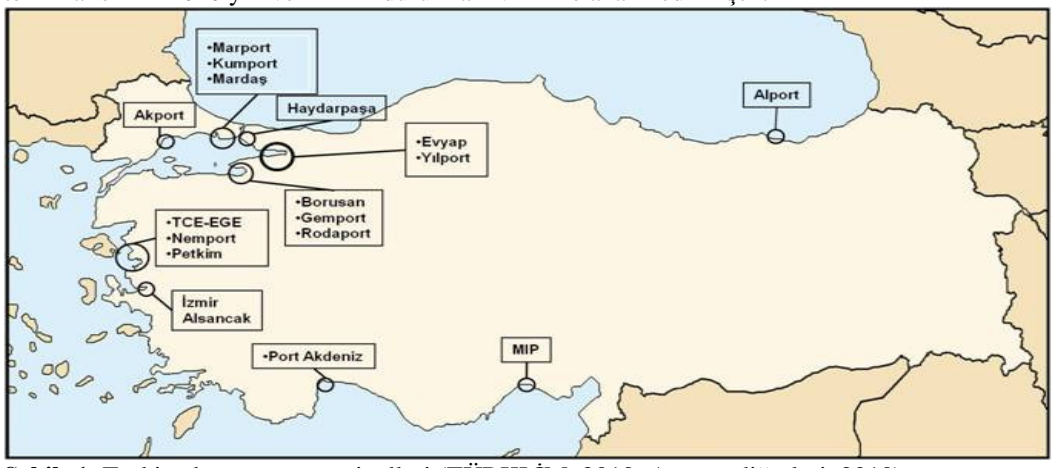
- Itoh 2002 yılında Japonya'nın uluslararası liman özelliği taşıyan 8 konteyner limanında,
- Barros (2003) 1999 ve 2000 yıllarına ait verilerle Portekiz limanlarında,
- Barros ve Athanassious (2004) yapmış oldukları çalışmada Portekiz ve Yunanistan limanlarında,
- Bonilla et al. (2004) 1995-1998 yılları yıllık verilerine göre 23 İspanya limanında ve,
- Turner et al. (2004) 1984-1997 periyodunda Kuzey Amerika limanlarında

verimlilik ve performans analizinde VZA yöntemi kullanılmıştır.
Ateş (2010) yılında Türkiye'de konteyner taşımacılığına hizmet veren özel veya kamu tarafından işletilen 13 konteyner terminalin 2005, 2006, 2007, 2008 ve 2009 yılları verilerine göre 4 adet girdi ve 1 adet çıktı değişkeni kullanarak terminallerin verimliliklerini yıllık olarak belirlemiştir.

3. Materyal ve Yöntem

3.1. Materyal

Küreselleşen dünyada üretim ve tüketim maddelerinin dünyanın farklı bölgelerine ulaştırılmasında konteyner taşımacılığı önemli bir yer tutmaktadır. Bu durumun devam etmesi öngörülmektedir. Deniz taşımacılığında dolayısıyla konteyner taşımacılığında limanların verimliliği son derece önemlidir. Limanlar ülkelerin deniz yolu ile dünyaya açıldıkları kapılardır. Bu derecede önem arz eden liman işletmelerinin etkin ve verimli çalışması ülkelerin sosyal ve ekonomik kalkınmasında büyük pay sahibi olmasına neden olmaktadır.
Bu kapsamda Türkiye limanları içerisinde düzenli olarak konteyner taşımacılığına hizmet veren; Akdeniz Kimya, Trabzon (Alport), Mersin (MIP), Antalya (Port Akdeniz), İzmir, Ambarlı (Marport, Mardaş ve Kumport), Evyap, Yılport, Borusan, Gemport, İstanbul (Haydarpaşa), Roda Port ve Tekirdağ (Akport) konteyner terminallerinin 2010 yılı verimlilik durumları VZA ile analiz edilmiştir.



Şekil: 1. Türkiye konteyner terminalleri (TÜRKLİM, 2010; Ateş ve diğerleri, 2010)

3.1.2. Girdi ve çıktı değişkenlerinin tanımlanması

Girdi ve çıktıların üretim sürecine nedensel olarak bağlı ve süreci en iyi şekilde temsil edecek bir bileşim olarak seçilmesi gerekir. Etkinlik değerlendirilmesinin sağlıklı bir biçimde gerçekleşebilmesi için çeşitli girdi-çıktı senaryoları VZA tekniği ile sınanabilir ve böylece süreci en iyi temsil eden anlamlı girdiler ve çıktılar belirlenebilir (Güçlü, 1999; Bülbül ve Akhisar, 2005; Kecek, 2010). Lovell (1993), faydalı girdi ve çıktılar konusu üzerinde yapmış olduğu çalışmada faydalı olabilecek bütün girdi ve çıktıların değerlendirmeye alınması fikrini ileri sürmüştür. Ancak birbiri arasında yüksek korelâsyona sahip olan girdi veya çıktıların analiz sonucunu etkilemediği tezini ileri sürerek hesaplama dışı bırakılabileceğini savunmuştur. Benzer şekilde üretime katkı sağlamayan ve birbiriyle çoklu bağlantısı bulunan girdi/çıktı değişkenlerinin elenmesi gerekir (Norman and Stoker, 1991; Kecek 2010; Ateş, 2010).
Konteyner terminallerinde terminal etkinliğini etkileyen değişkenler literatür çalışmaları sonucu belirlenmiştir. Farklı yaklaşımlar olmasına rağmen genel kanı girdi değişkenleri olarak iskele rıhtım uzunluğu, terminal alanı (stok sahası), konteyner elleçlemede kullanılan vinçlerin (mobil vinçler ve büyük rıhtım vinçleri) sayısı veya kapasitesi konteyner terminal verimliliklerini etkileyen faktörlerdir (Marconsult, 1994; Notteboom et al., 2000; Tongzon and Hang, 2005).
Çıktı değişkeni olarak tek çıktı durumunda elleçlenen konteyner miktarını (TEU), birden fazla çıktı kullanılacak durumlarda ise; elleçlenen konteyner miktarı(TEU) ve elde edilen gelir dikkate alınabilir.
Yukarıda belirtilen literatür çalışmaları dikkate alınarak yapılan bu çalışmada; konteyner terminallerindeki elleçleme verimliliği hesaplanmış ve konteynerlerin elleçlenmesi için gerekli olan dört girdi ve bir çıktı değişkeni kullanılmıştır. Bu değişkenler konteyner gemilerine ayrılan rıhtım uzunluğu (m), konteyner terminalindeki vinç sayısı (adet), gemi yanaşma yeri sayısı (adet) ve konteyner stok alanı (m^2) kullanılacak girdi değerleridir. Çıktı değeri ise; elleçlenen konteyner miktarıdır (TEU).

a. Konteyner rıhtım/iskele uzunluğu (m)
Konteyner terminal verimliliğini ölçmede kullanılacak girdi değişkenlerinden biridir. Rıhtımlar denize paralel, iskeleler ise denize dik kıyı yapılarıdır. Konteyner rıhtımları, konteyner gemilerinin limanda yük elleçleme sistemleri yardımı ile güvenli olarak yükleme/boşaltma yapabilmelerini ve kara ile deniz taşıtları arasındaki bağlantıyı sağlayan yapılardır. Bu nedenle verimlilik ölçümünde önemli bir kriterdir.
b. Konteyner terminalindeki vinç sayısı (adet)
Konteyner rıhtım ekipmanları, konteyner elleçlemede kullanılan araçlardır. Konteyner terminalinin elleçleme kapasitesini belirleyen en önemli ekipmanlar vinçlerdir. Dolayısıyla girdi değeri olarak çalışmada kullanılmıştır. Çalışmada, vinç sayısı konteyner elleçlemesi için kullanılan gantry vinci ve mobil vinçlerinin toplamından oluşmaktadır. Vinçler ne kadar etkin bir şekilde çalışırsa yük elleçleme o kadar hızlı gerçekleşecek ve daha çok konteyner elleçlenebilecektir. Bunun sonucu olarak da liman işletmesi ve deniz ticaret zinciri üzerinde yer alan taşıyıcı ve taşıtan için zaman kaybı minimum olacaktır. Ayrıca vinçlerin etkin çalışmasında vinç operatörlerinin performansı da önemli bir etkendir.
c. Konteyner stok alanı (m^2)
İthal ve ihraç ürünlerinin gemi gelene kadar veya diğer ulaştırma modları ile ürünün sahibine teslim edilmesine kadar geçici olarak konteynerlerin stoklandığı alanlardır. Konteyner stok alanları, liman verimliliği üzerinde önemli etkiye sahip olan parametrelerden biridir.
d. Gemi yanaşma yeri sayısı (adet)
Tüm gemilerde olduğu gibi konteyner gemi işletmecileri için temel hedeflerden biri gemilerin limanda kalma süresinin en az olmasıdır. Bu düşünce aynı zamanda liman işletmeleri için de ana hedeflerden biridir. Bu kapsamda gemi yanaşma yeri sayısına eşit sayıda gemiye hizmet verilebilmektedir. Ayrıca gemi yanaşma yeri sayısına paralel olarak vinç ve personel sayısı da artış gösterecektir. Bunun sonucu olarak gemi yanaşma yeri sayısı konteyner terminalimin verimliliğini etkileyen önemli faktörlerden biridir.
e. Elleçlenen konteyner miktarı (TEU/yıl)
Bu çalışma kapsamında tek çıktı değeri, TEU bazında yıllık elleçlenen konteyner miktarlarıdır. Elleçlenen konteynerin anlamı, konteyner için gerekli olan yükleme-boşaltma hizmetidir. Limanda asıl amaç, mümkün olduğunca çok yük elleçlenmesi ve bununla limana maksimum fayda getirecek olan gelirin elde edilmesidir. Bu nedenle bu değişken konteyner terminali verimliliğinin ölçümü için olmazsa olmaz bir kriterdir. Elleçlenen konteyner miktarı liman verimliliği üzerinde ve girdi değişkenlerinin ne kadar etkili kullanılıp kullanılmadığı konusunda temel göstergedir.
Çalışma kapsamındaki terminallerin 2010 yılına ait girdi ve çıktı değişkenleri Tablo 1'de görülmektedir.

	Çıktı Değişkeni	**Girdi Değişkenleri**			
Limanlar	Elleçleme miktarları (TEU)	Rıhtım Uzunluğu (m)	Rıhtım Sayısı	Vinç Sayısı	Stok Alanı (m^2)
Akdeniz Kimya	139,684	820	4	3	100,000
Borusan	193,190	450	4	5	110,000
Ege Gübre	99,388	705	2	3	240,000
Evyap	248,240	500	4	4	150,000
Gemport	269,276	839	8	6	255,000
Kumport	620,995	1930	5	6	400,000
Mardaş	376,360	910	7	10	189,308
Marport	1,542,998	1,950	6	24	310,000
Mersin(MIP)	1,024,171	2,425	16	10	438,350
Port Akdeniz	125,670	330	2	3	60,000
Roda Port	108,083	1,257	6	3	170,000
Yılport	184,533	325	2	6	202,000
Haydarpaşa	148,824	650	5	5	219,360
İzmir	727,675	1,050	24	7	500,000
Alport	28,658	1,840	7	1	40,000

Tablo 1: Terminallerin 2010 yılı girdi ve çıktı değişkenleri

3.2. Yöntem (Veri Zarflama Analizi)
Çalışma kapsamında elde edilen veriler parametrik olmayan bir yöntem olan farklı ölçü birimlerine ait girdi ve çıktı değerleri arasında göreceli etkinlik ölçümüne imkân tanıyan VZA uygulanmıştır.
Farel'in 1957 yılında yapmış olduğu çalışma VZA'nın başlangıcı olarak kabul edilmektedir (Karhan ve Özgür, 2009; Kecek, 2010; Ateş, 2010). Farel bu çalışmasında çok çıktısı ve tek girdisi olan birimlerin etkinliklerini inceleyerek etkinlik ölçümünde ilk kez doğrusal programlamadan yararlanmıştır (Ertuğrul ve Işık, 2008).

Farel'in 1957 yılında yapmış olduğu çalışmaya dayanan ve Charmes, Cooper ve Rhodes'in 1978 yılında European Journal of Operations Research' de yayınlanmış olan makaleleri VZA nın ilk modeli olup; bu model bu üç araştırmacının isimlerinin baş harfleri olan CCR modeli olarak literatürde yer almaktadır (Charnes et al., 1994).

VZA tekniği 1978 yılından başlayıp günümüze kadar geçen süre içerisinde hem teorik hem de metodolojik yönden hızlı bir gelişme göstermiştir. 1984 yılında Banker, Charnes ve Cooper'ın CCR üzerinde çeşitli değişiklikler yapmasına kadar bu yöntem ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında yalnız kamu hizmet alanlarının genel teknik verimlilikleri ölçümlerinde kullanılmıştır. Ancak Banker ve diğerlerinin geliştirmiş olduğu sistem yani BCC yöntemi ile ölçeğe göre değişken getiri durumunda ölçek ve teknik verimliliğin ayrı ayrı ölçülmesini mümkün kılacak Şekilde geliştirilmiştir. İlerleyen aşamalarda bu yöntemler çarpımsal, yönelimsiz toplamsal vb gibi Şekilde daha da geliştirilmiştir (Bayar, 2005; Dikmen, 2007; Kecek, 2010; Ateş, 2010).

Bu gelişmelerin görüldüğü VZA yönteminin; bankalar, hastaneler, sigorta şirketleri, oteller, okullar, mahkemeler, huzurevleri, tarımsal alanlar ve limanlar gibi oldukça geniş bir uygulama alanı vardır. Analiz edilecek olan firma faaliyet gösterdiği sistem içerisinde yer alan diğer firmalarla karşılaştırılarak göreceli etkinliği belirlenmektedir (Tetik, 2003).

Bankacılık alanında banka birleşmelerinin veya satın almaların bankaların etkinliği üzerine etkileri, çeşitli reform ve düzenlemelerin etkisi veya yerli ya da yabancı bankaların karşılaştırılması gibi konular hakkında fikir edinebilmek için VZA yararlanılmıştır. Bu alanda; Weiss (1991), Cummins and Weiss (1993), Linda and Rai (1996), Cummins, Weiss and Zi (1999), Mercan ve Yolalan (2000), İnan (2000), Chen (2002), Grene and Segal (2004), Yayla ve diğerleri (2005) gibi çalışmalar örnek verilebilir.

Sigorta alanında VZA uygulaması ile genellikle sigorta şirketlerinin belirli periyotlardaki (özellikle deprem ve ekonomik kriz gibi afet durumlarında) etkinliklerini, yine bankacılık sektöründe olduğu gibi satın alma ve birleşme gibi durumlarda şirketlerin etkinliklerini belirlemek amacıyla VZA uygulamaları yapılabilir (Sezen ve diğerleri, 2005).

Türk sigortacılık alanında yapılan çalışmalara; Kılıçkaplan ve diğerleri (1998), Kılıçkaplan ve Baştürk (2004), Çiftçi (2004), Bülbül ve Akhisar (2005) ve Kayalı (2007) örnek olarak verilebilir.

Yine aynı Şekilde sağlık alanında VZA ile etkinlik değerlendirmesi yapılan çalışmalara; Özcan ve diğerleri (1992), Kavuncubaşı ve Ersoy (1995), Sherman (1984), White and Özcan (1996) örnek olarak vermek mümkündür.

VZA konusunda yapılan çalışmalar ile ilgili olarak literatür taraması yapılarak VZA uygulamasının en fazla yayınlandığı dergilerdeki yayın oranları, yayınların yıllara göre dağılımı, en sık kullanılan anahtar kelimeler gibi VZA literatür çalışması Emrouznejad ve diğerleri tarafından 2008 yılında yapmış oldukları çalışmada açıklanmıştır. VZA'nın limanlar üzerindeki uygulama çalışmaları ise daha önceki bölümlerde ayrıntılı olarak yer almaktadır.

VZA ile göreli etkinlik ölçümünde aşağıdaki belirtilen aşamalar gerçekleştirilmektedir (Yolalan, 1993; Kecek, 2010; Ateş, 2010).

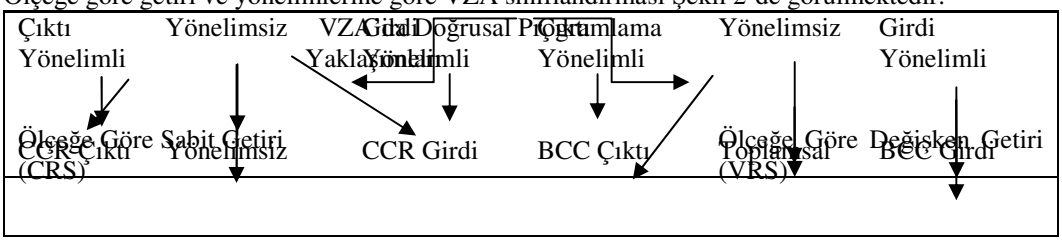
- Herhangi bir gözlem kümesi içerisinde en az girdi bileşiminden yararlanarak en çok çıktı bileşimini üreten "en iyi" gözlemleri (ya da etkinlik sınırında bulunan karar birimlerini) belirler.
- Söz konusu sınırı referans kabul ederek etkin olmayan karar birimlerinin bu sınıra olan uzaklıklarını (veya etkinlik düzeylerini) radyan olarak ölçmektedir.

Üretim ortamlarına göre etkinlik ölçümünün incelenmesinde Kecek (2010)'e göre parametrik olmayan yöntemler kapsamında aşağıda belirtilen üç başlık altında ele alınmaktadır.

- Tek girdi ve tek çıktılı üretim ortamında parametrik olmayan etkinlik ölçüm yöntemleri
- İki girdili ve tek çıktılı üretim ortamında parametrik olmayan etkinlik ölçüm yöntemleri
- Tek girdi ve iki çıktılı üretim ortamında parametrik olmayan etkinlik ölçüm yöntemleri olarak gruplandırmak mümkündür.

3.2.1. Veri zarflama analizi modelleri

Ölçeğe göre getiri ve yönelimlerine göre VZA sınıflandırması Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Ölçeğe göre getiri ve yönelim durumlarına göre temel

VZA modellerinin sınıflandırılması (Alı, 1994; Kecek, 2010; Ateş, 2010)

VZA modelleri ölçeğe göre sabit ve değişken getirili olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Ve bu modeller yönelimlerine göre; girdi yönelimli, çıktı yönelimli ve yönelimiz olmak üzere üç gruba ayrılır (Charnes et al., 1994).

Girdi yönelimli modeller, belirli bir çıktı düzeyini elde edebilmek için etkin olmayan karar birimlerinin girdilerinin ne kadar azalmaları gerektiğini belirlemeye çalışan modellerdir. Çıktı yönelimli modeller ise, verilen bir girdi bileşimi ile etkin olmayan karar biriminin etkin hale gelebilmesi için çıktıların ne kadar arttırılması gerektiğini belirlemeye çalışan modellerdir (Kecek, 2010; Ateş, 2010).

Çıktı yönelimli modellerde amaç elde edilen çıktı miktarının en büyük olması iken; girdi yönelimli modellerde amaç girdi miktarının en düşük olmasıdır (Charnes et al., 1994; Kecek, 2010; Ateş, 2010).

VZA modellerinde diğer bir analiz seçeneği ölçeğe göre sabit getiri (CRS) ve ölçeğe göre değişken getiri (VRS) arasında olmaktadır. CRS, incelenen işletmelerin ölçeği ile etkinlik arasında önemli bir ilişki bulamadığını varsayar. CRS altında, tüm girdilerin kontrol edilebilir olduğu takdirde, girdi yönelimli modeller ile çıktı yönelimli modeller aynı göreli etkinlik değerlerini vermektedir. VRS ile girdilerdeki bir artışın çıktılarda oransız bir artışla sonuçlanması beklentisini ifade etmektedir. Büyük bir örneklemde, KVB büyüklüğü ile etkinlik arasında önemli bir korelasyon gösterilebildiğinde VRS önerilir (Avkıran, 2001; Ateş, 2010).

4. Araştırma Bulguları

Türkiye konteyner terminallerinin verimliliğini belirlemek amacı ile yapılan bu çalışmada DEA Frontier Software paket programı kullanılmıştır. Bu çalışmada konteyner terminallerinin etkinlik değerleri VZA uygulamasının CCR ve BCC modellerine göre girdi ve çıktı yönelimli olarak değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlar Tablo 2'de görülmektedir.

Çalışma sonucunda VZA'nın uygulama yöntemlerinden olan; ölçeğe göre sabit getiri (CRS) girdi ve çıktı yönelimli ve ölçeğe göre değişken getirili (VRS) girdi ve çıktı yönelimli sonuçlar elde edilmiştir. Çıktı yönelimli CRS literatürde CCR çıktı yönelimli ve girdi yönelimli CRS literatürde CCR girdi yönelimli VZA modeli olarak bilinmektedir. Benzer şekilde VRS yöntemi de VZA'nın BCC modeli olarak bilinmektedir.

Araştırma sonucunda elde edilen BCC girdi ve çıktı yönelimli sonuçlar piyasa koşulları ile örtüşmemekte olup değerlendirmeler CCR girdi ve çıktı yönelimli analiz sonuçlarına göre yorumlanmıştır.

	CCR		**BCC**	
Limanlar	Girdi Yönelimli	Çıktı Yönelimli	Girdi Yönelimli	Çıktı Yönelimli
Akdeniz Kimya	0.5204	0.5204	0.9253	0.816
Borusan	0.5572	0.5572	0.8758	0.8004
Ege Gübre	0.3685	0.3685	1	0.7909
Evyap	0.7948	0.7948	1	1
Gemport	0.5376	0.5376	0.6707	0.5900
Kumport	1	1	1	1
Mardaş	0.5475	0.5475	0.6720	0.5960
Marport	1	1	1	1
MIP	1	1	1	1
Port Akdeniz	0.5826	0.5826	1	1
Roda Port	0.3495	0.3495	0.7773	0.5044
Yılport	0.7176	0.7176	1	1
Haydarpaşa	0.3773	0.3773	0.6229	0.4411
İzmir	1	1	1	1
Alport	0.2934	0.2934	1	1

Tablo: 2 Türkiye konteyner terminallerinin 2010 yılı verimlilik değerleri

Yapılan yorumlar araştırma sonuçları dikkate alınarak yapılmıştır. Örneğin çalışma sonucunda tespit edilen en verimli liman, araştırmanın örnekleminde yer alan limanlar içinde en verimli limanı ifade etmektedir. Bu anlamda girdi yöntemine göre en verimli limanlardan birisi olan İzmir Alsancak limanının dünya ölçeğinde verimli bir liman olduğu söylenemez. Ancak Türkiye koşullarında, Türkiye'deki tüm konteyner terminallerinden elde edilen girdi ve çıktı değerleri kullanılarak yapılan VZA analizinden elde edilen sonuçlar gerçek piyasa koşullarıyla örtüşmektedir.

Tablo 2'ye göre VZA CCR modeline göre girdi ve çıktı yönelimli olarak 15 Türkiye konteyner terminallerinden sadece dördünün etkin olduğu ve etkinlik değerlerinin 1 olduğu görülmektedir. Bunlar; Kumport, Marport, MIP ve İzmir konteyner terminalleridir. VZA CCR modeline göre girdi ve çıktı yönelimli olarak Türkiye konteyner terminalleri içerisinde verimlilik ortalaması en düşük olan terminal 0,2934 ile Alport konteyner terminali olduğu belirlenmiştir.

Türkiye'de incelenen konteyner terminalinden Akdeniz bölgesinde MIP konteyner terminali, Ege bölgesinde İzmir konteyner terminali ve İstanbul gibi geniş bir hinterlanda sahip olan Marmara bölgesinde bulunan

Kumport ve Marport konteyner terminallerinin değerlendirmeye alınan 15 konteyner terminali içerisinde daha çok bölgesel yüke hizmet veren terminallerin etkin olduğu tespit edilmiştir. Fakat çalışma kapsamında değerlendirmeye alınan Karadeniz'in tek konteyner terminali olan Alport konteyner terminalinin etkinliğinin çok düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durumun temel nedenlerinden birisi ise; Türkiye'nin sanayileşme oranının en düşük olduğu bölgelerden birinin Karadeniz bölgesi olmasından dolayı Alport konteyner terminalinin yük elleçleme oranının düşük olmasındandır. Ayrıca Alport konteyner terminalinin art bölgeler ile bağlantısının sadece karayolu ile sağlanabilir olması terminalin verimliliğinin düşük çıkmasının bir diğer nedenidir.

Çalışma kapsamında değerlendirilen limanlar sadece tek tür yüke hizmet vermemekte olup farklı taşıma türlerine de hizmet vermektedir. Bundan dolayı limanlar tek tür yük için gerekli yatırımları değil her tür yüke ait yatırımlar yapmaktadır. Bu durum da limanların konteyner taşımacılığına verilen hizmetlerde dünya standartlarına erişmesini geciktirmektedir.

5. Sonuçlar

Dünya Doğu-Batı ve Kuzey-Güney deniz ticaret rotaları üzerinde önemli coğrafik konuma sahip olan ve Karadeniz'e açılan boğazların sınırları içerisinde bulunduran Türkiye'nin, dünya deniz taşımacılığında sürekli payı artan konteyner taşımacılığında yeteri kadar geliştiği iddia edilememektedir. 2008 küresel ekonomik krizinin etkilerini atmakta olan ve 2010 yılında 2009 yılına göre önemli oranda elleçleme miktarı artan Türkiye limanlarının istenilen oranlarda elleçleme yapabildiğini söylemek mümkün değildir. Türkiye konum olarak Uzak Doğu-Avrupa eksenli ana ticari rotalara çok yakın bir konumda yer almakta bu nedenle transit yük için bir potansiyel teşkil etmektedir. Ancak bahsedilen ana ticari rotalarda faaliyet gösteren büyük ölçekli ana gemilere hizmet verecek liman alt yapısının yetersizliği nedeniyle Türkiye, transit yük pazarından hak ettiği payı alamamaktadır.

Değerlendirmeye alınan terminallerde elleçlenen konteyner miktarlarının önemli bir bölümünü Türkiye'nin ithal ve ihraç ürünleri oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında performansları yüksek çıkan terminallerin sanayi bölgelerine yakın olması ve/veya geniş ard bölgelerinin bulunması bu terminallerin performanslarının yüksek çıkmasına neden olmaktadır. Diğer yandan ard bölgeleri ile yeterli ve güçlü bağlantıları bulunmayan terminallerin ise verimliliğinin düşük olduğu çalışmadan çıkarılan bir diğer sonuçtur.

Bu çalışma kapsamında incelemeye alınan konteyner terminallerinin kapasite kullanım oranlarının düşük çıktığı gözlemleniştir. Terminallerin belli bir kapasitesi bulunmasına rağmen elleçleme miktarlarının düşük olması terminallerin performanslarının düşük çıkmasına sebep olmuştur.

Sonuç olarak; Türkiye'deki konteyner terminallerinin performanslarının etkin bir duruma gelebilmesi için öncelikle terminaller ile ard bölgeler arasında özellikle demiryolu bağlantısı ve karayolu ile güçlü bağların kurulması öncelikli durum olarak dikkat çekmektedir. Ayrıca dünyadaki konteyner taşımacılığı, limancılığı ve konteyner gemilerinde görülen gelişmelere paralel olarak Türkiye'deki terminal alt ve üst yapılarının revize edilmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

Adler, N., Golany, B., 2001. Evaluation of deregulated airline networks using data envelopment analysis combined with principal component analysis with an application to Western Europe. European Journal of Operational Research 132 (2), 18–31.

Al-Eraqi, A.S., Mustafa, A., Khader, A. T., Barros, C. P., 2008. Efficiency of Middle Eastern and East African Seaports: Application of DEA Using Window Analysis. European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.23 No.4(597 12).

Alı, A.I., 1994. Computational Aspects of DEA, Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology and Application, Kluwer Academic Publishers. (63-88).

Ateş, A., Karadeniz, Ş., Esmer, S., 2010. Dünya Konteyner Taşımacılığı Pazarında Türkiye'nin Yeri. Dokuz Eylul University, Maritime Faculty Journal. Volume 2 (2).P:83-98.

Ateş, A., 2010. Türkiye Konteyner Terminallerinde Verimlilik Analizi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yayınlanmamış Doktora Tezi. Erzurum.

Avkıran, N. K.,2001. Investigating Technical and Scale Efficiencies of Australian Universities Through Data Envelopment Analysis", Socio-Economic Planning Sciences,Vol.35

Banker, R. D., Charnes, A. and Cooper, W.W., 1984. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficincies in Data Envelopment Analysis", Management Science, 30(9), (251-253).

Barros, C.P., 2003. The Measurement of Efficiency of Portuguese Seaport Authorities with DEA. International Journal of Transport Economics, XXX(3),(335-354).

Barros, C. P., 2006. A Benchmark Analysis of Italian Seaports using Data Envelopment Analysis. Maritime Economics & Logistics 8, pp. 347–365.

Barros, C.P., Athanassious, M., 2004. Efficiency in European Seaports with DEA: Evidence from Greece and Portugal, Maritime Economics & Logistics 6, pp. 122–140.

Bayar, S., 2005. Veri Zarflama Analizi Kullanılarak Liman Verimliliğinin Ölçülmesi: Türk Limanlarından Bir Örnek, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
Baysal, M.E., Uygur, M. ve Toklu, B., 2004. Veri Zarflama Analizi ile TCDD Limanlarında Bir Etkinlik Ölçümü Çalışması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi. Cilt 19, No 4,(437-442).
Bonilla, M., Casasus, T., Medal, A., Sala, R., 2004. An Efficiency Analysis of the Spanish Port System. International Journal of Transport Economics, XXXI(3).(379-400).
Bülbül, S. ve Akhisar, İ. 2005. Türk Sigorta Şirketlerinin Etkinliğinin Veri Zarflama Analizi ile Araştırılması. Marmara Üniversitesi Bankacılık ve Sigortacılık Yüksek Okulu, ,http://www.ekonometridernegi.org/bildiriler/o 3s2.
Charnes, A., Cooper W.W., Rhodes, E., 1978. Measuring the Efficiencey of Decision Making Units. European Journal of Operational Research 2.
Charnes, A., Cooper, W. W., Lewin, A. Y., and Seiford, L. M. 1994. Data Envelopment Analysis: Theory, methodology, and applications. Boston: Kluwer.
Chen, T.A., 2002. Comparison of Chance-constrained DEA and Stochastic Frontier Analysis: Bank efficiency in Taiwan. Journal of the Operational Research Society 53: (492- 500).
Cullinane, K., Ji P., T. Wang., 2004. An Application of DEA Windows Analysis to Container Port Production. Review of Network Economics 3(2), pp. 184–206.
Cullinane, K., Wang, T. F.,Song, D.W., Ji, P., 2005. A Comparative Analysis of DEA and SFA Approaches to Estimating The Technical Efficiency of Container Ports. Transportation Research A: Policy and Practice, 40(4),(354-374).
Cullinane, K., Wang, T. F., 2006. The Efficiency of European Container Ports: A Cross-sectional Data Envelopment Analysis. International Journal of Logistics: Research and Applications,9(1), (19-31).
Cullinane, K., Wang, T. F., Song, D.W., Ji, P. 2006. The technical efficiency of container ports: Comparing data envelopment analysis and stochastic frontier analysis. Transportation Research A. 40, pp. 354-374.
Cullinane, K., Wang, T.F., 2007. Data Envelopment Analysis (DEA) and Improving Container Port Efficiency. Chapter 23. Research in Transportation Economics, Volume 17, 571-566.
Cummins, J. D. and Weiss, M. A., 1993. Measuring Cost Efficiency in the Property-Liability Insurance Industry," Journal of Banking and Finance 17: 463-481.
Cummins, J.D.; Weiss, M.A. and Zi, H., (1999) Organizational Form and Efficiency: The Coexistence of Stock and Mutual Property-Liability Insurers, Management Science, 45 (9), (1254-1269).
Çiftçi, H., 2004. Türk Sigorta Sektörünün Sorunları: DEA Analizi ile Türk Sigorta Şirketlerinin Etkinlik Düzeylerinin Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 13, 1, 121-143
Dikmen, C., 2007. Veri Zarflama ile Üniversitelerin Etkinliğinin Ölçülmesi, Kocaeli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Yıl:3 sayı:3.
Ertuğrul, İ. ve Işık, A. T., 2008. İşletmelerin VZA ile Mali Tablolarına Dayalı Etkinlik Ölçümü: Metal Ana Sanayiinde Bir Uygulama. Afyon Kocatepe Ünv. İİBF Dergisi, C. X., S. I.
Esmer, S., 2010. Konteyner Terminallerinde Lojistik Süreçlerin Optimizasyonu ve Bir Simülasyon Modeli. Dokuz Eylül Yayınları. İzmir.
Farrell, M.J., 1957. The Measurement of Productive Efficiency. Journal of the Royal Statistical Society 120(3):253-290.
Filippini, M., Prioni, P., 1994. Is scale and cost inefficiency in the Swiss bus industry a regulatory problem? Evidence from a frontier cost approach. Journal of the Economics of Business 1 (2), 219–231.
Greene, W.H. and Segal, D., 2004. Profitability and Efficiency in The US Life Insurance Industry. Journal of Productivity Analysis 21 (3), 229–247.
Güçlü, A., 1999. Türk Silahlı Kuvvetleri Hastanelerinde Teknik Verimlilik Ölçümü: Veri Zarflama Analizi Uygulaması. Doktora Tezi. (Yayınlanmamış).
Hsuan-Shih, L., Ming-Tao, C., Sen-Guei, K., 2005. Evaluating Port Efficiency in Asia Pacific Region with Recursive Data Envelopment Analysis. Journal of the Eastren Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6 (544-559).
Itoh, H., 2002. Efficiency Changes at Major Container Ports in Japan: A Window Application of Data Envelpment Analysis. Review of Urban and Regional Development Studies, 14(2),(133-152).
İnan, A., 2000. Banka Etkinliğinin Ölçülmesi ve Düşük Enflasyon Sürecinde Bankacılıkta Etkinlik, Bankacılar Dergisi(34), (82-97).
Karhan, A. ve Özgür, E. 2009. Hastanelerde Performans Yönetim Sistemi ve Veri Zarflama Analizi, Nobel Yayın Dağıtım Tic. Ltd. Şti., Ankara.
Kavuncubaşı, Ş. ve Ersoy, K. 1995. "Technical Efficiency Measurement in Province Health Facilities", Public Administration Review, 28(3): (77-92).
Kayalı, C. A., 2007. 2000-2006 Döneminde Türkiye'de Faaliyet Gösteren Sigorta Şirketlerinin Etkinlik Değerlendirmesi. Celal Bayar Üniversitesi İ.İ.B.F. Yönetim ve Ekonomi Dergisi, Cilt No: 14, Sayı: 2, (103-115).

Kecek, G., 2010. Veri Zarflama Analizi Teori ve Uygulama Örneği. Siyasal Kitabevi.
Kılıçkaplan, S., Atan, M. ve Hayırsever, F., 1998. Türk Sigorta Sektörünün mali Performansı: 1990-1996, Dönemine İlişkin Bir Değerlendirme, İstanbul
Kılıçkaplan, S. ve Baştürk. H. F., 2004. Türkiye'de Hayat-Dışı Alanda Faaliyet Gösteren Sigorta Şirketlerinin 2002 Yılındaki Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi (VZA) İle Ölçülmesi. Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 6/2, (63-79).
Kim, M., Sachish, A., 1986. The Structure of Production, Technical change and Productivity in a Port. Journal of Industrial Economics, 35(2), 209-223.
Lee Chee Xui., 2005. Malaysian container port performance Measurement. M.SC. Thesis, Malaysia University of Science and Technology.
Lin, L. C., Tseng, C. C., 2007. Operational Performance Evaluation of Major Container Ports in the Assia-Pacific Region. Maritime Policy & Management, 34:6,(535-551).
Linda, A. and Rai, A., 1996. Operational Efficiency in Banking: An International Comparison, Journal of Banking and Finance, Vol. 20 (No. 4),(655).
Lovell, S., 1993. "Production Frontiers and Productive Efficiency, H.O. Fried, Lovell, K., and Schmidt, S. (der.) The Measurement of Productive Efficiency, Oxford University Press, Oxford, (3 – 64).
Martinez-Budria, E., Diaz-Armas, R., Navarro-Ibanez, M., Ravelo-Mesa, T., 1999. A study of the efficiency of Spanish port authorities using data envelopment analysis. International Journal of Transport Economics XXVI (2), 237–253.
Marconsult., 1994. Major Container Terminals Structure and Performances. Report Genoa.
Mercan, M. ve Yolalan R., 2000. Türk Bankacılık Sektöründe Ölçek ve Mülkiyet Yapıları ile Finansal Performans ilişkisi",IMKB Dergisi, Yıl 4, Sayı:15.
Norman, M., Stoker, B., 1991. Data Envelopment Analysis, The Assessment of Performance. Chichester: Wiley.
Notteboom, T., Coeck, C., Van Den Broeck, J., 2000. Measuring and Explaining the Relative Efficiency of Container Terminals by Means of Bayesian Stochastic Frontier Models. International Journal of Maritime Economics 2, (83-106).
Oum, T.H., Yu, C., 1994. Economic efficiency of railways and implications for public policy. Journal of Transport Economics and Policy 28 (2), 121–138.
Özcan, Y.A., Luke, R.D. and Haksever, C. (1992). Ownership and Organizational Performance: A comparison of Technical Efficiency Across Hospital Types. Medical Care, 30(9): 781-794.
Regan, A.C., Golob, T.F., 2000. Trucking industry perceptions of congestion problems and potential solutions in maritime intermodal operations in California. Transportation Research A: Policy and Practice 34 (8), 587–605.
Rios, L.R., Maçada, A. C. G., 2006. Analysing the Relative Efficiency of Container Terminals of Mercosur using DEA. Maritime Economics & Logistics,8(331-346).
Roll, Y., Hayuth, Y., 1993. Port performance comparison applying data envelopment analysis (DEA). Maritime Policy and Management 20 (2), 153–161.
Sezen B. ve Doğan. E., 2005. Askeri Bir Tersaneye Bağlı Atölyelerin Karşılaştırmalı Verimlilik Değerlendirmesi: Bir Veri Zarflama Yöntemi Uygulaması, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi,No 2, Vol. 2. (77-87).
Sherman, D. H., 1984. Hospital Efficiency Measurement and Evaluation. Emprical Test of New Technique, Medical Care, 22/10.
Talley, W. K. 1994. Performance Indicators and Port Performance Evaluation. Logistics and Transportation Review, 30(4), 339-352.
Talley, W.K., 1998. Optimum throughput and performance evaluation of marine terminals. Maritime Policy and Management 15 (4), 327– 331.
Tetik, S., 2003. İşletme Performansını Belirlemede Veri Zarflama Analizi. Yönetim ve Ekonomi, Cilt:10, Sayı,2.(221-229).
Tongzon, J.L., 1995. Determinants of port performance and efficiency. Transportation Research A: Policy and Practice 29 (3), 245–252.
Tongzon, J.L., 2001. Efficiency measurement of selected Australian and other international ports using data envelopment analysis. Transportation Research A: Policy and Practice 35 (2), 113–128.
Tongzon, J.L., 2005. Port privization efficiency and competitivenes: emprical evidence from container ports (terminals). Transportation Research A: Policy and Practice 39, 405–424.
Tongzon, J. and Heng, W., 2005. Port Privatization, Efficiency and Competitiveness: Some Emprical Evidence from Container Ports(Terminals). Transportation Research Part A: 39(405-424).
Trujillo, L., B. Tovar., 2007. The European Port Industry: An Analysis of its Efficiency Maritime Economics and Logistics 9(2), pp. 148–171.
Turner, H., Windle, R., Dresner, M., 2004. North American Container Port Productivity: 1984-1997. Transportation Research E, 40,(339-356).

Valentine, V.F., Gray, R., 2001. The measurement of port efficiency using data envelopment analysis. In: Proceedings of the 9th World Conference on Transport Research, 22–27 July, Seoul, South Korea.
Wang, T. F., Cullinane, K., 2006. The Efficiency of European Container Terminals and Implications for Supply Chain Management. Maritime Economics & Logistics, 8(82-99)
Weiss, M.A., 1991. International P/L Insurance Output, Input, and Productivity Comparisons. Geneva Papers on Risk and Insurance Theory 16 (2), 179–200.
White, K.R. and Özcan, Y.A. (1996). Church ownership and hospital efficiency. Hospital & Health Services Administration, 41(3): 297-310.
Yayla, M., Kaya, Y. T. ve Ekmen, İ., 2005. Bankacılık Sektörüne Yabancı Girişi: Küresel Gelişmeler ve Türkiye", BDDK Araştırma Dairesi, Eylül 2005.
Yolalan, R., 1993. İşletmeler arası Göreli Etkinlik Ölçümü, MPM yayınları, Ankara. Yolalan, R., 1996. Türk Bankacılık Sektörü için Göreli Mali Performans Ölçümü", TBB Bankacılar Dergisi Sayı 19.
13. Ekonometri Yöneylem Araştırması ve İstatistik Sempozyumu,
26–29 Mayıs 2011 Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye

Devlet Hava Meydanlarının Etkinliğinin Veri Zarflama Analizi (VZA) İle Ölçülmesi

Arda KIRANKABEŞ[a], Feyzan ARIKAN[b]
[a]T.C. Zafer Kalkınma Ajansı, Cumhuriyet Mah. Haymana Cad. Metem Tesisleri Kat:4,43020-Kütahya
[b]Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Müh. Bölümü, Celal Bayar Bulvarı, 06570 Maltepe-Ankara

Özet
Globalleşen dünyada artan rekabet ortamı ile hava meydan işletmeciliği ve hava meydanlarının verimliliği oldukça önem kazanmaktadır. Ülkemizde, hava meydan işletmeciliğinden sorumlu kurum Ulaştırma Bakanlığına bağlı Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMİ) Genel Müdürlüğü'dür. Bu çalışmada DHMİ Genel Müdürlüğü'nün portföyünde bulunan 36 hava meydanının Veri Zarflama Analizi (VZA) ile göreli etkinlikleri ölçülmüştür. Birden çok girdi ya da çıktının ağırlıklı bir girdi ya da çıktı setine dönüştürülemediği durumlarda etkin bir şekilde kullanım alanı bulan VZA, doğrusal programlama tabanlı bir tekniktir.
VZA için gerekli girdi ve çıktıların belirlenmesinde literatür araştırmasından faydalanılmış ve DHMİ kaynaklarından ulaşılabilen beş adet girdi ve dört adet çıktı belirlenmiştir. Girdiler; Terminal Alanı (m2), Toplam Gider, Personel Sayısı, Pist Sayısı ve Kapı Sayısıdır. Çıktılar ise; sırasıyla, Toplam Gelir, Ticari uçak Sayısı, Toplam Yolcu Sayısı ve Toplam Yük (ton) dür. Çalışmada, on iki aylık bir dönem için 2009 yılı verileri dikkate alınmıştır. Gözlem kümesi olarak seçilen 36 hava meydanı için, Ölçeğe göre sabit getiri (ÖGSG-CRS) varsayımını dikkate alan CCR modeli ve ölçeğe göre değişken getiri (ÖGDG-VRS) varsayımını dikkate alan BCC modeli girdi yönelimli olarak çözdürülmüştür. Sırası ile toplam etkinlikler ve teknik etkinlikler belirlendikten sonra, ölçekten kaynaklanan etkinsizlikler ortaya konulmuştur. VZA ile elde edilen sonuçlar yorumlanarak, iyileştirme önerileri yapılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Hava meydanları, performans analizi, veri zarflama analizi

Evaluation of Turkish Airports' Efficiencies with Data Envelopment Analysis (DEA)

Abstract

Airport management and airport productivity have an increasing importance because of the competitive environment in the globalizing world. In Turkey, most of the civil airports are operated by the State Airports Authority (DHMİ) which is associated with Turkish Ministry of Transport. In this study, 36 airports operated by the State Airports Authority are evaluated with Data Envelopment Analysis (DEA) and measured their relative efficiencies. DEA is an efficiently-employed linear programming-based technique when there are multiple inputs and outputs with different units of measure.

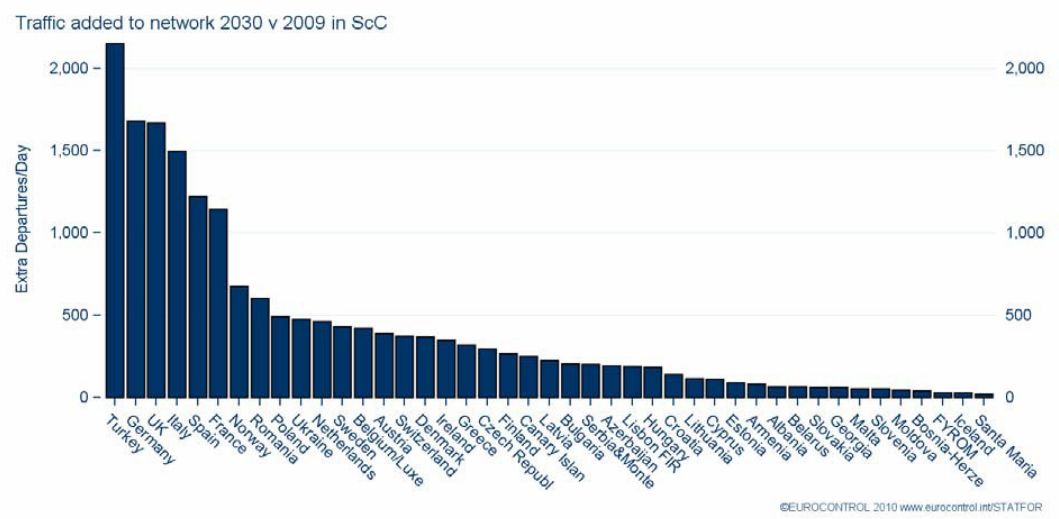
Five inputs and four outputs which are accessible from the State Airports Authority sources are determined by utilizing the available literature. As a result, Inputs are terminal area (m^2), total expenses, employee number, track number, and gate number respectively. Outputs are total income, commercial aircraft number, total number of passengers and total cargo (tons) respectively. In the study, data are considered for the year 2009. For the selected 36 airports, the CCR model with constant returns to scale assumption (CRS), and the BCC model with the variable returns to scale assumption (VRS) are taken into account as input-oriented and solved. After determining the total and technical efficiencies, respectively, inefficiencies resulting from the scale are introduced. According to the results obtained with DEA, suggestions for improvement of the airports are presented.
Keywords: Airports, performance evaluation, data envelopment analysis

1.Giriş

Hava ulaştırması sektörü günümüzdeki en hızlı ulaştırma türüdür. Geçen 100 yıllık sürede ilk olarak askeri alanda başlayan havacılık sektörü giderek ticari nitelik kazanmıştır. Havacılık sektörü sivil alanda başlıca yolcuların uçaklarla taşındığı hava yolu ulaştırması ve yolculara, yüklere ve uçaklara ev sahipliği yapan hava meydan işletmeciği sektörlerinden oluşmaktadır. İki alt sektörde birbirinin tamamlayıcısı sektörlerdir. Havacılık

sektörü düzenli büyümenin olduğu stratejik bir sektördür. Airbus tarafından hazırlanan "Global Pazar Tahmini" çalışmasında (Airbus, 2009) küresel yolcu trafiğinin yıllık % 4,7 artacağı öngörülmektedir. Türkiye'de havacılık sektörü dünya ortalamasının üzerinde büyümektedir. Şekil 1.'de Eurocontrol tarafından hazırlanan 2009–2030 dönemi içinde mevcut hava trafiğine günlük olarak eklenen ekstra trafik değerleri sıralamasında Türkiye'nin Avrupa'da ilk sırada yer aldığı görülmektedir.

Şekil 1. 2009–2030 dönemi içinde mevcut hava trafiğine günlük olarak eklenen ekstra trafik değerleri tahmini (Eurocontrol, 2010)



Türkiye'de hava meydan işletmeciliği hava yolu altyapısının ilk oluşturulduğu yıllarda hava meydan işletmeciliği ile bir arada değerlendirilmiştir. Bunun nedeni ise cumhuriyetin ilk yıllarında hava ulaşım talebinin oldukça düşük olması ve yeni hava meydanları inşa etme zorunluluğuydu. Ülkemizde hava meydanlarındaki gelişmeler ve hava meydanı sayısının artması, hava meydan işletmeciliğinin hava yolları işletmeciliğinden ayrı olarak kendine has bir rotada ilerlemesine neden olmuştur. Hava yolları işletmeciliği de benzer şekilde hava meydan işletmeciliği ile farklılaşmıştır. Artan profesyonelleşmeye bağlı olarak, hava meydan işletmeciliği ile hava yolları işletmeciliği 1950'li yıllarda birbirinden ayrılmıştır. Hava meydan işletmeciliği konusunda lider kurum, Ulaştırma Bakanlığı'nın ilgili kuruluşu olan Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü'dür (DHMİ).

27 Eylül - 01 Ekim 2009 tarihinde İstanbul'da Ulaştırma Bakanlığı tarafından, düzenlenen 10. Ulaştırma Şurasında DHMİ'nin yeniden yapılandırılması karalaştırılmıştır. Bu durum özelleştirme, özerkleştirme olgusunu ortaya çıkarmaktadır. Özelleştirme durumunda teklif verecek firmalar performansı en yüksek hava meydanlarıyla ilgileneceklerdir. Bu durum hava meydanlarında performans tespitini zorunlu kılmaktadır. Yeniden yapılandırma senaryosunda etkinsizlikler ön plana çıkacaktır. Etkinsizlik kaynakları yok edilmek suretiyle şirketin en etkin şekilde çalışması hedeflenmektedir.

Çalışmanın amacı, 2009 yılı için 36 hava meydanının göreli etkinliklerinin ölçülmesi ve etkinsizliklerin tespit edilmesidir Çalışmada kullanılacak girdi ve çıktılar literatür araştırması baz alınarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, hava meydanlarının toplam, teknik ve ölçek etkinlikleri tespit edilerek, girdi ve çıktıların hedef değerleri ve hava meydanlarının referans aldığı diğer hava meydanları belirlenmiştir. Çalışma 6 bölümden oluşmaktadır. Takip eden bölümde, literatürde yer alan çalışmalar incelenmiştir. Üçüncü bölümde etkinlik kavramıyla ilgili bilgilere, Veri Zarflama Analizi (VZA) ve çalışmada kullanılan VZA modellerine yer verilmiştir. Dördüncü bölümde, hava meydanlarında performans değerlendirme çalışması gerçekleştirilmiştir. Altıncı bölümde sonuçlar derlenmiştir.

2.Literatür Araştırması

VZA ile ilgili uluslararası dergilerde yapılan çalışmalar incelendiğinde yöntemin hastaneler (Magnussen vd.,2008), bankacılık (Cook vd., 2005), tarım (Picazo vd., 2011), eğitim (Comes vd., 2010) başta olmak üzere pek çok alana uygulandığı görülmektedir. Türkiye'deki çalışmalar daha çok eğitim alanında, örneğin Kutlar ve Kartal (2004), Baysal vd. (2005), Yeşilyurt ve Alan (2003) olmakla birlikte uluslararası literatüre paralellik göstermektedir. Bankacılık alanında Sezen vd. (2005), sağlık sektöründe Gülcü vd. (2004) çalışmaları son yıllarda yapılan VZA ile ilgili çalışmalardır.

Bu çalışmada, havaalanlarının veri zarflama analizi ile değerlendirildiği çalışmalar incelenmiştir. Her birinin dikkate aldığı girdiler ve çıktılar belirlenerek, uygulama çalışmasında seçilen girdiler ve çıktılar için referans olarak alınmıştır.

Gillen ve Lall (1997) 1989–1993 periyodunda 21 ABD hava meydanını değerlendirmiştir. Parker (1999) İngiltere'de gerçekleştirilen "İngiliz Hava Meydan Otoritesi" (BAA) özelleştirmesinden sonra etkinlikte bir değişim olup olmadığını analiz etmiştir. Sarkis (2000) 44 ABD havalimanını 1990–1994 dönemi için değerlendirmiştir. Gillen ve Lall (2001) 22 adet ABD hava limanını değerlendirmiştir. Pels vd.(2001) 34 Avrupa hava meydanını VZA ile değerlendirmiştir. Abbott ve Wu (2002) 1989–1990 ile 1999–2000 periyodunda 12 adet Avustralya hava meydanını değerlendirmiştir. Pels vd. (2003) 34 Avrupa hava meydanını 1995–1997 döneminde değerlendirmiştir. Sarkis ve Talluri (2004) 44 ABD hava meydanını değerlendirmiştir. Yoshida ile Fujiimoto (2004) yaptıkları veri zarflama analizi sonucunda bölgesel hava meydanlarının diğerlerine nazaran daha verimsiz olduğu bulunmuştur. Pacheco vd. (2006) 58 Brezilya hava meydanını değerlendirmiştir. Lin ve Hong (2006), yaptıkları çalışmada dünyanın en yoğun 20 hava meydanının performanslarını değerlendirmişlerdir. Barros ve Dieke (2008), 31 adet İtalyan hava meydanını 2001–2003 periyodundaki performansını değerlendirmişlerdir. Lam (2009), 11 adet Asya hava meydanı performansını değerlendirmiştir. Barros ve Weber (2009), 2000–2005 periyodu için 27 adet Birleşik Krallık hava meydanının performans değerlendirmesi yapılmıştır. Chi-Lok ve Zhang (2009), 25 Çin hava meydanının performansını değerlendirmiştir.

Türk Hava Meydanlarının VZA ile performans değerlendirmesi konusunda Düzakın ve Gucray (2001), Kıyıldı ve Karaşahin (2006), Ulutaş (2006), Ulutaş ve Ulutaş (2009), Koçak (2010) tarafından yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Düzakın ve Gurcay (2001) çalışmasında; havaalanı işletim giderleri, havaalanındaki personel sayısı, kapı sayısı, pist sayısı ve yolcu akış kapasitesi olarak beş girdi ve işletimsel gelir, yolcu akışı ve toplam kargo olarak üç çıktı ele almıştır. Kıyıldı ve Karaşahin (2006), 1996–2002 periyodunda 32 hava meydanını değerlendirmiş; Check-in kontuar sayısı, X-ray sayısı, Terminal binası yolcu kullanım alanı, Otopark araç kapasitesi, Havaalanı pist büyüklügü (m2), Havaalanı apron büyüklügü (m2), Havaalanı apron uçak kapasitesi (adet), Havaalanı taksirut uçak kapasitesi (adet), Terminal binası konveyor sayısı (adet) olmak üzere dokuz girdi ve toplam uçak ve yolcu sayısı olmak üzere iki çıktı dikkate almışlardır. Ulutaş (2006) çalışmasında 2000–2004 periyodunda 34 hava meydanı için girdiler; personel sayısı, işletme gideri, yıllık yolcu kapasitesi, yıllık uçuş kapasitesi; çıktılar, yolcu/alan oranı, yük trafiği, toplam uçak trafiği/pist oranı, işletme geliri olarak belirlenmiştir. Ulutaş ve Ulutaş (2009) çalışmalarında 2004–2005 periyodunda 31 hava meydanı için girdiler; maliyet, çalışan sayısı, terminal alanı, yolcu kapasitesi, uçak kapasitesi; çıktılar ise gelirler, yolcu sayısı, genel havacılık uçuşları, ticari havacılık uçuşları, kargo miktarıdır. Koçak (2010), 2008 yılı için 40 hava meydanını değerlendirmiştir. Dikkate aldığı girdiler; operasyon maliyetleri, personel sayısı, uçuş sayısı, yolcu sayısı, çıktılar ise; yolcu/alan oranı, uçak trafiği/pist oranı, toplam kargo miktarı ile operasyonel gelirler olarak belirlenmiştir.

3.Veri Zarflama Analizi (VZA)

Etkinlik, gerek ürün gerekse hizmet üretim sürecinde belirli bir girdi ile en fazla çıktıyı elde etmeyi ya da belirli bir çıktıyı en az girdi kullanımı ile elde etmeyi ifade eder. Performans değerlendirme amacıyla etkinliğin ölçülmesinde kullanılan yöntemler üç gruba ayrılabilir (Kecek 2010): (1) Oran Analizi en sık kullanılan yöntemdir. Tek bir girdinin tek bir çıktıya oranlanması ve oranın zaman içerisinde izlenmesidir. (2) Parametrik Yöntemler genel olarak regresyon analizi ile tahmin yapılmaktadır. (3) Parametrik Olmayan Yöntemler analitik bir fonksiyonu esas almazlar. VZA çok girdili çok çıktılı karmaşık sistemlerde etkinlik ölçümüne olanak sağlayan parametrik olmayan bir yöntemdir.

Veri zarflama analizi (VZA), aynı girdi bileşimini kullanarak aynı çıktı bileşimini üreten ve karar verme birimi (KVB) olarak adlandırılan homojen birimlerin etkinliğini ölçmek için doğrusal programlamayı temel alır. VZA merkezi eğilim üzerine değil, sınır üzerine odaklanmaktadır. VZA, her bir KVB'nin etkinliğini benzer KVB'lere göre değerlendirir. Yani, verilerin merkezinden geçen bir regresyon düzlemi yerine, tüm KVB'ler göz önüne alınarak oluşturulan etkin bir sınır veya zarf meydana getirir. VZA, hedef karar verme birimini referans alıp en uygun ağırlıkları bularak bir KVB'nin göreli etkinliğini belirler. Her bir etkin olmayan KVB' yi etkin hale getirmek için alternatifler, KVB'lerin etkin sınır üzerine izdüşümleri ile görülebilir (Alçılar,2006).

VZA'yı güçlü kılan temel özellikler sırasıyla şöyledir (Onaran,2006): (a) Analiz, istatistiksel sınır tahminleme yöntemlerinin ortaya çıkardığı ortalama fonksiyonun yerine, en iyi gözlemlerce oluşturulan sınır fonksiyonuna göre yapıldığı için, belirlenen hedefler, en iyi performans göstermiş birimler örnek alınarak yapılmaktadır. Bu da

VZA anlamını ve geçerliliğini güçlendirmektedir. (b) VZA, çok girdi ve çok çıktıyı işleyecek yetenektedir. (c) VZA, doğrusal form dışında, girdi ve çıktıları ilişkilendiren bir fonksiyonel forma ihtiyaç duymaz. (d) VZA ile etkinlikleri hesaplanan karar birimleri göreli olarak tam etkinliğe sahip olanlarla kıyaslanır. (e) Girdiler ve çıktılar çok farklı birimlere sahip olabilirler.

VZA analizi beş adımda gerçekleştirilir: (1) Gözlem kümesinin seçimi, (2)Girdi ve çıktı kümelerinin belirlenmesi, (3) Optimizasyon modelinin belirlenmesi, (4) Ölçeğe göre getiri tipinin seçilmesi, (5) VZA modelinin uygulanması ve sonuçların değerlendirilmesi

3.1. VZA Modelleri

Literatürde en yaygın olarak kullanılan VZA modelleri Charnes, Cooper ve Rhodes'un (1978) geliştirdiği ilk VZA modeli olan CCR ve Banker Charnes ve Cooper (1984) tarafından geliştirilen BCC modelleridir. Bu modellerin her ikisi de girdiye yönelik veya çıktıya yönelik olacak şekilde modellenebilir. Girdiye yönelik modeller sabit bir girdi kullanılarak en çok çıktıyı elde etmeyi amaçlarken, çıktıya göre modeller ise sabit bir çıktı seviyesi için ne kadar girdi kullanılması gerektiği açıklanır. Hava meydanlarında performans değerlendirme çalışmasında hava meydanı otoritesinin müdahale edebileceği değerler girdiler olması itibariyle, bu başlık altında girdiye yönelik toplam etkinliği ölçen ağırlıklı CCR modeli ve teknik etkinliği ölçen ağırlıklı BCC modeli incelenecektir. Teknik etkinlik, girdi bileşiminin en verimli şekilde kullanılarak mümkün olan en büyük çıktıyı üretme başarısıdır. Ölçek etkinliği ise en verimli ölçek büyüklüğüne olan yakınlıktır.

Girdiye Yönelik Ağırlıklı CCR Modeli

$$E_k = \max \sum_{r=1}^{p} u_r y_{rk} \qquad (1)$$

kısıtlar;

$$\sum_{r=1}^{p} u_r y_{rk} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \le 0 \qquad j = 1,2,...,n \qquad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ik} = 1 \qquad (3)$$

$$u_r \ge \varepsilon \quad ve \quad v_i \ge \varepsilon \qquad r = 1,2,...,p; i = 1,2,...,m \qquad (4) \text{ ve } (5)$$

E_k : k karar biriminin etkinliği
u_r : k karar birimi tarafından r. çıktıya verilen ağırlık,
v_i : k karar birimi tarafından i. girdiye verilen ağırlık,
y_{rk} : k karar birimi tarafından üretilen r. çıktı değeri
x_{ik} : k karar birimi tarafından kullanılan i. girdi değeri
y_{rj} : j. karar birimi tarafından üretilen r. çıktı değeri
x_{ij} : j. karar birimi tarafından kullanılan i. girdi değeri
□ : yeterince küçük bir pozitif sayı (0.001 gibi)

Girdiye Yönelik Ağırlıklı BCC Modeli

$$E_k = \max(\sum_{r=1}^{t} u_r y_{rk}) - \mu_0$$

kısıtlar;

$$\sum_{r=1}^{t} u_r y_{ri} - \sum_{i=1}^{n} v_i x_{ij} - \mu_0 \le 0 \quad \text{j=1,2,…,n} \qquad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{n} v_i x_{ik} = 1 \qquad (7)$$

$$u_r \ge \varepsilon \quad ve \quad v_i \ge \varepsilon \qquad r = 1,2,...,t; i = 1,2,...,n \qquad (8) \text{ ve } (9)$$

u_r, v_i, y_{rk}, x_{ik}, y_{rj}, ve x_{ij} için yukarıdaki tanımlar geçerli olmak üzere; μ_0 ölçeğe göre getirinin yönüyle ilgili kısıtsız değişkendir.

Etkin olan karar birimleri için E_k değeri 1'e eşit; etkin olmayan karar birimleri için ise 1'den küçüktür.

4.UYGULAMA

Bu çalışmada, uygulama aşamasında DHMİ hava meydanlarının 2009 yılı için etkinlikleri hesaplanmıştır. İşletmeye bağlı toplam 42 hava meydanı içerisinden 36 tanesi analiz için seçilmiştir. Gözlem kümesinin seçiminde 2009 yılında sadece 2 adet ticari uçuşu olan bir hava meydanı ve ticari hava trafiği olmayan 3 hava meydanı ve 2010 yılında işletmeye açılması planlanan 3 hava meydanı olmak üzere toplam altı hava meydanı analize dâhil edilmemiştir.

VZA'da kullanılacak girdi ve çıktıların belirlenmesi için literatürden faydalanılmıştır. Literatürde sıklıkla atıfta bulunulan girdiler sırasıyla; pist Sayısı, gate sayısı (Gillen ve Lall, 1997; Sarkis 2000); terminal alanı (Gillen ve Lall, 1997; Pels, 2001; Pacheco vd., 2006); personel payısı (Gillen ve Lall, 1997; Sarkis, 2000; Yoshida ve Fujimoto, 2004) ve toplam giderdir (Parker, 1999; Sarkis, 2000; Pacheco vd., 2006). Literatür araştırmasında sıkça atıfta bulunulan çıktılar ise; gelir (Parker, 1999; Sarkis, 2000; Pacheco vd., 2006); uçak sayısı ve yolcu sayısı ve yük miktarıdır (Gillen ve Lall, 1997; Sarkis, 2000; Oum vd., 2003). Belirtilen beş adet girdi ve dört adet çıktı VZA için kullanılmasına karar verilmiştir.

VZA uygulamasında DEAP adı verilen yazılımdan yararlanılmıştır. DEAP programından elde edilen CCR ve BCC modellerine ait etkinlik değerleri ve CCR etkinlik değerinin BCC etkinlik değerine bölünmesiyle elde edilen ölçek etkinlik değeri Çizelge 1'de görülmektedir. Bir hava meydanı ölçek etkin ise etkinlik değeri 1 olmalıdır. 36 hava meydanından sadece 5 adedi optimal ölçek büyüklüğünde çalışmaktadır. Hava meydanlarına olan hızlı talep artışının önümüzdeki yıllarda ölçek etkinsizliklerini azaltması ve hava meydanlarının daha verimli çalışmaya başlanmasını sağlaması beklenmektedir.

Hava meydanlarının girdi ve çıktı verilerine ait değerler ile CCR modeline göre elde edilen hedef girdi ve çıktı değerleri sırasıyla Çizelge 2 ve 3'te; hava meydanlarının CCR sonuçlarına göre referans aldıkları diğer hava meydanları Çizelge 4'te görülmektedir. Girdi ve çıktı verilerinin mevcut değerleri ile BCC modeline göre elde edilen hedef girdi ve çıktı değerleri sırasıyla Çizelge 5 ve 6'da; hava meydanlarının BCC sonuçlarına göre referans aldıkları diğer hava meydanları ise Çizelge 7'te görülmektedir. Çizelgeler incelendiğinde CCR yöntemine göre sadece 5 hava meydanının etkin olduğu, BCC metoduna göre ise 29 meydanın etkin olduğu görülmektedir.

Çizelge 1. CCR ve BCC Etkinlik Değerleri

Sıra	Hava Meydanları	CCR Etkinlik Değeri	BCC Teknik Etkinlik Değeri	Ölçek Etkinliği
1	İstanbul-Atatürk	1	1	1
2	Ankara-Esenboğa	0,56	0,649	0,864
3	İzmir-A.Menderes	0,435	0,628	0,693
4	Antalya	1	1	1
5	Muğla-Dalaman	0,42	0,582	0,722
6	Muğla-Milas-Bodrum	1	1	1
7	Adana	1	1	1
8	Trabzon	0,493	1	0,493
9	Isparta-S.Demirel	0,029	1	0,029
10	Nevşehir-Kapadokya	0,509	1	0,509
11	Erzurum	0,294	0,501	0,588
12	Gaziantep	0,324	0,502	0,646
13	Adıyaman	0,309	1	0,309
14	Ağrı	0,09	1	0,09
15	Amasya-Merzifon	0,17	1	0,17
16	Bursa-Yenişehir	0,076	0,5	0,153
17	Çanakkale	0,108	1	0,108
18	Denizli-Çardak	0,3	1	0,3
19	Diyarbakır	0,909	1	0,909
20	Elazığ	0,899	1	0,899
21	Erzincan	0,411	1	0,411

22	Hatay	1	1	1
23	K.Maraş	0,321	1	0,321
24	Kars	0,563	1	0,563
25	Kayseri	0,515	1	0,515
26	Konya	0,35	0,661	0,53
27	Malatya	0,71	1	0,71
28	Mardin	0,714	1	0,714
29	Muş	0,352	1	0,352
30	Samsun-Çarşamba	0,718	1	0,718
31	Sinop	0,386	1	0,386
32	Sivas	0,283	1	0,283
33	Şanlıurfa-Gap	0,138	1	0,138
34	Tekirdağ-Çorlu	0,693	1	0,693
35	Uşak	0,057	1	0,057
36	Van-Ferit Melen	0,85	1	0,85

Çizelge 2. CCR Yöntemine Göre Mevcut Ve Olması Gereken Girdi Değerleri

Sıra	Terminal Alanı (m^2)		Toplam Gider x (1000 TL)		Personel Sayısı		Pist Sayısı		Gate Sayısı	
	Mevcut	CCR Hedef	Mevcut	CCR Hedef	Mevcut	CCR Hedef	Mevcut	CCR Hedef	Mevcut	CCR Hedef
1	326500	326500	86104	86104	884	884	3	3	53	53
2	182000	63690	64003	21757,134	1143	214	2	1,121	18	10,087
3	136199	59254	54778	19852,533	639	218	2	0,87	26	10,082
4	152480	152480	55023	55023	537	537	3	3	24	24
5	118005	29165	23785	9985,112	344	98	2	0,516	11	4,618
6	17336	17336	27494	27494	238	238	1	1	8	8
7	9061	9061	20610	20610	351	351	1	1	6	6
8	23745	11708	19446	8100,307	204	101	1	0,493	6	2,769
9	5400	158	5654	165,222	68	2	1	0,007	2	0,055
10	3500	1783	8571	2827,121	134	25	1	0,103	2	0,823
11	13107	3859	10781	3070,177	151	44	2	0,155	4	1,05
12	22790	7392	18608	6035,173	180	58	2	0,501	8	1,806
13	1200	370	3128	965,295	49	14	1	0,061	1	0,25
14	751	68	3708	176,452	41	3	1	0,011	3	0,046
15	1185	202	2794	475,724	38	6	1	0,034	2	0,118
16	12716	970	11609	885,839	112	9	2	0,076	4	0,251
17	1476	159	3029	327,296	43	5	1	0,022	1	0,086
18	16500	1903	9492	686,664	72	7	1	0,037	1	0,300
19	8085	7348	7725	5157,921	98	72	1	0,263	2	1,818
20	1400	1259	6014	2863,047	113	49	1	0,139	2	0,833
21	1242	510	6105	2506,969	58	20	1	0,28	2	0,391
22	1200	1200	7942	7942	47	47	1	1	1	1
23	1350	433	3977	1275,432	60	17	1	0,096	1	0,298
24	2860	1610	6791	1754,963	76	27	1	0,087	1	0,563
25	14129	7281	11922	5503,072	83	43	1	0,515	4	1,59
26	5396	1891	5905	2069,301	108	33	2	0,096	2	0,697
27	3585	2545	5220	3705,346	77	55	1	0,219	2	1,09
28	1500	1071	4996	2339,495	39	28	1	0,191	1	0,538
29	1503	529	3333	1172,342	40	14	1	0,095	1	0,271
30	11500	8253	12735	3495,023	180	39	1	0,187	2	1,435
31	600	231	2789	1075,768	34	9	1	0,117	1	0,175
32	2217	627	4704	1329,648	54	15	1	0,112	2	0,306
33	12000	1653	15350	1489,295	92	13	1	0,138	7	0,405
34	6521	4519	7399	3564,025	79	55	1	0,161	2	1,323

35	1740	100	2547	146,396	50	2	1	0,007	1	0,046
36	4410	3747	7421	5021,901	95	81	1	0,248	2	1,558

Çizelge 3. CCR Yöntemine Göre Mevcut Ve Olması Gereken Çıktı Değerleri

Sıra	Toplam Gelir x 1000 TL		Ticari Uçak Sayısı		Toplam Yolcu Sayısı		Toplam Yük (ton)	
	Mevcut	CCR Hedef	Mevcut	CCR Hedef	Mevcut	CCR Hedef	Mevcut	CCR Hedef
1	698062	698062	265759	265759	29812888	29812888	826306	826306
2	43671	161121,98	51281	51281	6084404	7296908	73432	160657,2
3	59084	136646,71	49568	49568	6201794	6201794	79671	150912,1
4	400500	400500	122440	122440	18345693	18345693	384315	384315
5	51629	73892,13	21246	23480	3347996	3347996	46324	73566
6	63534	63534	19999	19999	2780944	2780944	35861	35861
7	20164	20164	19914	19914	2482402	2482402	32273	32273
8	13139	28504,87	11907	11907	1596905	1596905	16902	31306,28
9	419	419	184	184	16461	23020	208	403,819
10	6533	6533	1094	2056	122753	285956	1411	3687,47
11	384	9784,96	4281	4322	599017	599017	5540	10639,82
12	3507	15392,54	7580	7580	833002	867154	10580	19679,08
13	291	792,443	820	820	85112	101373	752	1311,45
14	145	145	150	150	14169	18545	168	239,918
15	131	421,935	396	396	39577	48347	370	674,212
16	499	2011,287	1031	1031	73496	118257	1311	2605,734
17	236	338,249	294	294	19207	35870	176	521,004
18	1006	4998,073	1528	1528	150780	228947	1184	4796,090
19	5150	18774,18	7727	7727	1060381	1085295	10856	19883,536
20	826	2801,09	2310	2766	344844	344844	3294	4483,22
21	541	788,351	1188	1188	127030	138835	1511	1734,1
22	1329	1329	2897	2897	325307	325307	3955	3955
23	162	888,665	966	966	81420	118420	822	1524,26
24	953	3983,92	2132	2149	288008	288008	3669	4697,78
25	8314	15027,26	6918	6918	778639	779003	12085	18937,71
26	1677	4111,06	2620	2620	301724	315328	3391	5590,81
27	2189	5461,15	3923	3923	462884	474092	5140	7783,37
28	497	2373,96	1844	1844	233288	233288	2446	3371,17
29	515	1152,99	924	924	115795	115795	1190	1673,8
30	5916	21569,7	7004	7004	866862	1034496	8973	21083,18
31	129	373,64	536	536	47147	63040	485	790,668
32	503	1267,24	1050	1050	124137	125524	1291	1947,94
33	850	3399,91	1688	1688	181155	191809	1568	4379,88
34	1256	9763,91	1802	5311	40778	628090	12652	12652
35	79	219,039	164	164	10327	20034	87	314,642
36	2613	9073,31	4825	5684	745493	745493	7500	11441,66

Çizelge 4. CCR Metoduna Göre Hava Meydanlarının Referans Aldıkları Hava Meydanları

Sıra	Hava Meydanı	Referans Aldığı Meydanlar	Yoğunluk Değeri
1	İstanbul-Atatürk	1	1
2	Ankara-Esenboğa	1,4	0.039 ; 0.335
3	İzmir-A.Menderes	1,4,7	0.116; 0.132; 0.124
4	Antalya	4	1
5	Muğla-Dalaman	1,4	0.017; 0.155
6	Muğla-Milas-Bodrum	6	1
7	Adana	7	1

8	Trabzon	7,4,22,1	0.172; 0.047; 0.153; 0.008
9	Isparta-S.Demirel	1,4,6,7	0.0001; 0.0001; 0.003; 0.003
10	Nevşehir-Kapadokya	6	0.103
11	Erzurum	7,4	0.097; 0.020
12	Gaziantep	7,1,22	0.067; 0.019; 0.375
13	Adıyaman	7,22	0.038; 0.024
14	Ağrı	7,22	0.007; 0.004
15	Amasya-Merzifon	7,1,22	0.016; 0.0001; 0.018
16	Bursa-Yenişehir	7,1,22	0.010; 0.002; 0.058
17	Çanakkale	7,1,22	0.012 ; 0.0001; 0.01
18	Denizli-Çardak	4	0.012
19	Diyarbakır	7,4	0.145; 0.04
20	Elazığ	7	0.139
21	Erzincan	7,22	0.022;0.258
22	Hatay	22	1
23	K.Maraş	7,22	0.040; 0.056
24	Kars	7,4	0.068; 0.007
25	Kayseri	7,22,1	0.011; 0.443; 0.020
26	Konya	7,1	0.086; 0.003
27	Malatya	7,1,22	0.137;0.004; 0.071
28	Mardin	7,4,22	0.059 ;0.003; 0.124
29	Muş	7,4,1,22	0.030 ; 0.001; 0.0001; 0.062
30	Samsun-Çarşamba	7,4	0.030; 0.052
31	Sinop	7,22	0.012; 0.105
32	Sivas	7,1,22	0.031; 0.001; 0.079
33	Şanlıurfa-Gap	7,22,1	0.010; 0.115; 0.004
34	Tekirdağ-Çorlu	7,1	0.130; 0.010
35	Uşak	7,1	0.007 ;0.0001
36	Van-Ferit Melen	7,4	0.212 ; 0.012

Çizelge 5. BCC Yöntemine Göre Mevcut Ve Olması Gereken Girdi Değerleri

Sıra	Terminal Alanı		Toplam Gider (x 1000)		Personel Sayısı		Pist Sayısı		Gate Sayıları	
	Mevcut	Hedef	Mevcut	Hedef	Mevcut	CCR Hedef	Mevcut	CCR Hedef	Mevcut	CCR Hedef
1	326500	326500	86104	86104	884	884	3	3	53	53
2	182000	56026	64003	26114,35	1143	347	2	1,298	18	11,681
3	136199	56041	54778	34373,23	639	330	2	1,255	26	13,565
4	152480	152480	55023	55023	537	537	3	3	24	24
5	118005	33711	23785	13832,94	344	159	2	1,163	11	6,105
6	17336	17336	27494	27494	238	238	1	1	8	8
7	9061	9061	20610	20610	351	351	1	1	6	6
8	23745	10970	19446	14239,70	204	149	1	1	6	3,98
9	5400	696	5654	2914,42	68	35	1	1	2	1,031
10	3500	2851	8571	7025,31	134	60	1	1	2	1,639
11	13107	5354	10781	5399,55	151	76	2	1,002	4	1,579
12	22790	10660	18608	9340,32	180	90	2	1,004	8	2,814
13	1200	1200	3128	3128	49	49	1	1	1	1
14	751	604	3708	2795,23	41	34	1	1	3	1,002
15	1185	837	2794	2744,13	38	37	1	1	2	1,001
16	12716	981	11609	3661,4	112	37	2	1	4	1,027
17	1476	1247	3029	2885,6	43	41	1	1	1	1
18	16500	1320	9492	6113,12	72	44	1	1	1	1
19	8085	8085	7725	7725	98	98	1	1	2	2

20	1400	1400	6014	6014	113	113	1	1	2	2
21	1242	831	6105	4083,18	58	39	1	1	2	1,032
22	1200	1200	7942	7942	47	47	1	1	1	1
23	1350	1162	3977	3422,41	60	45	1	1	1	1
24	2860	2860	6791	6791	76	76	1	1	1	1
25	14129	14129	11922	11922	83	83	1	1	4	4
26	5396	3271	5905	3904,01	108	57	2	1,01	2	1,322
27	3585	3585	5220	5220	77	77	1	1	2	2
28	1500	1500	4996	4996	39	39	1	1	1	1
29	1503	1503	3333	3333	40	40	1	1	1	1
30	11500	6828	12735	8316,04	180	91	1	1	2	1,945
31	600	600	2789	2789	34	34	1	1	1	1
32	2217	1114	4704	3323,58	54	38	1	1	2	1,06
33	12000	1416	15350	4677,04	92	39	1	1	7	1,048
34	6521	6521	7399	7399	79	79	1	1	2	2
35	1740	1740	2547	2547	50	50	1	1	1	1
36	4410	4410	7421	7421	95	95	1	1	2	2

Çizelge 6. BCC Yöntemine Göre Mevcut Ve Olması Gereken Çıktı Değerleri

Sıra	Toplam Gelir x 1000 TL		Ticari Uçak		Toplam Yolcu		Toplam Yük	
	Mevcut	Hedef	Mevcut	Hedef	Mevcut	Hedef	Mevcut	Hedef
1	698062	698062	265759	265759	29812888	29812888	826306	826306
2	43671	116191,77	51281	52514	6084404	6084404	73432	143487,76
3	59084	140697,13	49568	51326	6201794	6201794	79671	136333,92
4	400500	400500	122440	122440	18345693	18345693	384315	384315
5	51629	61398,86	21246	28360	3347996	3347996	46324	76786,62
6	63534	63534	19999	19999	2780944	2780944	35861	35861
7	20164	20164	19914	19914	2482402	2482402	32273	32273
8	13139	23642,563	11907	11907	1596905	1637129	16902	19262,25
9	419	419	184	633	16461	61029	208	660
10	6533	6533	1094	3302	122753	426740	1411	5247,81
11	384	3381,19	4281	4452	599017	599017	5540	6562,57
12	3507	7455,65	7580	7580	833002	960203	10580	12438,05
13	291	291	820	820	85112	85112	752	752
14	145	145	150	541	14169	47837	168	493,93
15	131	131	396	463	39577	40122	370	410,19
16	499	499	1031	1071	73496	123188	1311	1311
17	236	236	294	542	19207	57352	176	583,53
18	1006	1006	1528	2114	150780	242171	1184	2857,83
19	5150	5150	7727	7727	1060381	1060381	10856	10856
20	826	826	2310	2310	344844	344844	3294	3294
21	541	541	1188	1199	127030	127030	1511	1511
22	1329	1329	2897	2897	325307	325307	3955	3955
23	162	303,93	966	966	81420	106730	822	1025,33
24	953	953	2132	2132	288008	288008	3669	3669
25	8314	8314	6918	6918	778639	778639	12085	12085
26	1677	3868,91	2620	2620	301724	304549	3391	5364,98
27	2189	2189	3923	3923	462884	462884	5140	5140
28	497	497	1844	1844	233288	233288	2446	2446
29	515	515	924	924	115795	115795	1190	1190
30	5916	5916	7004	7004	866862	946305	8973	10028,35
31	129	129	536	536	47147	47147	485	485
32	503	503	1050	1081,4	124137	124137	1291	1291

33	850	850	1688	1688	181155	210841	1568	2254,57
34	1256	1256	1802	1802	40778	40778	12652	12652
35	79	79	164	164	10327	10327	87	87
36	2613	2613	4825	4825	745493	745493	7500	7500

Çizelge7. BCC Metoduna Göre Hava Meydanlarının Referans Aldığı Meydanlar

Sıra	Hava Meydanları	Referans Aldığı Meydanlar	Yoğunluk Değeri
1	İstanbul-Atatürk	1	1
2	Ankara-Esenboğa	1,19,7	0.149;0.330;0.521
3	İzmir-A.Menderes	1,6,7	0.128;0.786;0.086
4	Antalya	4	1
5	Muğla-Dalaman	1,19,35	0.082;0.863;0.055
6	Muğla-Milas-Bodrum	6	1
7	Adana	7	1
8	Trabzon	7,19,6	0.032;0.659;0.308
9	Isparta-S.Demirel	22,31,6,29	0.001;0.971;0.004;0.024
10	Nevşehir-Kapadokya	6,22,29	0.091;0.322;0.586
11	Erzurum	1,35,19,31	0.001;0.417;0.535;0.047
12	Gaziantep	19,28,1,25	0.555;0.058;0.002;0.386
13	Adıyaman	13	1
14	Ağrı	6,31	0,0001;1
15	Amasya-Merzifon	31,35,6	0.795;0.204;0.001
16	Bursa-Yenişehir	31,6,28	0.643;0.004;0.353
17	Çanakkale	31,29,35	0.366;0.318;0.316
18	Denizli-Çardak	22,29	0.603;0.397
19	Diyarbakır	19	1
20	Elazığ	20	1
21	Erzincan	22,28,31,6,34,7	0.212;0.037;0.742;0.001;0.003;0.005
22	Hatay	22	1
23	K.Maraş	13,28,31	0.657;0.186;0.157
24	Kars	24	1
25	Kayseri	25	1
26	Konya	13,19,1	0.908;0,087;0.005
27	Malatya	27	1
28	Mardin	28	1
29	Muş	29	1
30	Samsun-Çarşamba	19,22,6	0.798;0.178;0.025
31	Sinop	31	1
32	Sivas	31,19,34,28,6	0.834;0.052;0.0001;0.112;0.001
33	Şanlıurfa-Gap	31,6,28	0.214;0.007;0.779
34	Tekirdağ-Çorlu	34	1
35	Uşak	35	1
36	Van-Ferit Melen	36	1

Bu durum hava meydanlarının çoğunun teknik etkin olduğu ancak optimal ölçeklerde çalışmadığı anlamına gelmektedir.

5.Sonuç ve Değerlendirmeler

Bu çalışmada, DHMİ tarafından işletilen hava meydanları içerisinden 2009 yılı için anlamlı ve tam veriye sahip 36 hava meydanı için etkinlik, VZA yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmada CCR ve BCC modelleri kullanılarak hava meydanlarının teknik ve ölçek etkinlikleri ölçülmüştür. VZA için gerekli girdi ve çıktıların belirlenmesinde literatür araştırması referans alınmış ve DHMİ tarafından da verisi tutulan parametreler olmasına dikkat edilmiştir. Analiz sonucunda hava meydanlarının etkinlik düzeyleri belirlenmiş ve girdi-

çıktıların hedef değerleri tespit edilmiştir. Ayrıca hava meydanlarının referans aldıkları meydanlar ve yoğunluk değerleri saptanmıştır. Referans meydanlar ve yoğunluk değerleri kullanılarak hava meydanlarına ait hedef değerlere ulaşılabilir.

Analiz sonucunda hava meydanlarının çoğunun teknik etkin olduğu ancak optimal ölçeklerde çalışmadığı görülmüştür. Bu nedenle hava meydanlarında ölçek etkinsizliği yaşanan meydanlara yapılan yatırımlarda oldukça seçici olmak ve etkinsizlikler ortadan kalkmadan hava meydanlarına ait girdilerde kapasite artışı yapmamak gerekmektedir. Çalışmanın, 10. Ulaştırma Şurasında yeniden yapılandırma kararı alınan DHMİ Genel Müdürlüğü ve hava meydanlarının yeniden yapılandırma/özelleştirmeleriyle ilgilenen özel sektör için yardımcı olacağı düşünülmektedir. Özel sektöre devir halinde, ticari sürdürülebilirliğin ön plana çıkacağı ve hava meydanları kapasitesine göre optimum sonuç verecek yatırımların yapılacağı beklenmektedir.

KAYNAKÇA

Abbott M., Wu, S., "Total factor productivity and efficiency of Australian airports", The Australian Economic Review, 35(3), 244-260, (2002).

Airbus, "Global Market Forecast 2009-2028", Airbus S.A.S., Blagnac Cedex, 59-61, (2009).

Alçılar B., "Türkiye'de Faaliyet Gösteren Devlet Üniversiteleri İçin Performansa Dayalı Bütçe Tahsis Modeli", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 12-13, (2006).

Altun D., "Türk Telekomünikasyon A.Ş. İl Telekom Müdürlüklerinin Veri Zarflama Analizi İle Etkinlik Ölçümü" Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2006)

Barros C.P., Dieke P.U.C. "Measuring the economic efficiency of airports: a Simar-Wilson methodology analysis", Transportation Research Part E, 44,1039-1051, (2008).

Barros C.P., Weber W.L., "Productivity growth and biased technological change in UK airports" Transportation Research Part E, 45, 642-653 (2009).

Baysal, M., Alçılar, B., Çerçioğlu, H., Toklu B., "Türkiye'de Devlet Üniversitelerinin 2004 Yılı Performanslarının,Veri Zarflama Analizi Yöntemiyle Belirlenip Buna Göre 2005 Yılı Bütçe Tahsislerinin Yapılması" SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(1), 67-73, (2005).

Charnes A., Cooper W., Rhodes E., "Measuring the Efficiency of Decision Making Units",European Journal of Operations Research,2(6): 429-444, (1978).

Chi-Lok A.Y., Zhang A., "Effects of competition and policy changes on Chinese airport productivity : An emprical investigation" Journal of Air Transport Management, 15,166-174, (2009).

Comes C.A., Rus I., Munteanu A., Nistor P., Tripon A. "Data Envelopment Analysis Method In Higher Education" Quality Management In Higher Education, 2, 39-42, (2010).

Cook W.D., Hababou M., Liang L. "Financial liberalization and efficiency in Tunisian banking industry: DEA test" Internatıonal Journal Of Information Technology&Decision Making,4(3),455-475(2005).

Düzakın E. ve Gürcay A., "An analysis of the efficiency of airports in Turkey", (OR43) 43th. Annual Conference of the Operational Research Society Abstracts, Bath,United Kingdom, 9/4 to 9/6 (2001).

Eurocontrol, "Long Term Forecast Flight Movements 2010-2030", Eurocontrol, 12 (2010).

Gillen D.,Lall A., "Developing measures of airport productivity and performance: An application of data envelopment analysis" Transportation Research Part E, 33(4), 261-273, (1997).

Gillen D., Lall A., "Developing measures of airport productivity and performance: An application of data envelopment analysis", Transportation Research Part E, 33, 261-273, (2001).

Gülcü A.,Tutar, H., Yeşilyurt C., "Sağlık Sektöründe VZA ile Göre eli Verimlilik Analizi",Seçkin Yayıncılık, (2004).

Kecek G., Veri Zarflama Analizi, Teori ve Uygulama Örneği, Siyasal Yayın Dağıtım, Ankara, Nisan (2010).

Koçak H. "Efficiency Examination of Turkish Airports with DEA Approach", International Business Research, 4(2), 204-212, (2010).

Kıyıldı R.K., Karaşahin M., Türkiye'deki Hava Alanlarının Veri Zarflama Analizi İle Altyapı Performansının Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Ünv., Fen Bilimleri Enst. Dergisi, 10(3), 391-397, (2006).

Kutlar,A.,Kartal,M., "Cumhuriyet Üniversitesinin Verimlilik Analizi: Fakülteler Düzeyinde Veri Zarflama Yöntemiyle Bir Uygulama" Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 8(2), 49-79, (2004).

Lam W.S., Low J.M.W., Tang L.C., "Operational efficiencies across Asia Pacific airports", Transportation Research Part E, 45, 654-665 (2009).

Lin L.C., Hong C.H., "Operational performance evaluation of international major airports: An application of data envelopment analysis", Journal of Air Transport Management, 12, 342-351, (2006).

Magnussen, J., Nyland K., "Measuring efficiency in clinical departments", Health Policy, 87(1),1-7, (2008).

Onaran S., "Veri Zarflama Analizi Kullanılarak Üniversite Kütüphanelerinin Performanslarının Değerlendirilmesi" ,Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 29-30, (2006).

Pacheco R.R.,Fernandes E., Santos M.P.S., "Management style and airport performance in Brazil" ,Journal of Air Transport Management, 12, 324-330, (2006).

Parker D., “The performance of BAA before and after privatisation”, Journal of Transport Economics and Policy, 33(2), 133-146, (1999).
Pels E., Nijkamp P., Rietveld P., “Inefficiencies and scale economies of European airport operations”, Transportation Research Part E, 39, 341-361, (2003).
Pels E., Nijkamp,P., Rietveld P., “Relative efficiency of European airports”,Transport Policy, 8, 183-192, (2001).
Picazo-Tadeo A.J., Gomez-Limon J.A., Reig-Martinez E., “Assessing farming eco-efficiency: A Data Envelopment Analysis approach”, Journal Of Environmental Management ,92(4), 1154-1164, (2011).
Sarkis J., “Operational efficiency of major US airports”, Journal of Operation Management,18, 335-351, (2000).
Sarkis J., Talluri S., “Performance based clustering for benchmarking of US airports”, Transportation Research Part A, 38, 329-346, (2004).
Sezen B., İnce H., Aren S., “Türkiye’de Hayat Dışı Sigorta Şirketlerinin VZA İle Göreceli Etkinlik Değerlendirmesi”,İktisat İşletme ve Finans, 20(236), 39-78, (2005).
Ulutaş B.B., “Türkiye’ deki Havaalanı Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Eskişehir,37-53, (2006).
Ulutaş B.B., Ulutaş B., “An Analytic Network Process Combined Data Envelopment Analysis Methodology To Evaluate The Performance Of Airports In Turkey”, Proceedings of the 10th International Symposium on the Analytic Hierarchy/Network Process Multi-criteria Decision Making, University of Pittsburgh Pittsburgh, Pennsylvania, USA (2009).
Yeşilyurt C., Alan M.A. “Fen Liselerinin 2002 Yılı Göreceli Etkinliğinin VZA Yöntemi İle Ölçülmesi”,C.Ü. İİBF Dergisi,2(4), 91-104, (2003).
Yoshida Y., Fujimoto H., “Japanese airport benchmarking with the DEA and endogenous-weight TFP methods: Testing the criticism of overinvestment in Japanese regional airports” Transportation Research Part E, 40, 533-546, (2004).

Weapon Target Assignment with Combinatorial Optimization Techniques

Asım Tokgöz[1] and Serol Bulkan[2]
Department of Industrial Engineering
Marmara University, Institute for Graduate Studies in Pure and Applied Sciences
Göztepe, Istanbul 34722, TURKEY
[1]asimtokgoz@gmail.com [2]sbulkan@marmara.edu.tr

Abstract— **Weapon Target Assignment (WTA) is the assignment of friendly weapons to the hostile targets in order to protect friendly assets or destroy the hostile targets and considered as a NP-complete problem [3]. Thus, it is very hard to solve it for real time or near-real time operational needs. In this study, genetic algorithm (GA), tabu search (TS) and simulated annealing (SA) combinatorial optimization techniques are applied to the WTA problem and their results are compared with each other and also with the optimized GAMS solutions. It is found that all the algorithms effectively converge to the near global optimum point(s) and the quality of the solutions (speed of solution) might be improved according to the operational needs. SA solution quality is better than both GA and TS.**

Keywords— Weapon Target Assignment, Combinatorial Optimization, Genetic Algorithm, Tabu Search, Simulated Annealing, WTA, WASA, TEWASA.

I. INTRODUCTION

In military operations, problems in planning and scheduling often require feasible and close to optimal solutions with the limited computing recourses and within very short time periods [1]. Especially the weapons developed in contemporary technology give very less chance to defend friendly assets as enemy forces execute complex saturated attacks. Therefore, quick and efficient reactions to subsidise these attacks become very vital to survive in the combat arena. Thus, assigning the limited resources (own weapons) to the hostile targets to achieve certain tactical goals [2] becomes an important issue called as Weapon Target Assignment (WTA) problem.

The WTA problem is a classical constrained combinatorial optimization problem arising in the field of military operations research [2] and it is NP-complete [3]. The complexity of this problem drastically increases much more if you add the temporal and spatial constraints of both the friendly forces and hostile targets. The allocation of available capabilities to the correct targets needs complex calculations in a very short time. There are various simple traditional algorithms in literature that solve this problem such as graph search, implicit enumeration algorithms, branch and bound algorithms, dynamic programming. Even though these algorithms are simple, it is difficult to implement them especially when the problem scale is large. With the evolution of computer technology some naive algorithms are proposed like neural networks, genetic algorithms, tabu search, simulated annealing, ant colony algorithm (ACO) and particle swarm optimization (PCO).

There are many works in the literature regarding the GA like Lee et al[4], Lee at al [5], Lu et al [6], Shang et al [7], Dou et al [8], Li et al [9], Zhihua et al [10]. All of them almost define the problem similar but there are some differences on the solution approach. These are generally based on many factors, such as defense strategies, features of targets and weapons, actual combat situations, the dynamic or static solution, layered defence or not, protecting the friendly assets or killing hostile targets or both, assessing the threats according to the capability and intent. Therefore the problem formulation differs the way how you approach the solution. All of them states the WTA as quadratic assignment problem and a comprehensive mathematical problem formulation example can be found at Hosein et al [11] and Xin et al [2]. You can also find a detailed literature overview at Xin et al [2] and algorithm comparison from different perspectives.

Regarding these works, the problem formulation looks similar, but there are some key points that need to be emphasized;

- Lee et al [4] uses partially mapped crossover (PMX), inversion mutation and simulated annealing as local search.
- Lee et al [5] uses greedy reformation scheme so as to have locally optimal offspring (greedy eugenics) which is a kind of novel crossover operator (EX) that try to inherit the good genes from the parents. They give information about various eugenics mechanisms orderly simple eugenics, simulated annealing, immune operator, and greedy eugenics.
- Lu et al [6] uses uniform generation of initial population, roulette wheel selection based on sigma truncation scaling fitness and self-adaptive parameters for genetic operations (dynamic probability of mutation and crossover). Crossover adopts the two-point-crossover operation while mutation employs swap mutation operator.
- Shang et al [7] added an extra step to the classical GA, which comes after creating new chromosomes by crossover and mutation, which is to apply local search to create new chromosomes and then evaluate the new chromosomes. After that, select the chromosomes with the best fitness from the population. For LS they propose the immune GA (IGA) which is composed from vaccination and immune selection, of which the former is used for raising fitness and later is for preventing the deterioration. They also used a new crossover operator called as elite preserving crossover operator to enrich a more effective search.
- Dou et al [8] uses chromosomes in matrix representation and adopts the dynamically adjusting punishment gene and self-regulating punishment rates. Initial population is selected in a reasonable manner so as to satisfy the constraints automatically. Roulette wheel selection and dynamically adjusted crossover and mutation probabilities are used.
- Li et al [9] uses matrix-type encoding for chromosomes and a new crossover/mutation operator called "circle swap".
- Zhihua et al [10] uses local information to get a better initial feasible solution by deducing the survival value matrix (heuristic information).

II. Problem Definition

In a military environment an operator is typically required to evaluate the tactical situation in real-time and protect defended assets against enemy threats by assigning available weapon systems to engage enemy craft. This environment requires rapid operational planning and decision making under severe stress conditions, and the associated responsibilities are usually divided between a number of operators and computerized decision support systems that aid these operators during the decision making processes [12]. This brings forth the evaluation on tracks (targets) that might have the hostility intent and also capabilities that might harm the friendly assets briefly called as Threat Evaluation (TE). TE process mostly requires decision support tools as the number of targets that need to be evaluated is very much and rapid decisions are required to eliminate the enemy assets in time.

After the TE, operators need to assign the appropriate and efficient weapon or weapon-sensor pairs to the targets in order to get the maximum benefit which is called as Weapon Assignment or Weapon Assignment and Sensor Allocation (WA/ WASA). This assignment/allocation level may be at different force structures such as single asset, task group, and force. In this paper we will investigate the efficiency of genetic, tabu search and simulated annealing algorithms which makes the assignments of weapons to targets by employing a shoot-look-shoot (SLS) engagement policy.

As stated in Hosein et al [11] and Roux et al [12], the objective may be to minimize the total threat of all targets or maximize the total value of assets surviving through the whole defense process. In

this calculation, finding the probability of kill given hit of targets (threats) is a controversial issue as this information mostly confidential and hard to get. You can use this information in the algorithms by considering the availability of it.

III. PROBLEM FORMULATION

In this paper, the series of static WTA (SWTA) is assumed and the iterative defense process is used. The problem formulation is a subset of Hosein et al [11] and Xin et al [2] and every computing result will mimic the results of the stages by updating the status of the assets, weapons and targets. The status after the execution of found solution will be input for next iterative computing. Therefore the stages are omitted from the problem formulization and it is defined as the following;

T is the number of offensive targets with their attack aims exposed,

K is the number of assets of the defender,

W is the weapons available to intercept the targets,

$X = \left[x_{ij} \right]_{WxT}$ is the decision variable, $x_{ij} = 1$ if weapon i is assigned to target j , $x_{ij} = 0$ otherwise,

T_k is the index set of the targets that threaten asset k,

W_j is the index set of the weapons that are assigned to intercept target j,

v_k is the value of asset k,

q_{jk} is the lethality probability that target j destroys asset k,

p_{ij} is the lethality probability that weapon i destroys target j.

The expected total value of assets surviving through the whole defense process,

$$J(X) = \sum_{k=1}^{K} v_k \prod_{j \in T_k} \left[1 - q_{jk} \prod_{i \in W_j} (1 - p_{ij})^{x_{ij}} \right] \qquad (1)$$

The constraints involved in WTA primarily include capability constraints, strategy constraints, resource constraints, and engagement feasibility constraints as follows,

$$\sum_{j=1}^{T} x_{ij} \le n_i \quad \forall_i \in \{1, 2, ..., W\} \qquad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{W} x_{ij} \le m_j \quad \forall_j \in \{1, 2, ..., T\} \qquad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{T} x_{ij} \le N_i \quad \forall_i \in \{1, 2,....,W\} \qquad (4)$$

$$x_{ij} \le f_{ij} \quad \forall_i \in \{1, 2,....,W\} \ \forall_j \in \{1,2,....,T\} \qquad (5)$$

The constraint set (2) reflects the capability of weapons which is to fire at multiple targets at the same time. Even though modern weapon systems can shoot multiple targets at a time, this kind of weapon systems can be viewed as multiple separate weapons. In view of these facts, we set $n_i = 1$

for $\forall i \in \{1, 2, . . .,W\}$ [2].

The constraint set (3) limits the weapon cost for each target. The setting of m_j (j = 1, 2,...,T) usually depends on the combat performance of available weapons and desired lethal probability

[2]. In this research, it is assumed that $m_j = 1$ for $\forall j \in \{1, 2,...,T\}$. This is a reasonable setting for

missile-based defense systems and the "SLS" engagement policy [13]. For artillery-based defense systems, the value of m_j (j = 1, 2,...,T) may be greatly increased under the same demand on defense strength. Therefore, the constraints in (3) can be considered as strategy constraints [2].
The constraint set (4) reflects, in essence, the amount of ammunition equipped for weapons. N_i (i = 1, 2, . . .,W) is the maximal number of times that weapon i can be used due to the limit of its equipped ammunition [2].
In the constraint set (5), f_{ij} is the indication of actual engagement feasibility for weapon i assigned to target j. $f_{ij} = 0$ if weapon i cannot shoot target j with any potential reason; $f_{ij} = 1$ otherwise [2]. The time window of targets and weapons is the primary factor that affects engagement feasibility [14], [15]. Some scholar also use the term "cue" or "deadline" when referring to the issue of time windows [16], [17]. This will influence the time windows on the engagement feasibility of weapons. Besides, it also increases the complexity of Dynamic WTA (DWTA) problems and the difficulty of generating feasible solutions. In this case, it is hard to design a desirable operator that can generate new solutions and guarantee their feasibility at the same time.
To sum up, the optimization model for the WTA problem can be formulated as follows:
Maximize $J(X)$; Subject to (2), (3), (4), (5) (6)

IV. ALGORITHMS USED TO SOLVE WTA

This paper will not discuss the details of the algorithms implemented here as you can find them in many text books and in many scholars' work. The work here is focused on the application of combinatorial optimization algorithms (genetic, tabu search and simulated annealing) to the weapon target assignment problem. Combinatorial Optimization Library framework of Skalicka, Ondrej [18] is modified and used in this work. This framework allows easy implementation of own algorithms and provides effective tools for bench-marking different algorithms on a set of various problems.

A. Genetic Algorithm

The theory of natural selection proposes that the species exist today are the result of millions of years of adaptation to the demands of the environment. The changes in the environment had forced the species to alter their genetic characteristics in order to survive. In ecosystem recourses have always been scarce; therefore, at any given time, a number of different organisms compete for the same resources in an ecosystem. The organisms that are most capable of acquiring resources and successfully procreating are the ones whose descendants will tend to be numerous in the future and they are considered as fitted to the ecosystem. Organisms that are less capable, for whatever reason, will tend to have few or no descendants in the future. Over time, the entire population of the ecosystem will evolve to contain organisms that, on average, are more fit than those of previous generations of the population [19]. Genetic Algorithm (GA) is based on the same idea of natural evolution.

GA algorithm is a search heuristic that mimics the process of natural selection and is routinely used to generate useful solutions to optimization and search problems. It is inspired by natural evolution, such as inheritance, mutation, selection, and crossover. The pseudo code is given in Table I.

TABLE I
PSEUDO CODE FOR GA

```
Initialize Algorithm (population size, mutation rate, and problem)
Create Initial Random Population ()
Find fitness of each and store the best
Check for end conditions
Do
        Optimize by selection, mutation and disaster
Find fitness of new individuals and store the best
(Kill the worst 2 individuals)
Until end conditions meet
```

1) Fitness

The fitness function for this problem is the objective function.

2) Individuals

An individual is a single solution and a group of the individuals forms the population. The structure of the individual is composed of various formatted data elements and it is called as chromosome. In this work, permutation encoding (real number coding) is used to represent the weapons and their order mimics the assignments of them to the targets sequentially.

Targets	1	2	3	4	5	6	7	8
Chromosome 1	3	2	1	5	4	8	6	7
Chromosome 2	5	7	8	2	1	3	4	6

Fig. 1 Sample chromosome structure

As you can see from the Fig. 1, in chromosome 1, weapons 3, 2, 1, 5, 4, 8, 6, and 7 are assigned to targets 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, and 8 respectively. If weapon and target size is different then, dummy weapons/targets are used in order to make them equivalent.

3) Selection

After creation of the initial population, first step is selecting the individuals for reproduction. This selection is done randomly with a probability depending on the relative fitness of the individuals so that best ones are often chosen for reproduction than poor ones [19]. Roulette Wheel Selection is used in this work.

4) Reproduction

In the second step, offsprings are bred by the selected individuals. For generating new chromosomes, the algorithm can use recombination, mutation and disaster. In this paper a disaster is introduced with a probability that hoped to improve the solution by exchanging a small percentage of population with the new randomly generated individuals.

Crossover (Recombination) is the process of taking two parent solutions and producing two children from them. After the selection (reproduction) process, the population is enriched with better individuals. Crossover operator is applied to the mating pool with the hope that it creates a better offspring [19].

Crossover is a recombination operator that proceeds in three steps [19]:

i. The reproduction operator selects at random a pair of two individual strings for the mating.

ii. A cross site is selected at random along the string length.

iii. Finally, the position values are swapped between the two strings following the cross site.

In this work Partially Mapped/Matched Crossover method (PMX) is used.

Father	3	2	1	5	4	8	6	7
Mother	5	7	8	2	1	3	4	6

For instance, 3 and 6 positioned genes are selected and the genes between these two points are swapped for the chromosomes of son and daughter. For son, the rest of the genes are copied from father to the same place if they do not exist at the son. Daughter is created analogously like son.

Son			8	2	1	3	6	7
Daughter		7	1	5	4	8		6

After that the holes filled as follows:

i. Take the gene from father check if it exists at the son.

ii. If not, put the same gene to the same position at the son.

iii. If that gene exists at the son, then find the same gene at the mother and return that gene position. Look at the gene at the father with position returned from the mother. If found new gene not exist at son, put that gene to the original hole position. Repeat this cycle until all the holes are filled.

Daughter is created analogously like son.

For 3 at the father at position 1; 4 is placed at position 1 at son after total of 12 checks as follows:

Father	3(1)	2	1(7)	5	4(10)	8(4)	6	7
Mother	5	7	8(6)	2	1(9)	3(3)	4	6

Son	4(11)		8(5)	2	1(8)	3(2)	6	7
Daughter		7	1	5	4	8		6

One check before the 11th is to control if 4 does exist at the son, seeing not there, and then positioned it to 1 at son. The final new two offsprings are as follows:

Son	4	5	8	2	1	3	6	7
Daughter	2	7	1	5	4	8	3	6

After crossover, the strings are subjected to mutation. Mutation prevents the algorithm to be trapped in a local minimum. Mutation plays the role of recovering the lost genetic materials as well as for randomly disturbing genetic information. It is an insurance policy against the irreversible loss of genetic material. Mutation has traditionally considered as a simple search operator. If crossover is supposed to exploit the current solution to find better ones, mutation is supposed to help for the exploration of the whole search space. Mutation is viewed as a background operator to maintain genetic diversity in the population. It introduces new genetic structures in the population by randomly modifying some of its building blocks. Mutation helps escape from local minima's trap and maintains diversity in the population [19].

In this work, swap mutation is used. If we assume that son is subject to mutation with the positions 2 and 6 then, we simply exchange the genes at those positions.

Son	4	5	8	2	1	3	6	7
Daughter	2	7	1	5	4	8	3	6

After mutation, the new individuals are as follows;

Son	4	3	8	2	1	5	6	7
Daughter	2	7	1	5	4	8	3	6

With a very small probability a natural disaster in introduced that randomly replaces a small portion of the population with randomly created individuals. It is useful for diversification.

5) Evaluation

After the reproduction, the fitness of the new chromosomes is evaluated.

6) Replacement

During the last step, the worst fitted two individuals are killed from the population.

B. Tabu Search

Tabu Search (TS) is unquestionably distinguishable from the local search technique, as it incorporates intelligence. It constitutes a history of iterative search or, equivalently, to provide the search with memory [20]. Thus, it will avoid both frequent cycling of operations and revisiting local optima. The memory function of tabu list is one of the most important mechanisms in TS to escape from local optima [2].

In essence, tabu search is not centered on chance, although one can introduce random components for primarily technical reasons. The basic idea of tabu search is to make use of memories during the exploration of a part of the solutions of the problem, which consists in moving repeatedly from one solution to a neighboring solution [20]. Even though it may be seem as local search to some people, some principles enabling to carry out jumps in the solution space were proposed; in this direction, TS is not a pure local search.

In this research, the candidate list is constructed from the possible n(n-1)/2 moves except the tabu ones where n is the problem size. Sequentially all moves are tried and the first candidate operation that makes the fitness better is executed. In order to get rid of the local optima, an aspiration criteria, which is to accept the current iteration best move among the all possible moves with a probability of 0.8 even though it is not better than the fitness found so far, is applied. For tabu list a short term memory is used with random duration. The structure of it as follows [20]:

Objects (Weapons)	Site (Targets) 1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

Fig. 2 Tabu list

Objects (Weapons)	Site (Targets) 1	2	3	4	5
1	0	0	10	0	0
2	10	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

Fig. 3 Filled sample tabu list

Let's assume our current solution is (2, 4, 1, 5, 3) that is the assignment of weapons 2, 4, 1, 5, 3 to targets 1, 2, 3, 4, 5 respectively and we found a better move as the exchange of weapons (2 and 1) at sites 1 and 3 then we can fill the place of them with randomly generated duration as in Fig. 3.

The randomly generated 10 for the next 10 iteration will prevent the assignment of both weapons 1 to target 3 and weapon 2 to target 1. The random duration is a uniform iteration count between 1 and lifespan + 1. Lifespan is calculated as follows:

TABLE II

LIFE SPAN CALCULATION FOR TABU LIST

```
if ( problem.Dimension() < 10 ){
  lifespan = 5*log10(problem.Dimension());
}else{
  lifespan = 8*log10(problem.Dimension());
}
lifespan++;
```

If the problem size is too high, then using the problem dimension as uniform upper bound will tend to prevent the efficient moves that might help to get better solutions. Thus, taking the logarithm of problem dimension will smooth the durations in the tabu list.

At initialization a random configuration is created for the initial solution. After that TS move operations and aspiration criteria are used together to get better solutions.

C. Simulated Annealing

The annealing technique is to heat a material beforehand to impart high energy to it and then cool it down slowly by keeping at each stage a temperature of sufficient duration. This strategy of a controlled decrease of the temperature leads to a crystallized solid state, which is a stable state, corresponding to an absolute minimum of energy. If the decrease in temperature is too fast, it may cause defects and can lead to an amorphous structure, a metastable state that corresponds to a local minimum of energy [20].

The idea to use the annealing technique in order to deal with optimization problems introduces a control parameter in optimization, which plays the role of the temperature in annealing. The temperature of the system to be optimized must have the same effect as the temperature of the physical system. It must lead towards the optimal state, if the temperature is lowered gradually in a slow and well controlled manner and towards a local minimum if the temperature is lowered abruptly [20].

In order to simulate the evolution of a physical system towards its thermodynamic balance at a given temperature, the Metropolis algorithm [21] can be utilized on the basis of a given configuration. The system subjected to an elementary proposed modification and it is accepted if this transformation causes a decrease in the objective function of the system; on the contrary, if it

causes an increase ΔE of the objective function, it is also accepted, but with a probability of exp(–ΔE/T). In practice, this condition is realized by drawing a real number at random ranging between 0 and 1, and the configuration causing a ΔE degradation in the objective function is accepted, if the random number drawn is lower than or equal to exp(–ΔE/T). By repeatedly observing this Metropolis rule of acceptance, a sequence of configurations is generated, which constitutes a Markov chain in a sense that each configuration depends on only that one which immediately precedes it. With this formalism in place, it is possible to show that, when the chain is of infinite length, the system can reach thermodynamic balance at the temperature considered which leads us to a Boltzmann distribution of the energy states at this temperature [20].

Hence the role entrusted to the temperature by the Metropolis rule is well understood. At high temperature, exp (–ΔE/T) is close to 1, therefore the majority of the moves are accepted and the algorithm becomes equivalent to a simple random walk in the configuration space. At low temperature, exp (–ΔE/T) is close to 0, therefore the majority of the moves increasing energy is refused. Thus the algorithm reminds us of a classical iterative improvement. At an intermediate temperature, the algorithm intermittently authorizes the transformations that degrade the objective function; hence it leaves a scope for the system to be pulled out of a local minimum [20].

Once the thermodynamic balance is reached at a given temperature, the temperature is lowered "slightly", and a new Markov chain is implemented at this new temperature stage [20].

In our case following simulated annealing approach [20] is used:

1) Initial Configuration

A random configuration is used as a starting solution.

2) Initial Temperature

The algorithm can be initialized with user configurable initial temperature and geometric low coefficient (α) or it can be calculated as a preliminary step using the following algorithm if these parameters are unknown:

- 100 disturbances created randomly and the average ΔE variations evaluated
- Initial rate of acceptance τ_0 of degrading perturbations of quality τ_0 = 50% is selected

(starting at high temperature) and T_0 is calculated as $T_0 = -\Delta E/\ln(\tau_0)$ deduced from $\tau_0 = \exp(-\Delta E/T_0)$

3) Acceptance Rule of Metropolis

An elementary proposed modification is accepted if this transformation causes an improvement in the objective function of the system; on the contrary (ΔE > 0), a number r in [0, 1] is drawn randomly, and accept the disturbance if r < exp (–ΔE/T), where T indicates the current temperature.

4) Change in Temperature Stage

It can take place as soon as a better solution is found or if no improvement seen up to 100 trials.

5) Decrease of the Temperature

It can be carried out according to the geometrical law: $T_{k+1} = \alpha * T_k$, where α is usually between 0.8 and 0.9999.

6) Program Termination

It can be done by the stetted start parameters such as time and iteration count or if the current temperature approaches zero. The operations used in the study are random swaps up to three.

V. EXPERIMENTS

There are no benchmark problems in WTA domain as in other problems like travelling salesman problem. The studies in literature are not formulated exactly the same, so the optimized models have different solution values. That is why the results of this study cannot be easily compared with the aforementioned.

In order to compare the effectiveness of the algorithms herein applied to WTA, the problem is also formulated in mathematics and solved with the General Algebraic Modeling System (GAMS) version 23.5.1. The test is conducted with a Notebook PC that has an Intel Core i3 CPU at 1.13GHz and a 4 GB RAM.

The Combinatorial Optimization Library [18] used here is developed for education of basic algorithms and problems. Some performance issues like speed of solution are sacrificed for the sake of education. But the algorithms and problems can be implemented and compared with each other.

The algorithms have variable iteration complexity, some of them are very simple and takes less time while others may need more arithmetic operations and exhaust much more time. So the efficiency is measured to compare the exhausted time for the same feasible solution, and the quality is to compare the feasible solution reached in same time [6]. As it can be seen at the following sample solution, even though the TS has less optimization/iteration counter than SA, it has exhausted much more time than SA.

TABLE III
SAMPLE WTA SOLUTION SUMMARY

Scenario 16	**GA**	**TS**	**SA**
CPU Time (msec)	24882	19937	3962
Optimize Counter	81153	220	27368
Depth	N/A	217	31125
Fitness	0.28	0.28	0.28

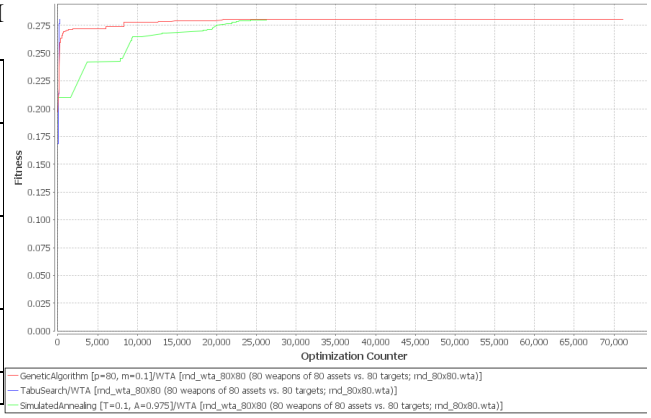


Fig. 4 Sample WTA Solution

For experiment, 19 random scenarios are created starting from dimension of 5 to 95 with 5 step increments as in the Table IV.

TABLE IV
WEAPON-TARGET SIZE TO SCENARIO MAPPING

Scenario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Weapon	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
Target	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95

These scenarios are solved with GAMES Couenne and Bonmin MINLP solvers and these solutions are used as reference for the solutions of implemented algorithms. GAMS solvers executed the scenarios once while the GA, TS and SA algorithms tried ten times. CPU time is recorded as solution time for the algorithms. The Table V, Fig. 5 and Fig. 6 summarize the observed time values.

TABLE V

TIME COMPARISON OF SOLUTIONS

S. N.	GA Average	TS Average	SA Average	GAMS Couenne	GAMS Bonmin
1	48.3	8.2	61.1	10	0
2	279.3	14.3	216.8	109	281
3	373	28.1	463.4	234	234
4	563.3	93.6	444.7	515	515
5	971.9	75	441.6	464.86	717
6	1106	337.1	647.1	1794	1154
7	1923.3	450.8	1057.8	2481	1779
8	2572.6	1150.1	915.6	4087	2605
9	3524.3	1966.6	1148.2	8159	3604
10	4998.3	3068.6	792.6	55271	1012670
11	5948	4614.5	695.8	26333	5366
12	11261.6	4547.1	1067	34866	5367
12	18561.1	6429.1	1266.7	157171	5382
14	20127.4	20373.7	932.7	269320	6271
15	18292.5	19925.8	713	34825	6474
16	29904	22849.6	3071.9	1004070	7800
17	44904.7	51266.8	2812.7	92087	18517
18	53274.1	62314.7	4311.5	506473	34133
19	50031.2	64893.5	6084.1	1022700	2446890

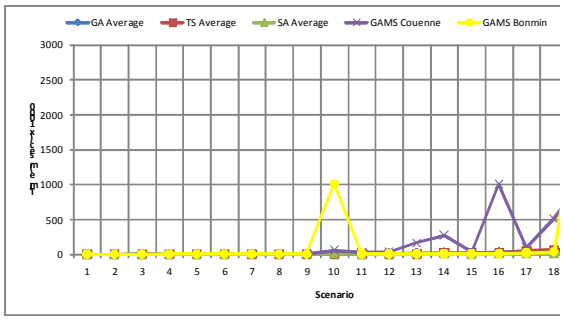


Fig. 5 Time Comparison of Algorithms and GAMS Solvers

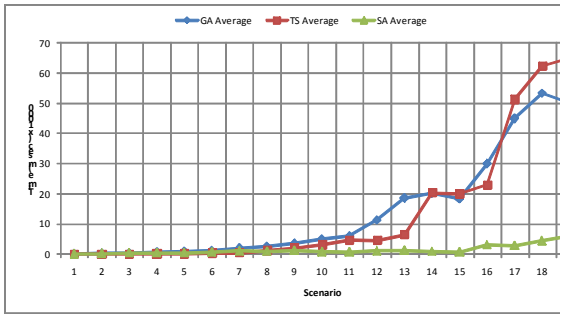


Fig. 6 CPU Time Comparison of Algorithms

When the time table (Table V and Fig.5) is examined, GAMS Bonmin has 2 picks at the scenarios 10 and 19 while GAMS Couenne has 3 picks at the scenarios 16, 18 and 19. The very low time values can't be discriminated so another figure (Fig. 6) is given for 70 msec benchmark.

The GA, TS and SA solution times are compared at the above figures. The values are close to each other up to scenario 11 and after that, there are steep slopes for the GA and TS. SA solution time goes on a very low slope and it can be easily seen that SA outperforms these algorithms when the problem dimension gets bigger. On the other hand, SA cooling down needs special care especially when the problem dimension gets bigger in order to converge to the global optimum. For cooling down in the trials up to scenario 15, $\alpha = 0.95$ is used while at scenarios 16, 17 and 18, $\alpha = 0.975$ and at scenario 19, $\alpha = 0.985$ are used.

When the three algorithms compared with GAMS solutions, they had reasonably better temporal solutions as it can bee seen at Fig. 7, 8 and 9.

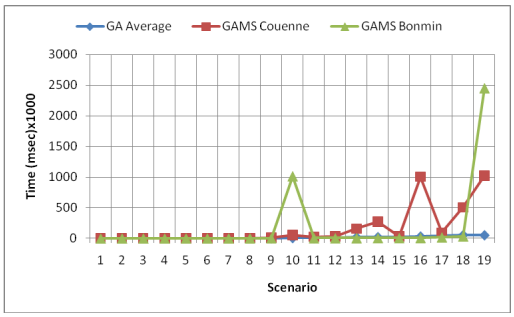


Fig. 7 GA Time Comparison with GAMS Solvers

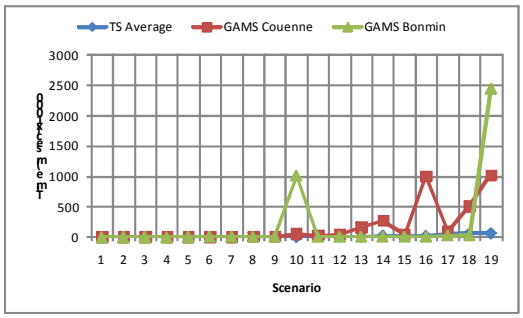


Fig. 8 TS Time Comparison with GAMS Solvers

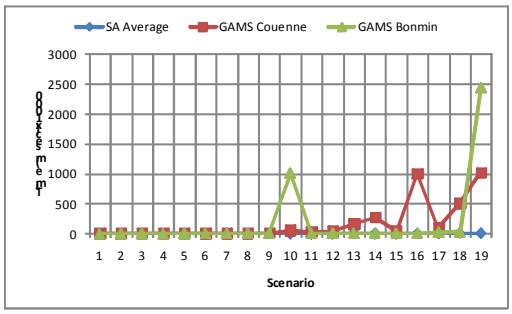


Fig. 9 SA Time Comparison with GAMS Solvers

TABLE VI
FITNESS OF GAMS SOLUTIONS

S. N.	GAMS Found Fitness		GAMS Best Possible Fitness	
	Couenne	Bonmin	Couenne	Bonmin
1	204.0261	204.0261	204.0261	204.0261
2	289.7098	289.7098	289.7098	289.7098
3	128.5998	128.5998	128.5998	128.5998
4	119.6860	120.1146	120.4492	120.1146
5	58.5471	58.9760	59.0120	58.9760
6	80.6784	80.1635	80.8405	80.1635
7	33.7837	33.6791	33.8938	33.6791
8	13.0186	13.0687	13.0856	13.0687
9	21.3787	21.3802	21.6859	21.3802
10	5.6773	5.4292	5.9119	6.3052
11	1.7663	1.7831	1.9030	1.7831
12	6.9788	6.9673	7.2542	6.9673
12	2.6835	2.5334	2.7313	2.5334
14	0.6800	0.6809	0.6915	0.6809
15	0.2573	0.2608	0.2783	0.2608
16	0.2798	0.2805	0.3171	0.2805
17	0.3315	0.3281	0.3424	0.3281
18	0.3523	0.3539	0.3870	0.3539
19	0.0422	0.0424	0.0538	0.0424

The optimization/fitness values of the GAMS models are given at Table VI. These values are used as reference values for the solutions of the algorithms. GA, TS and SA solution fitness values are compared with the GAMS models and found that they converge to the global optimum at most trials and the approximation results are promising as can be seen at Table VII, VIII and IX.

TABLE VII
GENETIC ALGORITHM FITNESS COMPARISON

	Fitness	Fitness

TABLE VIII
TABU SEARCH FITNESS COMPARISON

	Fitness	Fitness

S.N.	Minimum	Average	Maximum	Approx. % Best Poss[1]
1	204.0261	204.0261	204.0261	100.000
2	289.7098	289.7098	289.7098	100.000
3	128.5998	128.5998	128.5998	100.000
4	119.8600	119.6903	120.1146	99.994
5	58.9760	58.9760	58.9760	99.992
6	80.6788	80.6788	80.6788	99.998
7	33.7987	33.8114	33.8146	99.997
8	13.0041	13.0235	13.0687	99.995
9	21.3830	21.3830	21.3830	99.986
10	5.7034	5.7074	5.7078	99.900
11	1.7754	1.7808	1.7832	99.928
12	6.9693	6.9785	6.9800	99.962
12	2.4192	2.6690	2.6968	99.982
14	0.6560	0.6791	0.6819	99.983
15	0.2627	0.2627	0.2630	99.924
16	0.2798	0.2804	0.2805	99.882
17	0.3334	0.3334	0.3334	99.968
18	0.3553	0.3557	0.3559	99.910
19	0.0427	0.0427	0.0427	99.785

S.N.	Minimum	Average	Maximum	Approx. % Best Poss[1]
1	204.0261	204.0261	204.0261	100.000
2	289.7098	289.7098	289.7098	100.000
3	128.5998	128.5998	128.5998	100.000
4	120.1146	120.1146	120.1146	99.994
5	58.9760	58.9760	58.9760	99.992
6	80.6788	80.6788	80.6788	99.998
7	33.7987	33.7987	33.7987	99.997
8	13.0041	13.0041	13.0041	99.995
9	21.3830	21.3830	21.3830	99.986
10	5.7078	5.7078	5.7078	99.900
11	1.7832	1.7832	1.7832	99.928
12	6.9800	6.9800	6.9800	99.962
12	2.6968	2.6968	2.6968	99.982
14	0.6818	0.6818	0.6818	99.983
15	0.2630	0.2630	0.2630	99.924
16	0.2805	0.2805	0.2805	99.882
17	0.3334	0.3334	0.3334	99.968
18	0.3558	0.3558	0.3558	99.910
19	0.0427	0.0427	0.0427	99.785

VI. CONCLUSIONS

The NP-Complete WTA problem [3] is hard to solve and different heuristics were used to solve them in the past. After the advances in the computing power at computer technology, the algorithms that need huge computer power now can be applied to solve WTA problems. This study is made to measure the efficiency and quality of GA, TS and SA algorithms that applied to WTA problem.

The quality of algorithms applied to WTA problem seems very significant while the efficiency may need to be improved considering the problem dimension. For small size WTA problems, all the three algorithms are promising, but for the large size WTA problems, only SA does.

The efficiency, speed of solution, is ignored during the implementation of the algorithms. A better coding of the algorithms might produce much better results that meet the temporal constraints also.

VII. FUTURE WORK

WTA problem will be solved by using particle swarm optimization techniques and its performance will also be compared with the algorithms in the literature.

WTA is usually considered as part of weapon assignment and sensor allocation scheduling that assessed together in military fields and it is a challenging problem. Scheduling in WASA will be studied for the future work.

[1] To calculate the best possible approximation percentage, the maximum of Couenne and Bonmin best possible value is used.

TABLE IX
SIMULATED ANNEALING FITNESS COMPARISON

	Fitness			Fitness Approximation %
S.N.	Minimum	Average	Maximum	Best Poss[1]
1	204.0261	204.0261	204.0261	100.000
2	289.7098	289.7098	289.7098	100.000
3	128.5998	128.5998	128.5998	100.000
4	120.1146	120.1146	120.1146	99.994
5	58.9760	58.9760	58.9760	99.992
6	80.6788	80.6788	80.6788	99.998
7	33.8146	33.8146	33.8146	99.997
8	13.0041	13.0429	13.0687	99.995
9	21.3830	21.3830	21.3830	99.986
10	5.7074	5.7077	5.7078	99.900
11	1.7794	1.7822	1.7831	99.928
12	6.9492	6.9742	6.9800	99.962
12	2.4163	2.6674	2.6967	99.982
14	0.6783	0.6805	0.6817	99.983
15	0.2532	0.2575	0.2615	99.924
16	0.2791	0.2801	0.2804	99.882
17	0.3291	0.3323	0.3333	99.968
18	0.3536	0.3554	0.3557	99.910
19	0.0426	0.0426	0.0427	99.785

REFERENCES

[1] Toet Alexander and Waard Huub de, “The Weapon Target Assignment Problem”, CALMA Report CALMA.TNO.WP31.AT.95c, February 3, 1995.

[2] Xin Bin, Chen Jie, Zhang Juan, Dou Lihua and Peng Zhihong, “Efficient Decision Makings for Dynamic Weapon-Target Assignment by Virtual Permutation and Tabu Search Heuristics”, IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics—Part C: Applications and Reviews, Vol. 40, No. 6, pp. 649-662, November 2010.

[3] Lloyd S.P. and Witsenhausen H.S.. Weapon allocation is NP-complete., Proc. of the IEEE Summer Simulation Conference,1986

[4] Lee Zne-Jung, Su Shun-Feng, and Lee Chou-Yuan, “A Genetic Algorithm with Domain Knowledge for Weapon-Target Assignment Problems”, Journal of the Chinese Institute of Engineers, Vol. 25, No. 3, pp. 287-295 , 2002.

[5] Lee Zne-Jung, Su Shun-Feng, and Lee Chou-Yuan, “Efficiently Solving General Weapon-Target Assignment Problem by Genetic Algorithms with Greedy Eugenics”, IEEE Transactions On Systems, Man, and Cybernetics—Part B: Cybernetics, Vol. 33, No. 1, pp. 113-121, February 2003.

[6] Lu Houqing, Zhang Hongjun, Zhang Xiaojuan and Han Ruixin, “An Improved Genetic Algorithm for Target Assignment, Optimization of Naval Fleet Air Defense”, Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation, Dalian, China, pp. 3401-3405, June 21 - 23, 2006.

[7] Shang Gao, Zaiyue Zhang, Xiaoru Zhang and Cungen Cao, “Immune Genetic Algorithm for Weapon-Target Assignment Problem”, Workshop on Intelligent Information Technology Application (IITA 2007), pp.145-148 , 2007.
[8] Dou Jihua, Yang Xingbao and Lu Yonghong, “Improved Genetic Algorithm For Multichannel Ship-To-Air Missile Weapon System WTA Problem”, Computer Science and Information Technology, pp.210-214 , 2009.
[9] Li Peng, Wu Ling and Lu Faxing, “A Mutation-Based GA for Weapon-Target Allocation Problem Subject to Spatial Constraints”, Intelligent Systems and Applications, pp.1-4 , 2009.
[10] Song Zhihua , Zhu Fashun and Zhang Duolin, ”A heuristic genetic algorithm for solving constrained Weapon-Target Assignment problem”, Intelligent Computing and Intelligent Systems, pp.336-341, 2009.
[11] Hosein Patrick and Athans Michael, “Dynamic Weapon-Target Assignment Problem”, Proceedings of 1989 Symposium on C2 Research, Washington, DC, June 1989.
[12] Roux JN and Vuuren JH van, “Threat evaluation and weapon assignment decision support: A review of the state of the art”, ORION Volume 23 (2), pp. 151–187, 2007.
[13] Karasakal Orhan, “Air defense missile-target allocation models for a naval task group,” Comput. Oper. Res., vol. 35, pp. 1759–1770, 2008.
[14] Cai H., Liu J., Chen Y., and Wang H., “Survey of the research on dynamic weapon-target assignment problem,” J. Syst. Eng. Electron., vol. 17, no. 3, pp. 559–565, 2006.
[15] Li J., Cong R., and Xiong J., “Dynamic WTA optimization model of air defense operation of warships’ formation,” J. Syst. Eng. Elec., vol. 7, no. 1, pp. 126–131, 2006.
[16] Blodgett D., Gendreau M., Guertin F., and Potvin J. Y., “A tabu search heuristic for resource management in naval warfare,” J. Heur., vol. 9, pp. 145–169, 2003.
[17] Wu L., Xing C., Lu F., and Jia P., “An anytime algorithm applied to dynamic weapon-target allocation problem with decreasing weapons and targets,” in Proc. IEEE Congr. Evol. Comput., Hong Kong, China, 2008, pp. 3755–3759, 2008.
[18] Skalicka Ondrej, “Combinatorial Optimization Library”, Master's Thesis, May 2010.
[19] Sivanandam S.N. and Deepa S.N., “Introduction to Genetic Algorithms”, Springer, 2008.
[20] Dréo Johann, Siarry Patrick, Pétrowski Alain and Taillard Eric, “Metaheuristics for Hard Optimization”, Springer, 2006.
[21] Metropolis N., Rosenbluth A. W., Rosenbluth M. N., Teller A. H., and Teller E.. "Equation of state calculation by fast computing machines." Journal of Chemical Physics, 21(6):1087–1092, 1953.

VIKOR YÖNTEMİ İLE TEDARİKÇİ PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Atakan ALKAN Suphi ÇAKIR Prof. Dr. Zerrin ALADAĞ
Kocaeli Üniversitesi Kocaeli Üniversitesi Kocaeli Üniversitesi
Endüstri Müh. Böl. Endüstri Müh. Böl. Endüstri Müh. Böl.
alkanatakan@yahoo.com suphicakir83@yahoo.com z_aladag@hotmail.com

Özet: İşletmeler, müşterilerinin istek ve beklentilerini karşılamada birlikte çalıştıkları tedarikçilerinden destek almaktadırlar. Müşteri memnuniyetinin sağlanabilmesi uygun tedarikçiler ile çalışma sonucu ortaya çıkarken, diğer yandan bu durum firma için rekabet edebilirliğini de etkilemektedir. İşletmeler için müşteri taleplerinin yeterli düzeyde karşılanabilmesi, tedarikçilerin seçimi ve mevcut tedarikçilerin değerlendirilmesi konusunu önemli kılmaktadır. Tedarikçi seçimi ve değerlendirilmesi konusu çok sayıda değerlendirme ölçütü içeren çok ölçütlü bir karar problemidir.
Bu çalışmada, bir araç lojistik merkezinin Türkiye genelinde yapacağı dağıtımlar için birlikte çalıştığı tedarikçi nakliye firmalarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Belirlenen altı ölçüte (maliyet, teslimat süresi, taşıyıcı özellikleri, taşıyıcı tedarik süresi, müşteri şikayetleri, vade süresi) göre VIKOR yöntemi kullanılarak beş tedarikçi nakliye firması değerlendirilmiş ve en uygun nakliye firması belirlenmiştir.
Anahtar Kelimeler: Çok Ölçütlü Karar Verme, Tedarikçi Performansı Değerlendirme, VIKOR Yöntemi

1. GİRİŞ

İşletmeler, teknolojinin hızlı gelişimi sonucu ortaya çıkan yenilikler, günümüzün ağır rekabet koşulları ve hızlı bir değişim gösteren müşteri beklenti ve istekleri karşısında performanslarını sürdürmekte ve iyileştirmekte zorlanmaktadır. Bu zorluklar içinde ayakta kalmak ve fark yaratabilmek, değişen yönetim anlayışına hızla uyum sağlanması ve iş süreçlerine bu yeniliği yansıtmak ile mümkün olmaktadır. Bu değişimin işletmeler tarafından doğru bir şekilde anlaşılıp, buna uygun bir şekilde üretimin ihtiyaç duyduğu koşulların sağlanması, gerçekleştirilen üretimin bir an önce pazarlara ulaştırılması da ayrıca bir zorluk getirmektedir.
Özellikle son yıllarda, hızla değişim gösteren müşteri istek ve beklentilerine karşı işletmelerin dış kaynak kullanımı, tedarik esaslı küçülme ve birleşme gibi eğilimleri firmaların tedarikçilerine olan güveni artırmıştır. Bu durum yüksek kalitede, düşük maliyetli, piyasaya hızlı bir şeklide sunulan ve müşteri memnuniyeti sağlayan hizmet ya da ürün olarak sonuçlanmaktadır.
İşletmeler maliyetlerini azaltma konusunda inceleme yaptıklarında en önemli maliyet kaleminin satın aldıkları malzeme ve hizmet maliyetleri olduğunu görmekte, bu doğrultuda satın alma maliyetlerini yüksek kalite altında düşürmeyi hedeflemektedir. Bu koşullar altında işletmeler için tedarikçi seçimi ve değerlendirmesi her geçen gün önemini arttırmıştır. Buradan hareketle tedarikçi seçiminde ve değerlendirilmesinde birçok yaklaşım ve model kurularak en iyi tedarikçi seçimi gerçekleştirilmeye çalışılmıştır.

2. VIKOR YÖNTEMİ

VIKOR yöntemi ilk kez 1988 yılında Opricovic tarafından geliştirilmiştir. Sonrasında ise 2004 yılında Opricovic ve Tzeng tarafından yapılan bir çalışma ile çok ölçütlü karar verme problemlerinin çözümünde kullanılmaya başlayan bir yöntem olmuştur. VIKOR, belirlenen ölçütler kapsamında mevcut alternatifler arasından uzlaşık bir sıralama belirlemeye çalışarak çözüme ulaşmayı sağlayan bir yöntemdir. Bu uzlaşık çözüm ile ideal çözüme en yakın çözüm ortaya çıkarılmaya çalışılmaktadır. Her alternatifin, karar verme ölçütleri için değerlendirildiği göz önünde bulundurularak, ideal alternatife yakınlık değerleri karşılaştırılıp uzlaşık sıralamaya ulaşılmaktadır. VIKOR yönteminin bir diğer özelliği ise, karar verici grubun sonuç üzerinde etkili olmasına olanak sağlamasıdır. Maksimum grup faydasının ve buna bağlı olarak karşıt görüştekilerin minimum pişmanlığının sonuca etki ettirilebilmesi söz konusudur.
Opricovic ve Tzeng (2007)'de, VIKOR yöntemi ilk olarak çok ölçütlü karar verme probleminde kullanılmıştır. Çalışmada TOPSIS ve VIKOR yöntemleri karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiş, yöntemlerin benzer ve farklı yönleri ortaya konulmuş ve VIKOR yönteminin karar vericiler için düşüncelerini yansıtmada daha iyi bir araç olarak kullanılabileceği belirtilmiştir. Chu vd. (2007), SAW, TOPSIS ve VIKOR yöntemlerini grup karar verme durumu için kıyaslamıştır. Üç yönteminde benzer sonuçlar veriyor olmasına rağmen, VIKOR yönteminin hem ayırt edici yeteneğinin bulunduğunu hem de karar vericilere daha fazla alternatif sunduğunu ifade etmiştir. Wu vd. (2009), banka performansının değerlendirmesinde ilk olarak dengelenmiş performans kartı yöntemi ile değerlendirme ölçütlerini belirlemiş ve bu ölçütlerin ağırlıkları bulanık AHP yöntemi ile elde edilmiştir. Sonraki aşamada üç banka ağırlıklandırılmış ölçütler çerçevesinde SAW, TOPSIS ve VIKOR yöntemleri kullanılarak sıralanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Ertuğrul ve Karakaşoğlu (2009), banka şubelerini performanslarına göre sırlamak amacıyla VIKOR yöntemini kullanmıştır. Banka yönetimi tarafından belirlenen ölçütler ve ölçüt

ağırlıkları doğrultusunda 18 banka şubesi değerlendirilmiş ve performansa bağlı olarak sıralanmıştır. Sanayei vd. (2010), VIKOR yönteminde bulanık sayıların kullanımını önermişlerdir. Tedarikçi seçim probleminde karar vericiler ölçütleri ve alternatif tedarikçileri dilsel olarak değerlendirmiş, bu değerlendirmeler bulanık sayılara çevrilip VIKOR yöntemiyle sonuca gidilmiştir. Jahan vd. (2011), daha kapsamlı bir VIKOR yöntemi önermiştir. Önerilen yöntem ile basit VIKOR yaklaşımının ölçütlere göre alternatiflerin sıralanmasında karşılaşılan sorunlarını giderdiği ve daha iyi sonuçlar elde edildiği belirtilmiştir. Önerilen yöntem biyomedikal alanında malzeme seçimi konusunda uygulanmış ve karar vericilerin daha güçlü kararlar alabilmesine katkı sağladığı ifade edilmiştir. Görener (2011)'de dört farklı ERP yazılımı arasından seçim yapmak amacıyla, ANP yöntemi ile ağırlıkları belirlenmiş olan ölçütler doğrultusunda VIKOR yöntemi kullanılıp en uygun yazılım seçimi gerçekleştirilmiştir. Shemshadi vd. (2011), grup çok ölçütlü karar verme ile tedarikçi seçim problemi için bulanık sayıların kullanıldığı VIKOR yöntemini önermişlerdir. Uygulamada kullanılan sayısal örnek sonuçlarının değerlendirilmesi ile bulanık sayıların kullanımının karar vericilerin düşüncelerini daha güçlü olarak yansıttığını ileri sürmüşlerdir. Farklı uygulama alanlarında kullanılan VIKOR yönteminin adımları şu şekildedir:

1. Adım: Her ölçüt için en iyi (f_i^*) ve en kötü (f_i^-) değerler belirlenir. Eğer i.ölçüt fayda ölçütü ise;

$$f_i^* = \max_j f_{ij} \qquad f_i^- = \min_j f_{ij} \qquad i = 1, 2, ..., n \qquad (1)$$

2. Adım: S_j ve R_j değerleri her bir alternatif için hesaplanır: S_j ve R_j değerleri, j. alternatif için ortalama ve en kötü grup skorlarını gösterir. w_i, ölçüt ağırlıklarını ifade etmektedir.

$$S_j = \sum_{i=1}^{n} w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f^-) \qquad (2)$$

$$R_j = \max\left[w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f^-) \right] \qquad (3)$$

3. Adım: Q_i değerleri tüm j = 1, 2, ..., J için belirlenir.

$$Q_j = v(S_j - S^*)/(S^- - S^*) + (1-v)(R_j - R^*)/(R^- - R^*) \qquad (4)$$

Burada $S^* = \min_j S_j$, $S^- = \max_j S_j$, $R^* = \min_j R_j$, $R^- = \max_j R_j$ ve "v" değeri kriterlerin çoğunluğunun ağırlılığını (maksimum grup faydasını) göstermektedir. Başka bir deyişle "v" değeri maksimum grup faydasını sağlayan strateji için ağırlığı ifade ederken, (1-v) karşıt görüştekilerin minimum pişmanlığının ağırlığını ifade etmektedir.

4. Adım: S_j, R_j ve Q_j değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanarak alternatifler arasındaki sıralama belirlenir. En küçük Q_j değerine sahip alternatif, alternatifler grubu içerisindeki en iyi seçenek olarak ifade edilir.

5. Adım: Eğer aşağıdaki iki koşul sağlanırsa, en iyiyi Q (minimum) değerlerine göre sıralayan alternatif a' uzlaştırıcı çözüm olarak önerilir.

Koşul 1 (C1): Kabul edilebilir avantaj

$Q(a'') - Q(a') \geq DQ$

burada a'' değeri, Q değerine göre sıralamada ikinci sırayı alan alternatiftir. J alternatif sayısını göstermek üzere, $DQ = 1/(J-1)$ olarak hesaplanır.

Koşul 2 (C2): Kabul edilebilir istikrar

Alternatif a', S ve/veya R değerlerine göre sıralanan en iyi alternatiftir. Bu uzlaşık çözüm karar verme sürecinde istikrarlıdır.

Eğer bu iki durumdan bir tanesi sağlanmazsa uzlaşık çözüm kümesi şu şekilde önerilir:

- Eğer C2 durumu sağlanmıyorsa a' ve a'' alternatifleri,
- Eğer C1 durumu sağlanmıyorsa a', a'',...,$a^{(M)}$ alternatifleri ve değeri maksimum M için $Q(a^{(M)}) - Q(a') < DQ$ belirlenir.

Q değerlerine göre sıralanan en iyi alternatif, minimum Q değerine sahip alternatiflerden birisidir.

3. TEDARİKÇİ PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ UYGULAMASI

Çalışma kapsamında Türkiye çapında faaliyet gösteren bir araç lojistik firmasının yapacağı dağıtımlar için birlikte çalıştığı tedarikçi nakliye firmalarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Beş alternatif tedarikçi nakliye firması belirlenen altı ölçüte göre değerlendirilmiştir. Bu ölçütler; maliyet, teslimat süresi, taşıyıcı özellikleri, taşıyıcı tedarik süresi, müşteri şikayetleri ve vade süresi şeklindedir. Bu ölçütlerin kısaca açıklamaları aşağıdaki gibidir.

Maliyet (TL): Tedarikçi nakliye firmaları tarafından yapılacak taşımalar için araç başına birim fiyatı ifade eder.

Teslimat Süresi (Gün): Tedarikçi nakliye firmaları tarafından araç lojistik firmasının merkezinden araçların yüklenmesi ile müşteriye ulaştırılması arasında geçen süreyi ifade eder.

Taşıyıcı Özellikleri (Cins): Tedarikçi nakliye firmasına ait araçların arıza yüzdeleri ve yükleme kapasiteleri yönünden değerlendirilmesini ifade eder.

Taşıyıcı Tedarik Süresi (Saat): Lojistik firmasınca istenen taşıyıcıların tedarikçi nakliye firması tarafından hazır edilmesini ifade eder.
Müşteri Şikayetleri (Adet/Araç): Tedarikçi nakliye firmasının gerçekleştirdiği taşıma sonucu müşterilerden gelen şikayetleri ifade eder.
Vade Süresi (Gün): Tedarikçi nakliye firmasına ödemenin yapılacağı zamanı ifade eder.
Çalışmanın ilk aşamasında araç lojistik firmasının operasyon departmanından, sevkiyat departmanından, satınalma departmanından uzmanlar ve müşteri temsilcilerinden oluşan bir ekip ile birlikte belirlenen ölçütlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda hesaplanan ölçüt ağırlıkları Tablo 1'deki gibi elde edilmiştir. Ölçüt ağırlıkları belirlendikten sonra, alternatif tedarikçi nakliye firmalarının bu ölçütler bazındaki değerlendirme sonuçları oluşturulmuştur. Buna ilişkin veriler Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 1: Değerlendirme Ölçütleri ve Ağırlıkları

Kriterler	**Ağırlıklar**
Maliyet	0,43
Teslimat Süresi	0,21
Taşıyıcı Özellikleri	0,03
Taşıyıcı Tedarik Süresi	0,09
Müşteri Şikayetleri	0,18
Vade Süresi	0,06

Tablo 2: Alternatiflere İlişkin Veriler

KRİTERLER		**ALTERNATİFLER**				
	Birim	A	B	C	D	E
Maliyet	TL	120	105	110	115	125
Teslimat Süresi	GÜN	1,25	1,5	1,25	2	1,75
Taşıyıcı Özellikleri	CİNS	1	3	5	3	5
Taşıyıcı Tedarik Süresi	SAAT	3	5	2	2,5	4
Müşteri Şikayetleri	ADET/ARAÇ	0,023	0,014	0,033	0,015	0,012
Vade Süresi	GÜN	45	45	60	30	90

Alternatiflerin ölçütlere göre değerlerinin belirlenmesinden sonra, her ölçüt için en iyi (f_i^*) ve en kötü (f_i^-) değerler belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler Tablo 3'de görüldüğü gibidir.

Tablo 3: Her Ölçüt için En İyi (f_i^*) ve En Kötü (f_i^-) Değerler

Kriterler	f_i^*	f_i^-
Maliyet	105	125
Teslimat Süresi	1,25	2
Taşıyıcı Özellikleri	5	1
Taşıyıcı Tedarik Süresi	2	5
Müşteri Şikayetleri	0,012	0,033
Vade Süresi	90	30

Her ölçüt için en iyi (f_i^*) ve en kötü (f_i^-) değerler belirlendikten sonra beş alternatif tedarikçi nakliye firması için S_j ve R_j değerleri eşitlik (2) ve (3) yardımıyla hesaplanmıştır. Daha sonra eşitlik (4) yardımıyla Q_j değerleri

belirlenmiştir. Burada v = 0,5 olarak alınmıştır. S, R ve Q değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanmış ve tedarikçi nakliye firmaları için üç sıralama listesi oluşturulmuştur. Alternatif tedarikçi nakliye firmalarının performanslarına göre sıralama sonuçları Tablo 4'te görüldüğü gibi gerçekleşmiştir.

Tablo 4: Alternatif Tedarikçi Nakliye Firmalarının VIKOR Yöntemi ile Sıralama Sonuçları

Alternatifler	**S_j**	**R_j**	**Q_j**	**S_j Değerlerine Göre Sıralama**	**R_j Değerlerine Göre Sıralama**	**Q_j Değerlerine Göre Sıralama**
A	0,52	0,33	0,70	B	B	B
B	0,24	0,09	0,00	C	C	C
C	0,31	0,17	0,27	A	D	D
D	0,55	0,22	0,58	D	A	A
E	0,63	0,43	1,00	E	E	E

Tablo 4'te elde edilen sıralama sonuçlarına göre, VIKOR yönteminin 5. Adımı doğrultusunda yapılan değerlendirme sonucunda "B" tedarikçi nakliye firması en uygun tedarikçi olarak belirlenir. En kötü performansa sahip tedarikçi nakliye firması ise "E" olarak belirlenmiştir. "v" değerinin farklı değerleri içinde yapılan değerlendirmelerde "B" tedarikçi nakliye firması yine en uygun tedarikçi olarak belirlenmiştir.

4. SONUÇ

Firmaların karşı karşıya oldukları ağır rekabet koşulları karşısında hızla değişim gösteren müşteri beklenti ve isteklerini karşılamaları sürdürülebilir rekabet avantajı açısından son derece önemlidir. Bu avantajı koruyabilmek için firmalar maliyetlerini etkliyen tedarik süreçlerini etkin bir şekilde yönetmek zorundadır. Bu sebepten ötürü firmaların birlikte çalıştıkları tedarikçilerinin seçimi ve değerlendirilmesi konusu büyük önem arz etmektedir.
Bu bağlamda, bir araç lojistik firmasının yapacağı dağıtımlar için birlikte çalıştığı tedarikçi nakliye firmalarının değerlendirilmesi VIKOR yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan ölçütler ve ağırlıkları lojistik firmasının uzmanlarından oluşan bir ekiple koordineli olarak belirlenmiş ve bu sayede sıralamaya yön verilmiştir. Çalışma sonucunda, alternatif beş tedarikçi nakliye firmasının performanslarına dayalı bir değerlendirme ve sıralama elde edilmiştir. VIKOR yönteminin; ideal çözüme yakınlığın bir ölçüsü olarak sıralama gerçekleştirmesi, alternatifler arası sıralamanın yanında uzlaşık bir çözüme ulaşması ve alternatifler arasında ayırt edici bir fark olmaması durumunda bir alternatifler kümesini önermesi çalışma kapsamında yöntemin avantaj sağlayıcı yönleri olarak değerlendirilmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Chu, M., T., Shyu, J., Tzeng, G., H., Khosla, R., (2007), Comparison Among Three Analytical Methods for Knowledge Communities Group-Decision Analysis, Expert Systems with Applications, 33 (2007) 1011–1024
2. Ertuğrul, İ., Karakaşoğlu, N., (2009), Banka Şube Performanslarının VIKOR Yöntemi ile Değerlendirilmesi, Endüstri Mühendisliği Dergisi, Cilt:20-1 s.19-28
3. Görener, A., (2011), Bütünleşik ANP-VIKOR Yaklaşımı ile ERP Yazılımı Seçimi, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, Cilt:5-1 s.97-110
4. Jahan, A., Mustapha, F., Ismail, M., Y., Sapuan, S., M., Bahraminasab, M., (2011), A Comprehensive VIKOR Method for Material Selection, Materials and Design, 32 (2011) 1215-1221
5. Opricovic, S., Tzeng, G., H., (2007), Extended VIKOR Method in Comparison with Other Outranking Methods, European Journal of Operational Research, 178 (2007) 514-529
6. Sanayei, A., Mousavi, S., F., Yazdankhah, A., (2010), Group Decision Making Process for Supplier Selection with VIKOR Under Fuzzy Environment, Expert Systems with Applications, 37 (2010) 24-30
7. Shemshadi, A., Shirazi, H., Toreihi, M., Tarokh, M., J., (2011), A Fuzzy VIKOR Method for Supplier Selection Based on Entropy Measure for Objective Weighting, Expert Systems with Applications, doi:10.1016/j.eswa.2011.03.027
8. Wu, H., Y., Tzeng, G., H., Chen, Y., H., (2009), A Fuzzy MCDM Approach for Evaluating Banking Performance Based on Balanced Scorecard, Expert Systems with Applications, 36 (2009) 10135-10147

ÇOK YANITLI YÜZEY PROBLEMLERİNDE BULANIK PARETO ÇÖZÜMLERİN BULANIK KARAR VERME YAKLAŞIMI İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Ayşen **APAYDIN** , Özlem **TÜRKŞEN***

Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi İstatistik Bölümü, 06100, Tandoğan/ANKARA.
apaydin@science.ankara.edu.tr, turksen@science.ankara.edu.tr

Özet
Bu çalışmada, Uyarlanmış Baskın Sıralı Genetik Algoritma-II (BSGA-II) yöntemi kullanılarak elde edilen bulanık Pareto çözümlerin bulanık karar verme yaklaşımı ile uzlaşık çözüm grupları belirlenmiştir. Uyarlanmış BSGA-II yönteminin oluşturulmasında ağırlık merkezi indeksine dayalı bulanık sıralama yaklaşımından yararlanılmıştır. Bulanık Pareto çözümler, üyelik değerlerine göre bulanık max-min işlemcisi kullanılarak gruplandırılmıştır. Gruplama sonucu, birbirine alternatif olarak kullanılabilecek, yanıt değerleri yakın bulanık çözümler elde edilmiştir.

1.Giriş

Birden fazla yanıt fonksiyonuna sahip problemler Çok Yanıtlı Yüzey (ÇYY) problemi olarak değerlendirilir. ÇYY probleminin modellenmesinde Yanıt Yüzey Yöntemi'nden yararlanılır. Yanıt değişkenlerinin gelecekteki değerini doğru olarak kestirebilmek için yanıt değişkeni ile girdi değişkenleri arasındaki ilişkiyi belirleyecek uygun bir fonksiyonun belirlenmesi gerekir. Gerçek dünyaya ilişkin problemler karmaşıklık veya belirsizlik içeriyorsa problemin modellenmesi sonucunda elde edilen yanıt, gerçek değeri doğru olarak yansıtmayacaktır. Gözlem sayısının yetersiz olması, hataların normal dağılım varsayımlarının sağlanmasında karşılaşılan zorluklar, girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki belirsiz ilişki gibi nedenlerden dolayı klasik regresyon analizinin uygulanmasında çeşitli problemlerle karşılaşılır. Bu nedenle, deneysel tasarıma dayalı yaklaşımlar ve Yanıt Yüzey Yöntemi ilgilenilen problemin modellenmesinde yeterli olmayacaktır. Çevresel koşullara veya yanıtlara bağlı olarak çoğu durumda gözlemler tam doğrulukla açıklanamayabilir. Böyle durumlarda yaklaşık tanımlama yapılabilir ya da veriler bir aralıkta tanımlanabilir. Burada tanımlanan kesin olmama durumu rasgelelikten farklı bir kavramdır ve bu belirsizlik olarak değerlendirilir. Yanıtların fonksiyonel yapılarının belirlenmesindeki eksik ve yetersiz bilginin neden olduğu belirsiz durumları açıklayacak biçimde problemin modellenmesi gerekir. Rasgelelikten farklı olarak ele alınacak bu kavram "bulanık mantık" kuramı ile açıklanır. Bulanık mantık, Aristo mantığına dayanan "Bir nesne kümenin ya elemanıdır ya da elemanı değildir" şeklindeki ikili mantık sistemine karşı olarak ilk kez Zadeh tarafından geliştirilmiştir [9][10].

Bulanık mantık, günlük hayatta karşımıza çıkan değerlere üyelik dereceleri atayarak olayların hangi oranlarla gerçekleştiğini belirlemeye çalışan bir çoklu mantık sistemidir. Bulanık mantık, bulanık küme teorisine dayanır. Klasik regresyon analizi, bulanık küme kavramı ile bulanık uzaya taşınmıştır. Genel olarak bulanık regresyon alanında yapılan çalışmalar iki grupta incelenir: (i) Lineer programlamaya dayalı yöntemler (olabilirlik yaklaşımı) [7], (ii) Bulanık en küçük kareler yöntemi (en küçük kareler yaklaşımı) [2]. Modelleme aşamasında olduğu gibi belirsizlik altında karar verme durumunda da bulanık küme teorisinin uygulanması, karar sürecinin doğru değerlendirilmesi konusunda oldukça etkili olmuştur [5].
Bu çalışmada, Bulanık En Küçük Kareler (BEKK) yönteminden yararlanılarak elde edilen bulanık yanıt fonksiyonları birer bulanık amaç fonksiyonu olarak düşünülerek, ÇYY problemi bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon (ÇAO) problemi biçiminde ele alınacaktır. Problem için bulanık Pareto çözüm kümesinin elde edilmesinde etkin bir Çok Amaçlı Evrimsel Algoritma (ÇAEA) olan BSGA-II kullanılacaktır [1]. BSGA-II yöntemi ile bulanık Pareto çözümlerin elde edilmesinde bulanık sıralama metodolojisinden yararlanılacaktır. Ağırlık merkezi indeksine dayalı bulanık sıralama ile elde edilen fonksiyon değerleri BSGA-II için uyum değerleri olarak değerlendirilip, bulanık Pareto çözümlerin sıralamasında kullanılacaktır. Bulanık Pareto çözüm kümesi, max-min yaklaşımından yararlanılarak uzlaşık bulanık çözüm gruplarına ayrılacaktır. Gıda mühendisliği alanında yapılan deneysel bir çalışma üzerinde önerilen bulanık karar verme yaklaşımı uygulanacaktır.

2. Bulanık Yanıt Yüzey Fonksiyonlarının Oluşturulması

İkinci derece model yapısının yanıt yüzey çalışmaları içinde önemli bir yeri vardır. Gerçek dünya problemlerinin genellikle doğrusal olmayan yapıda olduğu düşünüldüğünde, ikinci derece modeller ile bilinmeyen yüzeye daha az hata ile yaklaşım yapılacağı önerilmiştir [6]. $Y = f(\boldsymbol{X}, \boldsymbol{\beta}) + \varepsilon$ ile verilen model tanımlamasına bağlı kalarak, k değişkenli bir ikinci derece model

$$Y_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i X_{ti} + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} X_{ti}^2 + \sum_{i=1}^{k} \sum_{i<j}^{k} \beta_{ij} X_{ti} X_{tj} + \varepsilon_t, \ t = 1,2,...,n \quad (1)$$

eşitliği ile tanımlanır. Burada Y_t, $t = 1,2,...,n$ gözlenen yanıt değişkenleri, $X_1, X_2, ..., X_k$ girdi değişkenleri, $\beta_1, \beta_2, ..., \beta_k$ bilinmeyen model parametreleri olup, ε_t, $t = 1,2,...,n$ model hatası göstermektedir. Model parametrelerinin uygun bir yöntemle tahmin edildiği varsayımı altında tahmini yanıt modeli

$$\hat{Y}_t = \hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^{k} \hat{\beta}_i X_{ti} + \sum_{i=1}^{k} \hat{\beta}_{ii} X_{ti}^2 + \sum_{i=1}^{k} \sum_{i<j}^{k} \hat{\beta}_{ij} X_{ti} X_{tj}, \ t = 1,2,...,n \quad (2)$$

olacaktır.

Klasik çok yanıtlı optimizasyon modellerinde modelleme hatasından ve eksik bilgiden kaynaklanan belirsizlik genellikle ihmal edilir. Yanıt ve girdi değişkenleri arasındaki belirsiz ilişki, bulanık modellerle açıklanır. Bulanık yaklaşım ile tahmini yanıtlardaki belirsizlik de modellenmektedir. Gözlenen ve tahmin edilen değerler arasındaki sapmaların, klasik regresyon modelinde tanımlanan ölçüm hatalarından değil, model katsayılarındaki dalgalanmalardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bulanıklığın modele dahil edilmesi aşamasında hesaplama karmaşıklığını azaltmak için aritmetik işlemlerin kolay olmasından dolayı üçgensel bulanık sayılar kullanılır.

İkinci derece polinomsal fonksiyonlardan yararlanılarak elde edilebilecek tahmini yanıt yüzey fonksiyonu eşitlik (2)' de tanımlanmıştı. Bu tahmini model denklemindeki yanıt değişkeninin aldığı değerler $\tilde{Y}_t = (Y_t, u_t, v_t), t = 1,2,...,n$ biçiminde tanımlı üçgensel bulanık sayılarla ve girdi değişken değerleri kesin sayılarla ifade edilir. Buna göre bulanık tahmini yanıt yüzey modeli

$$\hat{\tilde{Y}}_t = \tilde{\beta}_0 + \sum_{i=1}^{k} \tilde{\beta}_i X_{ti} + \sum_{i=1}^{k} \tilde{\beta}_{ii} X_{ti}^2 + \sum_{i=1}^{k} \sum_{i<j}^{k} \tilde{\beta}_{ij} X_{ti} X_{tj}, \ t = 1,2,...,n \quad (3)$$

eşitliği ile tanımlanır. Burada, $\tilde{\beta}_0, \tilde{\beta}_i, \tilde{\beta}_{ii}, \tilde{\beta}_{ij}$, $(i, j = 1,2,...,k; i \le j)$ bulanık parametreleri $\tilde{\beta}_i = (\beta_i, \sigma_i, \tau_i)$ ve $\tilde{\beta}_{ij} = (\beta_{ij}, \sigma_{ij}, \tau_{ij})$ biçiminde tanımlı üçgensel bulanık sayılardır. $(\sigma_i, \sigma_{ij}, u_t)$ ve (τ_i, τ_{ij}, v_t) ise model parametreleri için sırasıyla sol ve sağ yayılımlardır. (3) eşitliği ile tanımlı bulanık yanıt yüzey modelinde, model hataları rasgele terim olarak değil, tahmini yanıt modelindeki bulanık katsayılarla ifade edilmektedir. Amaç, verilere uygun en iyi modeli elde edecek biçimde gözlenen bulanık yanıt değerleri $\tilde{Y}_t, t = 1,2,...,n$ ve bulanık tahmini yanıt değerleri $\hat{\tilde{Y}}_t, t = 1,2,...,n$ arasındaki fark en küçük olacak biçimde bulanık model parametrelerini tahmin etmektir.

[2]'de üçgensel bulanık sayılar üzerinde tanımlı L_2 uzaklık metriği kullanılarak, bulanık model parametrelerinin tahmini için BEKK yöntemi önerilmiştir. Bu yaklaşımda, $\tilde{A} = (a, \alpha, \beta)$ ve $\tilde{B} = (b, \mu, \nu)$ ile tanımlı iki üçgensel bulanık sayı arasındaki uzaklık

$$\tilde{d}_D^2(\tilde{A}, \tilde{B}) = (a-b)^2 + \left[a - \alpha - (b - \mu)\right]^2 + [a + \beta - (b + \nu)]^2 \quad (4)$$

eşitliği ile tanımlanmıştır. Buna göre

$$\min \phi(\tilde{\beta}_i, \tilde{\beta}_{ii}, \tilde{\beta}_{ij}) = \min \sum_{t=1}^{n} \tilde{d}^2(\tilde{Y}_t, \hat{\tilde{Y}}_t)$$

$$= \min \sum_{t=1}^{n} \tilde{d}^2(\tilde{Y}_t, \tilde{\beta}_0 + \sum_{i=1}^{k} \tilde{\beta}_i X_{ti} + \sum_{i=1}^{k} \tilde{\beta}_{ii} X_{ti}^2 + \sum_{i=1}^{k} \sum_{i<j}^{k} \tilde{\beta}_{ij} X_{ti} X_{tj}), \ t = 1,2,...,n \quad (5)$$

eşitliği ile tanımlı EKK optimizasyon probleminin çözülmesi ile bulanık model parametreleri elde edilecektir. Üçgensel bulanık sayılar üzerinde tanımlı lineer operatör özelliklerinden yararlanılarak tahmini bulanık yanıt fonksiyonu

$$\hat{\tilde{Y}}_t = \tilde{\beta}_0 + \sum_{i=1}^{k} \tilde{\beta}_i X_{ti} + \sum_{i=1}^{k} \tilde{\beta}_{ii} X_{ti}^2 + \sum_{i=1}^{k} \sum_{i<j}^{k} \tilde{\beta}_{ij} X_{ti} X_{tj} = (\mathbf{X}_t'\boldsymbol{\beta}, \mathbf{X}_t'\boldsymbol{\sigma}, \mathbf{X}_t'\boldsymbol{\tau})$$

eşitliği biçiminde yazılabilir. (5) eşitliği ile tanımlanan optimizasyon problemi, (4) ifadesinde tanımlı metrikten yararlanılarak

$$\begin{aligned}\min \phi(\tilde{\boldsymbol{\beta}}) &= \min \sum_{t=1}^{n} \tilde{d}_D^2(\tilde{Y}_t, \hat{\tilde{Y}}_t) \\ &= \min \sum_{t=1}^{n} \tilde{d}_D^2((Y_t, u_t, v_t), (\mathbf{X}_t'\boldsymbol{\beta}, \mathbf{X}_t'\boldsymbol{\sigma}, \mathbf{X}_t'\boldsymbol{\tau})) \\ &= \min \sum_{t=1}^{n} ((\mathbf{X}_t'\boldsymbol{\beta} - Y_t)^2 + ((\mathbf{X}_t'\boldsymbol{\beta} - \mathbf{X}_t'\boldsymbol{\sigma}) - (Y_t - u_t))^2 + ((\mathbf{X}_t'\boldsymbol{\beta} - \mathbf{X}_t'\boldsymbol{\tau}) - (Y_t - v_t))^2).\end{aligned} \tag{6}$$

eşitliği ile tanımlı probleme dönüşür. (6) ile tanımlı problemi en küçükleyecek $\boldsymbol{\beta}$, $\boldsymbol{\sigma}$ ve $\boldsymbol{\tau}$ model parametreleri $\frac{\partial \phi(\tilde{\boldsymbol{\beta}})}{\partial \boldsymbol{\beta}} = 0$, $\frac{\partial \phi(\tilde{\boldsymbol{\beta}})}{\partial \boldsymbol{\sigma}} = 0$, $\frac{\partial \phi(\tilde{\boldsymbol{\beta}})}{\partial \boldsymbol{\tau}} = 0$ eşitliklerinin çözülmesi ile $\sum_{t=1}^{n} \mathbf{X}_t \mathbf{X}_t'$ nın tersinir olması koşulu altında

$$(\boldsymbol{\beta}, \boldsymbol{\sigma}, \boldsymbol{\tau}) = ((\sum_{t=1}^{n} \mathbf{X}_t \mathbf{X}_t')^{-1} \sum_{t=1}^{n} \mathbf{X}_t Y_t \,,\, (\sum_{t=1}^{n} \mathbf{X}_t \mathbf{X}_t')^{-1} \sum_{t=1}^{n} \mathbf{X}_t u_t \,,\, (\sum_{t=1}^{n} \mathbf{X}_t \mathbf{X}_t')^{-1} \sum_{t=1}^{n} \mathbf{X}_t v_t) \tag{7}$$

bulunur. Eğer $\sum_{t=1}^{n} \mathbf{X}_t \mathbf{X}_t'$ tersinir, $(\sum_{t=1}^{n} \mathbf{X}_t \mathbf{X}_t')^{-1} \sum_{t=1}^{n} \mathbf{X}_t u_t \geq 0$ ve $(\sum_{t=1}^{n} \mathbf{X}_t \mathbf{X}_t')^{-1} \sum_{t=1}^{n} \mathbf{X}_t v_t \geq 0$ ise, (6) eşitliği ile tanımlı optimizasyon problemi (7) ile tanımlı çözüm kümesine sahip olacaktır [9].

3. Uyarlanmış Baskın Sıralı Genetik Algoritma II Yöntemi

ÇYY problemi, her bir yanıt fonksiyonunun bir amaç fonksiyonu olarak değerlendirildiği optimal girdi değeri elde edilmek istenilen bir ÇAO problemi biçiminde ele alınabilir. Buna benzer olarak bulanık yanıt fonksiyonlarından oluşan bulanık çok yanıtlı yüzey problemini, bulanık ÇAO problemi olarak değerlendirmek mümkündür. Buna göre, genel olarak

$$\begin{aligned} & enk\{\hat{\tilde{Y}}_1(\mathbf{X}), \hat{\tilde{Y}}_2(\mathbf{X}), ..., \hat{\tilde{Y}}_r(\mathbf{X})\} \\ & \mathbf{X} \in S \end{aligned} \tag{8}$$

ifadesi ile tanımlı bulanık çok yanıtlı problem

$$\begin{aligned} & enk\{\tilde{f}_1(\mathbf{X}), \tilde{f}_2(\mathbf{X}), ..., \tilde{f}_r(\mathbf{X})\} \\ & \mathbf{X} \in S \end{aligned} \tag{9}$$

biçiminde tanımlı bulanık ÇAO problemine dönüşecektir. (9) ile tanımlı bir bulanık ÇAO probleminin çözümü, bulanık Pareto çözüm kümesi ile tanımlanır. ÇAEA' lar, klasik ÇAO problemi için baskın çözüm kümesinin oluşturulmasında oldukça etkin yöntemlerdir. Bu algoritmalar ile bir defada çok sayıda baskın çözümden oluşan bir Pareto yüzey tanımlamak mümkün olmaktadır. Çalışmada kullanılacak olan BSGA-II, populasyon tabanlı bir evrimsel algoritmadır [1].

BSGA-II yönteminde, her biri problemin olası bir çözümünü temsil eden çözüm kümesi ile aramaya başlanarak mevcut çözüm kümesinden daha iyi çözümler elde edilmeye çalışılır. Mevcut populasyonun en iyi bireyleri seçilip, çaprazlama ve mutasyon operatörleri ile yeni populasyon oluşturulur. Önceden belirlenen yineleme sayısı kadar populasyon oluşturmaya devam edilir. BSGA-II yönteminde, hızlı baskın sıralama ve kalabalıklık uzaklığı olmak üzere baskın yüzeyin oluşturulmasında iki yaklaşım kullanılır. Bulanık amaç fonksiyonları kullanılarak elde edilen Pareto çözümler üçgensel bulanık sayılar ile ifade edileceğinden, bir bulanık sayının diğer bir bulanık sayıdan büyük ya da küçük olduğuna karar vermek oldukça zordur. bulanık ÇAO probleminin BSGA-II yöntemi ile çözümlenebilmesi için algoritmada çeşitli uyarlamaların yapılması gerekir. Bulanık amaç fonksiyonları kullanılarak elde edilen çözümler üçgensel bulanık sayılar ile ifade edileceğinden, bir bulanık sayının diğer bir bulanık sayıdan büyük ya da küçük olduğuna karar vermek oldukça zordur. Bu nedenle bulanık Pareto çözümlerin sıralanmasında bulanık sıralama yaklaşımından yararlanılmıştır. Bulanık sayıların karşılaştırılmasında tek olarak kullanılabilecek en iyi yöntem yoktur. Bu çalışmada, ağırlık merkezi indeksine dayalı bulanık sıralama yaklaşımı kullanılmıştır. Yaklaşım, bulanık sayıların üyelik fonksiyonları üzerinde tanımlı integral değeri ile belirlenen alan ölçümüne dayanır [8].

Bulanık Pareto çözüm kümesinin elde edilmesi amacıyla kullanılan Uyarlanmış BSGA-II yönteminin algoritmik adımları aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

Adım 1: Populasyon büyüklüğü (n_pop), yineleme sayısı (n_gen), çaprazlama olasılığı (P_c), mutasyon olasılığı (P_m), çaprazlama operatörü için dağılım indeksi (η_c), mutasyon operatörü için dağılım indeksi (η_m) tanımlanır.

Adım 2: Rasgele bir başlangıç populasyonu üretilir P_0, $t=0$.

Adım 3: n_pop büyüklüğünde yeni bir populasyon oluşturulur, Q_0.

Adım 4: Mevcut çözüm ve yeni çözüm populasyonları birleştirilir, $R_t = P_t \cup Q_t$.

Adım 5: Bulanık Sıralama gerçekleştirilir.

(i) Bulanık amaç fonksiyonları $\tilde{f}_j$, $j=1,2,...,r$ için çözüm kümesi $\tilde{f}_{ij}(\mathbf{X})$, $i=1,2,...,n_pop$, $j=1,2,...,r$ hesaplanır. Burada, bulanık amaç fonksiyon değerleri $\tilde{f}_{ij}=(f_{ij}^{alt}, f_{ij}^{merkez}, f_{ij}^{üst})$, $i=1,2,...,n_pop$, $j=1,2,...,r$ biçiminde tanımlı üçgensel bulanık sayılardır.

(ii) Her bir üçgensel bulanık çözüm için

$$\mu_{\tilde{f}_{ij}} = \begin{cases} \mu_{\tilde{f}_{ij}}^{L}(x),\ \tilde{f}_{ij}^{alt} \le x < \tilde{f}_{\hat{i}j}^{merkez} \\ 1 \quad ,\ x = \tilde{f}_{\hat{i}j}^{merkez} \\ \mu_{\tilde{f}_{ij}}^{R}(x),\ \tilde{f}_{\hat{i}j}^{merkez} < x \le \tilde{f}_{ij}^{üst} \\ 0 \quad ,\ d.y. \end{cases}$$

ile tanımlı üyelik fonksiyonu oluşturulur.

(iii) $\tilde{f}_{ij}$, $i=1,2,...,n_pop$, $j=1,2,...,r$ bulanık çözümünün ağırlık merkezi noktaları $(\overline{x}(\tilde{f}_{ij}), \overline{y}(\tilde{f}_{ij}))$ hesaplanır. Bu noktalar

$$\overline{x}(\tilde{f}_{ij}) = \frac{\int_{\tilde{f}_{ij}^{alt}}^{\tilde{f}_{ij}^{merkez}} x\mu_{\tilde{f}_{ij}}^{L}(x)dx + \int_{\tilde{f}_{ij}^{merkez}}^{\tilde{f}_{ij}^{üst}} x\mu_{\tilde{f}_{ij}}^{R}(x)dx}{\int_{\tilde{f}_{ij}^{alt}}^{\tilde{f}_{ij}^{merkez}} \mu_{\tilde{f}_{ij}}^{L}(x)dx + \int_{\tilde{f}_{ij}^{merkez}}^{\tilde{f}_{ij}^{üst}} \mu_{\tilde{f}_{ij}}^{R}(x)dx}$$

ve

$$\overline{y}(\tilde{f}_{ij}) = \frac{\int_0^1 yI_{\tilde{f}_{ij}}^{L}(x)dx + \int_0^1 yI_{\tilde{f}_{ij}}^{R}(x)dx}{\int_0^1 I_{\tilde{f}_{ij}}^{L}(x)dx + \int_0^1 I_{\tilde{f}_{ij}}^{R}(x)dx}$$

eşitlikleri ile tanımlıdır. Burada, $I_{\tilde{f}_{ij}}^{R}$ ve $I_{\tilde{f}_{ij}}^{L}$ sırasıyla $\mu_{\tilde{f}_{ij}}^{R}$ ve $\mu_{\tilde{f}_{ij}}^{L}$ fonksiyonlarının ters fonksiyonlarıdır.

Adım 6: Adım 5'te hesaplanan ağırlık merkezi noktalarına göre hızlı baskın sıralama yaklaşımı ile bulanık çözümler öncelikle x değerlerine göre, bu değerlerin eşit olması durumunda y değerlerine göre sıralanır. Buna göre, eğer $\overline{x}(\tilde{f}_{ij}) > \overline{x}(\tilde{f}_{kj})$, $i,k=1,2,...,n_pop, i \ne k$; $j=1,2,...,r$ ise $\tilde{f}_{ij} > \tilde{f}_{kj}$ alınır. $\overline{x}(\tilde{f}_{ij}) = \overline{x}(\tilde{f}_{kj})$, $i,k=1,2,...,n_pop, i \ne k$; $j=1,2,...,r$ iken $\overline{y}(\tilde{f}_{ij}) > \overline{y}(\tilde{f}_{kj})$ ise $\tilde{f}_{ij} > \tilde{f}_{kj}$ alınır.

Adım 7: Sıralanan bulanık çözümlerin kalabalıklık uzaklığı hesaplanır.

Adım 8: Elde edilen sıralama değerlerine göre R_t çözüm kümesinin bütün baskın yüzeyleri, $F = (F_1, F_2, ...)$, belirlenir ve n_pop büyüklüğünde yeni populasyon, P_{t+1}, oluşturulur.

Adım 9: P_{t+1} populasyonundan, ikili turnuva seçimi, simule edilmiş ikili çaprazlama ve polinomiyal mutasyon operatörleri kullanılarak yeni populasyon Q_{t+1} elde edilir.

Adım 10: Eğer n_gen sayısına ulaşılmamışsa Adım 4' e, aksi halde Adım 11' e gidilir.

Adım 11: Arama sonlandırılır.

4. Bulanık Pareto Çözümler İçin Önerilen Bulanık Karar Verme Yaklaşımı

Karar verme işlemi, istenilen kriterlerin sağlanması şartı altında alternatifler içerisinden optimal kararın belirlenmesi sürecidir. Karar verme işleminde zorluklar belirsizlikten doğar. Bulanık çok ölçütlü karar verme kuramının esas amacı, en uygun kararı verirken kişisel yargılar ve tercihlerden oluşan belirsizliğin etkilerini azaltmaktır. Bulanık çok amaçlı optimizasyon probleminin çözümü sonunda elde edilen bulanık Pareto çözüm kümesindeki her bir bulanık baskın çözüm amaç fonksiyonları arasında farklı bir uzlaşık sonuç sergiler. Karar vericinin kendi amacına yönelik olarak çok sayıda bulanık Pareto çözüm içinden en iyi uzlaşık çözümü seçmesi beklenir.

Bulanık amaç fonksiyonları kullanılarak elde edilen bir Pareto çözüm, $\tilde{f}_{ij} = (f_{ij}^{alt}, f_{ij}^{merkez}, f_{ij}^{üst})$, $i = 1, 2, ..., n_pop$, $j = 1, 2, ..., r$ ile tanımlı üçgensel bulanık sayıdır. Bulanık Pareto çözüm kümesi bir bütün olarak değerlendirildiğinde kümeye ait her bir elemanın küme içinde ayrı bir önemi vardır. Pareto çözümlerin her biri, çözüm kümesine belirli bir üyelikle dahildir. Çözüm kümesindeki çözümlerin kümeye ait olma üyelik dereceleri, çözümlerin birbirine göre veya birlikte küme içinde önem derecelerini ifade eder. Çözümlerin her biri bağımsız tek bir küme olarak değerlendirildiğinde, bir çözümün diğer bir çözüme ait olma üyeliği de önemlidir. Bu nedenle en iyi değeri elde edilmek istenilen bulanık amaç fonksiyonlarına göre, $\tilde{f}_j$, $j = 1, 2, ..., r$, her bir bulanık çözümün merkez noktasının diğer bulanık çözüme ait olma üyeliği hesaplanır. Çizelge 1' deki gibi bir üyelik matrisi elde edilir.

Çizelge 1. Bulanık amaç fonksiyonlarına göre elde edilen üyelik değerleri

$\mu_{\tilde{f}_j}$	**1**	**2**	**…**	**n_pop**
1	1	μ_{12}	…	μ_{1n_pop}
2	μ_{21}	1	…	μ_{2n_pop}
.	.	.	…	.
.	.	.	…	.
.	.	.	…	.
n_pop	μ_{n_pop1}	μ_{n_pop2}	…	1

Her bir bulanık amaç fonksiyonu için elde edilen bulanık baskın çözüm kümesindeki çözümlerin, diğer bulanık çözümlere olan üyelik değerleri hesaplanır. Bulanık çözümlerin amaç fonksiyonlarına göre üyelik değerleri hesaplandıktan sonra, belirlenen amaç fonksiyonu için elde edilen bulanık baskın çözüm kümesindeki çözümlerin üyelik değerlerinin en küçüğü seçilir. Buna göre $\forall\ i = 1, 2, ..., n_pop$ için

$$enk\{\mu_{i1}^{\tilde{f}_1}, \mu_{i1}^{\tilde{f}_2}, ..., \mu_{i1}^{\tilde{f}_r}\} = \underline{\mu}_{i1}$$

$$enk\{\mu_{i2}^{\tilde{f}_1}, \mu_{i2}^{\tilde{f}_2}, ..., \mu_{i2}^{\tilde{f}_r}\} = \underline{\mu}_{i2}$$

.

.

.

$$enk\{\mu_{in_pop}^{\tilde{f}_1}, \mu_{in_pop}^{\tilde{f}_2}, ..., \mu_{in_pop}^{\tilde{f}_r}\} = \underline{\mu}_{in_pop}$$

elde edilen üyelik değerleri Çizelge 2' de verilmiştir.

Çizelge 2. Bulanık amaç fonksiyonlarına göre seçilen en küçük üyelik değerleri

$\min \mu_{\tilde{f}_j}$	**1**	**2**	**...**	**n_pop**
1	$\underline{\mu}_{11}$	$\underline{\mu}_{12}$	⋯	$\underline{\mu}_{1n_pop}$
2	$\underline{\mu}_{21}$	$\underline{\mu}_{22}$	⋯	$\underline{\mu}_{2n_pop}$
.	.	.	⋯	.
.	.	.	⋯	.
.	.	.	⋯	.
n_pop	$\underline{\mu}_{n_pop1}$	$\underline{\mu}_{n_pop2}$	⋯	$\underline{\mu}_{n_popn_pop}$

Böylece bulanık Pareto çözüm kümesindeki her bir çözümün diğer çözümlere ait olma üyeliği belirlenmiş olur. İlgilenilen bulanık amaç fonksiyonu $\tilde{f}_j$, $j = 1,2,...,r$ ye göre elde edilen $\forall\ i = 1,2,...,n_pop$ bulanık çözüm için belirlenen üyelik değerlerinin en büyüğü $enb\{\underline{\mu}_{i1}, \underline{\mu}_{i2}, ..., \underline{\mu}_{in_pop}\} = \underline{\mu}_{ik}^{*}$, $k = 1,2,...,n_pop$, $i \neq k$ ilgili bulanık çözüme en yakın çözüm olacaktır. Buna göre, i. çözümün k. çözüme ait olma üyeliğinin en büyük olduğu söylenir. En küçük üyelik değerleri içinden en büyük olanın seçilmesi ilkesine dayalı max-min yaklaşımı ile benzer yanıt değerlerini veren çözümler gruplandırılır. Bu yaklaşımla bulunan çözümlerin, amaç fonksiyonu değerleri ve girdi değişken değerleri arasındaki benzerlik de büyük olacaktır.

5. Uygulama

Bu bölümde, deneysel verilerden bulanık çok yanıtlı yüzey fonksiyonlarının elde edilmesi ve bu fonksiyonlarla oluşturulan bulanık ÇAO problemi, Uyarlanmış BSGA-II yöntemi ile bulanık Pareto çözümlerinin elde edilmesine yer verilecektir. Bulanık Pareto çözümlerin değerlendirilmesinde bulanık karar verme yaklaşımından yararlanılacaktır.

5.1 Problemin tanımı

Sistein (aminoasit) ve kalsiyum klorür (bir tuz çeşiti) peynir altı suyunda mevcut maddelerdir. Bu maddelerin peynir altı suyu konsantresinin yapısal özellikleri ve su tutma özelliği üzerine etkisini incelemek amacıyla deney düzenlenmiştir. Merkezsel Bileşik Tasarıma uygun olarak düzenlenen deneyde sertlik ($Y_1 - kg$), yapışkanlık (Y_2) ve elastikiyet ($Y_3 - mm$) yapısal özellikleri belirleyici yanıt değişkenleri olarak tanımlanırken, su tutma özelliğini açıklamak için peynir altı suyunda tutulan su ($Y_4 - g$) diğer bir yanıt değişkeni olarak tanımlanmıştır [3,4,6]. Burada, sistein ($X_1 - mM$) ve kalsiyum klorür ($X_2 - mM$) girdi değişkenleridir. Çalışmada amaç, Y_1, Y_2, Y_3 yanıt değişkenlerini en büyükleyecek ve Y_4 yanıtını en küçükleyecek X_1 ve X_2 değişken değerlerinin belirlenmesidir. Deneyde kullanılan girdi değişkenlerinin gerçek düzeyleri (X_1^{orj} ve X_2^{orj}) ve kodlanmış değerleri ($\mathbf{X}^{kod}$) Çizelge 3' te verilmiştir.

Çizelge 3. Girdi değişken düzeyleri ve kodlanmış girdi değişken değerleri

X_1^{orj}	2.6	8	21	34	39.4
X_2^{orj}	2.5	6.5	16.2	25.9	29.9
$\mathbf{X}^{kod}$	-1.414	-1	0	1	1.414

Burada, girdi değişkenlerin kodlanmış değerleri

$$X_1^{kod} = \frac{X_1^{orj} - 21}{13} \text{ ve } X_2^{kod} = \frac{X_2^{orj} - 16.2}{9.7}$$

eşitliklerinden yararlanılarak elde edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar Çizelge 4' de özetlenmiştir.

Çizelge 4. Kodlanmış girdi değişken değerleri ve gözlenen yanıt değişken değerleri

No	$\mathbf{X}_1$	$\mathbf{X}_2$	$\mathbf{Y}_1$	$\mathbf{Y}_2$	$\mathbf{Y}_3$	$\mathbf{Y}_4$
1	-1	-1	2.48	0.55	1.95	0.22
2	1	-1	0.91	0.52	1.37	0.67
3	-1	1	0.71	0.67	1.74	0.57
4	1	1	0.41	0.36	1.20	0.69
5	-1.414	0	2.28	0.59	1.75	0.33
6	1.414	0	0.35	0.31	1.13	0.67
7	0	-1.414	2.14	0.54	1.68	0.42
8	0	1.414	0.78	0.51	1.51	0.57
9	0	0	1.50	0.66	1.80	0.44
10	0	0	1.66	0.66	1.79	0.50
11	0	0	1.48	0.66	1.79	0.50
12	0	0	1.41	0.66	1.77	0.43
13	0	0	1.58	0.66	1.73	0.47

5.2 Bulanık Yanıt Fonksiyonlarının Oluşturulması

Birden fazla yanıt değişkenine sahip bir tasarımda girdi değişkenleri ve yanıt değişkenleri arasındaki fonksiyonel yapı belirlenirken, yanıtlar arasındaki ilişkinin göz önünde bulundurulması gerekir. Yanıt değişkenleri ile gözlenen değerler arasında yapılan korelasyon analizi sonucunda, Y_2 ve Y_4 değişkenlerinin ilişkisiz olduğu belirlenmiştir. Buna göre, tasarımda en iyi değeri elde edilmek istenilen dört yanıt değişkeni yerine yanıt vektörünün boyutu küçültülerek, ilişkisiz olduğu düşünülen yanıtların en iyilenmesi üzerinde durulacaktır.

Bulanık yanıt yüzey fonksiyonlarının elde edilmesi aşamasında, girdi değişken değerleri kesin, model parametreleri ve çıktı değişkenleri bulanık olarak ele alınmıştır. Matematiksel hesaplamalarının kolay olması, uygulanabilirliğinin pratik olması gibi nedenlerden dolayı bulanıklaştırma işleminde üçgensel bulanık sayılardan yararlanılmıştır. Çıktı değişkenlerinin bulanıklaştırılmasında her bir yanıt fonksiyonu için sol yayılım değerleri $u_k = Y_{kj} / 8$ ve sağ yayılım değerleri $v_k = Y_{kj} / 7$, $k = 1,2,...,13$, $j = 1,2$ olarak belirlenmiştir. Buna göre bulanık model oluşturma aşamasında kullanılacak veri seti Çizelge 5' teki gibidir. Söz konusu çizelgedeki bulanık yanıt değerleri $\tilde{Y}_j = (Y_j^{alt}, Y_j^{merkez}, Y_j^{üst})$, $j = 1,2$ ile tanımlıdır.

Çizelge 5. Kodlanmış girdi değişken değerleri ve gözlenen bulanık yanıt değerleri

No	$\mathbf{X}_1$	$\mathbf{X}_2$	$\tilde{Y}_1$			$\tilde{Y}_2$		
1	-1	-1	0.1925	0.2200	0.2514	0.1917	0.2309	0.2756
2	1	-1	0.5863	0.6700	0.7657	0.5866	0.6586	0.7409
3	-1	1	0.4987	0.5700	0.6514	0.4840	0.5414	0.6070
4	1	1	0.6038	0.6900	0.7886	0.5489	0.6391	0.7422
5	-1.414	0	0.2888	0.3300	0.3771	0.2925	0.3342	0.3820
6	1.414	0	0.5863	0.6700	0.7657	0.6175	0.7058	0.8066
7	0	-1.414	0.3675	0.4200	0.4800	0.3606	0.4121	0.4710
8	0	1.414	0.4987	0.5700	0.6514	0.5407	0.6179	0.7062
9	0	0	0.3850	0.4400	0.5029	0.4095	0.4680	0.5349
10	0	0	0.4375	0.5000	0.5714	0.4095	0.4680	0.5349
11	0	0	0.4375	0.5000	0.5714	0.4095	0.4680	0.5349
12	0	0	0.3762	0.4300	0.4914	0.4095	0.4680	0.5349
13	0	0	0.4113	0.4700	0.5371	0.4095	0.4680	0.5349

$$\begin{aligned}\tilde{f}_1(\mathbf{X}) &= (0.6600, 0.0825, 0.0943) + (-0.0920, 0, 0)X_1 + (-0.0103, 0, 0)X_2 + (-0.0956, 0, 0)X_1^2 \\ &\quad + (-0.0581, 0, 0)X_2^2 + (-0.0700, 0, 0)X_1X_2 \\ \tilde{f}_2(\mathbf{X}) &= (0.4680, 0.0585, 0.0699) + (0.1314, 0.0165, 0.0187)X_1 + (0.0728, 0.0091, 0.0104)X_2 \\ &\quad + (0.0260, 0.0032, 0.0037)X_1^2 + (0.0235, 0.0029, 0.0034)X_2^2 + (-0.0825, 0, 0)X_1X_2\end{aligned} \quad (9)$$

Çizelge 3' deki veriler kullanılarak, BEKK ile elde edilen bulanık tahmini yanıt fonksiyonları (9) ifadesindeki gibi elde edilmiştir.

5.3 Uyarlanmış Baskın Sıralı Genetik Algoritma II Yöntemi İle Bulanık Pareto Çözümlerin Elde Edilmesi ve Bulanık Karar Analizi

Bulanık tahmini yanıt fonksiyonları bulanık amaç fonksiyonu olarak ele alındığında bulanık çok yanıtlı yüzey problemi

$$\begin{aligned} & enb\tilde{f}_1(\mathbf{X}) \\ & enk\tilde{f}_2(\mathbf{X}) \\ & \mathbf{X} \in S \end{aligned} \qquad (10)$$

ifadesi ile tanımlı bulanık ÇAO problemine dönüşecektir. (10) eşitliği ile verilen problemin Uyarlanmış BSGA-II yöntemi ile optimizasyonunda kullanılan parametre değerleri, $n_pop = 50$, $n_gen = 100$, $P_c = 0.9$, $P_m = 1/k$, $\eta_c = 20$, $\eta_m = 20$ dir. Çizelge 6' da Uyarlanmış BSGA-II yöntemi ile elde edilen bulanık Pareto çözümler ile kodlanmış ve orjinal girdi değişken değerlerine yer verilmiştir.

5.4 Bulanık Pareto Çözümler Üzerinde Bulanık Karar Analizi

Bulanık Pareto kümesindeki çözümlerin her birinin amaç fonksiyonuna göre elde edilen üyelik değerleri ve enb-enk yaklaşımı kullanılarak bu çözümlere en yakın çözüm olarak elde edilen bulanık Pareto çözümler Çizelge 7' de verilmiştir.

Çizelge 6. Uyarlanmış BSGA-II ile elde edilen bulanık Pareto çözümler

No	$\mathbf{X}^{kod}$		$\mathbf{X}^{orj}$		$\tilde{f}_1$			$\tilde{f}_2$		
1	-1.4140	-1.4140	2.6180	2.4842	0.2749	0.3574	0.4517	0.0788	0.1133	0.1532
2	-0.5762	0.2586	13.5094	18.7084	0.6027	0.6852	0.7795	0.3810	0.4336	0.4939
3	-0.9243	-0.5166	8.9841	11.1890	0.5372	0.6197	0.7140	0.2560	0.2980	0.3463
4	-1.1114	-0.6780	6.5518	9.6234	0.4892	0.5717	0.6660	0.2141	0.2534	0.2986
5	-1.3171	-1.2726	3.8777	3.8558	0.3345	0.4170	0.5113	0.1117	0.1472	0.1881
6	-1.1269	-0.5568	6.3503	10.7990	0.5036	0.5861	0.6804	0.2281	0.2679	0.3137
7	-0.8498	-0.4664	9.9526	11.6759	0.5511	0.6336	0.7279	0.2704	0.3136	0.3631
8	-0.8317	-0.3513	10.1879	12.7924	0.5639	0.6464	0.7407	0.2858	0.3299	0.3806
9	-1.3135	-1.1983	3.9245	4.5765	0.3522	0.4347	0.5290	0.1213	0.1569	0.1981
10	-1.3187	-0.9543	3.8569	6.9433	0.4014	0.4839	0.5782	0.1518	0.1880	0.2299
11	-0.7558	-0.2161	11.1746	14.1038	0.5805	0.6630	0.7573	0.3094	0.3554	0.4082
12	-1.3049	-1.0052	4.0363	6.4496	0.3946	0.4771	0.5714	0.1470	0.1832	0.2249
13	-1.1288	-0.8982	6.3256	7.4875	0.4510	0.5335	0.6278	0.1846	0.2227	0.2666
14	-0.7833	-0.4597	10.8171	11.7409	0.5582	0.6407	0.7350	0.2789	0.3228	0.3733
15	-0.8970	-0.6091	9.3390	10.2917	0.5296	0.6121	0.7064	0.2485	0.2904	0.3384
16	-1.3691	-1.1231	3.2017	5.3059	0.3549	0.4374	0.5317	0.1225	0.1579	0.1987
17	-1.1123	-0.4926	6.5401	11.4218	0.5142	0.5967	0.6910	0.2383	0.2786	0.3250
18	-1.1254	-0.7047	6.3698	9.3644	0.4829	0.5654	0.6597	0.2090	0.2480	0.2929
19	-1.0522	-0.8282	7.3214	8.1665	0.4761	0.5586	0.6529	0.2033	0.2425	0.2875
20	-1.2708	-0.7833	4.4796	8.6020	0.4428	0.5253	0.6196	0.1809	0.2183	0.2613
21	-1.3067	-1.0446	4.0129	6.0674	0.3863	0.4688	0.5631	0.1416	0.1777	0.2193
22	-0.7786	-0.3106	10.8782	13.1872	0.5718	0.6543	0.7486	0.2961	0.3412	0.3928
23	-1.1328	-0.5294	6.2736	11.0648	0.5062	0.5887	0.6830	0.2312	0.2711	0.3170
24	-0.6800	-0.0559	12.1600	15.6578	0.5936	0.6761	0.7704	0.3353	0.3835	0.4389
25	-1.2951	-0.9289	4.1637	7.1897	0.4115	0.4940	0.5883	0.1583	0.1948	0.2370
26	-1.3507	-1.2879	3.4409	3.7074	0.3225	0.4050	0.4993	0.1045	0.1396	0.1803
27	-0.6657	0.0729	12.3459	16.9071	0.5987	0.6812	0.7755	0.3519	0.4015	0.4584
28	-0.7643	-0.2586	11.0641	13.6916	0.5769	0.6594	0.7537	0.3036	0.3492	0.4015
29	-1.2585	-0.6668	4.6395	9.7320	0.4642	0.5467	0.6410	0.1985	0.2365	0.2803
30	-1.3464	-1.0902	3.4968	5.6251	0.3675	0.4500	0.5443	0.1301	0.1657	0.2068
31	-1.3409	-1.2725	3.5683	3.8567	0.3286	0.4111	0.5054	0.1080	0.1432	0.1839
32	-0.5726	0.1247	13.5562	17.4096	0.6016	0.6841	0.7784	0.3653	0.4166	0.4754
33	-1.1903	-0.9852	5.5261	6.6436	0.4232	0.5057	0.6000	0.1655	0.2028	0.2457
34	-0.6528	-0.2240	12.5136	14.0272	0.5860	0.6685	0.7628	0.3189	0.3661	0.4202
35	-0.5751	0.1231	13.5237	17.3941	0.6016	0.6841	0.7784	0.3650	0.4162	0.4749
36	-0.5640	0.2508	13.6680	18.6328	0.6026	0.6851	0.7794	0.3809	0.4336	0.4939
37	-1.2691	-0.6334	4.5017	10.0560	0.4672	0.5497	0.6440	0.2020	0.2401	0.2840
38	-1.3887	-1.3632	2.9469	2.9770	0.2945	0.3770	0.4713	0.0892	0.1239	0.1641

39	-0.8297	-0.4664	10.2139	11.6759	0.5531	0.6356	0.7299	0.2727	0.3161	0.3659
40	-1.3933	-1.0113	2.8871	6.3904	0.3725	0.4550	0.5493	0.1341	0.1696	0.2105
41	-1.1707	-1.0573	5.7809	5.9442	0.4135	0.4960	0.5903	0.1598	0.1970	0.2399
42	-0.9335	-0.6461	8.8645	9.9328	0.5203	0.6028	0.6971	0.2398	0.2810	0.3284
43	-1.2086	-0.9773	5.2882	6.7202	0.4209	0.5034	0.5977	0.1639	0.2010	0.2438
44	-0.6932	0.0234	11.9884	16.4270	0.5962	0.6787	0.7730	0.3436	0.3925	0.4484
45	-1.4060	-1.3631	2.7220	2.9779	0.2898	0.3723	0.4666	0.0863	0.1210	0.1610
46	-1.3587	-1.0104	3.3369	6.3991	0.3810	0.4635	0.5578	0.1389	0.1746	0.2159
47	-1.2331	-0.8903	4.9697	7.5641	0.4319	0.5144	0.6087	0.1715	0.2088	0.2517
48	-1.0871	-0.9004	6.8677	7.4661	0.4582	0.5407	0.6350	0.1901	0.2286	0.2730
49	-1.2217	-0.8701	5.1179	7.7600	0.4378	0.5203	0.6146	0.1756	0.2130	0.2561
50	-1.4140	-1.2446	2.6180	4.1274	0.3161	0.3986	0.4929	0.1001	0.1348	0.1750

Çizelge 7. Pareto çözümlerin ilişkili olduğu diğer çözümler ve üyelik değerleri

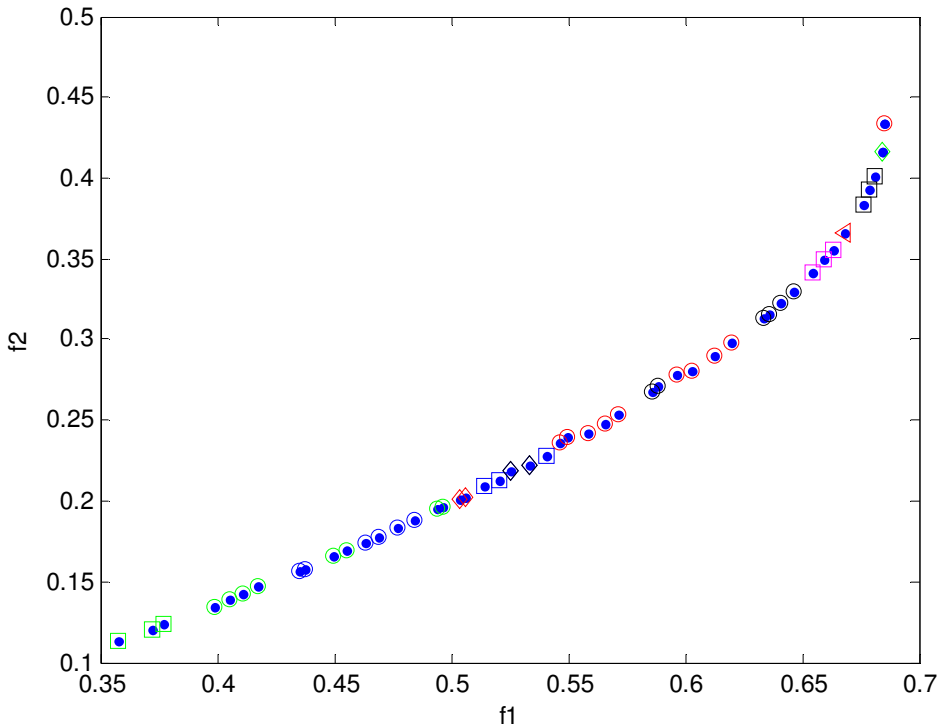
Pareto çözüm (i)	**Pareto çözüm** (j)	$\mu_{ik}^{*\tilde{f}_1}$	$\mu_{ik}^{*\tilde{f}_2}$
1	45	0.8194	0.7781
2	36	0.9989	1.0000
3	15	0.9194	0.8417
4	18	0.9332	0.8797
5	31	0.9374	0.9017
6	23	0.9685	0.9198
7	39	0.9758	0.9424
8	14	0.9396	0.8594
9	16	0.9673	0.9718
10	12	0.9279	0.8849
11	28	0.9618	0.8815
12	21	0.9120	0.8678
13	20	0.9130	0.8977
14	39	0.9459	0.8655
15	4	0.5716	0.1814
16	10	0.4364	0.1685
17	42	0.9261	0.9417
18	19	0.9279	0.8778
19	37	0.9056	0.9453
20	14	0	0
21	46	0.9438	0.9249
22	28	0.9382	0.8246
23	7	0.4558	0.0162
24	44	0.9685	0.8160
25	41	0.9758	0.9409
26	31	0.9261	0.8977
27	44	0.9735	0.8390
28	12	0	0
29	37	0.9636	0.9055
30	40	0.9394	0.8901
31	27	0	0
32	35	1.0000	0.9932
33	43	0.9756	0.9579
34	12	0	0
35	33	0	0
36	3	0.3065	0
37	30	0	0
38	45	0.9502	0.9275
39	8	0.8691	0.6871
40	31	0.5345	0.3514
41	26	0.0350	0
42	18	0.6034	0.2650
43	34	0	0
44	25	0	0

45	39	0	0
46	22	0	0
47	49	0.9285	0.8877
48	14	0	0
49	48	0.7527	0.5948
50	26	0.9224	0.8632

Çizelge 7' de verilen bulanık Pareto çözümler arasında üyelik değerleri ile belirlenen ilişkiden yararlanılarak elde edilen çözüm grupları Çizelge 8' deki gibi olacaktır.

Çizelge 8. Bulanık Pareto çözümlerin sıra numaraları ve grup numaraları

Grup no	**Pareto çözüm no**
1	2, 3, 4, 15, 17, 18, 19, 29, 36, 37, 42
2	5, 25, 26, 30, 31, 40, 41, 50
3	9, 10, 12, 16, 21, 46
4	6, 7, 8, 14, 23, 39
5	11, 22, 28
6	24, 27, 44
7	1, 38, 45
8	47, 48, 49
9	13, 20
10	32, 35
11	33, 43
12	34



Şekil 1 Bulanık sıralama sonucu elde edilen Pareto çözüm kümesi değerlerinin üyelik değerlerine göre gruplandırılması (O: 1. grup çözümler; O: 2. grup çözümler O: 3. grup çözümler; O: 4. grup çözümler; : 5. grup

çözümler; : 6. grup çözümler; : 7. grup çözümler; : 8. grup çözümler; : 9. grup çözümler; : 10. grup çözümler; : 11. grup çözümler; < : 12. grup çözüm)

Şekil 1' de görüldüğü gibi, çözümler üyelik değerlerine göre gruplandırıldığında Pareto çözümler arasındaki gruplamalar klasik gruplama yaklaşımından farklı olarak değişik bir düzende oluşmaktadır. Pareto çözüm kümesindeki her bir elemanın bulanık çözüm olarak değerlendirilmesi ile ardışık çözümler arasındaki gizli grupların belirlenmesi kolaylaşmaktadır. Çizelge 9'da gruplardaki bulanık Pareto çözümlere ve girdi değişken değerleri verilmiştir. Çizelge 9 incelendiğinde her bir gruptaki bulanık çözümlerin yaklaşık olarak aynı olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, aynı bulanık yanıt değerini veren girdi değişken değerlerinin farklı olabileceğini söylemek mümkündür. 3., 5., 6., 7., 10., ve 11. grupların dışındaki bulanık çözüm kümeleri bu duruma örnek olarak gösterilebilir.

6. Sonuç

Bu çalışmada, bulanık çok yanıtlı yüzey problemi bulanık ÇAO problemi olarak ele alınarak, Uyarlanmış BSGA-II yöntemi ile bulanık Pareto çözüm kümesi elde edilmiştir. Uyarlanmış BSGA-II yöntemi ile bulanık çözümlerin karşılaştırılmasında, bulanık sıralama metodolojisinden yararlanılmıştır. Bulanık Pareto kümesindeki çözümlerin değerlendirilmesinde max-min işlemcisi kullanılarak, bulanık karar verme yaklaşımı ile uzlaşık Pareto çözüm ya da çözüm grupları belirlenmiştir. Bulanık karar verme yaklaşımı ile bulanık Pareto çözümlerin yanıt değerlerine göre gruplandırılabileceği gösterilmiştir. Genel olarak aynı gruptaki bulanık çözümlerin, girdi değişken düzeylerinin de birbirine oldukça yakın olduğu gözlenmekle birlikte, farklı girdi değişken düzeylerinin de aynı grupta yer alabildiği durumlar da söz konusudur. Böylece karar vericinin kararına bağlı olarak seçilecek çözüm grubunda, birbiri yerine kullanılabilecek alternatif Pareto çözümler elde edilmiştir.

Çizelge 9 Bulanık yaklaşımla elde edilen gruplara göre bulanık Pareto çözümler

Gruplar	$\mathbf{X}^{kod}$		$\mathbf{X}^{orj}$		$\tilde{\mathbf{f}}_1$			$\tilde{\mathbf{f}}_2$		
	-0.5762	0.2586	13.5094	18.7084	0.6027	0.6852	0.7795	0.3810	0.4336	0.4939
	-0.9243	-0.5166	8.9841	11.1890	0.5372	0.6197	0.7140	0.2560	0.2980	0.3463
	-1.1114	-0.6780	6.5518	9.6234	0.4892	0.5717	0.6660	0.2141	0.2534	0.2986
	-0.8970	-0.6091	9.3390	10.2917	0.5296	0.6121	0.7064	0.2485	0.2904	0.3384
	-1.1123	-0.4926	6.5401	11.4218	0.5142	0.5967	0.6910	0.2383	0.2786	0.3250
1.Grup	-1.1254	-0.7047	6.3698	9.3644	0.4829	0.5654	0.6597	0.2090	0.2480	0.2929
	-1.0522	-0.8282	7.3214	8.1665	0.4761	0.5586	0.6529	0.2033	0.2425	0.2875
	-1.2585	-0.6668	4.6395	9.7320	0.4642	0.5467	0.6410	0.1985	0.2365	0.2803
	-0.5640	0.2508	13.6680	18.6328	0.6026	0.6851	0.7794	0.3809	0.4336	0.4939
	-1.2691	-0.6334	4.5017	10.0560	0.4672	0.5497	0.6440	0.2020	0.2401	0.2840
	-0.9335	-0.6461	8.8645	9.9328	0.5203	0.6028	0.6971	0.2398	0.2810	0.3284
	-1.3171	-1.2726	3.8777	3.8558	0.3345	0.4170	0.5113	0.1117	0.1472	0.1881
2.Grup	-1.2951	-0.9289	4.1637	7.1897	0.4115	0.4940	0.5883	0.1583	0.1948	0.2370
	-1.3507	-1.2879	3.4409	3.7074	0.3225	0.4050	0.4993	0.1045	0.1396	0.1803
	-1.3464	-1.0902	3.4968	5.6251	0.3675	0.4500	0.5443	0.1301	0.1657	0.2068
	-1.3409	-1.2725	3.5683	3.8567	0.3286	0.4111	0.5054	0.1080	0.1432	0.1839
	-1.3933	-1.0113	2.8871	6.3904	0.3725	0.4550	0.5493	0.1341	0.1696	0.2105
	-1.1707	-1.0573	5.7809	5.9442	0.4135	0.4960	0.5903	0.1598	0.1970	0.2399
	-1.4140	-1.2446	2.6180	4.1274	0.3161	0.3986	0.4929	0.1001	0.1348	0.1750
	-1.3135	-1.1983	3.9245	4.5765	0.3522	0.4347	0.5290	0.1213	0.1569	0.1981
3.Grup	-1.3187	-0.9543	3.8569	6.9433	0.4014	0.4839	0.5782	0.1518	0.1880	0.2299
	-1.3049	-1.0052	4.0363	6.4496	0.3946	0.4771	0.5714	0.1470	0.1832	0.2249
	-1.3691	-1.1231	3.2017	5.3059	0.3549	0.4374	0.5317	0.1225	0.1579	0.1987
	-1.3067	-1.0446	4.0129	6.0674	0.3863	0.4688	0.5631	0.1416	0.1777	0.2193
	-1.3587	-1.0104	3.3369	6.3991	0.3810	0.4635	0.5578	0.1389	0.1746	0.2159
	-1.1269	-0.5568	6.3503	10.7990	0.5036	0.5861	0.6804	0.2281	0.2679	0.3137
4.Grup	-0.8498	-0.4664	9.9526	11.6759	0.5511	0.6336	0.7279	0.2704	0.3136	0.3631
	-0.8317	-0.3513	10.1879	12.7924	0.5639	0.6464	0.7407	0.2858	0.3299	0.3806
	-0.7833	-0.4597	10.8171	11.7409	0.5582	0.6407	0.7350	0.2789	0.3228	0.3733
	-1.1328	-0.5294	6.2736	11.0648	0.5062	0.5887	0.6830	0.2312	0.2711	0.3170
	-0.8297	-0.4664	10.2139	11.6759	0.5531	0.6356	0.7299	0.2727	0.3161	0.3659
5.Grup	-0.7558	-0.2161	11.1746	14.1038	0.5805	0.6630	0.7573	0.3094	0.3554	0.4082
	-0.7786	-0.3106	10.8782	13.1872	0.5718	0.6543	0.7486	0.2961	0.3412	0.3928
	-0.7643	-0.2586	11.0641	13.6916	0.5769	0.6594	0.7537	0.3036	0.3492	0.4015
6.Grup	-0.6800	-0.0559	12.1600	15.6578	0.5936	0.6761	0.7704	0.3353	0.3835	0.4389

	-0.6657	0.0729	12.3459	16.9071	0.5987	0.6812	0.7755	0.3519	0.4015	0.4584
	-0.6932	0.0234	11.9884	16.4270	0.5962	0.6787	0.7730	0.3436	0.3925	0.4484
7.Grup	-1.4140	-1.4140	2.6180	2.4842	0.2749	0.3574	0.4517	0.0788	0.1133	0.1532
	-1.3887	-1.3632	2.9469	2.9770	0.2945	0.3770	0.4713	0.0892	0.1239	0.1641
	-1.4060	-1.3631	2.7220	2.9779	0.2898	0.3723	0.4666	0.0863	0.1210	0.1610
8.Grup	-1.2331	-0.8903	4.9697	7.5641	0.4319	0.5144	0.6087	0.1715	0.2088	0.2517
	-1.0871	-0.9004	6.8677	7.4661	0.4582	0.5407	0.6350	0.1901	0.2286	0.2730
	-1.2217	-0.8701	5.1179	7.7600	0.4378	0.5203	0.6146	0.1756	0.2130	0.2561
9.Grup	-1.1288	-0.8982	6.3256	7.4875	0.4510	0.5335	0.6278	0.1846	0.2227	0.2666
	-1.2708	-0.7833	4.4796	8.6020	0.4428	0.5253	0.6196	0.1809	0.2183	0.2613
10.Grup	-0.5726	0.1247	13.5562	17.4096	0.6016	0.6841	0.7784	0.3653	0.4166	0.4754
	-0.5751	0.1231	13.5237	17.3941	0.6016	0.6841	0.7784	0.3650	0.4162	0.4749
11.Grup	-1.1903	-0.9852	5.5261	6.6436	0.4232	0.5057	0.6000	0.1655	0.2028	0.2457
	-1.2086	-0.9773	5.2882	6.7202	0.4209	0.5034	0.5977	0.1639	0.2010	0.2438
12.Grup	-0.6528	-0.2240	12.5136	14.0272	0.5860	0.6685	0.7628	0.3189	0.3661	0.4202

KAYNAKLAR

[1] Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S. And Meyarivan, T. 2002. Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 6 (2).

[2] Diamond, P. 1988. Fuzzy least squares. Information Sciences, 46, 141-157.

[3] Khuri, A.I. and Cornell, M. 1996. Response Surfaces, Marcel Dekker, Inc. 510 p., New-York.

[4] Kim, K.J. and Lin, D.K.J. 1998. Dual response surface optimization: a fuzzy modeling approach. Journal of Quality Technology, 30, 1-10.

[5] Lai, Y-J. and Hwang, C.L. 1996. Fuzzy Multiple Objective Decision Making Methods and Applications, Springer-Verlag, 475 p., Berlin.

[6] Myers, R.H. and Montgomery, D.C. 2002. Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments. 2nd Ed., New York:John Wiley and Sons.

[7] Tanaka, H., Uegima, S. and Asai, K. 1982. Linear regression analysis with fuzzy model. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics 12(6), 903-907.

[8] Wang Y.J. and Lee H.S. (2008), The revised method of ranking of fuzzy numbers with an area between the centroid point and original points, Computers and Mathematics with Applications 55, 1-9.

[9] Xu R. and Dong Z. (2006), Fuzzy Modeling in Response Surface Method for Complex Computer Model Based Design Optimization, Mechatronic and Embedded Systems and Applications Proceedings of the 2nd IEEE/ASME International Conference on, 1-6.

[10] Zadeh, L.A. 1965. Fuzzy Sets, Information and Control, 8, 338-353.

TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE SCOR MODELİ VE VERİ ZARFLAMA ANALİZİ(VZA) ENTEGRASYONU

Yrd. Doç.Dr. Bahar Bumin ÖZYÖRÜK ve Fethullah AYDOĞDU
Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Maltepe-Ankara

ÖZET
Firmalar arasındaki artan rekabet ortamı ve her geçen gün kendilerini yenileme ihtiyaçları günümüz ekonomik şartlarının kaçınılmaz sonuçlarındandır. Firmalar müşteri portföylerini korumak ve geliştirmek için tedarik zincirlerini sürekli olarak iyileştirmek zorundadırlar. Bu yüzden de firmalar tedarik zinciri faaliyetlerini geliştirmek için sürekli bir arayış içindedirler. Bu arayışı doğru anlayıp yorumlayan Tedarik Zinciri Konseyi SCOR Modelini firmaların tedarik zincirlerini geliştirmeleri için iyi bir referans modeli olarak sunmaktadır. SCOR Modeli sayesinde firmalar sektördeki diğer firmalara göre konumlarını belirleyebilmekte ve rekabetçi ihtiyaç analizlerini rahat bir şekilde yapabilmektedirler. Bu çalışmada da firmaların tedarik zinciri performansının değerlendirilmesi için SCOR Modeli ve Veri Zarflama Analizinin entegrasyonu sağlayan bir program tasarlanmıştır. SCORCARD metrikleri Veri Zarflama Analizinde kullanılmak üzere girdi ve çıktı seti olarak sınıflandırılmıştır. Kullanılan yöntemde firmalar için etkinlik değerleri tek tek hesaplanmıştır. Program Genel Sıralama, Sektörel Sıralama, Bölgesel Sıralama, Sektörel Veri Zarflama Analizi İle Sıralama, Bölgesel Veri Zarflama Analizi İle Sıralama ve Genel Veri Zarflama Analizi İle Sıralama gibi farklı durumlar için çalıştırılmış ve sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Böylece firmalara tedarik zinciri performanslarını farklı kategorilerde değerlendirme olanağı sunulmuştur. Ayrıca bu program sayesinde firmanın tedarik zincirindeki konumu; tedarik zincirinde kimlerle entegrasyon kurabileceği ve kötü metriklerini nasıl iyileştirebileceğiyle ilgili temel bilgiler elde edilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Lojistik, Tedarik Zinciri Yönetimi, SCOR Modeli, Tedarik Zinciri Performansı Değerlendirme, SCORCARD, Veri Zarflama Analizi

1. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE PERFORMANS ÖLÇÜM SİSTEMLERİ

Tedarik zincirlerinin; farklı stratejileri ve özellikleri olan işletmelerden oluşması ve işletmelerin, aynı zamanda birden fazla tedarik zincirinin üyeleri olabilmelerinin, tedarik zincirindeki faaliyetlerin performansının ölçümünde önemli etkileri bulunmaktadır. Ayrıca, tedarik zincirindeki bir işletmenin tüm süreçlerinin, tedarik zincirindeki başka bir isletmenin tüm süreçleri ile aynı oranda bütünleşik olmaması ve tedarik zincirindeki ilişkilerin düzeyinin, üyeler arasında ve zamana bağlı olarak da değişiklik göstermesi, tedarik zincirinin performansının ölçümünü ve değerlendirilmesini güçleştirmektedir [1].

Tedarik zincirlerinin performans ölçüm sistemlerinde önemli güçlüklerle karşılaşılabilmektedir. Bu güçlükler, temelde, tedarik zincirlerinin kendine özgü özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Tedarik zincirini bir bütün olarak değerlendirecek bir sistem düşüncesinin eksikliği yaşanmaktadır. Tedarik zincirini bir bütün olarak görerek buna ilişkin bilgi sağlanmada ve tedarik zincirini bütünsel olarak değerlendirecek bir analizin yapılmasında, mevcut raporlama sistemleri yetersiz kalmakta, bu da tedarik zincirlerinin performansının ölçülmesinde problemlerle karşılaşılmasına neden olmaktadır. Tedarik zincirinin performans ölçümünde karşılaşılan diğer önemli problemlerden bazıları; bilgi teknolojilerinin yetersiz kalabilmesi, bilgileri toplayanlar ile kullananlar arasında sağlıklı iletişim düzeyinin olmaması, finansal ve finansal olmayan ölçütlerin birleştirilmesinin güçlüğü ve ölçütlerin stratejilerle bağlantısının kurulmasının zorluğudur [1].

1.1. TZ İçin Performans Ölçüm Sistemlerinin Tasarımında Karşılaşılan Güçlükler

Birçok firma sürekli gelişme için TZY'ni kullanarak çekirdek işlerini geliştirmeye çalışmaktadır. Yine çoğu firma tedarik zincirlerinin potansiyelini maksimize edememiştir. Çünkü tedarik zincirlerinin tam olarak entegre ederek etkinlik ve verimliliği maksimize etmek için gerekli olan performans ölçüm ve ölçütlerini geliştirememiştir. Tedarik zinciri içindeki tarafların, hedeflere ulaşmak için birbirinden bağımsız olarak çabalaması durumunda verimliliğin maksimize edilmediği görülmüştür. Bu yüzden tüm tedarik zincirinin değerlendirilmesi için bir takım performans ölçütlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ölçümler, tüm zincir üyeleri tarafından anlaşılmalı ve hilelere fırsat vermemelidir. Performans çalışmaları ve modelleri, organizasyonel hedeflerin ve bu hedeflere ulaşmadaki başarının ölçülebilmesi için oluşturulmalıdır [2].

Tedarik zincirinde kontrol, sadece bir işletmede olmamakta ve işletmeler arasındaki ağa dayalı olmaktadır. Bu nedenle de, tedarik zincirinin performansının değerlendirilmesinde, tedarik zincirinin üyelerinin ayrı ayrı performansının ölçülmesi yerine, bütün olarak tedarik zincirinin performans ölçülmelidir [3]. Bu kapsamda, tedarik zincirinin performansının değerlendirilmesinde ölçütlerin uygulanması için sistematik bir bakış açısının olması gerektiğini öne sürmüşlerdir [4].

Tedarik zincirleri için performans ölçüm sistemleri geliştirilirken, tedarik zinciri tek bir süreç olarak görülmeli, yönetim tarafından kontrol edilen ayrık bileşenler olarak değerlendirilmemeli ve işletmeler, kendilerini sadece

çeşitli fonksiyonların toplandığı bir organizasyon olarak görmekle kalmamalı, aynı zamanda bütünleştirilmiş süreçler olarak da değerlendirmelidirler [5].

1.2. Tedarik Zincirleri İçin Performans Ölçütleri

Tedarik zincirinin performansının değerlendirilmesi için kullanılan ölçütler, geleneksel performans ölçütlerine göre farklılıklar göstermekle birlikte, tüm ölçütlerde ortak olan nokta, sürekli gelişme ve son müşteri memnuniyetidir [3].

Tedarik zinciri için performans ölçüm sistemlerine ilişkin çalışmaların, son yıllarda önem kazandığı görülmektedir. Araştırmalarda, finansal ölçütlere dayalı olan geleneksel performans ölçütlerinin, bu ölçütlerin, geçmişe yönelik olmaları, müşteri memnuniyeti, ürün kalitesi gibi önemli stratejik performans düzeylerini belirleyememeleri ve belirsizliğin etkilerini dikkate almamaları nedeniyle, tedarik zincirinin performansının değerlendirilmesinde yeteriz kaldıkları vurgulanmaktadır. Tedarik zincirinin performansını değerlendirmede kullanılan birçok ölçütün, içsel odaklanmayı sağlayan lojistik performans değerlendirme ölçütleri olduğunu belirtmişler ve bu ölçütlerin, tedarik zincirindeki bir işletmenin performansını en iyilerken, tedarik zincirindeki diğer işletmelerin performansını dikkate almadığını vurgulamışlardır. Bu nedenle, lojistik performans değerlendirme ölçütleri, tedarik zincirinin performansının değerlendirilmesinde yeterli olmayacağı gözden kaçırılmamalıdır [6].

Tedarik zinciri için performans ölçümlerinin geliştirilmesinde yararlanılabilecek bir yapı önermişlerdir. Çizelge 1.1'de verilen bu yapı, tedarik zincirleri için performans ölçüm sistemini tasarlayan işletmeler için bir başlangıç noktası olarak alınabilir ve işletmeler kendi ihtiyaçları doğrultusunda da farklı ölçütleri tercih edebilirler. Çizelge 1.1 incelendiğinde Gunesakaranın, performans ölçümlerini ve ölçütlerini plan, kaynak, montaj ve teslim olmak üzere dört temel tedarik zinciri faaliyetini dikkate alarak belirttiği ve ölçütleri, stratejik, taktiksel ve işlemsel olarak sınıflandırdığı görülmektedir. Ölçütler, tedarik zinciri faaliyeti ve planlama düzeyine göre belirtilmiştir [7].

Çizelge 1.1 Tedarik zinciri performans ölçütleri için temel bir yapı [7]

Tedarik Zinciri Faaliyeti	**Stratejik**	**Taktiksel**	**İşlemsel**
Plan	Müşterilerin ürün değerini algılama düzeyi, Sipariş tedarik süresi, Bilgi işlem maliyeti, Net kar, Verimlilik oranı, Çevrim süresi, Ürün geliştirme süresi	Ürün geliştirme süresi, Tahmin yöntemlerinin doğruluğu, Çevrim süresinin planlanması, Sipariş giriş yöntemleri, İnsan kaynakları verimliliği	Sipariş giriş yöntemleri, İnsan kaynakları verimliliği
Kaynak		Tedarikçi teslim performansı, Nakit akış yöntemlerinin etkinliği, Tedarikçilerin fiyatlandırmaları	Sipariş çevrim süresinin etkinliği, tedarikçilerin fiyatlandırmaları
Montaj	Ürün ve hizmetlerin çeşitliliği	Hataların yüzdesi, Kapasite kullanımı, İşlem saat maliyeti	Hata yüzdesi, Birim işletim maliyeti(saat), İnsan kaynakları verimliliği
Teslim	Müşteri gereksinimlerini karşılamada esneklik, Bütünsel dağıtım planlamasının etkinliği	Müşteri gereksinimlerini karşılamada esneklik, Bütünsel dağıtım planlamasının etkinliği, Teslim güvenilirlik performansı	Teslim edilen ürünlerin miktarı, Ürünlerin zamanında teslimi, Acil teslimlerin oranı, Teslimde bilgi zenginliği, Teslim güvenilirlik performansı

Performans ölçütlerinin gerçekçi sonuçlar verebilmesi için, bu performans ölçütlerinin, tedarik zincirinin uygun tüm boyutlarını ölçebilmesi gerektiği unutulmamalıdır. Bu nedenle, isletmeler, tekil bazda olan performans ölçütlerini kullanmak yerine bütünleşik performans ölçütlerini kullanmaya yönelmelidirler. Bir işletme, tedarik zincirinin performansını değerlendirmek için yalnızca maliyet ölçütünü kullandığında, tedarik zinciri için elde edilen performans değerlendirme sonuçları gerçekçi olmayabilir. Örneğin, bir işletme, faaliyetlerini mümkün olan en düşük maliyetle gerçekleştiriyor olabilir ancak, isletmenin esnekliğinin düşük olması, tedarik zincirinde son müşteri isteklerinin hızlı bir biçimde karşılanma olanaklarını sınırlayabilmektedir [1].

Bir perspektif, TZY'nin ne ile ilgili olduğuna dair bir görüştür ve tedarik zincirinin bilinen doğası ile ilgili olarak standart problemler ve standart çözümleridir. TZY'ni incelemek için 6 perspektif belirlenmiştir [8]:
1. Sistem Dinamiği Perspektifi; bu alandaki tüm çalışmaların temelidir. Benzer çalışmalar, bu konunun karakteristiğini belirlemiştir. Bu çalışmalar, günümüzde hala, pratiğe dökülmüş en ilgi çekici çalışmalardan biridir.
2. Yöneylem Araştırması Perspektifi; TZY ile ilgili bir başlangıç yöntemi veya algoritma yönelimli yaklaşım olarak nitelendirilebilir. Bir tedarik zinciri, kaynak ağı olarak bilinmektedir. TZY, bu ağın konfigürasyonunu yapmalı ve algoritmalara dayanan spesifik bir amaç fonksiyonuna bağlı olarak bu konfigürasyon içindeki akışları programlamaktadır.
3. Lojistik Perspektifi; tedarik zinciri, ardışık proseslerin bir sırası olarak görülmektedir.
4. Pazarlama Perspektifi, TZY'nin geçmişte dağıtımın bir parçası olarak görmüştür fakat son yıllarda pazarlamanın pozitif etkisi stratejik önem kazanmıştır.
5. Organizasyon Perspektifi; göre bir tedarik zinciri, organizasyonlar arası ilişkilerin bir kümesi olarak ortaya çıkmaktadır.
6. Strateji Perspektifi; TZY'nin karları maksimize etmek için bir zincirdeki belirli yeterlilikleri değiştiren bir araç olarak görülmektedir.

2. SCOR MODELİ VE SCORCARD UYGULAMASI

2.1. SCOR Modeli

SCOR referans modeli 1997 yılında lojistik organizasyonları yapan ve lojistikle ilgilenen önemli sayıdaki birçok firmanın global ve uluslar arası alanda tedarik zinciri yönetimiyle ilgili görüşler bildirmek için kurduğu Tedarik Zinciri Konseyi tarafından ortaya çıkarılmıştır. Amaçları tedarik zincirlerinde kavramsal araçlar kullanarak tedarik zincirindeki operasyonların etkinliğini ve iş adamlarının ticaret ilişkileri için genel bir iletişim dili sağlamaktır [9].
69 sanayicinin katılımıyla, gelişmiş kurumlara destek vermek amacıyla profesyonel anlamda 1996'da Tedarik-zinciri konseyi kurulmuştur. SCOR modeli, teorik engellerin pratiğe meydan okuduğu zaman bir zamanda Tedarik Zinciri Konseyi'nin en önemli bilgisi olmuştur [11]. SCOR modelinin sağladığı başlıca yararları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz [10]:

- Teslimat performansında gelişme,
- Stok seviyesinde azalma
- Çevrim zamanlarında iyileşme,
- Doğru tahmin yapmada iyileşme,
- Toplam verimlilik artışı,
- Tedarik zinciri maliyetlerinde iyileşme,
- Sipariş karşılama oranında iyileşme,
- Kapasite kullanımında artış.

2.2. Scorcard Uygulaması

SCOR modeli 5 performans kategorisini ve 13 performans metriğini onaylamaktadır. Bir firma 13 adet Seviye 1 metriklerinin hepsinde iyi olamaz. Dolayısıyla, kendisini pazarda farklı kılacak ve diğerleri ile rekabeti sürekli kılacak metriklerin bazılarına akıllıca odaklanmalıdır. Uygulamada, firmaların çoğu tipik olarak 13 performans metriklerinin arasından 4 ile 6 arasında değişen stratejik metrikler seçilmektedir [12].
Sektörel kıyaslama çizelgesinin hazırlanması: SCORcard tanımlanmadan önce SCORcard'ın oluşturulabilmesi için, öncelikle sektörel kıyaslama Çizelgesu düzenlenmelidir. Sektörel kıyaslama Çizelgesunda ait olunan sektörel bazda 15 ile 25 arasında veya işletme grubu seviyesinde rekabeti kıyaslayabilecek kadar fazla şirket ve şirket bilgileri yer almaktadır. Bilgilerin toplanması aşamasında toplanan sektörel firmalara ve kendi firmamıza ait gelir, satış, genel ve idari (SGİ) maliyet, ürün maliyeti, envanter, alacaklar, toplam varlıklar, brüt kar, işletme geliri, net işletme geliri ham verileri bir çizelgede düzenlenir [13].

Daha sonra bu bilgilerden ve üçüncü bölümde SCOR Metrikleri başlığı altında üzerinde durulan ifadeler ve eşitliklerden yararlanarak sektörel kıyaslama çizelgesi düzenlenir. Sektörel kıyaslama çizelgesi sektörel firmalar ve kendi firmamıza ait gelir, satış, genel ve idari (SGİ) maliyet, ürün maliyeti, nakitten nakite çevrim zamanı, tedarik envanter süresi, varlık dönüşü, brüt kar, işletme geliri, net işletme geliri, varlıklar geri dönüşü bilgilerini içermektedir [13].
Sektörel kıyaslama çizelgesinin hazırlanmasını son aşamasına gelince sektörel firmalara ait her bir kıyaslanan metrik için kümenin ortanca değeri alınarak parite değer, 70. yüzde birlik değerine karşılık gelen avantaj değer, 90. yüzde birlik değerine karşılık gelen üst değer hesaplanır [13].

3. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ

3.1. Veri Zarflama Analizine Genel Bakış

1957 yılında yayınlanan çalışmasıyla Farrell, günümüzde yaygın olarak kullanılan VZA'nin teorik öncülüğünü yapmıştır [14].

VZA ilk olarak, 1978 yılında Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından, çoklu girdi ve çoklu çıktı içeren, karar verme birimlerinin (KVB), bağıl etkinliklerini değerlendiren, bir matematiksel programlama yöntemi olarak ortaya konulmuştur. Çesitli alanlarda yapılan uygulamalarda kullanılmak üzere, girdileri çıktılara çevirme yeteneği değerlendirilen her birime, Karar Verme Birimi (KVB) denilmektedir [15].

Veri zarflama yöntemi genellikle birden çok üreticinin verimliliğini ve etkinliğini belirlemek ve değerlendirmek için kullanılır. Gün geçtikçe kullanımı daha da yaygınlaşmaktadır. Çünkü birçok yöntem her üreticiyi ortalama üreticiye göre göreceli olarak değerlendirirken veri zarflama yöntemi her üreticiyi mevcut şartlara göre belirlenen en iyiye göre göreceli olarak karşılaştırır. Elbette veri zarflama yönteminin her zaman en doğru ve en iyi yöntem olduğu söylenemez ama çok sayıda farklı girdi ve çıktıyı kullanarak üreticinin etkinliğini belirlemek için kullanılabilecek önemli yöntemlerden birisidir [16].

Veri Zarflama Analizinde temel olarak üç yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler,

- CCR (Charnes-Cooper-Rhodes) Yöntemi
- BCC (Banker-Chaenes-Cooper) Yöntemi
- Toplamsal Yöntemdir.

4. DEA- SCORCARD PAKET PROGRAMI VE BİR UYGULAMA

4.1. Programın Tanıtılması ve Kullanılacak Verilerin Belirlenmesi

Bu bölümde SCORCARD uygulamasına ilişkin geliştirilen bir paket program ve bu programın çalışma prensibini gösteren bir uygulama yapılmıştır. Bu paket program Veri Zarflama Analizi(VZA – DEA)'nin SCORCARD ile kullanılmasını sağlamak amacıyla kodlanmıştır. Program Veri Zarflama Analizi(VZA) ve SCORCARD'ı içerdiği için ismi DEA – SCORCARD olarak belirlenmiştir. Aşağıdaki resimde programın ana sayfası görülmektedir.

Resim 4.1. DEA – SCORCARD programı ana sayfası

Program firmaların artan rekabet koşullarında piyasadaki rakipleriyle dinamik bir şekilde mücadele etmesini sağlamak amacıyla geliştirilmiştir.

Program Microsoft Visual Studio 2008 (C#) programında kodlanmıştır. Firma bilgilerinin kayıt edilmesi için veri tabanı olarak MS Office Access kullanılmıştır. Kodlanan bu programın ilk bölümünde sistemde kayıtlı olan firmalar için bilgilerinin güncellenmesi, kayıtlarının iptal edilmesi kayıt arama gibi fonksiyonları içerirken yeni firmalarından sisteme kayıt olmasına imkân vermektedir. Resim 4.2'de programın ilk bölümünün ara yüzü görülmektedir.

Resim 4.2. Firma bilgileri ekranı

Programın ikinci bölümünde ise sisteme kayıtlı olmayan firmalarında mevcut durumlarını diğer firmalarla karşılaştırması için "Genel Raporlar" sekmesi de yer almaktadır. Firmalar buradan ilgili kriterleri seçerek ihtiyaçları olan bilgileri elde edebilmektedirler.

Programın üçüncü bölümünde firmalara ilişkin raporlar yer almaktadır. Bu bölümde SCORCARD metriklerine ilişkin firmaların bulunduğu ülkedeki:

- Genel Sıralaması
- Sektörel Sıralaması
- Bölgesel Sıralaması
- Genel Veri Zarflama Analizi İle Sıralaması
- Sektörel Veri Zarflama Analizi İle Sıralaması
- Bölgesel Veri Zarflama Analizi İle Sıralaması

rahat bir şekilde yapılabilmektedir. Firmalara ilişkin değerlerin hesaplandığı bölümün ekran çıktısı Resim 4.4'de görülmektedir.

Resim 4.3. Genel raporlar ekranı

Programın son bölümü olan öneriler bölümünde ise firmaların birbirleriyle bilgi alışverişinde bulunmaları sağlanmıştır. Resim 4.5 de görüldüğü gibi firmalar isimlerini ve hangi metrikle ilgili paylaşım yapmak istediklerini seçerek bilgi alışverişinde bulunabilmektedirler.

Resim 4.4. Firma bilgileri ekranı

Resim 4.5. Firma önerileri ekranı

Programın çalışma performansını ile VZA ve SCORCARD bütünleşmesinin sonuçlarını görmek için bir uygulama yapılmıştır. Uygulama için gerekli olan verilere ulaşılması çok zor olduğu için firmalar ve firmalara ilişkin veriler Bolstorff'un kitabında yer alan SCORCARD uygulamasına ilişkin Çizelgedaki verilere paralel olarak MS Office Excel 2007 uzantısı olan AbleBits adlı eklentiyle üretilmiştir.

Karar verici, karar noktalarının etkinlik durumuyla ilgileniyor ve etkinlik türünü önemsemiyorsa tüm modeller kullanılabilir. Ancak karar verici etkinlik türünü önemsiyorsa toplamsal modeller kullanılmamalıdır. Çünkü bu tür modeller karma etkinliği verir, etkinliklerin türlerine göre ayrışımını incelemez.

Bu yüzden firmaların etkinlik oranlarının değerlendirilmesi için en uygun VZA modeli çıktıya yönelik CCR modeli olarak belirlenmiştir.

Firmanın performans metrikleri arasından girdi ve çıktılar şu şekilde belirlenmiştir:

Girdi Olarak Belirlenen Metrikler:

- Üretim Esnekliği
- Ürün Maliyeti
- Toplam Tedarik Zinciri Maliyeti
- SGİ Maliyeti

- Garanti/Geri dönüş İşlem Maliyeti
- Tedarik Envanter Günleri

Çıktı Olarak Belirlenen Metrikler:

- Taşıma Performansı
- Karşılama Oranı
- Mükemmel Sipariş Karşılama Oranı
- Sipariş Karşılama Çevrim Süresi
- Tedarik Zinciri Yanıt Süresi
- Nakitten – Nakite Çevrim Zamanı
- Varlık Dönüşü
- Brüt Kar
- İşletme Geliri
- Net İşletme Geliri
- Varlık Geri Dönüşü

olarak belirlenmiştir.

4.2. Uygulama

Bu bölümde rassal olarak üretilen firmalardan birisi seçilerek diğer firmalarla olan rekabet durumu ve aralık analizleri yapılmıştır. Seçilen firma DENEME_1 olarak adlandırılmıştır. Resim 4.6 DENEME_1 firmasının ve diğer firmaların genel durumlarını içeren ekran çıktısı görülmektedir. Firmanın 6 farklı karşılaştırma kriterine göre (Genel Sıralama, Sektörel Sıralama.. .vd) ayrı ayrı durumları tespit edilmiş ve firmanın diğer firmalara göre mevcut durumunun nasıl olduğu belirlenmiştir. Aşağıda verilen ekran çıktılarında sadece firmanın Genel Sıralama kriterlerine ilişkin bulunan değerleri ve kontrol edilmesi gereken parametreler verilmektedir. Diğer sırlama kriterlerine ilişkin ekran çıktıları ekle bölümünde değerleri ise Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Resim 4.6 DENEME_1 Firması genel sıralama ekran çıktısı

Çizelge 4.1 DENEME_1 Firması için bulunan değerler

Çizelge 4.1'deki verilere baktığımızda firmanın 6 karşılaştırma kriteri için mevcut durumu için benzer sonuçlar verdiği görülse de parite değer, avantaj değer, üst değer ve parite aralıkları için farklı sonuçlar vermiştir. Firmanın Genel sıralama açısından mevcut durumuna bakacak olursak:
Firmanın taşıma performansı açısından parite değer ile avantaj değer arasında bulunduğunu ve durumunun "İYİ" olduğunu söyleyebiliriz.
Karşılama oranı açısından bakacak olursak firmanın %55'lik oranla parite değerin çok altında kaldığını görmekteyiz. Firmanın durumunu "KÖTÜ" olarak nitelendirebiliriz. Yine firmanın mükemmel sipariş karşılama oranının(%40) diğer firmalara göre "KÖTÜ" olduğunu söyleyebiliriz. Firmanın bu iki metrik için kontrol etmesi gereken parametreleri Resim 4.7'de verilmiştir.

Resim 4.7. Tedarik zinciri taşıma güvenilirliği için kontrol edilmesi gereken parametreler
Firmanın diğer metriklerine bakacak olursak sipariş karşılama çevrim süresi açısından "ÇOK İYİ" durumda olduğunu söyleyebiliriz. Yine firmanın üretim esnekliği, ürün maliyeti, nakitten – nakite çevrim zamanı, varlık dönüşü, brüt kar,
işletme geliri, ve net işletme geliri açısından diğer firmalara göre iyi durumda olduğu görülmektedir.
Firmanın kötü olduğu metrikleri ise tedarik zinciri yanıt süresi, toplam tedarik zinciri maliyeti, SGİ maliyeti, garanti/geri dönüş işlem maliyeti, tedarik envanter günleri ve varlık dönüşü açısından "KÖTÜ" durumda olduğunu söyleyebiliriz. Firmanın diğer rakipleriyle mücadele edebilmesi için bu metriklerinde iyileştirmeye gitmek zorundadır.

5. SONUÇ

Bu çalışmada SCOR proje haritasında belirlenen kriterlerden ilki olan SCORCARD ile mevcut durumun belirlenmesini sağlayan karşılaştırmanın yapılabilesi için bir paket program tasarlanmıştır. Tasarlanan programla firmaların artan rekabet şartlarında stratejilerini belirlemeleri ve kendilerini belirledikleri stratejilere paralel olarak geliştirmeleri hedeflenmiştir.

SCOR Modeli ortalama, medyan vb. gibi aritmetik işlemleri içerdiğinden en yüksek değere sahip firma ile en düşük değere sahip olan firma arasındaki aralık şirketlerin ölçekleriyle orantılıdır. Yani SCOR modelinde firmaların ölçekleri göz ardı edilmektedir. Bu da büyük ölçekli firmaların daha etkin bir tedarik zinciri yönetimi performansına sahip olduğu kanısını uyandırmaktadır. Yapılan sınıflandırmaya göre firma sayısına oluşturulan setler SCOR Modeliyle kendi içerisinde değerlendirilmiştir. Ve sonuçta ölçekleri birbirine benzer firmalar değerlendirildiği için elde edilen değerler daha gerçekçi bulunmuştur. Yapılan bu sınıflandırmaya göre her firma seti için SCOR Modeli tek tek çalıştırılarak ve her set kendi içinde değerlendirilmiştir. Ve sonuçlar farklı değerlendirme yöntemleri kullanılarak birbirleriyle karşılaştırılmışlardır.

SCORCARD uygulamasında tek tek değerlendirilen metriklerin bütünleştirilmesi için VZA kullanılmıştır. Ayrıca metriklerin içeriğine bakıldığında oranların genellikle yüzdelik bazda veya gün bazında verildiği görülmektedir. Bu yüzden firmalar değerlendirilirken sadece kendi sektöründe değil diğer sektörlerle ve farklı kriterler açısından değerlendirilmesi de mümkün olmaktadır. Çalışmada bu farklılıklara değinilmiş ve bir paket program hazırlanmıştır. Firmalar rekabet koşullarını belirlerken öncelikle hedeflerini belirlemeli(sektörel, bölgesel yâda genel rekabet) daha sonra ise kendilerine uygun kriteri belirleyerek rekabetçi ihtiyaç analizlerini yapmalıdırlar.

Örnek bir firma seçilerek programın performansı değerlendirilmiştir. Firmanın farklı kriterlere göre değerlendirilmesi yapılmış ve görülmüştür ki değerlendirmenin yapıldığı her kriter için farklı değerler ortaya çıkmıştır. Bundan sonraki bölümde firmalar hedeflerinin büyüklüğüne göre Sektörel, bölgesel veya genel rekabet koşullarına göre rekabetçi ihtiyaç analizlerini yapabilirler. Programda kötü olan metrikler için uyarılar verilmekte ve hangi parametrelerin kontrol edilmesi ve iyileştirilmesi gerektiğini de göstermektedir.

Seçtiğimiz firma için sonuçlara bakacak olursak firmanın çoğu metrikte diğer firmalardan kötü durumda olduğu görülmektedir. Bu yüzden firmanın gerekli parametre kontrollerini yaparak rekabetçi ihtiyaçlar analizini en uygun şekilde yapmalıdır. Bu çalışma bir paket program kodlanması ve test edilmesi çalışması olup ileride yapılacak çalışmalar için aydınlatıcı bir kaynak olacaktır.

Bu program sayesinde firmaların gelişen rekabet şartları altında birbirleriyle rekabet etmeleri ve tedarik zincirleri yapılarını gözden geçirerek diğer firmalarla olan entegrasyonlarını gözden geçirmelerine olanak sağlanmıştır. Ayrıca firmaların tüm metriklerini bir arada değerlendirerek bir bütün olan tedarik zincirinin daha sağlıklı değerlendirilmesine olanak sağlanmıştır. Yine firmaların kötü olan metriklerine ilişkin geliştirmiş oldukları çözüm önerileri gönüllülük esasına dayanarak veri tabanına kaydedilecektir. Böylelikle firmalar tedarik zincirlerindeki diğer firmalarla deneyimlerini paylaşabilecek böylelikle güçlü tedarik zincirleri oluşturulabilecektir.

Gelecek çalışmalarda bu paket programa benzer bir modülün ERP sistemlerinde kullanılması ve kullanıcılara bir geri besleme sağlaması hedeflenebilir. Böyle bir modül ile firma bilgileri tek bir noktada toplanabilir ve bilgilerin gizliliği korunabilir. Böylece firmaların en büyük çekincesi olan bilgilerinin başka firmaların eline geçme olasılığı çok düşük seviyede olacaktır. Bu yaklaşımın tek dezavantajı ise firmaların gerçek dışı bilgiler girerek sistemi diğer kullanıcıları yanıltmasıdır.

Ancak böyle bir durum firmalara sistemin doğru bir şekilde anlatılması ve kullanıcıların bilinçlendirilmesiyle aşılabilir.

REFERANSLAR

1. Yüksel, H.,"Tedarik Zincirleri İçin Performans Ölçüm Sistemlerinin Tasarımı", Celal Bayar Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, **Yönetim ve Ekonomi Dergisi**,2(1):3-14,(2004).
2. Tunç, B.N., "Lojistik ve Tedarik Zincirinde Dengelenmiş Performans Kartı Uygulaması", **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,** Yüksek Lisans Tezi, Sakarya,14-27, (2006).
3. Holmberg, S., "A Systems Perspective On Supply Chain Measurements" , **International Journal of Physical Distributions and Logistics Management**, 30(10):1-12, (2000).
4. Handfield, R, B., Nicholas E.L. , "Introduction to Supply Chain Management", **Prentice-Hall, Inc**., New Jersey,1-27, (1999).
5. Tan, K.C., "Lyman S.B., Wısner J.D., Supply Chain Management: A Strategic Perspective" , **International Journal of Operations and Production Management**, 22(6):3-16, (2002).
6. Lambert, D.M., Pohlen, T.L., "Supply Chain Metrics" , **The International Journal of Logistics Management**, 12(1):1-8, (2001).
7. Gunesakaran, A., Patel, C., Tırtıloglu, E., "Performance Measures and Metrics In A Supply Chain Environment" , **International Journal of Operations and Production Management**, 21(1):2, (2001).
8. Otto, A., "Does supply chain management really pay? Six perspectives to measure the performance of managing a supply chain", **Europen Journal of Opertional Resaerch**, 234-248, (2002).
9. İnternet:Atılım Üniversitesi, "Tedarik Zinciri Yönetimi Ve Scor Modeli", http://ankaraem.atilim.edu.tr/sunum/mehmettanyas2.ppt, (2007).
10. İnternet: Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetimi Aralık 2003 http://www.scribd.com/doc/2527862/Lojistikvetedzin , (2003).
11. İboş, F., "Arz zinciri yönetimi ve lojistik", Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi**, İstanbul, 1-31, (2000).
12. Bramel, J. ; Simchi-Levi D., "The Logic of Logistics: Theory, Algorithms, and Applications for Logistics Management", **Springer Series in Operations Research**, 3 ,(1997).
13. Agahonov, A., "Tedarik Zinciri Yönetiminde SCOR Modeli Ve Scorcard Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi**, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 50 - 90 (2007).
14. Gemici, M.F., "Tedarik Zincirinde Veri Zarflama Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemiyle Perakende Sektöründe Tedarikçi Performans Değerlendirmesi", Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul,30-41, (2009).
15. Cooper, W.W., Seiford, L.M., Zhu, J**.,** "Handbook on Data Envelopment Analysis", **Kluwer Academic Publishers**,2-23, (2004).
16. Karsak, E.E., Firuzan, Ş., "Çimento Sektöründeki Göreli Faaliyet Performanslarının Ağırlık Kısıtlamaları ve Çapraz Etkinlik Kullanılarak VZA ile değerlendirilmesi", **Endüstri Mühendisliği Dergisi**, 2(3): 2 – 10, (2000).

EK -1 DEA – SCORCARD programına ilişkin kaba ilişki diyagramı

Parça Ailesi Üretiminde Hiyerarşik İşgücü Ataması Yapan ve U-Tipi Üretim Hattını Dengeleyen Bir Matematiksel Model Önerisi

Banu SUNGUR, Filiz ÇALIŞKAN
Erciyes Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, 38039 Kayseri
Telefon: (352) 437 49 01
Faks: (352) 437 52 39
E-posta: bitgenb@erciyes.edu.tr, caliskan@erciyes.edu.tr

ÖZET
Hücresel üretim, hem siparişe göre hem de sürekli üretim yapan işletmelerin avantajlarından yararlanmak üzere geliştirilmiş bir üretim şeklidir. Çok çeşitli ürünlerin üretildiği işletmelerde belirli özellikler bakımından benzer olan parçalardan, parça aileleri oluşturulur. Aile üyelerinin tamamının üretimi için gereken makineler hücrede toplanır. Hücre içerisinde parçaların öncelik ilişkileri dikkate alınarak oluşturulan hatlarda üretim yapılır.
Hücrelerde kullanılan makineler genellikle çok amaçlıdır ve bunları kullanacak olan işgücünün kalifiye olması beklenir. Ancak, bir işyerinde farklı nitelikte çalışanların bulunması doğaldır. İşgücünün, iş istasyonlarına tahsis edilmesinde, niteliklerinin dikkate alınması hiyerarşik işgücü ataması yolu ile sağlanır.
Yalın üretim, tam zamanında üretim gibi konuların uygulanmaya başlanması ile geleneksel üretim hatlarının yerine U-tipi üretim hatlarının kullanılması yaygınlaşmaya başlamıştır. U-tipi üretim hatlarında makine ve teçhizatların yerleşimi U şeklindedir ve hattın ilk ve son işleri ilk istasyona atanabilmektedir.
Bu çalışmada, parça ailelerinin üretiminde U-tipi üretim hattını dengeleyen ve yüksek nitelikli işgücünün daha düşük nitelikli işgücünün yerine geçebildiği, ama tersinin söz konusu olmadığı hiyerarşik işgücü atamasının yapıldığı bir matematiksel model önerilmiştir. Önerilen model, ele alınan örnek bir problem üzerinde uygulanmış ve çözüm sonuçları sunulmuştur.
Anahtar Kelimeler: U-tipi Hat Dengeleme, Hiyerarşik İşgücü, Matematiksel Programlama

1. Giriş
Çok çeşitli ürünlerin üretildiği işletmelerde çok amaçlı makineler gerekir. Bu tip işletmelerde atölye tipi yerleşim düzenlemesi vardır ve aynı tip makineler farklı atölyelerde bir araya toplanır. Atölye tipi yerleşim düzenlemesi olan işletmeler çok çeşitli ürün üretme kabiliyetine sahiptirler ancak, parçaların işlem görmek amacı ile atölyeler ve makineler arasında dolaşması uzun taşıma sürelerini oluşturur. Üretim planlaması yaparken ortaya çıkan işlerin ve her bir işin çok sayıda olan işlemlerinin sıralanması problemi, hem işlerin hem de makinelerin beklemesine neden olabileceği için taşıma zamanları ile birlikte ürünlerin geçiş sürelerinin çok uzaması kaçınılmazdır.
Çeşitli ürünleri üreten işletmelerde tasarım ve üretim süreçleri farklı dahi olsa bazı özellikleri bakımından birbirlerine benzeyen çok sayıda parça bulunabilir. Bu ortak özelliklerden yararlanılarak benzer ürünlerin bir araya getirilmesiyle oluşturulan parça ailelerinin üretilmesinde, ailedeki parçaların teknolojik sırasına göre makinelerin dizilmesi ile elde edilen hatlarda üretim yapılması, geçiş sürelerinin kısaltılmasını sağlamıştır. Her parça ailesinin üretimi kendisine ait bir hücrede gerçekleştirilir. Böylece, hem siparişe göre üretim yapan işletmelerin müşterilerine çeşitli ürün sunma hem de sürekli üretim yapan işletmelerin üretim hatlarında kısa sürede üretim yapma avantajına bir arada sahip olma şansı yakalanmıştır. Hücrelerde oluşturulan üretim hattındaki makineler çok amaçlı olduğu için bunları kullanacak çalışanların kalifiye olması gerekir. Bir hücrede genellikle farklı vasıflarda işgücüne ihtiyaç duyulur.
Bu çalışmada öncelikle grup teknolojisi, hücresel üretim, U-tipi üretim hatları ve hiyerarşik işgücü planlaması konuları ile ilgili kısaca bilgi verildikten sonra, parça ailelerinin üretiminde U-tipi üretim hattını dengeleyen hiyerarşik işgücü atamasının yapıldığı bir matematiksel model önerilmiştir. Önerilen model ele alınan bir örnek problem üzerinde, problemin tanımlanması, değişken ve parametrelerin belirlenmesi, modelin önerilmesi ve çözüm sonuçlarının değerlendirilmesi başlıklarında sunulmuştur.

2. Grup Teknolojisi
Modern hayatın ihtiyaçlarına cevap verebilmek amacıyla üretilen ürünlerin her geçen gün daha karmaşık yapıya kavuştuğunu ve aynı zamanda yoğun rekabetin bulunduğu pazar ortamında müşteri taleplerine cevap verebilmek için işletmelerin ürün çeşidini artırdığını biliyoruz. Dolayısı ile bu ürünlerin üretiminde kullanılan malzemelerin, makine teçhizatın, üretim süreçlerinin sayıları ve çeşitleri de hızla çoğalmaktadır. Sonuç olarak ürün ve üretim süreci ile ilgili veri ve bilgilerin çok fazla olması, bu bilgileri sürekli kullanması gereken kişiler için şeffaflığın azalmasına neden olmuş ve farklı problemleri beraberinde getirmiştir. Bir yandan yeni müşteriler kazanmak için çeşitli ürün üretme mücadelesi veren işletmeler diğer yandan bu ürünleri daha kısa sürede daha düşük maliyetle üretmenin yollarını aramışlardır. Bu arayış uzun yıllardan bu yana sürmektedir. Yapılan çalışmaların içinde en önemlilerinden birisi ikinci dünya savaşının bitmesi ile yeniden yapılanma mücadelesi veren Almanya'da 1955 yılında Achen Teknik Üniversitesinden Makine bölümünde öğretim üyesi olan Prof. Dr. İng. Herwart Opitz 'in Alman makine endüstrisinde yaptığı uygulamadır (Achen TU). Bu uygulama sonucunda Opitz, tasarım ve üretim süreçleri farklı dahi olsa pek çok parçanın ortak özelliğinin bulunduğunu belirleyerek grup teknolojisi fikrini

gündeme getirmiş, geliştirdiği kodlama ve sınıflandırma sistemini endüstride uygulamıştır. Ortak özellikleri bulunan parçaların bir araya toplanması, parçalar ve parçaların üretildiği malzeme ve süreçler ile ilgili tüm dokümanların sadeleştirilmesine ve standartlaştırılmasına yardımcı olmuştur. Grup teknolojisinin gelişmesi 1950' li yıllardan buyana artarak sürmüş ve son yıllarda yalın üretim felsefesinin ortaya çıkması ile önemi daha da artmıştır.

3. Hücresel Üretim

Grup teknolojisi yardımı ile belli kriterlere göre oluşturulan parça ailelerinin her birinin üretimi için ayrı bir alanın ayrılması ve bu alana hücre denmesi ile birlikte hücresel üretim grup teknolojisinin uygulama biçimi haline gelmiştir. Bir hücreye tahsis edilen parçalar ortak özelliklere sahip oldukları için büyük oranda aynı makinelerde işlem görürler ve teknolojik sıraları da birbirine benzer. Üretim hücresinde parçaların üretiminde kullanılan farklı fonksiyonları bulunan makineler yer alır ve parçaların öncelik ilişkisine uygun olarak sıralanır. Hücresel üretimin başlıca avantajları aşağıdaki gibidir(Otto,1995).

- Kısa taşıma mesafesi ve süresi,
- kısa hazırlık süreleri,
- kısa çevrim süresi, az ara stoku,
- kısa süreli değişikliklere uyum sağlamada esneklik,
- üretimi izlemede kolaylık,
- çalışanın hücredeki parçanın üretim sürecini çok iyi tanıması ile yüksek kalite söz konusudur.

Hücresel üretim, bir veya birkaç benzer ürünün üretimi amacıyla ürünlerin teknolojik sırasına göre özel amaçlı makinelerin sıralanması ile tanımlanan sürekli üretim ile büyük oranda benzerlik gösterir ve sürekli üretimin avantajlarının birçoğuna sahiptir (Domschke,1997). Hücresel üretimde, parça ailesinin işlemlerinin öncelik ilişkisine göre sıralanan ve büyük oranda çok amaçlı makinelerden oluşan üretim hattı çoğunlukla U şeklinde düzenlenir (Lödding,2004).

4. U-Tipi Üretim Hatları

Sürekli üretim yapan işletmelerde, paralel istasyonların bulunmadığı hatlarda heterojen iş istasyonu düzeninden söz edilir. Bu iş istasyonlarının her birinde farklı işlem gerçekleştirilir. Farklı işlemlerin yapılabildiği iş istasyonlarının birbiri ardına dizilmesi sonucu seri istasyon düzeni oluşturulur. Seri istasyon düzeni ile oluşturulan hat tipinin özel bir şekli U tipi üretim hattıdır (Çalışkan,2001). U tipi hatlarda üretim hattının başında ve sonunda bulunan istasyonlar birbirine yakın olarak yerleştirilir. Bu yerleşim şekli, hattın başında ve sonunda bulunan iş istasyonlarında yığılma olması durumunda iş gücünün birbirine destek olması yolu ile yoğunluğun azaltılmasına imkân verir. Ayrıca hattın giriş ve çıkışı aynı yerde bulunur. Malzeme ve ürün stok alanları aynı yerde olan işletmeler için hattın giriş ve çıkışının aynı tarafta bulunması önemlidir. Hücresel üretimde U tipi hattaki otomasyon çok yüksek değildir, standart malzeme akışından küçük sapmalara genellikle izin verilir, taşıma ve bekleme süreleri azdır dolayısı ile ürünlerin geçiş süreleri kısadır ancak hücresel üretimde U tipi hatlarda çalışacak iş gücünün planlaması özel bir önem taşır (Lödding, 2004). U tipi montaj hatları ile ilgili gelişmekte olan bir literatür bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları: Urban (1998),), Miltenburg (1998), Gökçen ve Ağpak (2006), Chiang ve Urban (2006), Kara ve arkadaşları (2008)'dır. Aase ve arkadaşları (2004) ise u tipi montaj hatları ile beraber işgücü verimliliğini de çalışmışlardır.

5. Hiyerarşik İş Gücü Ataması

Kıt kaynaklar içerisinde ikamesiz olan tek kaynak iş gücüdür. Böyle olmasına rağmen üretim süreçlerini oluşturan makine ve teçhizatta yükselen mekanikleşme düzeyi ve artan otomatikleşme nedeni ile iş yerinde çalışan sayısı her geçen gün azalmaktadır. Ancak, sayısının azalmasına karşılık işgücünün niteliği ile ilgili beklentiler artmıştır (Otto ve Tempelmeier,2002).

Grup teknolojisi yardımı ile oluşturulan parça ailelerinin üretiminin gerçekleştirildiği hücrelerdeki U-tipi üretim hatlarında genellikle çok amaçlı makineler bulunur. Bu makineleri kullanacak iş görenlerin de doğal olarak belli düzeyde kalifiye olması beklenir. Vardiyalar başlamadan önce, hücrelere kısa süreli planlama faaliyetleri ile işgücü ataması yapılır. İş gücü atamasını yapabilmek için aşağıdaki çalışmaların önceden tamamlanması gereklidir (Otto ve Tempelmeier,2002).

- Her iş istasyonunda bulunan makineyi kullanacak kişide olması gereken özellikler belli kriterlere göre o iş istasyonu için belirlenerek bir profil oluşturulur,
- Nitelikler gruplandırılarak aynı niteliklere sahip olan iş gücünün bulunduğu birden çok listele hazırlanır,
- her hücre için orada çalışacak tüm iş gücünden beklenen farklı özellikler belirlenir.

Karar alınmasını gerektiren problem, her bir üretim hücresi için gerekli vasıflara sahip çok sayıdaki işgücünün, farklı niteliklere göre hazırlanmış işgücü listelerinden seçilmesidir. Bazen işgücünün bir kısmında hücredeki tüm makineleri kullanabilme, hazırlık işlemlerini yapabilme kabiliyeti dahi aranabilir. Vasıflı işgücünün işletmeye olan maliyetlerinin göz önüne alınması durumunda hiyerarşik iş gücü planlaması önem kazanır.

Hiyerarşik işgücü daha nitelikli işgücünün daha az nitelikli işgücünün yerine geçebildiği ama tersinin mümkün olmadığı işgücüdür. Billionnet (1999) hiyerarşik işgücü çizelgelemesi yapmıştır.

6. Problemin Tanımlanması

Çeşitli ürünleri üretmek için gerekli olan parçalardan parça ailelerinin oluşturulduğu bir işletmede, bir parça ailesinin tamamının üretileceği U-tipi hattın dengelemesi yapılacaktır. Ele alınacak hat dengeleme problemi genel olarak şu şekilde tarif edilir:

1. Birden fazla iş (ürün) vardır. Her bir işin işlemlerinin süreleri (b_i) ve öncelik ilişkileri bilinir.
2. İşlemler (i=1,2,..,I) niteliklerine göre (u=1,2,…K) şeklinde sınıflandırılmıştır. Her işlem sadece bir istasyona atanacaktır.
3. İşlemleri gerçekleştirecek işgücü de (w=1,2,…,K) şeklinde yine niteliklerine göre sınıflandırılmıştır. İşgücünün niteliklerine göre değişen maliyetleri (z_w) vardır ve $z_1 > z_2 > \ldots > z_w$'dır.
4. İşlemler ve işgücü niteliklerine göre eşit (K) sayıda sınıflandırılmıştır.
5. Hiyerarşik işgücü söz konusudur. Daha yüksek nitelikli işgücü daha düşük nitelikli işgücünün yaptığı işlemleri yapabilir ama daha düşük nitelikli işgücü daha yüksek nitelikli işgücünün yaptığı işlemleri yapamaz. Örneğin, birinci kalite işlemleri (u=1) sadece en nitelikli işgücü (w=1) yapabilirken, ikinci kalite işlemleri (u=2) hem en nitelikli işgücü (w=1) hem de ikinci dereceden nitelikli işgücü (w=2) yapabilmektedir.
6. Bir iş istasyonuna atanan işlemlerin toplam süresi (c_j) o iş istasyonuna atanacak işgücü sayısını belirler. Bir iş istasyonunda bir iş gücünün gerçekleştirebileceği işlemlerin toplam süresi (e) bellidir. İstasyonlara, (c_j) içinde her e süresi için bir işgücü atanmalıdır.
7. Bilinen çevrim süresi ile işlemleri istasyonlara atarken amaç, mümkün oldukça çok çeşit ürün üretirken istasyon sayısını, çevrim süresini, işgücü maliyetini minimize etmektir. Bu amaçlar arasındaki öncelik sırası karar vericinin isteğine göre değişir.

7. U-Tipi Hat Dengeleme Problemi İçin Model Önerisi

Bu bölümde, önerilecek modelin indisleri, parametreleri, kümeleri ve değişkenleri tanımlanacak ve matematiksel modelin genel formülasyonu verilecektir.

7. 1. İndisler, Parametreler, Kümeler ve Değişkenler

İndisler:

w=işgücü kaliteleri	$w \in Lw$
i = işlemler	$i \in Li$
u = işlem kaliteleri	$u \in Lu$
m =işlemlerin hemen öncülleri	$m \in Lm_{pi}$
s =işlemlerin hemen ardılları	$s \in Ls_{pi}$
j=istasyonlar	$j \in Lj$
p= ürünler	$p \in Lp$

Parametreler:

c*= çevrim süresi

b_i = i. işlemin süresi

z_w = k.kalite bir işçinin maliyeti

e= Bir iş istasyonunda bir iş gücünün gerçekleştirebileceği işlemlerin toplam süresi

M= yeterince büyük bir sayı

Kümeler:

Lw = işgücü kaliteleri kümesi $Lw = \{1,2,...,K\}$

Li = işlemler kümesi

$Li = \{1,2,...,I\}$

Li_p =p ürünün işlemleri kümesi

$Li_p \subset Li$

Lw_i = i. işlemi yapabilecek işçi kaliteleri kümesi

$Lw_i = \{1,2,...,K\}$

Lu = işlem kaliteleri kümesi

$Lu = \{1,2,...,K\}$

Lm_{pi} = p. ürünün işlemlerinin hemen öncülleri olan işlemler kümesi

$Lm_{pi} = \{1,...,M\}$

Ls_{pi} = p. ürünün işlemlerinin hemen ardılları olan işlemler kümesi

$Ls_{pi} = \{1,...,S\}$

Lj= istasyonlar kümesi

$Lj = \{1,2,...,J\}$

Lp= ürünler kümesi

$Lp = \{1,2,...,P\}$

Li_u = u. kalite işlemler kümesi

$Li_u \subset Li$ $\quad Li_1 = \{1,..,I1\}\ Li_2 = \{I1+1,..,I2\}\ \ldots..\ Li_K = \{I(K-1)+1,..,IK\}$

Li_w = w. Kalite işgücünün yapabileceği işlemler kümesi

$Li_w \subset Li$

Lw_u = u. kalite işlemleri yapabilecek işçi kaliteleri kümesi

$Lw_u \subset Lw$

Lis_p=p ürün için işler ve hemen ardıllarından oluşan ikili gruplar kümesi

$Lis_p = \{1,...,l,,,[L]\}$

Karar Değişkenleri

n= istasyon sayısı

c= çevrim süresi

c_j= j. istasyonun çevrim süresi

x_{ij}= 1 i.işlem j. İstasyona atanırsa; 0 aksi takdirde

x_i=i. işlemin atandığı istasyon

y_{wij}= 1 w.işçi i. işlem ile beraber j istasyona atanırsa; 0 aksi takdirde

y_{wj}= j. istasyona atanan k. kalite işçi sayısı

r_p= 0 p. ürün üretilirse; 1 aksi takdirde

t_{pim}= 0 p. ürün üretilirken i. işlem m. işlemden daha önceki istasyona atanırsa; 1 aksi takdirde

t_{psi}= 0 p. ürün üretilirken s. işlem i. işlemden daha önceki istasyona atanırsa; 1 aksi takdirde

7.2. Önerilen Matematiksel Modelin Sunulması

Amaç Fonksiyonu:

Önerilen model, birden çok amacı olması nedeni ile bir amaç programlama modelidir. Karar verici amaçların öncelik sıralarını belirler. Önce birinci dereceden önemli olan amaca göre model çalıştırılır. Elde edilen amaç fonksiyonu değeri modele kısıt olarak ilave edilerek model ikinci derecedeki amaca göre çözülür. Elde edilen ikinci amaç fonksiyonu değeri de modele kısıt olarak ilave edilerek model üçüncü derecedeki amaca göre yeniden çözülür.

Bu amaçların her biri sıra dikkate alınmadan aşağıda verilmiştir:

$Min\sum_{w=1}^{K} z_w$ Toplam işgücü maliyetini minimize eder.

$Min \quad n$ Toplam istasyon sayısını minimize eder.

$Min\sum_{p=1}^{P} r_p$ Ürün sayısını maksimize eder.

I. Kısıtlayıcılar Kümesi

$$\sum_{j=1}^{J} x_{ij} = 1 \qquad i = 1,...,I$$

Her bir işlem sadece bir istasyona atanır.

II. Kısıtlayıcılar Kümesi

$$\sum_{j=1}^{J} jx_{ij} = x_i \qquad i = 1,...,I$$

Her bir işlemin atandığı istasyonu belirler.

III. Kısıtlayıcılar Kümesi

$$x_i \le n \qquad i = 1,...,I$$

İstasyon sayısı işlemlerin atandığı en büyük istasyon numarası kadardır.

IV. Kısıtlayıcılar Kümesi

$$\sum_{i=1}^{I} b_i x_{ij} = c_j \qquad j = 1,...,J$$

İstasyonlara atanan işlemlerin süreleri toplamı istasyonun toplam işlem süresini verir.

V. Kısıtlayıcılar Kümesi

$$c_j <= c \qquad j = 1,...,J$$

$$c <= c^*$$

Çevrim süresi, istasyonların işlem sürelerinin en büyüğü kadardır. Bu da bilinen çevrim süresini geçemez.

VI. Kısıtlayıcılar Kümesi

$$\sum_{w \in Lw_i} \sum_{j=1}^{J} jy_{wij} = x_j \qquad i = 1,...,I$$

İşlemleri yapabilecek işgücü, işlemlerle beraber bu işlemlerin atandığı istasyonlara atanır.

VII. Kısıtlayıcılar Kümesi

$$\sum_{w \in Lw_i} \sum_{j=1}^{J} y_{wij} = 1 \qquad i = 1,...,I$$

i. işlemi yapacak olan işgücü bu işlemle beraber sadece bir istasyona atanır.

VIII. Kısıtlayıcılar Kümesi

$$y_{wj} - \sum_{i \in Li_w} \frac{1}{[IK - I(K-1)] - 1} y_{wij} \geq 0 \qquad w = 1,...,K \qquad j = 1,...,J$$

j. istasyona atanacak işgücü sayılarını kalitelerine göre tespit eder.

IX. Kısıtlayıcılar Kümesi

$$\sum_{i \in Li_u} b_i x_{ij} - \sum_{w \in Lw_u} ey_{wj} \leq 0 \qquad u = 1,...,U \qquad j = 1,...,J$$

İstasyon süresi e'yi aştığında, o istasyona ilave bir işçi atanmalıdır.

IX. Kısıtlayıcılar Kümesi

$$x_i - x_s + Mt_{psi} \geq 0 \qquad i, s \in Lis_p$$

$$x_s - x_i + Mt_{pis} \geq 0 \qquad i, s \in Lis_p$$

$$t_{pis} + t_{psi} = r_p \qquad i, s \in Lis_p$$

Eğer p ürünü üretilecekse, bu ürünün işlem akışında peş peşe gelen işlemlerden ya ilki ya da ikincisi daha önceki istasyona atanabilir. P ürünü üretilmeyecekse bu ürünün işlem akışına uyulmaz.

IX. Kısıtlayıcılar Kümesi

$$t_{pim} - \sum_{s \in Ls_{pi}} t_{pis} \geq 0 \qquad i \in Li_p \qquad m \in Lm_{pi}$$

i. işlemin hemen öncülü olan işlem ya da işlemlerden daha önceki bir istasyona atanabilmesi için, bu işlemin hemen ardılı olan işlem ya da işlemler i. işlemden daha önceki bir istasyona atanmış olmalıdır.

$$t_{pis} - \sum_{m \in Lm_{pi}} t_{pmi} \geq 0 \qquad i \in Li_p \quad s \in Ls_{pi}$$

i. işlem hemen ardılı olan işlem ya da işlemlerden daha önceki bir istasyona atanacaksa, bu işlemin hemen öncülü olan işlem ya da işlemlerin i. işlemden daha önceki bir istasyona atanmış olması gerekir.

Nihayet, değişkenler üzerine konulan

$n, c, c_j, y_{kj}, x_i = 1,2,\ldots$

$x_{ij}, y_{kij}, r_p, t_{pim}, t_{psi} = 0,1$

şartlarının yazılmasıyla modelin formülasyonu tamamlanmaktadır.

8. Önerilen Modelin Örnek Üzerinde Uygulanması ve Çözüm Sonuçları

Jackson'un (1956) tek ürün problemi örnek olarak seçilmiş ve buna öncelik ilişkileri hayali olarak belirlenen iki ürün daha eklenerek problem çok(üç) ürünlü hale getirilmiştir.

Örnek: Üç çeşit ürün (p=3) U-tipi hatta üretilecektir. İlk iki ürünün öncelik ilişkileri bulunan 11 farklı işlemi (I=11) vardır. Üçüncü ürün ise sekiz işlemli bir üründür. İşlem süreleri ve öncelik ilişkileri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. İşlem Süreleri ve Öncelik İlişkileri

İşlemler	Süreleri	Birinci İş	İkinci İş	Üçüncü İş
		Hemen Öncüller	Hemen Öncüller	Hemen Öncüller
1	6	-	-	-
2	2	1	1	3
3	5	1	2	1
4	7	1	3	X*
5	1	1	4	3
6	2	2	5	7
7	3	3, 4,5	6	2,5

8	6	6	7	X
9	5	7	8	6
10	5	8	9	X
11	4	9,10	10	9

* X, o işlemin ilgili ürünün üretiminde yer almadığını ifade eder.

İşlemler kalitelerine (zorluk derecelerine) göre 3 sınıfa ($u \in Lu = \{1,2,3\}$) ayrılmıştır. 1,2,3 numaralı işlemler 1. kalite işlemlerdir ($i \in Li_1 = \{1,2,3\}$). 4,5,6,7 numaralı işlemler 2. kalite işlemlerdir ($i \in Li_2 = \{4,5,6,7\}$). 8,9,10,11 numaralı işlemler ise 3. kalite işlemlerdir ($i \in Li_3 = \{8,9,10,11\}$). Bu işlemleri gerçekleştirecek olan işgücü de kalitelerine (vasıflarına) göre 3 farklı sınıfta toplanmıştır ($w \in Lw = \{1,2,3\}$). Yani, hem işlemler hem de bu işlemleri yapacak işgücü 3 kalite düzeyindedir (K=3). Kalite düzeylerine göre iş gücü maliyetleri ise; z_1 =8, z_2 =6, z_3 =4 şeklindedir. Çevrim süresi 10 (c*=10) dakikadır. Bir iş istasyonunda bir iş gücünün gerçekleştirebileceği işlemlerin toplam süresi de çevrim süresine eşit olarak 10 dakikadır (e=10).

İşlemleri istasyonlara atarken amaçlar önem sırasına göre; istasyon sayısının minimize edilmesi, üç ürünün tüm işlemlerinin gerçekleştirilmesi ve işgücü maliyetinin minimize edilmesidir.

Çözüm: Çözüm aşamalarının daha iyi görülebilmesi için önce probleme sadece birinci ürün alınmış ve model bu problem için çözülmüştür. Sonra sırasıyla ikinci ve üçüncü ürünler probleme dahil edilerek model, iki ve üç ürünlü problemler için yeniden çözülmüştür. Çözüm sonuçları Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 2. Tek Ürünlü Örnek Problemin Optimum Çözümü

İstasyonlar	**Atanan İşlemler**	**İstasyon Süreleri**	**Atanan İşgücü Sayısı**		
			1. tip işgücü	**2.tip işgücü**	**3. tip işgücü**
1	1,11	10	1	-	-
2	9,10	10	-	-	1
3	8	6	-	-	1
4	2,3,5,6	10	1	-	-
5	4,7	10	-	1	-

Elde edilen çözüme göre istasyon sayısı beştir. Birinci iş istasyonuna birinci kalite 1 no'lu işlem ve üçüncü kalite 11 no'lu işlem atanmıştır. Bu istasyona atanan 1 no'lu işlem birinci kalite, 11 no'lu işlem ise üçüncü kalite işlemdir. Bu işlemleri gerçekleştirmek üzere her kalite işlemi yapabilen birinci kalite işgücünden bir atama yapılmıştır. Elde edilen verilerden aynı yorum diğer iş istasyonları için de yapılabilir.

Tablo 3. İki Ürünlü Örnek Problemin Optimum Çözümü

İstasyonlar	**Atanan İşlemler**	**İstasyon Süreleri**	**Atanan İşgücü Sayısı**		
			1. tip işgücü	**2.tip işgücü**	**3. tip işgücü**
1	1,11	10	1	-	-
2	2,3	7	1	-	-
3	4,5,6	10	-	1	-
4	9,10	10	-	-	1
5	7,8	9	-	1	-

İki ürünlü problem için elde edilen çözüme göre istasyon sayısı yine beştir. Hem ilk ürünün hem de ikinci ürünün işlem önceliklerine uyum sağlamak üzere istasyonlara atanan işlemler değişmiştir. Dördüncü işlem, 5 ve 6 no'lu işlemlerle aynı istasyona atanarak ikinci ürünün de işlem önceliklerine uygunluk göstermiştir. Bu durumda toplamda atanan işgücü kaliteleri de değişmiş, üçüncü kalite işgücü sayısı bir azalırken ikinci kalite işgücü sayısı bir artmıştır. Her iş istasyonuna atanan işlemler ve bu işlemleri gerçekleştirecek işgücü sayısı Tablo 3'te gösterilmiştir. Örnek olarak dördüncü istasyona bakacak olursak, bu istasyona her ikisi de üçüncü kalite olan 9 ve 10 no'lu işlemler ve bu işlemleri gerçekleştirme üzere ikinci kalite bir işgücü atanmıştır.

Tablo 4. Üç Ürünlü Örnek Problemin Optimum Çözümü

İstasyonlar	**Atanan İşlemler**	**İstasyon Süreleri**	**Atanan İşgücü Sayısı**		
			1. tip işgücü	**2.tip işgücü**	**3. tip işgücü**
1	1,11	10	1	-	-
2	10,9	10	-	-	1
3	2,3	7	1	-	-
4	4,5,6	10	-	1	-
5	7,8	9	-	1	-

Üçüncü ürün de probleme dahil edilmiş ve modelin bu problem için çözümünden elde edilen sonuçta da istasyon sayısı beş çıkmıştır. İstasyonlara atanan işlemler üç ürünün de işlem sıralarına uygun olmak üzere değişmiştir. İki ürünlü problemin çözümünden elde edilen atamada üçüncü ürünün işlem akışına uymayan 9 no'lu işlem daha önceki bir istasyona atanmıştır. Yeni atama şekli üçüncü ürünün işlem akışına da uygun hale gelmişti. Atanan toplam işgücü sayısında bir önceki atamaya göre bir değişiklik yoktur.

Tablo 5. Tek Ürünlü ve Çok Ürünlü Problemlerin Çözüm Sonuçları

	İstasyon Sayısı	**1. tip işgücü sayısı**	**2. tip işgücü sayısı**	**3. tip işgücü sayısı**	**İşgücü Maliyeti**
Tek Ürün	5	2	1	2	30
İki Ürün	5	2	2	1	32
Üç Ürün	5	2	2	1	32

Tek ve çok ürün için elde edilen çözüm sonuçları Tablo 5'te gösterilmiştir. Çözüm sonuçlarına göre tek ürünlü problemin çözümünde işgücü maliyeti 30 iken, iki ve üç ürünlü problemlerin çözümünde maliyet 32 'ye çıkmıştır. Bunun nedeni ise sonraki çözümlerde birinci tip işgücü sayısı ilk çözüme göre değişmezken, üçüncü tip işgücü sayısının 1 azalıp ikinci tip işgücü sayısının 1 artmasıdır.

Son olarak çok ürünlü problemde "e" parametresinin değeri 10'dan 8 'e düşürülmüştür. Model bu problem için çalıştırıldığında elde edilen çözüm ise Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Üç Ürünlü Örnek Problemin e=8 için Optimum Çözümü

İstasyonlar	**Atanan İşlemler**	**İstasyon Süreleri**	**Atanan İşgücü Sayısı**		
			1. tip işgücü	**2.tip işgücü**	**3. tip işgücü**
1	1,2	8	1	-	-
2	11,10	9	-	-	2
3	3,9	10	1	-	1
4	4,5,6	10	-	2	-
5	7,8	9	-	1	1

Çevrim süresi 10 iken, bir iş istasyonunda bir iş gücünün gerçekleştirebileceği işlemlerin toplam süresi (e) 10'dan 8'e düşürülünce istasyonlara atanan işgücü sayıları da artmıştır. İstasyonların toplam işlem süreleri 8'i geçince ikinci işgücünün atanmana ihtiyaç olmuştur. Toplam işgücü sayısı 11'e ve toplam işgücü maliyeti de 50'ye [(1*8)+(2*4)+(1*8)+(1*4)+(2*6)+(1*6)+(1*4)] çıkmıştır.

9. Sonuç

Bu çalışmada, çok ürünlü bir U-tipi üretim hattını dengeleyen hiyerarşik işgücü atamasının yapıldığı amaç programlama modeli sunulmuştur. Verilen çevrim süresinde istasyon sayısı ve toplam işgücü maliyeti minimize edilirken üretilecek ürün sayısı da maksimize edilmeye çalışılmıştır.

İşlemler istasyonlara atanırken mümkün oldukça çok ürününün üretilebilmesi için ürünlerin farklı olan işlem sıraları dikkate alınmaktadır. İşgücü ve işlemler niteliklerine göre sınıflara ayrılmıştır ve hiyerarşik işgücü söz konusudur.

Geliştirilen model örnek bir problem üzerinde uygulanmıştır. Üç ürünlü bu problem önce tek ürünlü olarak çözülmüş daha sonra ikinci ve üçüncü ürünler probleme dahil edilerek aşama aşama çözüm elde edilmiştir. İlk çözümden ikinci çözüme geçilirken istasyonlara atanan işlemlerin değiştiği ve buna bağlı olarak da niteliklerine göre işgücü sayılarının dağılımının değiştiği gözlemlenmiştir. Bu dağılımdaki değişiklik de işgücü maliyetinin artışına neden olmuştur. İkinci çözümden üçüncü çözüme geçildiğinde yani model üç ürünlü problem için çalıştırıldığında ise niteliklerine göre işgücü dağılımında ve sayılarında değişiklik olmazken sadece istasyonlara atanan işlemler değişmiştir. Bu nedenle işgücü maliyetinde bir değişiklik olmamıştır.

Bu üç aşamalı durumda da problemin verisi olan çevrim süresi ve bir iş istasyonunda bir iş gücünün gerçekleştirebileceği işlemlerin toplam süresi birbirine eşit alınmıştır. Sonraki denemede bir iş istasyonunda bir iş gücünün gerçekleştirebileceği işlemlerin toplam süresi çevrim süresinden daha küçük tutulmuştur. Buna bağlı olarak istasyonlara atanan işgücü sayılarında artış olduğu ve bu artışın da işgücü maliyetlerini yükselttiği görülmüştür.

Kaynaklar

Aase R. Gerald, John R.Olson ve Marc J.Schniederjans, U-Shaped assembly line layouts and their impact on labor productivity: An experimental study European Journal of Operations Research 156 (2004) 698-711.

Achen Teknik Üniversitesinin Makine Laboratuarının Kuruluş Hikayesi www.wzl.rwth-aachen.de/de/2d2d2f5491d92c3dc1256ec5004e0afa.htm adresi.

Billionnet, A., A decision model for evaluation of flexible manufacturing systems in the presence of both cardinal and ordinal factors. European Journal of Operations Research 114 (1999) 105-114.

Chiang Wen-Chyuan ve Timothy L. Urban The Stochastic U-Line balancing problem: A heuristic procedure European Journal of Operations Research 175 (2006) 1761-1781.

Çalışkan Filiz, Üretim Planlaması, Erciyes Üniversitesi, İİBF Yayınları, Yayın No: 23, 2001, s.104.

Domschke, W., A. Scholl, S.Voss, Produktionsplanung, Springer, 1997, s.6.

Gökçen Hadi ve Kürşad Ağpak A goal programming approach to simple U-line balancing problem European Journal of Operations Research 171 (2006) 577-585

Jackson, James R., Acomputing Procedure For A line Balancing Problem Management Sciences Research Project,2,3 (1956),261-272.
Kara Yakup, Turan Paksoy ve Ching Ter Chang Binary Fuzzy goal programming approach to single model straight and U-Shaped assembly line balancing European Journal of Operations Research 195(2009) 335-347.
Lödding Hermann, Ferfahren der Fertigungssteuerung, Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration, Springer, 2004, s.96.
Miltenburg John, Balancing U-lines in a Multiple U-line Facility European Journal of Operations Research 109 (1998) 1-23.
Otto Günther, Hans, Horst Tempelmeier, Produktionsmanagement, Einführung mit Übungsaufgaben, 1995, s.119.
Otto Günther, Hans , Horst Tempelmeier, Produktionsmanagement, 1995, s.377.
Otto Günther, Hans, Horst Tempelmeier, Produktion und Logistik, 5. Auflage, Springer, 2002, s.110.
Urban L. Timothy Note. Optimal Balancing of U-Shaped Assembly Lines Management Science 44,5 (1998) 738-741

ÇEVRESEL ETKİNLİĞİN ÖLÇÜLMESİ: AB-27 ÜLKELERİ VE TÜRKİYE İÇİN BİR KARŞILAŞTIRMA

Bengisu FIRAT, Aylin Çiğdem KÖNE
Muğla Üniversitesi, İktisat Bölümü

I. Giriş

1970'li yıllardan başlayarak çevre sorunlarının ağırlaşması dünya ölçeğinde bu konunun artan biçimde fark edilmesine ve çevre bilincinin yükselmesine yol açmıştır.1980'lerden itibaren enerji ve çevre arasındaki etkileşimi incelemek üzere yeni modelleme teknikleri geliştirilmiştir. Bu modelleme teknikleri arasında Veri Zarflama Analizi, görece yeni parametrik olmayan etkinlik değerlendirme yöntemi olarak dikkat çekmektedir.

Bu çalışmanın amacı AB-27 üyesi ülkeler ve Türkiye'nin çevresel performansını hava kirletici emisyonlar üzerinden karşılaştırmalı olarak incelemektir. Çok sayıda hava kirletici emisyon arasından asit yağmuruna yol açan kirleticiler çalışmada çevre performansının göstergesi olarak kullanılmıştır.Asit yağmurları, binalar, tarihi eserleri tahrip etmenin yanı sıra toprak ve su kirliliğine de yol açmaktadır. Balık popülasyonu ve orman toprağı üzerinde negatif etki yaratmaktadır. Asit yağmurlarının yalnızca hava kirliliğine neden olan ülkeleri değil, diğer ülkeleri de etkilemesi uluslararası ölçekte incelenmesini gerektirir.Çalışmada seçilen ülkelerin 2000-2007 dönemindeki çevre performansları Veri Zarflama Analizi (VZA) ve Malmquist Endeks Analizi ile incelenmiştir.

I. Yöntem

Türkiye ve AB'ne üye 27 ülkenin 2000-2007 dönemindeki çevresel performamslarındaki değişim Veri Zarflama Analizi ve Malmquist Endeks yöntemi ile incelenmiştir.

A. Veri Zarflama Analizi

Analiz başlangıçta firmaların performans ölçümünü gerçekleştiren doğrusal programlamanın değişik uygulamalarına dayanan bir yöntemdir. Yöntem ilk olarak Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından, kamu kuruluşlarının teknik verimliliğini ölçmek ve karşılaştırmak amacıyla geliştirilmiştir. Yöntem, regresyon tekniğinin doğrudan uygulanamadığı çoklu girdi ve çoklu çıktılar içeren üretim ilişkilerinde, girdi ve çıktıların ağırlıklarını (görece önemlerini) belirleyerek, performans karşılaştırması yapılmasına olanak tanır (Aydemir, 2002: 45).

VZA, ölçeğe göre sabit getiri (CRS) ile değişen getiri (VRS) varsayımları altında iki farklı şekilde kullanılabilir. Yine, bu yöntem hem veri girdi ile en fazla çıktıyı elde etme (output-oriented) hem de veri çıktıyı en az girdi ile elde etme (input-oriented) yaklaşımlarına göre etkinlik ölçümünü yapar. Bu yaklaşımlardan veri çıktıyı en az girdi kullanımı ile elde etme yaklaşımı, veri üretim miktarlarını azaltmaksızın üretimde kullanılan girdi miktarlarının oransal olarak ne kadar azaltılabileceğini belirlemeye çalışır. Veri girdi ile en fazla çıktıyı elde etme yaklaşımı veri girdi setini değiştirmeksizin üretim miktarlarının oransal olarak ne kadar artırılabileceği üzerinde durur. Ölçeğe göre sabit getiri kavramı, girdi ve çıktı miktarında aynı oranda artışın söz konusu olduğu durumda kullanılır (Yolalan, 1993: 13).

Çevresel performansın modellenmesi VZA'nın popüler uygulama alanlarından biridir. 1990 öncesinde bu konuda yapılmış çalışmaların sayısı oldukça azken 1990'ların sonundan itibaren bu sayının hızla yükseldiği görülmektedir. Çevre sorunları ve sürdürülebilir kalkınma kavramının dünya ölçeğinde artan kabulü bu artışta rol oynamış olabilir. VZA'nın standart ve toplulaştırılmış çevresel performans endeksi oluşturabilme yeteneği de akademik çalışmalarda tercih edilmesinin bir diğer nedenidir. Zhou et.al. (2008) VZA'nın kullandığı çalışmaları firma düzeyinde ve makro düzeyde olmak üzere iki gruba ayırmaktadır. Firma düzeyindeki çalışmalar Tyteca (1996), Allen (1999) Boyd ve McClelland (1999), Hernàndez-Sancho et al. (2000), Boyd et al (2002) örnek olarak gösterilebilir. Makro düzeyde ise özellikle bölgesel/ulusal karbondioksit (CO2) emisyonları çalışma konusu yapılmıştır. Bu konudaki çalışmaların örnekleri Zaim ve Taşkın (2000), Zofio ve Prieto (2001), Ramanathan (2002,2005), Färe et al. (2004) ve Zhou et al. (2006,2007)'dır (Zhou et al., 2007:5)

B. Malmquist Endeks Analizi

Malmquist endeksi, iki gözlemin toplam faktör verimliliğindeki değişmeyi ortak bir teknolojiye olan uzaklıkların oranı olarak ölçer. Malmquist (1953) tarafından geliştirilen uzaklık fonksiyonlarına dayalı olarak ifade edilen bu endeks, her bir veri noktasının ortak teknolojiye göre nispi uzaklık oranlarını hesaplayarak, iki veri noktası arasındaki TFVD'yi ölçer (Ramanathan, 2003: 98).

Endeks aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$M^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, x^{t}, y^{t}) = \left\{ \left[\frac{D^{t}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t}(x^{t}, y^{t})} \right] \left[\frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^{t}, y^{t})} \right] \right\}^{1/2}$$

$$M^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, x^{t}, y^{t}) = \frac{D^{t}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t}(x^{t}, y^{t})} \left[\frac{D^{t}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{D^{t}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^{t}, y^{t})} \right]^{1/2}$$

$$\frac{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} = \text{Teknik Etkinlik Değişimi (E)}$$

$$\left[\frac{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{1/2} = \text{Teknolojik Değişim (T)}$$

$M = E \times T$

Bu endekste t baz yılı $t+1$ ise bir sonraki yılı ifade etmektedir. D uzaklık fonksiyonu t periyodu süresince x girdilerinin y çıktılarına dönüşümündeki etkinliği ölçer. Endeks teknik etkinlikteki değişme ile teknolojik değişmenin çarpımından elde edilmektedir. Endeksin bu şekilde ayrıştırılabilmesi bu iki değişimin toplam faktör verimliliğine katkısının belirlenmesine yardımcı olur.

M^{t+1} endeksinin M endeksinin 1'den büyük olması, toplam faktör verimliliğinin t döneminden t+1 dönemine arttığını, bu değerin 1'den küçük olması, toplam faktör verimliliğinin t döneminden t+1 dönemine azaldığını gösterir (Ramanathan, 2003: 98).

C. Değişkenlerin Tanımı ve Veri Kaynakları

Çalışmada kullanılan girdiler, toplam enerji tüketimi ve toplam nüfus, istenilen çıktıyı temsil eden GSYH, istenilmeyen çıktıyı temsil eden amonyak (NH_3), azot oksitleri (NO_X) ve kükürt oksitleri (SO_X)'dir. Toplam enerji tüketimi ve toplam nüfus Dünya Bankası World Development Indicators (WDI) veri tabanından, GSYH, amonyak (NH_3), azot oksitleri (NO_X) ve kükürt oksitleri (SO_X) European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP) veri tabanından alınmıştır. İstenmeyen çıktılar çevre üzerinde baskı yaratarak asit yağmurlarına yol açabilmektedir. Analizde 2000-2007 yıllarına ait veriler kullanılmıştır.

II. Ampirik sonuçlar

Ülkelerarası çevresel etkinliğin karşılaştırılmasında ölçeğe göre değişken getiri varsayımı altında elde edilen teknik etkinlik (TE) ve toplam faktör verimliliği değişim (TVFD) endeksleri tercih edilmiştir.

Ayıca çalışmada ülkelerin girdileri artırmaktan ziyade mevcut girdiler ile daha fazla çıktı elde etmeyi hedeflendiğinden çıktıya yönelik VZA kullanılması tercih edilmiştir. İstenilmeyen çıktılar $1/x$ değeri ile hesaplamaya alınmıştır.

VZA ve Malmquist TFV endeksi yöntemleri her ülke için ayrı uygulanarak ülkelerin TE'teki değişme, teknolojik değişme ve TFVD endeksleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda DEAP-XP (Coelli, 1996) bilgisayar programı kullanılmıştır.

A. Teknik Etkinlik

TE endekslerinin ülkelere ait girdi-çıktı gözlemlerinden çevresel performanslar için etkin sınırlar oluşturulmuş ve ülkeler bu etkin sınırlarla karşılaştırılmıştır. Hesaplanan TE değerlerinin bire eşit olması o ülkenin çevresel etkinliğinin tam olduğunu ifade etmektedir.Birden küçük olması ise çevresel etkinsizliğe işaret etmektedir.

Ülkelerin yıllık ve ortalama TE düzeyleri Tablo-1'de verilmektedir. Tablo-1'de ülkeler ortalama TE düzeylerine göre sıralanmıştır. Hesaplanan ortalama TE endeksine göre bu ülkelerin etkinsizlik oranı 1-0,632=0,368 veya %3,68'dir. Bu oran seçilen ülke grubunun çevresel etkinsizlik derecesini ifade etmektedir. Almanya, Danimarka, Lüksemburg, Malta, İngiltere, İsveç çevresel etkinliğin sınırını belirleyen referans ülkelerdir ve bu özelliklerini analiz dönemi boyunca da korumaktadır. Çek Cumhuriyeti (0,220), Romanya (0,153), Bulgaristan (0,102) etkinliği en az olan ülkelerdir.

Türkiye'nin TE düzeyinin ise tüm yıllar itibariyle çoğu AB üye ülkesinin ortalamasından düşük olduğu görülmektedir. Bir önceki yıla göre Türkiye'nin TE değeri 2002 yılında %3, 2006 yılında %5.9 ve 2007 yılında ise %8 oranında azalmıştır. Ortalama TE değerlerine ilişkin özet bilgiler Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 1: Ülkelerin 2000-2007 Dönemi Yıllık ve Ortalama Teknik Etkinlik Değerleri

ÜLKELER	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Ortalama
Almanya	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Avusturya	0,857	0,841	0,844	0,838	0,833	0,827	0,827	0,842	0,838
Belçika	0,826	0,821	0,811	0,798	0,792	0,781	0,770	0,768	0,795
Bulgaristan	0,092	0,093	0,093	0,117	0,107	0,103	0,106	0,110	0,102

Çek Cumhuriyeti	0,204	0,207	0,209	0,237	0,215	0,224	0,230	0,237	0,220
Danimarka	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Estonya	0,235	0,236	0,210	1.000	0,311	0,327	0,341	0,312	0,371
Finlandiya	0,788	0,801	0,812	0,825	0,825	0,823	0,825	0,842	0,817
Fransa	0,899	0,893	0,882	0,865	0,862	0,860	0,854	0,850	0,870
Güney Kıbrıs	0,563	0,640	0,612	0,619	0,664	0,655	0,632	0,615	0,625
Hollanda	0,915	0,912	0,890	0,870	0,859	0,856	0,858	0,867	0,878
İngiltere	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
İrlanda	0,839	0,861	0,899	0,997	0,972	0,977	1,000	1,000	0,943
İspanya	0,705	0,702	0,671	0,666	0,638	0,634	0,636	0,609	0,657
İsveç	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
İtalya	0,966	0,962	0,922	0,880	0,856	0,832	0,822	0,797	0,879
Letonya	0,283	0,293	0,312	0,312	0,389	0,427	0,453	0,432	0,362
Litvanya	0,221	0,227	0,181	1.000	0,235	0,248	0,259	0,247	0,327
Lüksemburg	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Macaristan	0,246	0,252	0,254	0,269	0,271	0,258	0,269	0,265	0,260
Malta	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Polonya	0,280	0,277	0,273	0,279	0,280	0,280	0,274	0,276	0,277
Portekiz	0,591	0,604	0,577	0,603	0,570	0,540	0,586	0,567	0,579
Romanya	0,139	0,143	0,143	0,161	0,157	0,159	0,162	0,167	0.153
Slovakya	0,205	0,207	0,204	0,441	0,235	0,235	0,255	0,279	0,257
Slovenya	0,369	0,374	0,379	0,405	0,394	0,390	0,408	0,420	0,392
Türkiye	**0,502**	**0,505**	**0,490**	**0,494**	**0,503**	**0,510**	**0,480**	**0,442**	**0,490**
Yunanistan	0,587	0,598	0,599	0,659	0,624	0,604	0,630	0,593	0,611
ORTALAMA	0,618	0,623	0,617	0,690	0,628	0,627	0,631	0,626	0,632

Tablo: 2 Ortalama Teknik Etkinlik Frekans Dağılımı

Değerler	**Sayılar**	**Yüzde**
[0.1, 0.2]	2	7.14
[0.2, 0.3]	3	10.72
[0.3, 0.4]	4	14.28
[0.4, 0.5]	1	3.57
[0.5, 0.6]	1	3.57
[0.6, 0.7]	3	10.72
[0.7, 0.8]	1	3.57
[0.8, 0.9]	5	17.86
[0.9, 1]	1	3.57
[1]	7	25
Toplam	28	100

B. Toplam Faktör Verimliliğindeki Değişme

Toplam faktör verimliğindeki değişme (TFVD) endeksinin 1'den büyük olması TFV'nin arttığını, 1'den küçük olması ise TFV'nin azaldığını göstermektedir. TFV, teknik etkinlikteki değişme (TED) ve teknolojik değişmeden (TD) oluşmaktadır. Teknik etkinlikteki değişimin TED) 1'den büyük olması teknik etkinlikteki gelişmeyi, teknolojik değişmenin(TD) 1'den büyük olması ise teknolojideki ilerlemeyi, 1'den küçük olmaları ise sırasıyla teknik etkinlikteki gerilemeyi ve teknolojideki gerilemeyi ifade eder. TED endeksinin 1'den büyük olması ülkenin üretim sınırını yakalama etkisini (catching-up effect) ve TD endeksinin 1'den büyük olması

ülkenin üretim sınırının yukarı kaymasını ifade etmektedir. TED ise kendi içerisinde pür (saf) etkinlikteki değişme (PED) ve ölçek etkinliğindeki değişme (SED) olmak üzere ikiye ayrışmaktadır. Ölçek etkinliği ülkenin uygun ölçekte üretim yapma başarısını göstermektedir. Malmquist toplam faktör verimliliği endeksinin bu unsurlara ayrışması, toplam faktör verimliliğindeki artışın ana kaynaklarının tespit edilmesinde önemlidir (Deliktaş, 2002: 263)

2000-2007 dönemi için toplam 28 ülkenin ortalama TED ve TD endekslerinin değerlerinde %1,4 oranında ilerleme olduğu görülmektedir. TED'nin artması TE'de bir ilerleme olduğunu göstermektedir Tablo-3'te incelenen ülkeler TFVD'ye göre sıralanmıştır. TED endekslerine göre ülkelerin %64'ünün yıllık ortalama etkinliğinde ilerleme olduğu, %25'inin etkinliğinde gerileme olduğu ve %11'inin TE'nin ise değişmediği görülmektedir. Estonya (%4,9), Slovakya (%4,9) ve Bulgaristan (%3,4) TE'de ilerleme kaydeden ülkelerdir. Avusturya, Portekiz (%0,3), Hollanda, İspanya, Türkiye(%0,2) son sıraları almaktadır. Etkinliği sabit kalan ülkeler ise Fransa, Lüksemburg ve Malta'dır.

TD endekslerine göre yıllık ortalama teknolojik ilerleme %1,4 olarak ölçülmüştür. Ülkelerin %90'ında dönem boyunca teknolojik ilerleme kaydedilirken, %10'unda teknolojik gerileme olduğu tespit edilmiştir. Teknolojik ilerleme kaydeden ülkeler arasında Malta (%6,7), Letonya (%3,8), ve Lüksemburg (%2,2) ilk üç sırada yer almaktadır. Teknolojik gerileme gösteren ülkeler arasında ilk üç sırada ise Estonya (%0,5), Avusturya (%0,3) ve Litvanya (%0,2) yer almaktadır. Bu dönemde Türkiye'nin %1,2 oranında teknolojik ilerleme kaydettiği görülmektedir.

TFVD endeksine göre ilgili dönemin TFV'nde yıllık ortalama artış %2,8 olarak ölçülmüştür. Yıllık ortalama TVF'deki ilerleme ortalama TED ve TD artışından kaynaklanmaktadır.

Ülkelerin tamamı inceleme döneminde artış kaydetmiştir. TFV'nde en fazla artış gerçekleştiren ilk üç ülke Malta (%6,7), Slovakya (%5,9) ve Romanya (%4,9)'dır. Slovakya ve Romanya'nın TVF''ndeki artışlar teknik etkinlikteki ilerlemeden, Malta'nın TVF'ndeki artış ise teknolojik ilerlemeden kaynaklanmaktadır.

TVF'nde en az artış olan ülkeler ise İtalya (%0,5), Türkiye (%0,9)'dir. Bu ülkelerin TFV'ndeki gerilemenin nedeni teknik etkinliklerindeki düşüştür.

Tablo 3: Ülke Endeksleri

ÜLKELER	TED*	TD*	PED*	SED*	TFVD*
Almanya	1.002	1.012	1.000	1.002	1.014
Avusturya	0.997	0.997	0.997	1.017	1.018
Belçika	1.006	1.012	0.990	1.017	1.018
Bulgaristan	1.034	1.010	1.027	1.007	1.044
Çek Cumhuriyeti	1.023	1.011	1.022	1.001	1.034
Danimarka	0.999	1.011	1.000	0.999	1.010
Estonya	1.049	0.995	1.041	1.008	1.044
Finlandiya	1.006	1.012	1.010	0.997	1.018
Fransa	1.000	1.012	0.992	1.008	1.012
Güney Kıbrıs	1.016	1.003	1.013	1.004	1.019
Hollanda	0.998	1.012	0.992	1.005	1.010
İngiltere	1.016	1.011	1.000	1.016	1.027
İrlanda	1.026	1.017	1.025	1.001	1.044
İspanya	0.998	1.012	0.979	1.019	1.010
İsveç	1.010	1.013	1.000	1.010	1.023
İtalya	0.993	1.012	0.973	1.021	1.005
Letonya	1.064	1.038	1.062	1.002	1.104
Litvanya	1.029	0.998	1.016	1.013	1.026
Lüksemburg	1.000	1.022	1.000	1.000	1.022
Macaristan	1.016	1.015	1.011	1.005	1.031
Malta	1.000	1.067	1.000	1.000	1.067
Polonya	1.016	1.012	0.998	1.018	1.028
Portekiz	0.997	1.014	0.994	1.003	1.011
Romanya	1.037	1.011	1.026	1.011	1.049
Slovakya	1.049	1.009	1.045	1.004	1.059
Slovenya	1.020	1.018	1.019	1.001	1.038
Türkiye	**0.998**	**1.012**	**0.982**	**1.016**	**1.009**
Yunanistan	1.005	1.011	1.001	1.003	1.016
Ortalama	1.014	1.014	1.007	1.007	1.028

* TED Teknik Etkinlikteki Değişme; TD, Teknolojik Değişme; PED, Pür Etkinlikteki Değişme; SED, Ölçek Etkinlikteki Değişme; TFVD, Toplam Faktör Verimliliğindeki Değişme

IV. Sonuç

Bu çalışmada VZA ve Malmquist TFV Endeks yönemi ile AB-27 ülkeleri ve Türkiye'nin 2000-2007 dönemindeki göreli çevresel performansları analiz edilmiştir. TFV'nde en fazla artış gerçekleştiren ilk üç ülke Malta (%6,7), Slovakya (%5,9) ve Romanya (%4,9), en az artış olan ülkeler ise İtalya (%0,5) ve Türkiye (%0,9)'dir.

Türkiye'nin TE endeksi (0,490) çoğu AB ülkesinin ve ortalamanın gerisinde kalmıştır. Bu da Türkiye'nin enerji tüketiminden kaynaklanan çevresel kirliliğin önlenmesi için yeterli önlemin alınmadığını göstermektedir. TFVD endeksleri incelendiğinde Türkiye'nin (1,009) etkin olduğu ancak seçilen ülke grubu içinde İtalya dışındaki diğer ülkelerin gerisinde kaldığı görülmektedir.

Burada sunulan çalışma ülke sayısı ve incelenen yıl sayısı artırılarak geliştirilebilir. Ayrıca yeni çevresel göstergelerin (CO_2 vb.) eklenmesi ile çalışma daha ileriye taşınabilir.

VZA çeşitli ekonomik ve çevresel göstergeleri bir araya getirerek ülke ya da ülke gruplarının performanslarının incelenmesi için bütüncül bir analiz olanağı sunmaktadır. Bu nedenle uluslar arası karşılaştırmalar için yararlı olabilir. Ve genellikle kısmi göstergeler üzerinden gerçekleştirilen uluslar arası karşılaştırmalara bir alternatif getirebilir. Böylelikle özellikle çevre gibi uluslararası düzeyde karar alınmasını gerektiren bir konuda politika yapıcılar bütün göstergeleri bir arada değerlendirerek ülkelerin performanslarını ölçme ve buna uygun politika geliştirme olanağı bulabilirler.

Aydemir, Z.C., (2002), "Bölgesel Rekabet Edilebilirlik Kapsamında İllerin Kaynak Kullanım Görece Verimlilikleri: Veri Zarflama Analizi Uygulaması", Uzmanlık Tezi, DPT Yayın No:2664, s. 45.
Deliktaş, E., (2002), ''Özel Sektör İmalat Sanayinde Etkinlik ve Toplam Faktör Verimliliği Analizi'',ODTÜ Geliştirme Dergisi, s.263.
Ramanathan, R., (2003), An Introduction to Data Envelopment Analysis: A Tool for Performance Measurement Sage Publications, New Delhi, s.98.
Yolalan, R., (1993), İşletmelerarası Göreli Etkinlik Ölçümü, MPM Yayınları, No: 483, Ankara, s. 13.
Zhou, P., Ang, B.W., Poh, K.L., (2007), ''A Non-Radial DEA Approach to Measuring Enviromental Performance'', Europian Journal of Operational Research, 178, s. 5.

Krizlerin Bankacılık Sektöründeki Verimlilik Üzerindeki Etkilerinin İstatistiksel Analizi

Erhan ÇENE*

Ali Hakan BÜYÜKLÜ**

Özet
Bankacılık, ülkelerin finansal yapılarının en önemli kurumlarıdır. Bu kurumların verimli bir şekilde çalışmaları diğer sektörleri de yoğun bir şekilde etkilemektedir. Bu sektörün, Türkiye'de verimli çalışıp çalışmadığı konusunda yapılacak araştırmalar sektörün daha sağlam bir yapıya kavuşmasına fayda sağlayacaktır. 2008'de dünyada meydana gelen küresel ekonomik kriz, bu konunun ne kadar önemli olduğunu bir kez daha gözler önüne sermiştir. Bankacılık sektörünün Türkiye'de 1980'lerin başındaki siyasi kriz, 1994, 2001 ve 2008 ekonomik krizleri ve sonrasında verimlilik değişimlerinin çeşitli bankalar incelerek istatistiksel analizleri yapılarak ele alınmıştır.

* Arş. Gör. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü
** Prof. Dr. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü

1. GİRİŞ

Bankalar, ülkelerin finansal yapılarının en önemli kurumlarıdır. Bu kurumların verimli bir şekilde çalışmaları diğer sektörleri de yoğun bir şekilde etkilemektedir.
Türkiye'de bankacılık sektörünün verimli çalışıp çalışmadığı yıllardır tartışılan bir konudur. Bu alanda yapılan çalışmalara bakıldığında, genellikle kriz dönemlerinin bankacılık sektörünün verimliliği üzerindeki etkisine bakıldığı görülmektedir. Biz de çalışmamızda, 2001 ve 2007 krizlerinin bankacılık sektörünün verimliliği üzerindeki etkilerini inceleyeceğiz.

2. TÜRK BANKACILIK SEKTÖRÜ

Türkiye'de ilk banka 19. Yüzyılın ortalarında Osmanlı Devlet Hazinesi'ni finanse edebilmek için kurulmuştur. Türk Bankacılık Sistemi bugünkü yapısına cumhuriyetten sonra kavuşmuştur.
Cumhuriyetin ilk yılları, bankacılık sektöründe yeni yabancı bankaların kurulduğu, belli sektörleri desteklemek için özel amaçlı bankaların ve özel ticaret bankalarının kurulduğu bir dönemdir. 1950'den sonra daha liberal ve özel sektörü destekleyici bir politika izleyen devlet, özel bankaların kurulmasına destek olmuş, ancak kurulan bankalar yeterli mali güce kavuşmadığından 1958'den itibaren bankacılıkta tasfiye işlemlerine başlanmıştır. Aynı yılda meydana gelen başka bir gelişme de Türkiye Bankalar Birliği'nin (TBB) kurulmasıdır.
1980' den sonra başlayan serbestleşme programı ile birlikte önemli değişimler geçirmiştir. Serbestleşme programı, sisteme giriş imkanlarını genişletmiş, banka sayısının arttırmış ve bunun sonucu olarak da istihdam artışı olmuştur. Bu da rekabetin artmasına ve bankaların hizmet çeşitliliğinin artmasını sağlamıştır (Kaya, 2002).
Söz edilen bu olumlu gelişmelere rağmen, bankaların bu dönemde öz kaynak yetersizliği, düşük aktif kalitesi, muhasebe uygulamalarındaki yetersizlikler, yetersiz risk yönetimi ve iç kontrol sistemleri gibi yapısal sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu yapısal sorunlar siyasi istikrarsızlıkla birleşince 1994, 2000 ve 2001 krizleri ortaya çıkmıştır. 2001 sonrası, bankacılık sektöründe yeniden yapılanmaya gidilmiştir. Bankaların özkaynaklarını güçlendirici bir alt yapı oluşturacak hukuki düzenlemeler oluşturulmuştur. Bunun sonucunda , 2008-2009 yıllarında dünya finansal sisteminde derin çalkantılar olurken Türk bankacılığı, bu dönemi, alınan önlemler sayesinde hasarsız atlattığı söylenebilir.

3. VERİMLİLİK

Tarihi çok eski dönemlere uzanmasına rağmen, verimlilik kavramı özellikle İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra yeniden yapılanan dünya üzerinde önem kazanmıştır. Bu alanda yapılan ilk çalışmalar 1960'lardan itibaren, Colin Clark, Jean Fourastie, John W. Kendrick ve Simon Kuznets gibi iktisatçılar tarafından yapılmıştır. Clark, ulusal ekonomi düzeyinde verimlilik ölçümü yaparken, Fourastie, verimlilik farkları ve bu farkların sektörler arası işgücü kaymaları etkisine bakmış, Kendrick, ücret, fiyat ve verimlilik ilişkisine bakarken, Kuznets ise verimlilik kavramlarının açıklanması konusunda öncülük yapmıştır (Doğan, 1987).
Verimlilik kavramı, hem ülke kalkınmasının, hem de teşebbüslerin başarı düzeyinin ölçülmesinde temel bir gösterge olarak kabul edilmektedir (Baş & Artar, 1991). Verimlilik kavramı sadece işletmelerle değil, aynı zamanda da ülke ekonomileri, sektörler ve bireylerle de ilgilidir. Bu nedenle verimlilik kavramına daha geniş bir açıdan bakmak gerekmektedir (Özdemir, 1991).

4. VERİMLİLİĞİN TANIMI

Verimlilik için pek çok farklı tanım bulunmaktadır.
Suiçmez, "Verimlilik, aynı ürünü daha az kaynakla elde etmek, ya da aynı kaynakla daha çok ürün sağlamaktır." şeklinde tanımlamıştır.
Michele Battista ise verimliliği, "Üretim faktörlerinin daha az miktarda kullanılması." şeklinde ifade etmiştir.
Verimliliği benzer şekilde tanımlayan bir başka isim de Peter Drucker'dır. Ona göre verimlilik, "En az çaba ile tüm üretim faktörlerinin ortaya koyduğu üretim miktarı" dır.

5. BANKACILIK AÇISINDAN VERİMLİLİK

Hizmet sektöründe önemli bir yere sahip olan bankacılık sektörü pek çok sektörle doğrudan ilişki içinde olduğundan mali sistem içerisinde önemli bir yere sahiptir. Bankacılıkta verimlilik, bankaların finansal aracılık işlevini en az kaynak kullanarak yerine getirmeleri, olarak tanımlanabilir (Suiçmez).
Bankacılık sektöründe, verimlilik analizinde girdi ve çıktıların nelerden oluşacağı konusunda tam bir fikir birliği yoktur. Buna karşın iki tane yaklaşım bulunmaktadır.
Üretim yaklaşımı olarak adlandırılan birinci yaklaşıma göre, bankalar sermayelerini ve iş güçlerini kullanarak, mevduat ve kredi üretmektedirler. Bu yaklaşımda çıktılar değer üzerinden değil, mevduat ve kredi sayılarıyla belirlenmektedir. Maliyetler ise sadece faaliyet giderlerinden oluşmaktadır, faiz giderleri buna dahil değildir.
İkinci yaklaşım ise, aracılık yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda ise bankalar, sermaye ve işgüçlerini kullanarak, mevduatları kredilere ve yatırımlara dönüştüren aracı konumundadır. Üretim yaklaşımından farklı olarak bu yöntemde, hesap sayıları yerine krediler, yatırımlar ve mevduatların parasal değerleri kullanılır. Maliyet ise faaliyet giderlerinin yanı sıra, faiz giderlerini de içermektedir. Aracılık yaklaşımı, rekabete dayalı analizlerde üretim yaklaşımından daha uygundur (Zardkooki & Kolari, 1994).

6. VERİMLİLİĞİN ÖLÇÜMÜ

Verimlilik ölçümünde üç yöntemden faydalanılmaktadır. Bunlar, rasyo analizi, parametrik yöntemler ve parametrik olmayan yöntemlerdir.
Bankacılık sektöründe verimlilik ölçümünde ise iki temel yaklaşımdan söz edilebilir. Bu yaklaşımlardan birincisi sermaye, işgücü ve diğer malzemeyi (şube, demirbaşlar v.s) girdi olarak kullanan, buna karşılık mevduat, kredi, menkul değerler cüzdanı ve diğer bilanço kalemlerini üreten birimler olarak ele alan üretim yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda mevduat, kredi gibi çıktıların ölçülmesinde hesap sayısı baz alınır. İkinci yaklaşım ise aracılık yaklaşımıdır. Bu yaklaşıma göre bankalar, ödünç verilen fonlarla, ödünç alınan fonlar arasında aracılık yapan kurumlardır. Bu yaklaşımda, mevduat ve diğer kaynakları bankanın girdisi, kredi ve diğer varlıkları ise bankanın çıktısı olarak görür. Bu yüzden, yöntem girdi ve çıktıyı ölçerken, hesap sayısını değil, parasal değerleri kullanır.

7. LİTERATÜR

Bankacılık sektörünün verimliliğiyle ilgili yapılmış pek çok çalışma mevcuttur. Bunlardan bazıları Fukuyama (1985), Berg v.d. (1992), Alam (2001), Sathye (2002)' nin yapmış olduğu çalışmalardır. Bu yöntemlerin ortak özelliği, parametrik olmayan bir yöntem olan Malmquist Toplam Faktör Verimliliği'ni kullanmalarıdır.
Türk Bankacılık Sektörü'nde de verimlilik üzerine pek çok çalışma yapılmıştır. Altunbaş ve Molyneux (1995) ile Karamustafa (1999) rasyo analizi yöntemiyle Türk Bankacılık Sektörü'ndeki verimliliği incelemişlerdir. Yapılan diğer çalışmalardan bazıları ise, Mahmud ve Zaim (1998), Çilli (1995), Özkan ve Günay (1996), Yolalan (1996), Yıldırım (1999), Işık ve Hasan (2003), Bastı (2006) tarafından yapılmış çalışmalardır.

8. METODOLOJİ

Toplam Faktör Verimliliğini net çıktının emek, sermaye ve diğer girdilerin toplamına oranı şeklinde verilebilinir.

Toplam Faktör Verimliliği Büyüme modeli Solow tarafından uygulamaya başlanan neoklasik üretim fonksiyonundan türetilmektedir.

$$Y_t = A_t F(K_t, L_t)$$

Cobb-Douglas Üretim fonksiyonu ölçeğe göre sabit getiri varsayımı ile aşağıdaki gibidir.

$$Y = A \cdot L^{\alpha} \cdot K^{(1-\alpha)}$$

Cobb-Douglas Üretim fonksiyonunu şu şekilde de yazabiliriz;

$$A = Y \Big/ L^{\alpha} \cdot K^{(1-\alpha)}$$

Yukarıdaki denklem toplam faktör verimliliğini vermektedir.
Toplam Faktör Verimliliğini büyüme kavramı çerçevesinde yazmak istersek, bu durumda;
Logaritmik dönüşümü kullanarak, log-doğrusal model;

$$\ln Y = \ln A + \alpha \cdot \ln L + (1-\alpha) \cdot \ln K$$

Bütün değişkenlerin büyüdüğü varsayımıyla, logaritmik fonksiyonun türevini alalım;

$$d(\ln X) = dX / X$$

Değişimi göstermektedir. Başka bir ifade ile;

$$dY / Y = dA / A + \alpha \cdot dL / L + (1-\alpha) \cdot dK / K$$

yazılabilir.
Büyüme muhasebesi şeklinde ifade edilen bu denklemde reel çıktıdaki büyüme, emek, sermaye ve toplam faktör verimliliğinden kaynaklanacaktır.
Buradan Toplam Faktör Verimliliğindeki büyüme;

$$dA / A = dY / Y - (a \cdot dL / L + (1-a) \cdot dK / K)$$

elde edilecektir.

9. ANALİZ VE YORUM

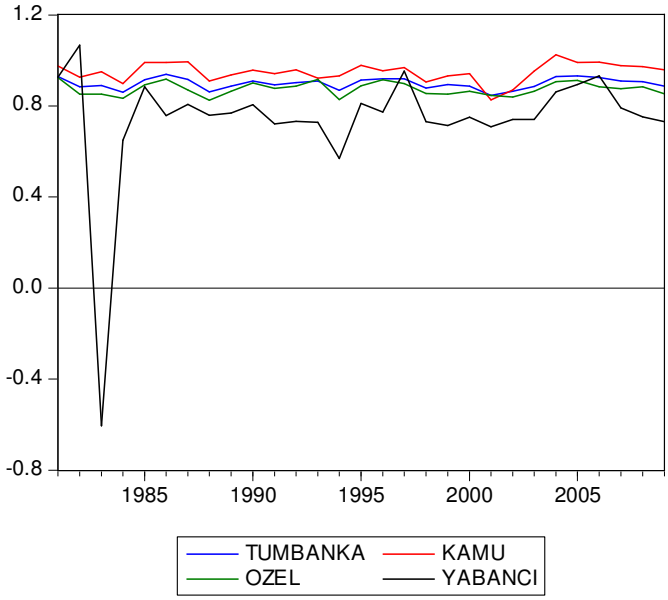
Toplam faktör verimliliği tüm bankalar, kamu, özel ve yabancı şeklinde ele alınarak 1980-2009 döneminde nasıl gelişim gösterdiği incelenmiştir. Aşağıda verilen tablo ile bankaların toplam faktör verimlilikleri gösterilmiştir.

Yıllar	Tüm Bankalar	Kamu Bankaları	Özel Bankalar	Yabancı Bankalar
1981	0.928287913	0.975735767	0.924927456	0.92683555
1982	0.884878912	0.926983627	0.852644134	1.06661903
1983	0.889295783	0.950295871	0.852731394	-0.605075402
1984	0.860605447	0.898192893	0.832782041	0.649536814
1985	0.914694119	0.991003169	0.892843273	0.88382677
1986	0.939578567	0.991719049	0.917811312	0.75749874
1987	0.916093197	0.992827575	0.86991803	0.806620756
1988	0.861799782	0.910031582	0.825517732	0.758277064
1989	0.887010505	0.935365314	0.865509338	0.768412757
1990	0.909447319	0.95725647	0.90125385	0.805653421
1991	0.892629213	0.941383408	0.876816889	0.720443084
1992	0.901970501	0.957868172	0.887180524	0.731819522
1993	0.909139625	0.923096307	0.916645765	0.72861271
1994	0.868628123	0.931535282	0.828462585	0.568626105
1995	0.91292641	0.97881552	0.888369819	0.811501815
1996	0.919544496	0.955524266	0.915200957	0.773486344
1997	0.918495608	0.968876626	0.898284451	0.953462433
1998	0.877979098	0.905046706	0.854031426	0.730232705

1999	0.89389266	0.931855844	0.852956685	0.714657476
2000	0.88808689	0.941325833	0.86447061	0.75066633
2001	0.845817597	0.825899384	0.845894046	0.707406346
2002	0.864832199	0.870530129	0.839971586	0.74037944
2003	0.885842731	0.953053298	0.864740253	0.739647972
2004	0.928645859	1.024336217	0.906359604	0.86191891
2005	0.932642065	0.991423279	0.911885547	0.894149644
2006	0.924533965	0.992436973	0.8839588	0.931264259
2007	0.910640021	0.9768534	0.875989301	0.791574236
2008	0.907324031	0.97295637	0.883312283	0.752098811
2009	0.887658039	0.959203348	0.853451768	0.731745713

Tablo 1- Bankacılık Sektörü Toplam Faktör Verimliliği

Yukarıdaki verileri grafik olarak aşağıda verilmiştir.



Grafik 1- Bankacılık Sektörü Toplam Faktör Verimliliği

Grafik incelendiğinde Kamu Bankalarının Toplam Faktör Verimliliği açısından en iyi durumda olduğu görülmektedir. 2001 yılındaki krizden de en fazla etkilendiğini söylemek mümkündür.

	TUMBANKA	KAMU	OZEL	YABANCI
Medyan	0.901971	0.955524	0.875989	0.757499
Maximum	0.939579	1.024336	0.924927	1.066619
Minimum	0.845818	0.825899	0.825518	-0.60508
Std. Dev.	0.024104	0.041373	0.028807	0.277207
Skewness	-0.332865	-0.925742	0.03251	-4.04368
Kurtosis	2.296404	4.232521	1.942509	20.60224
Jarque-Bera	1.133711	5.977743	1.356372	453.4199
Probability	0.567306	0.050344	0.507537	0

Tablo 2 – Banka Türlerine Göre Temel İstatistikler

Bankaların TFV değerleri çoğunlukla 0,8 ile 0,9 değerleri arasında salınım yapmaktadır. Bankalara ait TFV lilikleri betimsel olarak incelendiğinde en yüksek medyan değerin Kamu Bankalarında olduğu, en fazla sapma, en küçük ve en büyük değerin de yabancı bankalarda bulunduğu gözlemlenmiştir. Yabancı banka TFV serisi normal dağılmaz iken diğer verilerin normal dağıldığı da diğer ilgi çekici bir bulgudur.

10. SONUÇ

Bu çalışmada Türk bankacılık sektörünün 1981-2009 dönemi için Toplam Faktör Verimliliği bağlamında incelenmiştir. Ele alınan dönemde, 1980 sonrası siyasi kriz yanında, 1994, 2001 ve 2008 krizlerinin etkilerini görmek açısından da bu çalışma yol gösterici olmuştur. Tüm Türk bankacılık sistemi ele alındıktan sonra çalışmada kamu bankaları, özel sektör bankacılığı ve yabancı bankalar ayrı ayrı incelenmiştir. Toplam Faktör verimliliğindeki büyüme bütün bu kriz dönemlerinde etkili olduğunu görmek mümkündür. Bankacılık sektörünü kamu, özel ve yabancı olarak ayrıştırıldığında krizlerin etkilerini her kesimde görmek mümkün olmakla birlikte, yabancı bankaların diğerlerine göre daha fazla etkilendiklerini söylemek mümkündür. Özellikle 1980 sonrası yabancı bankaların TFV'leri oldukça etkilenmiştir. Kamu ve özel ayrımında ise Kamu Bankalarının TFV'lilikleri Özel Bankacılığa göre daha yüksek seyrettiğini görmekteyiz. Buna mukabil Kamu Bankacılığının krizlerden daha fazla etkilendiği de görülmektedir. Bu sonuç bankaların devlet güvencesinde olmasının önemli etkisi olduğu şeklinde yorumlamak yanlış olmayacaktır.

KAYNAKÇA

Bastı, Eyüp (2006), "2001 Finansal Krizinin Türkiye Banka Dışı Finans Sektörünün Toplam Faktör Verimliliğine Etkileri", Akademik Araştırmalar Dergisi, Vol. 7, No. 28, Feb. 2006, pp. 55-70

Karacabey, Argun (2002)." Türk Bankalarındaki Üretim Değişiklikleri ve Nedenleri". İktisat İşletme ve Finans, Cilt: 17, Sayı: 191, Yıl: 2002 Sayfa(lar): 68-78

Öncü, S. ve Aktaş, R. (2007), "Yeniden Yapılandırma Döneminde Türk Bankacılık Sektöründe Verimlilik Değişimi", Yönetim ve Ekonomi Dergisi, Cilt 14, Sayı 1, 2007

Tuncer B. ve Buyuklu, A.H. "Özel İmalat Sanayinde Toplam Faktör Verimliliği" İSO 2004

Türker Kaya,Y. ve Doğan E. (2005), "Dezenflasyon Sürecinde Türk Bankacılık Sektöründe Etkinliğin Gelişimi", Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurulu ARD Çalışma Raporları 2005/10

Ural, Mert (1999). "Bankacılık Sistemimizde Verimlilik". Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt: 14, Sayı: 2, 147-158, (1999).

Wölfl, A. and D. Hajkova (2007), "Measuring Multifactor Productivity Growth", OECD Science, Technology and Industry Working Papers, 2007/5, OECD Publishing.

Zaim,O. ve Taşkın F. (1997), "The Comparative Performance of the Public Enterprise Sector in Turkey: A Malmquist Productivity Index Approach"

OTOMOTİV ÜRETİMİ ÜZERİNE ŞANS KISITLI STOKASTİK PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI

(1) Yrd. Doç. Dr. Ersoy ÖZ, (2) Prof. Dr. İbrahim GÜNEY
(1) Yıldız Teknik Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, İktisadi ve İdari Programlar Bölümü, ersoyoz@yildiz.edu.tr
(2) İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, ibrahimguney@aydin.edu.tr

Özet
Doğrusal programlama problemlerinde model parametrelerinin önceden belirlenmesi mümkün olmayan durumlarda, parametreler tesadüfi değişkenler şeklinde olabilir. Bu tür problemler stokastik programlama problemi olarak adlandırılır. Stokastik programlamada tesadüfi değişken içeren tüm kısıtların bir olasılığa sahip olması gerekmektedir. Burada genel yaklaşım, problemin olasılıksal yapısını, problemin gerçek yapısını bozmadan ona eşdeğer olan deterministik duruma dönüştürmektir. Şans kısıtlı programlama yaklaşımı, stokastik programlama problemini deterministik programlama problemine dönüştürmek için kullanılan tekniklerden birisidir. Bu çalışmada Türkiye'deki otomotiv üretim verileri kullanılarak bir model oluşturulmuştur. Şans kısıtlı stokastik programlama problemlerindeki katsayıların normal dağılma sahip tesadüfi değişkenler olması durumunda elde edilen deterministik eşitlikler kullanılarak oluşturulan model ile ilgili çözümler ve istatistiksel yorumlar yapılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Şans kısıtlı programlama, Normal dağılım, Stokastik programlama.

CHANCE CONSTRAINED STOCHASTIC PROGRAMMING APPROACH UPON AUTOMOTIVE PRODUCTION

Abstract
In cases where the model parameters in linear programming problems cannot be predetermined, the parameters can be in the form of circumstantial variables. This kind of problems are named as stochastic programming problems. In stochastic programming, all constraints having a circumstantial variable must have a probability. The main approach here is to convert the probabilistic structure of the problem to the deterministic state equivalent to the real structure of the problem without changing it. The chance constrained programming approach is one of the techniques that are used to convert a stochastic programming problem to a deterministic programming problem. In this study, a model is constructed using automotive production data in Turkey. The solutions and statistical interpretations regarding the model constructed using the deterministic equalities obtained in the case where the coefficients in the chance constrained stochastic programming problems are circumstantial variables with normal distribution are made.
Keywords: Chance constrained programming, Normal distribution, Stochastic programming.

1. Giriş

Stokastik veya olasılıksal programlama, deterministik niceliklerden ziyade stokastik değişkenlerle tanımlanmış bir matematiksel programlama probleminin bazı veya bütün parametreleri ile ilgilenir. Stokastik programlama alanında pek çok model sunulmuştur (Stancu vd., 1976). Stokastik programlama için şans kısıtlı programlama ve iki aşamalı programlama olmak üzere iki yaklaşım vardır (Goiceoechea vd., 1982), (Kambo, 1984).
Şans kısıtlı programlama yaklaşımı ilk olarak Charnes ve Cooper (1959) tarafından geliştirilmiştir. Şans kısıtlı programlama üzerine genelleştirilmiş dağılımlar konusu ise Sengupta (1970) tarafından sunulmuştur. Sengupta çalışmasında şans kısıtlı programlamada olasılık dağılımlarının kullanımı ve duyarlılık analizlerine yer vermiştir. Çok amaçlı stokastik lineer programlama üzerine Hulsurkar vd. (1997), Türkiye'de çok amaçlı stokastik programlama problemleri üzerine ise Atalay (2006) ve şans kısıtlı stokastik programlama problemlerinin deterministik eşitlikleri üzerine Atalay ve Alpaydın (2010) çalışmışlardır.
Otomotiv sanayii, sağladığı katma değer, yarattığı istihdam ve etkileşim içinde olduğu diğer sanayii kollarıyla, ülke ekonomisindeki öncü sektörlerden biridir. Türk otomotiv sektörü de dünya otomotiv sektörüne paralel bir gelişme göstermekte, dünya pazarlarından hak ettiği payı almak için çalışmaktadır. 1970'li yıllarda mevzuat ve altyapısı oluşturulan Türk otomotiv sanayi, ekonomi ve ticaretteki tüm olumsuzluklara karşın, özellikle 1980'li yılların başından bu yana yaptığı yoğun atılımlar sayesinde dünya firmalarıyla rekabet edebilen bir sektör niteliği kazanmayı başarmıştır. Özellikle üretimde ulaşılan kalite ve nitelikli insan gücü otomotiv sektörünü, küresel pazarlar için yeni ve uygun bir üretim merkezi haline getirmiştir.
Ekonomideki olumlu gelişmeler, tüketici kredilerinin düşürülmesi ve hükümetin ÖTV desteği ile 2003 ve 2004 yılları Türk otomotiv sanayinin 2000 yılından sonraki en canlı yılları olmuştur (İzmir Ticaret Odası). Bu sektörde Türkiye genelinde üretim yapan firmaların karlılıkları ülke ekonomisine katkıda bulunmaktadır.

Türk otomobil pazarında yerli üretim ve ithal araçların verimlilikleri üzerine Yılmaz ve Karakadılar (2010), Türkiye'ye ait otomobil üretimi verilerinin farklı varyanslığının incelenmesi üzerine Aktaş ve Akkurt (2006) çalışmışlardır.
Bu çalışmanın ikinci bölümünde şans kısıtlı stokastik programlama problemi teorik açıdan ele alınacaktır. Üçüncü bölümde ise otomotiv üretim için Türkiye'de otomobil üretimi yapan dört firmanın verileri kullanılarak bir model geliştirilecek ve son bölümde modelin sonuçları ile ilgili yorumlar yapılacaktır. Üçüncü bölümde kurulacak olan modelin çözümü ve ara işlemler için LINGO, SPSS ve MatlabR2007b yazılımları kullanılacaktır.

2. Şans Kısıtlı Stokastik Programlama Problemi

Tesadüfi değerler içeren şans kısıtlı stokastik programlama problemi x_j karar değişkeninin deterministik olduğu varsayımı ile aşağıdaki biçimde ifade edilir.
Amaç fonksiyonu:

$$\max(\min)z(x)=\sum_{j=1}^{n} c_j.x_j \qquad (1)$$

Kısıtlar:

$$P\left[\sum_{j=1}^{n} a_{ij}\, x_j \leq b_i\right] \geq 1-\alpha_i \quad i=1,\ldots,m \qquad (2)$$

$$x_j \geq 0, \quad j=1,\ldots,n$$

$$\alpha_i \in (0,1),\ i=1,\ldots,m \qquad (3)$$

Problemde yer alan a_{ij}, b_i ve c_j katsayılarından herhangi birisinin veya hem a_{ij} hem de b_i'nin tesadüfi olması durumlarına göre dönüşüm işlemleri yapılmaktadır. Burada dönüşüm, stokastik programlama problemine karşılık gelen deterministik programlama probleminin bulunmasıdır. a_{ij}, b_i ve c_j katsayılarının normal dağılıma sahip tesadüfi değişkenler olması durumları dört madde halinde verilebilir.

1. Durum: Sadece a_{ij} katsayılarının tesadüfi değişken olması,
Tüm i ve j'ler için a_{ij}, $E(a_{ij})$ ortalamalı ve $Var(a_{ij})$ varyanslı normal dağılıma sahip tesadüfi değişken olsun. a_{ij} ve a_{kl} rasgele değişkenleri arasındaki kovaryansın bilindiği varsayılsın. d_i tesadüfi değişkeni aşağıdaki biçimde tanımlansın

$$d_i=\sum_{j=1}^{n} a_{ij}\, x_j, \quad i=1,\ldots,m \qquad (4)$$

$a_{i1},\ldots,a_{in}$ katsayıları normal dağılımlı tesadüfi değişkenler olduğundan ve bilinmeyen $x_1,\ldots,x_n$ karar değişkenleri ile, d_i tesadüfi değişkeni,

$$E(d_i)=\sum_{j=1}^{n} E(a_{ij}x_j),\ i=1,\ldots,m \qquad (5)$$

ve

$$Var(d_i)=X^T V_i X, \quad i=1,\ldots,m \qquad (6)$$

ile normal dağılır. Burada V_i, aşağıdaki biçimde tanımlanan i. kovaryans matrisidir.

$$V_i=\begin{bmatrix} Var(a_{i1}) & Cov(a_{i1},a_{i2}) & \cdots & Cov(a_{i1},a_{in}) \\ Cov(a_{i2},a_{i1}) & Var(a_{i2}) & \cdots & Cov(a_{i2},a_{in}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Cov(a_{in},a_{i1}) & Cov(a_{in},a_{i2}) & \cdots & Var(a_{in}) \end{bmatrix}$$

Bu durumda (2) modelinin kısıtları aşağıdaki biçimde yazılabilir.

$$P[d_i \leq b_i] \geq 1-\alpha_i$$

$\frac{(d_i)-E(d_i))}{\sqrt{Var(d_i)}}$ rasgele değişkeni sıfır ortalamalı ve bir varyanslı standart normal dağılıma sahip olduğundan,

$$P\left[\frac{d_i-E(d_i)}{\sqrt{Var(d_i)}} \leq \frac{b_i-E(d_i)}{\sqrt{Var(d_i)}}\right] \geq 1-\alpha_i, \qquad i=1,\ldots,m \qquad (7)$$

yazılabilir. $\emptyset(z)$, standart normal dağılıma sahip z'nin dağılım fonksiyonu olmak üzere,

$$P[d_i \leq b_i] = \emptyset\left[\frac{b_i-E(d_i)}{\sqrt{Var(d_i)}}\right] \qquad (8)$$

olarak yazılır. Eğer K_{α_i},

$$\emptyset(K_{\alpha_i}) = 1-\alpha_i \qquad (9)$$

olan standart normal değişkenin değeri olarak alınırsa (7) kısıtı,

$$\emptyset=\left[\frac{b_i-E(d_i)}{\sqrt{Var(d_i)}}\right] \geq \emptyset[K_{\alpha_i}], \qquad i=1,\ldots,m \qquad (10)$$

biçiminde ifade edilir (Atalay ve Apaydın, 2010). (10) eşitsizliği, sadece

$\frac{b_i-E(d_i)}{\sqrt{Var(d_i)}} \geq K_{\alpha_i}$ veya

$$E(d_i) + K_{\alpha_i}\sqrt{Var(d_i)} \leq b_i \qquad i=1,\ldots,m \qquad (11)$$

olduğunda durumda sağlanır. (11) denkleminde geçen $E(d_i)$ ve $Var(d_i)$ ifadeleri yerine (5) ve (6) denklemleri yazıldığında,

$\sum_{j=1}^{n}(a_{ij})x_j + K_{ui}\sqrt{X^T V X_i} \leq b_i \quad i = 1, \ldots, m$ (12)

eşitsizliği elde edilir. (12) kısıtı orijinal stokastik doğrusal kısıtlara denk, deterministik doğrusal olmayan kısıtlardır. Bu durumda, stokastik programlama probleminin çözümü, aşağıdaki biçimde oluşturulan deterministik doğrusal olmayan programlama probleminin çözümü ile elde edilir.

Amaç fonksiyonu:

max(min) $z(x)=\sum_{j=1}^{n} c_j x_j$

Kısıtlar:

$\sum_{j=1}^{n}(a_{ij})x_j + K_{ai}\sqrt{X^T V_i X} \leq b_i, \quad i = 1, \ldots, m$

$x_j \geq 0, \quad j = 1, \ldots\ldots, n$ (13)

Eğer tüm normal dağılımlı a_{ij} tesadüfi değişkenleri bağımsız ise kovaryans terimlerinin hepsi sıfır olacaktır ve (12) ile verilen kısıtlar,

$\sum_{j=1}^{n}(a_{ij})x_j + K_{ui}\sqrt{\sum_{j=1}^{n} Var(a_{ij})x_j^2} \leq b_i,$

i=1,….,m (14)

biçimine dönüşecektir (Huluskar vd., 1997).

2. Durum: Sadece b_i katsayılarının tesadüfi değişken olması,

b_i, $E(b_i)$ ortalamalı ve $Var(b_i)$ varyanslı normal dağılıma sahip tesadüfi değişken olsun. Bu durumda (2) kısıtı $p_i = 1 - \alpha_i$ ve $\frac{(b_i - E(b_i))}{\sqrt{Var(b_i)}}$ standart normal tesadüfi değişken olmak üzere

$P\left[\frac{b_i - E(b_i)}{\sqrt{Var(b_i)}} \geq \frac{\sum_{j=1}^{n}(a_{ij}x_j - E(b_i))}{\sqrt{Var(b_i)}}\right] \geq p_i$

i=1,,,.,m (15)

biçiminde yazılır. Bu durumda (15) ile verilen eşitsizlik

$1 - P\left[\frac{b_i - E(b_i)}{\sqrt{Var(b_i)}} \leq \frac{\sum_{j=1}^{n}(a_{ij}x_j - E(b_i))}{\sqrt{Var(b_i)}}\right] \geq p_i$

$P\left[\frac{b_i - E(b_i)}{\sqrt{Var(b_i)}} \leq \frac{\sum_{j=1}^{n}(a_{ij}x_j - E(b_i))}{\sqrt{Var(b_i)}}\right] \leq 1 - p_i$ (16)

şeklinde yazılabilir. Eğer, K_{p_i}, $\emptyset(K_{p_i}) = 1 - p_i$ olan standart normal değişkenin değeri olarak alınırsa (16)'da verilen kısıtlar aşağıdaki biçimde ifade edilebilir.

$\emptyset\left[\frac{\sum_{j=1}^{n}(a_{ij}x_j - E(b_i))}{\sqrt{Var(b_i)}}\right] \leq \emptyset[K_{p_i}]$ (17)

(17) eşitsizliği sadece

$\left[\frac{\sum_{j=1}^{n}a_{ij}x_j - E(b_i)}{\sqrt{Var(b_i)}}\right] \leq K_{p_i}, \; i = 1, \ldots, m$ veya

$\sum_{j=1}^{n}(a_{ij}x_j \leq E(b_i) + K_{p_i}\sqrt{Var(b_i)}, \quad i = 1, \ldots\ldots, m$ (18)

olduğu durumda sağlanır. Böylece (1)-(3) ile verilen stokastik doğrusal programlama problemine denk olan Deterministik doğrusal programlama problemi elde edilir (Huluskar vd., 1997).

Amaç fonksiyonu:

max(min) $z(x)=\sum_{j=1}^{n} c_j x_j$

Kısıtlar:

$\sum_{j=1}^{n}(a_{ij}x_j) \leq E(b_i) + K_{p_i}\sqrt{Var(b_i)},$

$i = 1, \ldots\ldots, m, \quad x_j \geq 0, \quad j = 1, \ldots, n,$ (19)

3. Durum: Sadece c_j katsayılarının tesadüfi değişken olması,

c_j katsayıları normal dağılıma sahip tesadüfi değişkenler olduğundan z(x), amaç fonksiyonu da normal dağılıma sahip olacaktır. z(x) in ortalaması,

$E(z(x)) = \sum_{j=1}^{n} E(c_j)x_j$ (20)

ile verilir. Böylece deterministik amaç fonksiyonu:

max(min) $E(z(x)) = \sum_{j=1}^{n} E(c_j)x_j$

Kısıtlar:

$P\left[\sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_j \leq b_i\right] \geq 1 - \alpha_i$

$i = 1, \ldots\ldots, m, \quad x_j \geq 0, \quad j = 1, \ldots, n$ (21)

şeklinde olacaktır (Taha, 2007).

4. Durum: a_{ij} ve b_i katsayılarının tesadüfi değişken olması,

$h_i = \sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j - b_i$ şeklinde tanımlanan bir tesadüfi değişken olmak üzere, (2)'de verilen kısıtlar

$$P[h_i \leq 0] \geq 1 - \alpha_i, \quad i = 1, \ldots, m \qquad (22)$$

şeklinde yazılabilir. h_i normal dağılıma sahip tesadüfi değişkenlerin doğrusal kombinasyonu olarak verildiğinden normal dağılıma sahip olacaktır. Böylece (22) ile verilen kısıt;

$$P\left[\frac{h_i - E(h_i)}{\sqrt{Var(h_i)}} \leq \frac{-E(h_i)}{\sqrt{Var(h_i)}}\right] \geq 1 - \alpha_i, \quad i = 1, \ldots, m \qquad (23)$$

şeklinde yazılacaktır. Burada $\frac{h_i - E(h_i)}{\sqrt{Var(h_i)}}$ standart normal dağılıma sahip tesadüfi değişkenlerdir.

Böylece K_{α_i}, $\emptyset(K_{\alpha_i}) = 1 - \alpha_i$ olan standart normal değişkenin değeri olarak alınırsa (23) kısıtı,

$$\emptyset\left[\frac{-E(h_i)}{\sqrt{Var(h_i)}}\right] \geq \emptyset(K_{\alpha_i}), \quad i = 1, \ldots, m \qquad (24)$$

biçiminde ifade edilir. (24) eşitsizliği sadece,

$\frac{-E(h_i)}{\sqrt{Var(h_i)}} \geq (K_{\alpha_i}), \quad i = 1, \ldots, m$ veya

$$E(h_i) + K_{\alpha_i}\sqrt{Var(h_i)} \leq 0, \quad i = 1, \ldots, m \qquad (25)$$

olduğu durumda sağlanır. Bu durumda olasılıksal doğrusal programlama problemine denk olan doğrusal olmayan deterministik programlama problemi, h_i rasgele değişkenlerinin de yerine yazılmasıyla

Amaç fonksiyonu:

max(min) $z(x) = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j$

Kısıtlar:

$$E\left(\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j - b_i\right) + K_{\alpha_i}\sqrt{Var\left(\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j - b_i\right)} \leq 0, \quad i = 1, \ldots, m,$$

$$x_j \geq 0, \quad j = 1, \ldots, n \qquad (26)$$

biçimine dönüşür (Atalay ve Apaydın, 2010).

3. Uygulama

Modelde yer alacak veriler Otomotiv Sanayii Derneği tarafından yayınlanan istatistik bülteninden alınmıştır. 2009 yılı itibarı ile Türkiye'de otomotiv üretim faaliyetinde bulunan onbeş firma bulunmaktadır. Onbeş firmaya ait tüm veriler dikkate alındığında çok farklı üretim tipleri (otomobil, kamyon, kamyonet vs.) mevcuttur. Bunların tümünün modele katılması güç olduğundan dolayı modelde sadece otomobil üretimi yapan firmaların verileri kullanılacaktır. Bu bağlamda sadece otomobil üretimi yapan dört firma ve karar değişkenleri aşağıda verildiği biçimde kullanılmıştır.

Tablo 1: Karar değişkenleri

Karar Değişkeni	Firma
x_1	Honda Türkiye
x_2	Oyak Renault
x_3	Tofaş-Fiat
x_4	Toyota

Yukarıda yer alan karar değişkenlerine göre modelin amacı, 2010 yılı için Türkiye'de otomobil üretimi yapan dört firmanın toplam karını maksimum yapmaktır. Bu durumda oluşturulan amaç fonksiyonu;

max $z(x) = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j = c_1 x_1 + c_2 x_2 + c_3 x_3 + c_4 x_4$

şeklinde olacaktır. Amaç fonksiyonunda yer alan c_j katsayıları firmaların bir otomobilden elde ettikleri karı göstermektedir. Bu katsayılar her bir firma için 2005-2009 yılları arasında elde edilen karların ortalaması alınarak aşağıdaki biçimde bulunmuştur.

Tablo 2: Amaç fonksiyonu katsayı tahminleri

Katsayı	Ortalama Kar (TL)
c_1	1752
c_2	2157
c_3	2162
c_4	2555

Sadece c_j katsayılarının tesadüfi değişken olduğunda stokastik modele karşılık gelen deterministik model 3. Duruma göre aşağıdaki biçimde yazılabilir:

max $z(x) = 1752x_1 + 2157x_2 + 2162x_3 + 2555x_4$

Otomobil üretiminde çalışan kişi sayısı model için bir kısıt olacaktır. 2005-2009 yılları arasında her bir firma için çalışan kişi sayıları toplanarak yıllık çalışan kişi sayısı bulunmuştur. Bu değerler lineer regresyon uygulanarak çalışan kişi sayısını veren regresyon denklemi bulunmuştur. 2010 yılı için çalışacak kişi sayısı regresyon denklemi kullanılarak 19425 olarak belirlenmiştir. Bu durumda modele ait kısıt aşağıdaki biçimde olacaktır:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + a_{14}x_4 \leq 19425$$

Her bir firma için 2005-2009 yılları arasında üretilen araç ve çalışan personel sayıları kullanılarak bir araç üretmek için gerekli personel sayısı için ortalama ve varyanslar bulunmuştur.
Tablo 3: Personel sayısı kısıtı katsayıları için ortalama ve varyanslar

Katsayı	Ortalama	Varyans
a_{11}	0.044	0.009
a_{12}	0.022	0.005
a_{13}	0.032	0.005
a_{14}	0.024	0.009

Bu kısıtın gerçekleşme olasılığının %95'e eşit veya daha büyük olması durumunda ve sadece a_{ij} katsayılarının tesadüfi değişken olduğunda stokastik modele karşılık gelen deterministik model 1. Duruma göre aşağıdaki biçimde yazılabilir:

$$0.044x_1 + 0.022x_2 + 0.032x_3 + 0.024x_4$$
$$+1.645\sqrt{0.009x_1^2 + 0.005x_2^2 + 0.005x_3^2 + 0.009x_4^2} \leq 19425$$

Otomobil üretimi için 2010 yılında oluşacak talep değeri modelin ikinci kısıtını oluşturacaktır. Talep değerleri için 2005-2009 yıllarında oluşmuş olan değerlerin ortalaması 300895 ve varyansı 13659298129 olarak bulunmuştur. Bu kısıtın gerçekleşme olasılığının %95'e eşit veya daha büyük olması durumunda ve sadece b_i katsayılarının tesadüfi değişken olduğunda stokastik modele karşılık gelen deterministik model 2. Duruma göre aşağıdaki biçimde yazılabilir:

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 \leq 300895 + 1.645\sqrt{13659298129}$$
$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 \leq 493151$$

Modelde yer alan karar değişkenleri için 2010 yılı üretim kapasiteleri sırası ile 50000, 360000, 400000 ve 150000 olarak verilmiştir. Bu değerlere göre aşağıdaki kapasite kısıtları yazılabilir.

$$x_1 \leq 50000$$
$$x_2 \leq 360000$$
$$x_3 \leq 400000$$
$$x_4 \leq 150000$$

Yukarıda hesaplanan tüm ortalama ve varyans değerlerinin tesadüfi değişken olması ve normal dağılıma uymaları durumuna göre model aşağıdaki biçimde oluşturulmuştur.
Amaç fonksiyonu:

$$\max z(x) = 1752x_1 + 2157x_2 + 2162x_3 + 2555x_4$$

Kısıtlar:

$$0.044x_1 + 0.022x_2 + 0.032x_3 + 0.024x_4 + 1.645\sqrt{0.009x_1^2 + 0.005x_2^2 + 0.005x_3^2 + 0.009x_4^2} \leq 19425$$
$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 \leq 493151$$
$$x_1 \leq 50000$$
$$x_2 \leq 360000$$
$$x_3 \leq 400000$$
$$x_4 \leq 150000$$

Stokastik olarak kurulan modelin deterministik karşılığı doğrusal olmayan programlama problemi olup çözümü için LINGO programı kullanılmıştır. Program'da amaç fonksiyonu ve kısıtların kullanımı ile modelin çözümü Ek1'de sunulmuştur.

4. Sonuç ve Yorumlar

Türkiye'de otomobil üretimi yapan dört firma için çalışan personel sayısı, talep değerleri ve kapasite kısıtları kullanılarak 2010 yılında elde edilecek karı maksimum yapmak adına kurulan modelin çözümünden sonra elde edilen karar değişkenlerinin değerleri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4: Karar değişkenlerinin değerleri

Karar Değişkeni	Değeri (Adet)
x_1	18000.97
x_2	72808.57
x_3	62797.80
x_4	49083.30

Karar değişkenlerinin değerlerine göre maksimum kar 449762400 TL olarak bulunmuştur.
Bu çalışmada ele alınan model için kısıt sayısının arttırılması ile daha gerçekçi sonuçlar çıkacağı aşikardır. Ayrıca modele, ulaşılan veriler çerçevesinde kısıtlar konulmuştur. Bu noktada firma bazında daha çok veri elde edilebilmesi ile kurulacak modelin daha kesin sonuçlar vereceği açıktır.
Çalışmada ele alınan verilerin normal dağılıma uyan tesadüfi değişkenler olduğu görülmüştür. Teorik açıdan incelenen modelde de normal dağılım ile ilgili dönüşüm incelenmiştir. Ele alınacak tesadüfi değişkenlerin ki-

kare dağılımına uyması durumu Atalay ve Apaydın (2010) tarafından incelenmiş olup diğer dağılımlar ile ilgili teorik bir bakış açısı tam olarak geliştirilememiştir. İleride yapılacak çalışmalarda bu noktanın göz önünde bulundurulması yararlı olacaktır.

Kaynakça

Aktaş Cengiz ve Akkurt Hülya, ARCH Modelleri ve Türkiye'ye Ait Otomobil Üretimi Verilerinin Farklı Varyanslığının İncelenmesi, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, Sayı. 16, Aralık 2006, 87-106.

Atalay Kumru Didem, Çok Amaçlı Stokastik Programlama Problemlerine Etkileşimli Bulanık Programlama Yaklaşımı, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı, 2006.

Atalay Kumru Didem, Apaydın Ayşen, Şans Kısıtlı Stokastik Programlama Problemlerinin Deterministik Eşitlikleri, Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, Cilt. 1, Sayı. 1, 2010, 1-13.

Charnes A. ve Cooper W.W., Chance-Constrained Programming, Management Science, Vol. 6, No. 1, 1959, 73-79.

Goicoechea A., Hansen D.R. ve Duckstein L., Multiobjective decision analysis with Engineering and Business Applications, New-York: Wiley, 1982.

Hulsurkar Suwarna, Biswal M.P., Sinha S.B., Fuzzy programming approach to multi-objective stochastic linear programming problems, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 88, 1997, 173-181.

İzmir Ticaret Odası web portalı, www.izto.org.tr/NR/rdonlyres/7475BDA1-95B7.../otomotiv.pdf (21.03.2011).

Kambo N.S., Mathematical Programming Techniques, Affiliated East-West Press Pvt. Ltd., 1984.

Otomotiv Sanayii Derneği, http://www.osd.org.tr/cata2010.pdf (12.03.2011).

Sengupta J. K., A Generalization of Some Distribution Aspects of Chance-Constrained Linear Programming, International Economic Review, Vol. 11, No. 2, 1970, 287-304.

Stancu-Minasian I.M. ve Wets M.J., A research bibliography in stochastic programming, Oper. Res., Vol. 24, 1976, 1078-1119.

Taha Hamdy A. , Operations Research: An Introduction, New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2007.

Yılmaz Nurgün Komşuoğlu, Karakadılar İbrahim Sarper,Türk otomobil pazarında yerli üretim ve ithal araçların verimliliklerinin veri zarflama analizi ile değerlendirilmesi, Marmara Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi, Cilt. XXVIII, Sayı. I, 2010, 499-521.

Ek 1: LINGO Programı model ve model çözümü.

```
MAX = 1752*x + 2157*y+2162*z+2555*t;
0.044*x+0.022*y+0.032*z+0.024*t+
1.645*(0.009*x*x+0.005*y*y+0.005*z*z+0.009*t*t)^(1/2) <= 19425;
x+y+z+t<=493151;
x<=50000;
y<=360000;
z<=400000;
t<=150000;
```

Local optimal solution found.
Objective value: 0.4497624E+09
Infeasibilities: 0.000000
Extended solver steps: 5
Total solver iterations: 190

Model Class: NLP

Total variables: 4
Nonlinear variables: 4
Integer variables: 0

Total constraints: 7
Nonlinear constraints: 1

Total nonzeros: 16
Nonlinear nonzeros: 4

Variable	Value	Reduced Cost
X	18000.97	0.000000
Y	72808.57	0.000000
Z	62797.80	0.000000
T	49083.30	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	0.4497624E+09	1.000000
2	0.000000	23153.79
3	290460.4	0.000000
4	31999.03	0.000000
5	287191.4	0.000000
6	337202.2	0.000000
7	100916.7	0.000000

Determination of Optimal Kitchen Faucets Styles By A New Genetic Algorithm

Ezgi AKTAR DEMIRTAS[2], F. Burcin OZSOYDAN[3],

ABSTRACT
In this study, an integrated Genetic Algorithm (GA) with Ordinal Logistic Regression (OLOGREG) is proposed and implemented to explore user perceptions about kitchen faucet styles and to find optimal levels of design parameters related to product appearance. The objective function of the GA evaluates the probabilities due to the OLOGREG Model using the scores granted by the users for 8 kansei words. OLOGREG Model determines the relations between kansei words and overall preference scores. It gives clues as to how the most preferred product styles are described by the users and the image characteristics of these products. By this new GA, product categories are classified as unfavorable and favorable, and three products are determined in which category they may most probably take place.

Keywords: User Centered Product Design, Kansei Engineering, Genetic Algorithms, Kitchen Faucet

1. Introduction

Today, when competition has reached incredible levels in both national and international markets, companies that are able to provide products which meet customers' demands and expectations for the most appropriate price in the shortest amount of time gain an important advantage in competition. Companies need to understand their customers better, and to develop and improve their designs for more satisfaction of them.
Product development approaches such as Quality Function Deployment (QFD) help design user-centered products paying attention to aspects such as performance, reliability, durability and cost of the product. While expectations related to product performance have been important in current studies, the number of studies that focus on emotional expectations from a product is on rise (Khalid and Helander, 2006). Developed by Nagamachi at Hiroshima University, Kansei Engineering (KE) is used to measure and include users' feelings and perceptions about a product in the product design process (Nagamachi, 1995).
Kansei Engineering is performed according to two definition processes each spanning a vector space according to the product domain chosen beforehand. These processes are spanning of product characteristics space and that of kansei word (semantic) space, which is used to express user feelings. Then, the synthesizing stage comes in order to determine which product characteristics (design parameters and related levels) affect which feelings. After synthesizing, verification studies are carried out and both vector spaces are updated when necessary, thereafter synthesizing process is repeated (Shütte, 2002).
It is possible to classify Kansei Engineering (KE) applications in the literature into two groups. Studies in the first group are about determination of user feelings (kansei words) towards a product or a product group, and about determination of product styles or images. Studies in the second group are about determination of kansei words that affect users' overall preferences, and relations between kansei words and design parameter levels. Researchers have generally used Linear Regression (LR) or Correlation Analysis in determining kansei words that are related to users' overall preferences. They have also used statistical methods such as Hayashi's Quantification Theory (HQT) and Conjoint Analysis (CA) to determine relations between the overall preferences/words and the design parameter levels (Demirtas et al., 2009). Furthermore, several researchers have used Artificial Neural Networks-ANN (Hsiao and Huang, 2002; Lai et al., 2006), Fuzzy ANN (Hsiao and Tsai, 2005) Grey Relational Analysis and ANN (Lai et al., 2005) and GAs (Hsiao et al., 2010; Poirson et. al., 2007; Kim and Cho, 2000) for the same purpose.
There exist some drawbacks of the statistical methods used in the literature for modeling relations between overall preferences and kansei words, or design parameter levels. Some of these drawbacks are due to the SD Scale, which is developed by Osgood et al. (1957) to collect data for the analysis. Products are typically evaluated on a scale of 1-5, 1-7, or 1-9 according to negative-positive word pairs. Since such data are of categorical nature, using statistical methods such as LR is inappropriate. In order to use LR, the independent variable, overall preference is expressed as a continuous one by taking the averages of different users' overall preferences and likewise averages of kansei word scores on the basis of the product. However, it is not

[2] Eskisehir Osmangazi University, Industrial Engineering Department, 26480, Eskisehir, TURKEY, Phone: 90 222 239 37 50,
e-mail: eaktar@ogu.edu.tr
[3] Eskisehir Osmangazi University, Industrial Engineering Department, 26480, Eskisehir, TURKEY, Phone: 90 222 239 37 50,
e-mail: fbozsoydan@ogu.edu.tr

appropriate to take the averages of data measured on an ordinal scale. Besides, the use of average values leads to data loss. Furthermore, it is observed that while effects of kansei words and design parameters on overall preferences are investigated in the current studies, the interaction effects of them are neglected, or cannot be calculated as in CA. On the other hand, methods such as ANN do not provide a model that show which kansei words or design parameters affect overall preferences of the product. Additionally, these modeling approaches have their own problems such as overfitting.

To overcome these drawbacks, Demirtas et al. (2009) proposed a two-stage OLOGREG approach. In this study, Synthesizing stage is performed after spanning kansei word and product characteristics spaces based on a chosen kitchen faucet domain. Synthesizing is composed of two stages. At the first stage, relations between kansei words and overall preference scores are studied using OLOGREG, which can be used when dependent variables are measured on an ordinal scale, and it allows taking interaction effects into account. The OLOGREG Model obtained at this stage gives clues as to how the most preferred product styles are described by the users and the image characteristics of these products. This model can also be used to confirm if a product design will be highly preferred by customers. At the second stage, the relations between overall preferences scores and design parameter levels related to the product appearance are modeled by using OLOGREG again.

In this study, a new GA integrated with OLOGREG is proposed. By using this new GA, OLOGREG Models at the second stage could be omitted. Fitness values are calculated as probabilities by using the OLOGREG Model proposed in eq.5. Then, the best design parameter levels for visual perceptions are obtained. Moreover, product categories are classified as unfavorable and favorable and three products are determined for each category.

GA simulates the evolutionary process of organisms in the natural world (Holland, 1992). As in the natural world, following generations of organisms are created by crossovers and mutations. Then the natural selection is performed according to a specified criterion. At this point, the experiences of the previous generations are crucially essential. In addition GA is one of the many optimization methods applied in the marketing literature. GA is comparatively more effective at searching the entire solution space (Hsiao et. al., 2010). On the other hand, to the best of our knowledge, the literature does not include a thorough development of OLOGREG and GA used together. Motivated with these ideas, in this study a new GA is developed and applied to the problem of determination of optimal kitchen faucet styles.

2. Choosing the Product Domain

As mentioned in the previous studies of the authors (Demirtas et al., 2009), kitchen faucets, compared to sink and bath faucets, have more product characteristics that can affect the users' emotions and feelings. Therefore, kitchen faucets, specifically standard home type models, which are extensively produced by six leading companies in the domestic market under study, are chosen as the subject matter. These standard models are preferred by most of the users, they are fixed on the sink and their spouts are on their body. Because it is difficult and time consuming for users to evaluate too many products, study area was restricted to include models which have single on/off handle (mixer type) with similar prices.

3. Spanning of the Semantic Space

After the product is chosen, as Shütte (2002) suggests, kansei words that express users' visual perceptions are gathered by studying the current literature, product catalogues, magazines, manuals, and interviewing with representatives, potential and experienced final users. Then, these kansei words are listed as negative-positive word pairs. Because the users are to evaluate the drawings of the products using these words, it is made sure that words that express visual perceptions are highlighted. Since it is considered that the handle and stem types affect grasp and comfort, word pairs of "easy-difficult to use" and "convenient-inconvenient for washing" are also listed. Finally 47 word pairs have been defined.

Using too many words increases the time to fill out the questionnaire and decreases the data quality. Hence, an administrator and two product designers who work in product design department of a kitchen faucet producer have been asked to group 47 word pairs that express visual perceptions by using an Affinity Diagram. As a result, 11 word groups shown on Table 1 are obtained. In order to assess users' overall preferences "overall bad-good" word pair is added to the list.

Table 1. Kansei word pairs

1 Difficult-Easy to grasp	5.Mat-Bright	9.Inconvenient-Convenient for washing
2. Usual-Unusual	6.Conventional-Innovative	10.Eccentric-Moderate
3.Disharmonious-Harmonious parts	7.Coarse-Elegant	11.Sharp-Smooth
4.Unappealing-Appealing	8.Plain-Showy	12.Overall Bad-Good

4. Spanning of the Product Characteristics Space

In order to identify product characteristics and their alternative levels that help define different product styles, technical documents about the product, literature related to the subject matter, manuals, interviews with experts and experienced users have been utilized as also suggested by Shütte (2002).

The mixer kitchen faucets are divided into two groups each with unique characteristics and levels. Groups are formed considering the position of the handle (handle at the top or by the side). The characteristics and levels of these models are shown in Tables 2 and 3.

Table 2. Product characteristics and design parameter levels of the models with handle at the top

Product characteristics	**Design parameter levels**			
Body Geometry	1.Cylindrical	2.Monoblock	3.Cubic	
Stem Type	1.Angled	2.Curved	3.Swan	
Handle Type	1.Standart	2.Holed	3.Stick	4.Joystick
Color	1.Chrome	2.Mat chrome	3.Chrome Gold	4.Granite

Table 3. Product characteristics and design parameter levels of the models with handle by the side

Product characteristics	**Design parameter levels**			
Body Position	1.Horizontal	2.Vertical		
Body Geometry	1.Cylindrical	2.Conic	3.Cubic	
Stem Type	1.Angled	2.L-Type	3.Curved	
Handle Type	1.Standart	2.Holed	3.Stick	
Color	1.Chrome	2.Mat chrome	3.Chrome Gold	4.Granite

For kitchen faucets with handle by the side, the total number of design alternatives is $2^1 \times 3^3 \times 4^1 = 216$, for those with handle at the top it is $3^2 \times 4^2 = 144$. However, it is not practically possible, or necessary, to develop a prototype or a picture for each of these alternative designs. Moreover, asking the users to rank or grade all alternatives may not lead to reliable results. A fractional factorial experimental design such as Taguchi's L-16 orthogonal array (Phadke, 1989) might be sufficient to explore the relations between kansei words (or design parameters) and overall preferences. Using this experimental layout, 16 different combinations of design parameter levels are obtained for each of the two product groups (handle at the top and by the side). Three dimensional (3-D) drawings (front and side views) of these product designs (styles) are created. Then, users' visual perceptions are measured for each of these drawings as well as three currently available product styles in the market for each of the two product groups. The drawings developed for models with handles at the top and those with handles by the side are shown in Figures 1 and 2, respectively. The last three products in these figures are those which are already available in the market.



Figure 1. Faucet Styles (Handle at the top)

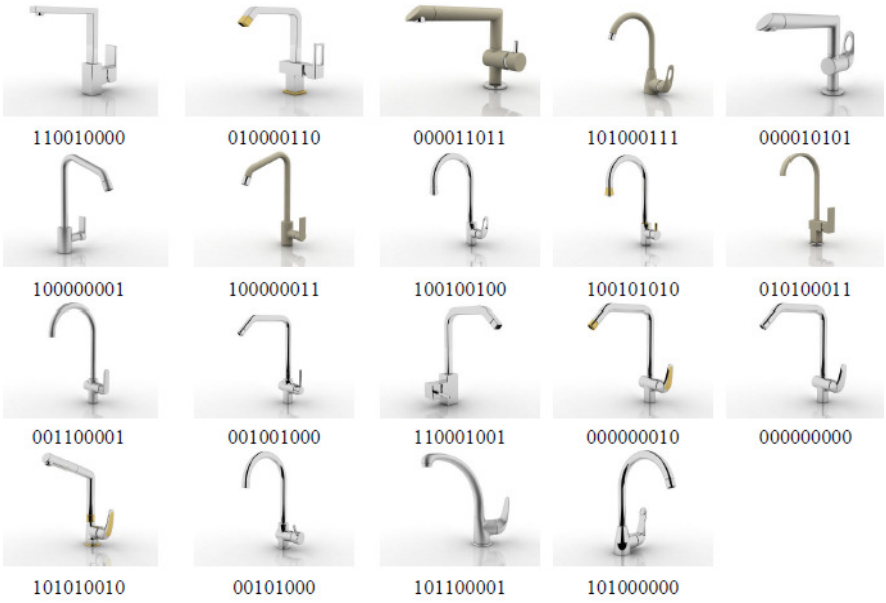


Figure 2. Faucet Styles (Handle by the side)

5. Synthesizing

At the synthesizing stage, a questionnaire is designed for users to match kansei words with the product drawings. The questionnaire is composed of two sections. In the first section there are demographic questions which include users' personal information such as gender, marital status, and social status, level of income and age, whereas in the second section a SD Scale is used to evaluate the product styles according to kansei words. For each product style and kansei word pair the user is asked to choose a number between 1 and 7, 1 indicating the negative word and 7 indicating the positive word in the pair. In order to test the reliability, factor structure and validity of the questionnaire, it is administered to 38 individuals representative of the target population with certain characteristics of age, gender, occupation and income. The users are asked to answer 12 questions in the questionnaire by showing each one of the product styles selected randomly (without replacement). Cronbach alpha (0.665) coefficient which is obtained as a result of the reliability analysis proved the scale reliable.

All of the products in Figures 1 and 2 should be evaluated by every individual in a representative group of users for collecting the data necessary for modeling the relations and finding the optimal product styles. According to the sales managers and the market surveys of the company, women constitute 70% of kitchen faucet users. However, the total number of users who are targeted for the product groups in the domestic market is not exactly known. So, the user ratio preferring (p) and not preferring (1-p) the brand is assumed as 0.5 (as suggested for such cases by Kish, 1995); the required sample size at α=0.05 significance level with e=0.01 error is figured out as 96 using Equation (1):

$$n = \frac{z_{\alpha/2}^2 \, p(1-p)}{e^2} \qquad (1)$$

Because women constitute 70% of the user population, using proportional distribution approach in stratified sampling, 100 users, 70 of which are women and 30 of which are men, are chosen to administer the questionnaire. Other characteristics such as age, income level and marital status of people participating in the survey are also considered in selecting a representative sample.

In the following section, at the stage of the determination of kansei words which have significant effects on the overall preference scores, OLOGREG is used.

5.1. Determination of the relation between kansei words and overall preference scores using OLOGREG

Logistic Regression is used to model relations between a categorical (binary, ordinal, nominal) dependent variable and some independent variables (continuous or categorical). According to this method, effects of independent variables (X_i's) on the probability that the dependent (Y) variable belongs to a category are measured. OLOGREG is used when the dependent variable is measured on an ordinal scale (Hosmer and Lemeshow, 2000). In this study, interaction effects of all words are included in the model with OLOGREG, and instead of average scores (Hsu et al., 2000; Chuang et al., 2001), the scores of each user are considered.

The notation is as follows:

m : The number of situations to be encountered (the values that the dependent variable can take) (m=7)

k : The number of kansei word (pairs) to be used in evaluation (k=11)

a_i : Constant term of situation i (i= 1,…,m-1)

X_j : Number between 1 and 7, chosen for kansei word pair j

β_j : Coefficient of kansei word (pair) j (j= 1,…,k)

θ_i : Logit link function of situation i (i= 1,…,m-1)

λ_i: Cumulative probability of Y taking a value i and less than i.

$$\lambda_i = P(Y \le i) \; ; \; P(Y = m) = 1 - \lambda_{m-1}, \quad i = 1,..., m-1 \qquad (2)$$

$$\theta_i = a_i + \sum_{j=1}^{k} \beta_j X_j + \sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{k-1} \beta_{ij} X_i X_j, \quad i = 1,..., m-1 \qquad (3)$$

$$\theta_i = \ln\left(\frac{\lambda_i}{1-\lambda_i}\right); \qquad \lambda_i = \frac{1}{1+e^{-\theta_i}}, \quad i = 1,\ldots, m-1 \qquad (4)$$

The initial model has included all kansei words and their interactions. It is modified in such a way that the coefficients of all kansei words and interactions remaining in the model are significant ($p<0.05$). The resultant logit link function is shown in equation (5) for λ_5.

$$\theta_5 = 4.285 - 0.066X_1 - 0.073X_2 - 0.144X_3 - 0.289X_4 + 0.055X_5 - 0.182X_7 - 0.092X_{10} - 0.077X_{11} \qquad (5)$$

p values of Pearson and Deviance χ^2 statistics are measured to be 0.598 and 1, respectively. Hence, there is not sufficient statistical evidence to state that the model does not fit the data at the significance level of 5%.

It is observed that the interaction effects are not significant in this model. However, this may not necessarily be the case in general. For example, for mat faucets curved stems could be preferred more, but for bright faucets angled stems could be preferred more, in another study.

According to the OLOGREG Model shown in eq.5, faucets identified as easy to grasp, unusual, harmonious, appealing, not bright (mat), elegant, moderate, and with a curved stem increase the probability of overall preference scores being over 5.

This OLOGREG Model gives information about how the faucets with high preference scores are described by the users. This information can be utilized in testing alternative faucet styles for overall preference. Instead of simply asking the users if they like the overall style of a product, it is more reliable to let them describe their feelings and perceptions about the product. As long as these descriptions match with those of highly preferred product styles, it can be trusted that the product style under consideration is a desirable one. The verification results of this model were mentioned in the previous studies of the Demirtas et al. (2009).

5.2. Determination of the Optimal Design Parameter Levels with New GA

GA was firstly proposed by John Holland in early 1970s. It simulates the natural evolution processes like crossover, mutation and natural selection for the survival of the organisms in the following generations. GA provides a very efficient search method working on population, and has been applied to many problems of

optimization and classification (Chamber, 1995; Goldberg, 1989). The GA procedure applied in this study is given below in Figure 3.

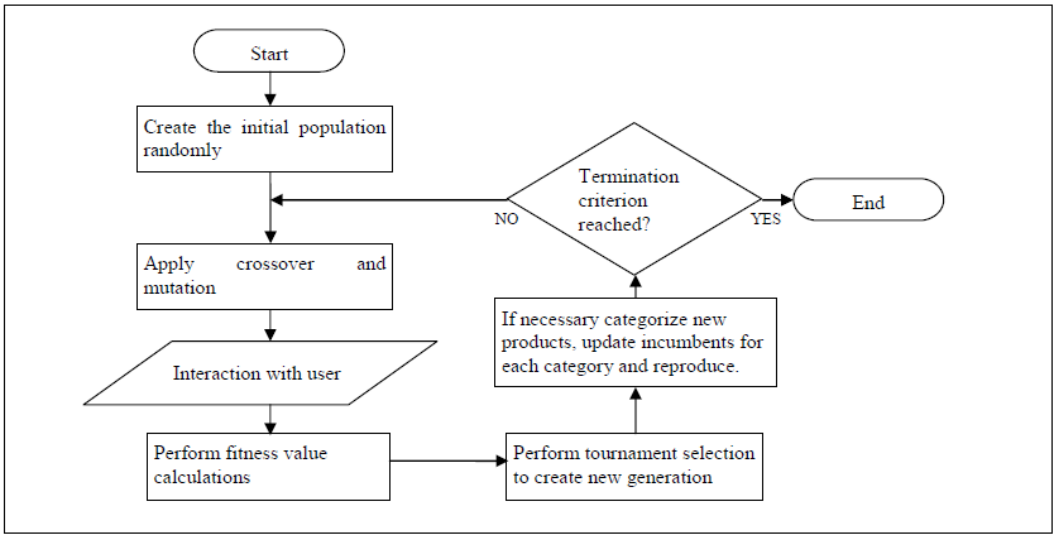


Figure 3. Flow diagram of the GA

A stepwise approach of the figure is as follows.

Step 1. Initial population is generated randomly in this step. A larger population may be more effective for obtaining better results but may be time consuming and may lower the data quality. Hence population size is fixed to 10 in this study.

Step 2. According to the crossover and mutation rate, crossover and mutation operations are performed and new chromosomes are created. Crossover and mutation rates are defined as 0.15 and 0.05 respectively.

Step 3. GA uses the probabilities derived from eq.5 as fitness values.

Step 4. Incumbent solutions for each product groups are memorized. If necessary, incumbent solutions and product groups are updated in this step.

Step 5. Termination test is performed in this step. Two methods are adopted in this study. First one is the iteration limit and the second one is obtaining probabilities bigger than 0.95 for three products for each product groups. If at least one of these two conditions is satisfied than the algorithm is terminated. Else go to the Step 6.

Step 6. Fixed to a tournament size of 2, a tournament selection is performed in this step and new generation made up of 10 new chromosomes is created. Return to the Step2.

To show a combination of a kitchen faucet, binary bit strings were preferred. For the kitchen faucet models with handle at the top, there are 4 factors having 3, 3, 4, and 4 design parameter levels, respectively shown in Table 2. For each factor, 2 bits were used and a total of 8 bits chromosomes were used to encode a model with handle at the top. In addition a repair procedure is adapted for the first and second factors. For instance, cylindrical body geometry, a curved stem type, stick handle type and granite color for kitchen faucet model with handle at top is encoded as a chromosome shown in Figure 4.

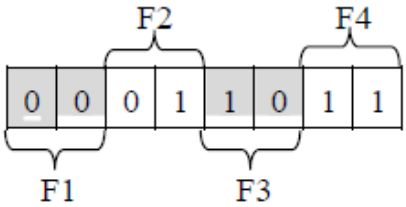


Figure 4. An encoded chromosome for a model with handle at the top

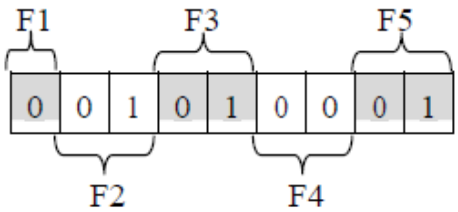


Figure 5. An encoded chromosome for a model with handle by the side

The factors and design parameter levels for the kitchen faucet models with handles by the side were given in Table 3. For such models, 5 factors exist whereas 4 did for the first type models. Hence one more bit is inserted to the same chromosome structure to encode a 2 leveled factor and new structure is created. For example, a chromosome for a horizontal body positioned, having cubic body geometry, an L-type stem, a standard handle type and a mat chrome color kitchen faucet with handle by the side is given in Figure 5. In addition genetic codes for 19 kitchen faucet models with handles by the side and 19 kitchen faucet models with handles on top were given in Figure 1 and Figure 2, respectively.

GA, developed in this study was applied to kitchen faucets with handles by the side and with handles at the top distinctly and it was aimed to obtain two product categories as unfavorable and favorable for each type of models. The first category (unfavorable) includes the products which posses a probability of higher than 0.5 to be granted less than or equal to 3 overall points whereas the second category (favorable) spans the products which posses a probability of higher than 0.5 to be granted greater than or equal to 6 overall points. These two categories were kept for research; however the second product category holds a greater level of importance for manufacturers. Hence 3 products for each category were listed and each product with the greatest probability from these categories are assigned as incumbent1 and incumbent2, respectively. Incumbent 2 is the best product proposed by the GA.

A new fitness value function based on eq.5 obtained in the section 5, was integrated to GA and to the best of our knowledge this approach has not been performed before in the literature. The model is explained in 5.1 in details. GA calculates the probabilities for each chromosome in population due to the scores, granted for 8 kansei words for each product. Considering the data quality, population size is fixed to 10 and 15 generations were created. A greater population size may cause a data quality loss because of the reason that each chromosome has to be granted by the subjects for 8 kansei words.

One crucial criterion that affects the performance of the GA is the selection and reproduction phase. Tournament selection is performed among two individuals in the GA developed in this study. If the individuals belong to the same category, then the product with greater probability is chosen and copied to the next generation unless they both belong to the first category. Such a special case occurs in the first category. Because the products in the first category are thought to be unfavorable by the subjects, the individual with less probability is selected and copied to the following generation. One more consideration criterion is the product category index. If the category index of an individual is greater than the other, the individual with greater product category index wins the tournament and selected for the following generation. By this tournament selection, it's aimed to give more chance to exist to the chromosomes relatively more promising and from superior product category.

Design parameter levels of the most favorable and unfavorable products and their probabilities determined by proposed GA are presented in Figure 6 and 7 for the kitchen faucets handle by the side and handle at the top. The most favorable styles maximize the probability of greater than or equal to six overall points whereas the most unfavorable styles maximize the probability of less than or equal to three overall points.

In our study, the number of factors and levels are reasonable in comparison with the other studies but the significant contribution to the literature of this new GA versus statistical techniques such as HQT, LR, CA or OLOGREG is ability to handle too much factors and levels for determination of the optimal design parameter levels.



Figure 6. Kitchen faucet styles obtained by GA (handle by the side).

Favorable	Unfavorable
	
00011101	00100100
	
01001001	00101001
	
10011111	01000110

Figure 7. Kitchen faucet styles obtained by GA (handle at the top).

6. Conclusions

In this study, a GA with a new objective function is proposed and implemented to explore user perceptions about kitchen faucet styles and to find optimal levels of design parameters related to the product appearance. The objective function of the GA evaluates the probabilities due to the OLOGREG Model (1) using the scores granted by the users for 8 kansei words. OLOGREG Model (1) determines the relations between kansei words and overall preference scores. By the proposed GA, product categories are classified as unfavorable and favorable and three products are determined for each category.

Despite including fewer design attributes and levels than as in the literature, this paper is a proposition of how to make a hybrid approach of one of the statistical models, OLOGREG with GA. This approach was performed for 2 types of kitchen faucet styles. Considering the score granting procedure for 8 kansei words, in fact number of the design attributes and their levels are quite appropriate in the name of data quality.

The modeling and optimization approach developed and demonstrated in this study for kitchen faucets can be adapted to any product design especially concerning the product styles or visual appearances. In applications of the approach, the following points should be given special care: selection of proper customer (user) segments; through understanding of customer needs and expectations; determination of kansei word pairs in the native language of the customers; selection of a representative group of (potential or real) customers for questionnaire applications; selection of design parameter levels without being influenced too prematurely by cost and technology limitations; determining product style alternatives using fractional factorial designs; preprocessing of the collected data for missing values, inconsistencies and correlations; proper interpretation and confirmation of the results.

The product styles determined in this manner should be advanced into detailed designs considering cost, technology, performance, reliability, durability and safety. Innovative solutions that preserve the recommended styles, but yield high performance at low cost should be sought for. In any case, style change requests found necessary at these other product development stages can be evaluated and their visual perceptions can be confirmed as sufficiently high by using the models developed by the proposed approach of this study.

References

Chamber, L, 1995. Practical Handbook of Genetic Algorithms. CRC Press, Boca Raton, FL.
Chuang, MC, Mab, YC. Expressing the expected product images in product design of micro-electronic products. Int. J. Ind. Ergonom. 2001; 27:233-45.
Demirtas, EA, Anagun, AS, Koksal, G. Determination of optimal product styles by ordinal logistic regression versus conjoint analysis for kitchen faucets. Int. J. Ind. Ergonom. 2009; 39:866-75.
Goldberg, DE, 1989. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley, Reading, MA
Holland, JH, 1992. Adaptation in Natural and Artificial Systems, second ed. MIT press.
Hosmer, DW, Lemeshow, S. Applied Logistic Regression. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc; 2000.
Hsiao, SW, Chiu, FY, Lu, SH. Product-form design model based on genetic algorithms. Int. J. Ind. Ergonom. 2010; 40:237-246.
Hsiao, SW, Huang, HC. A neural network based approach for product form design. Design Stud. 2002; 23:67-84.
Hsiao, SW, Tsai, HC. Applying a hybrid approach based on fuzzy neural network and genetic algorithm to product form design. Int. J. Ind. Ergonom. 2005; 35 (5):411-28.
Hsu, SH, Chuang, MC, Chang, CC. A semantic differential study of designers' and users' product form perception. Int. J. Ind. Ergonom. 2000; 25:375-91.
Khalid, HM, Helander, MG. Customer emotional needs in product design. Concurrent Eng-Res A 2006: 14 (3), 197-206.
Kim, HS, Cho, SB. Applciation of interactive genetic algorithm to fashion design. Eng. Appl. Artif. Intel. 2000; 13: 635-644.
Kish, L. Survey Sampling. New York: John Wiley and Sons Inc; 1995.
Lai, HH, Lin, YC, Yeh, CH. Form design of product image using grey relational analysis and neural network models. Comput. Ind. Eng. 2005; 32:2689-711.
Lai, HH, Lin, YC, Yeh, CH, Wei, C.H. User-oriented design for the optimal combination on product design. Int. J. Prod. Econ. 2006; 100(2):253-67.
Nagamachi, M. Kansei Engineering: A new ergonomic consumer-oriented technology for product development. Int. J. Ind. Ergonom. 1995; 15:3-11.
Osgood, CE, Suci, GJ, Tannenbaum, PH. The Measurement of Meaning. University of Ilinois Press; 1957.
Phadke, M. Quality Engineering Using Robust Design. Prentice Hall International Inc; 1989.
Poirson, E, Philippe, D, Petiot JF. User-centered design by genetic algorithms: Application to brass musical instrument optimization. Eng. Appl. Artif. Intel. 2007; 20: 511-518.
Shütte, S. Integrating Kansei Engineering Methodology in Product Development. Linköping Studies in Science and Technology, Sweden; 2002.

A Discrete Particle Swarm Optimization Algorithm for The Capacitated P-Median Problem

Fehmi Burcin Ozsoydan, Aydin Sipahioglu
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi MMF-Endüstri Mühendisliği Bölümü
fbozsoydan@ogu.edu.tr

Abstract
The Capacitated p-Median Problem (CPMP) is the capacitated version of the well-known discrete location problem, the p-Median Problem (PMP). In PMP, customers located at the nodes are connected to at most one of the p facilities so as to minimize the sum of the distances between the facilities and the customers they serve. CPMP differs from PMP due to the capacities of the facilities and demands of the customers. In CPMP, each facility has a capacity constraint to be considered and demands of all customers are to be met. It's shown that Particle Swarm Optimization (PSO) has achieved a remarkable success for continuous optimization. However, PSO implementations and applications for combinatorial optimization are still active research area and to the best of our knowledge, fewer studies have been carried out on this topic. In this paper, a particle swarm optimization algorithm is proposed to solve the CPMP. It's shown that the promising results are obtained.

Keywords: Capacitated p-Median Problem, Particle Swarm Optimization, Discrete Location.

1. Introduction and Literature Review

CPMP is a variation of one of the well known discrete location problems, PMP. Number "p" facilities are located to the candidate locations on an Euclidean plane such that the transportation cost between "n" customers and these facilities are minimized and capacity constraints of the facilities are not violated.

CPMP may frequently be encountered in real life problems. Design of a network distribution in which a set of customers are served by supply points (Fleszar and Hindi 2008), design of computer communications networks (Pirkul, 1987), political districting (Bozkaya et al., 2003) and sales force territories design (Mulvey and Beck 1984).

Many solution techniques have been applied to CPMP in the literature before. Luiz et. al., (2004) applied column generation, hybrid scatter search and path re-linking was applied by Juan and Fernandez (2006) and especially VNS is known to be one of the best solution techniques for CPMP and was applied by Fleszar and Hindi (2008).

If capacity constraints are removed from CPMP, then it's reduced to classical PMP (Hansen and Mladenovic, 1997). In addition if the number of medians "p" is fixed to an integer number then the problem can be solved as generalized assignment problem (GAP) (Yagiura et al., 2006). Otherwise, where "p" is a variable parameter then CPMP becomes more complex. The solution techniques for GAP are beyond the scope of this paper.

Let $I = \{1, \dots, n\}$ and $J = \{1, \dots, m\}$ denote the sets of customers and facilities, respectively. Parameters c_{ij}, d_i b_j show the distances between jth facility and ith customer, demand of the ith customer and allocated capacity of the jth facility, respectively.

$$y_i = \begin{cases} 1, & if\ the\ i^{th}\ facility\ is\ opened \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (1)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & if\ the\ j^{th}\ customer\ is\ connected\ to\ the\ i^{th}\ facility \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

According to the notation given above, the mathematical model (Juan and Fernandez, 2006) can be given as:

$$min = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \qquad \forall i \in I \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} y_j = p \qquad (5)$$

$$\sum_{i \in I} d_i x_{ij} \leq b_j y_j \qquad \forall j \in J \qquad (6)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \ , \ \ y_i \in \{0,1\} \qquad \forall i \in I \ , \ \ \forall j \in J \qquad (7)$$

Equation 3 is the objective function of the mathematical model and it minimizes the total transportation cost between p facilities and n customers. Assigning each customer to exactly one facility is provided by Equation 4. Equation 5 provides that exactly p facilities are to be located. Capacity constraints are represented by Equation 6. Equation 7 denotes the integrality constraints.

2. Particle Swarm Optimization Algorithm

2.1. General PSO procedure

Firstly introduced by James Kennedy and Russel C. Eberhart, PSO is one the swarm intelligence based (Kennedy and Eberhart, 1995; Eberhart and Kennedy, 1995; Eberhart and et.al., 1996; Kennedy, 1997; Angeline, 1998; Kennedy and et.al., 2001) algorithms that simulates the behavior of the social organisms such as bird flocking and fishing schooling. As collecting food or searching rich food sources of a population in nature, PSO similarly uses the communication and coordination between the particles (individuals) to converge to optimum solution. What is meant here by communication and coordination is, a comparative of the fitness values (value of objective function) and utilization of the positions among population, respectively. These two phenomenon are related to two fundamental terms of PSO: The position and the velocity. In PSO, each particle in a population has a position and a velocity vector. Derived from utilization of other particles', individual best's and global best's positions which will be clarified later, a velocity vector is generated. That particle then modifies its own position due to the velocity vector for which the achievement of coordination and communication with the experience of other individuals is not ignored.

A PSO includes three basic steps: Evaluation of the fitness values of each particle, update the values and positions of individual and the global best, and update the velocities and positions of each individual in the population according to the equations 1 and 2.

Before introducing these steps, it may be more beneficial to explain the terms in equations 1 and 2. As can clearly be seen from equation 1, a velocity vector is composed of three additive components which can be thought as the fundamental characteristics frame of PSO. These components are known as inertia component, cognitive component and social component, respectively. $V_{i(t)}$ and $X_{i(t)}$ mean the velocity and position of the ith particle at iteration t, respectively. Similarly $X^*_{iind(t)}$ and $X^*_{gl(t)}$ mean the individual best position of the ith particle and globally best position obtained until iteration t, respectively. w (inertia coefficient), c1 (cognitive coefficient) and c2 (social coefficient) are user-supplied parameters and they are usually accepted between the intervals of $0 \leq w \leq 1.2, 0 \leq c1 \leq 2$ and $0 \leq c2 \leq 2$. Ω_1 is a uniformly distributed random number between 0 and 1, and affects the speed of cognitive component whereas Ω_2 performs the same task for social component. Similarly, if the coefficient w is chosen relatively smaller, this may slow down the particle's inertia velocity or conversely, if it is chosen a greater value it may accelerate the inertia component. As a result of the accelerating or dampening the parameters, the situation, "What if the lower or upper bounds of any variable are violated?" comes into question. To prevent it, considering the domain of the variable a lower X_{min} and upper bound X_{max} for $X_{i(t)}$ can be defined. Similarly because of the same reason, for not to converge too quickly and for not to miss any promising region and solutions, for $X_{i(t)}$, a lower V_{min} and upper bound V_{max} for $V_{i(t)}$ can also be defined. Despite bounds of the velocity vector is a user-supplied parameter, considering robustness of the algorithm the relation between V_{max} and domain of X can be defined as $V_{max} = k(X_{max} - X_{min})$ where k is a continuous coefficient, usually accepted in the interval $0.1 \leq k \leq 1$.

$$V_{i(t+1)} = wV_{i(t)} + c_1\Omega_1\left[X^*_{iind(t)} - X_{i(t)}\right] + c_2\Omega_2\left[X^*_{gl(t)} - X_{i(t)}\right] \qquad (1)$$

$$X_{i(t+1)} = X_{i(t)} + V_{i(t+1)} \qquad (2)$$

The first step is fairly clear. The fitness values of each particle at iteration t are evaluated according to the objective function of the problem. At the second step a comparison is performed between recently obtained results and individual best values which mean the best values obtained so far for each particle. If a better result is obtained here for a particle, then that particle forgets its latest position and value and memorizes recently obtained position and value as new individual best of its own.

The general procedure explained above is repeated in all iterations until some stopping criteria are met. Several stopping criteria can be defined. Terminating the algorithm after all iterations are completed or terminating after a predetermined iterations are completed without updating global best or individual best are some of them.
There are many modifications of PSO in the literature. For instance, inertia component was not included in the original PSO and was added in later modifications. Some PSO modifications perform with sub populations with 1 global best kept for each of them. A fourth component in which a position of a randomly chosen individual added to the velocity vector was introduced (Angelina, 1998; He and et.al.,2004) in another modification called passive congregation. Please cehck to (Bergh, 2001) to get more detailed information about these variations.
It's pretty clear that equations 1 and 2 can be used for continuous optimization; however, apart from the modifications mentioned in the upper paragraph, there also exists binary integer programming versions of PSO. Kennedy and Eberhart (1997) firstly introduced a binary version of PSO. PSO has been applied to a wide range of applications including discrete and continuous optimization. In this study, a new discrete modification of PSO with cross-over (Feng et.al., 2007; Pant et.al., 2009) is proposed. Hence, for a comprehensive survey for PSO and its applications, please check (Frans, 2001; Kennedy et.al., 2001).

2.2. Proposed discrete PSO with cross-over operator

In the proposed PSO, particles move together in the search space, according to information they share with each other and to their experiences obtained from previous iterations as in continuous one; however, exploiting of experience of the particles and information share is quite different from continuous from continuous PSO.
In the surveys of Fang et al. (2007), a cross over operator was adapted for information transmission among particles. According to this approach a particle crosses with its individual best and global best obtained so far, respectively and the new particle is created (Fang et.al., 2007). Apart from original cross over, this cross over operator produces one chromosome. But there may occur some drawbacks of this approach which may crucially affect the performance of the algorithm.
One of them is the cross over sequence. As can clearly be seen, the particle is influenced by the global best more than as from its individual best. That means the global best has a default more weight in obtaining a new particle whereas that weight is a user-supplied parameter and is multiplied with a uniformly distributed continuous random number between [0,1] in the continuous version of PSO. As a result, the algorithm may be trapped in local optima.
All the particles in the swarm are crossed in the aggregate twice with global best and individual best which means a heavy process load for CPU and may be time consuming depending on the hardware of the computer. This is another drawback of this approach.
In this study, an effective chromosome encoding technique is applied. In this technique, all of the genes in a chromosome are shown as a uniformly distributed random number between 0-1. The information of the medians is memorized in another array created with a size "n" and with alleles of 0 and 1. The values of this array are determined randomly in the initial population but this array is allowed to have only "p" genes, with a value of 1. In this manner, the ith customer is connected to the jth median as follows: Let "p" medians be opened and the first gene of the chromosome be 0.18. a=1+int(0.18*p) where "a" is the ath opened median among the opened medians. If the capacity constraint of this median is violated than "a" is removed from the candidate medians and p is equalized to (p-1) to create a new "a". This procedure is repeated until the ith customer is connected to feasible median. After this connection operation the removed medians because of the capacity constraints are added again to the opened medians list.
One more repair may be needed when the array for medians is crossed. A single point cross-over is applied for this task but as can be easily seen, infeasible arrays with a value of 1 more or less than p can be created throughout iterations. In such a case, if the number of opened medians is more than p, then randomly chosen medians are closed until the number of opened medians is equal to p and that yields to leveling the allele from 1 to 0 for the related gene of the median array. Similarly, if the number of opened medians is less than p, randomly chosen medians are opened until the number of opened medians is equal to p and that yields to leveling the allele from 0 to 1 for the related gene of the median array.
Mutation operator simply interchanges value of a gene with a new random number. Similar procedure is done for the median array. The value of a gene in the median array is changed to 1 if it's 0 and vice versa.
Motivated with these ideas the developed PSO in this study is as follows: Developed in this study, a novel technique was introduced to handle with both cross over sequence drawback and much processing requirement. Search was tried to be oriented by orienting the whole population. B1, B2 and B3 are three new user-supplied parameters, all between [0,1]. These bounds are used for determining the cross-over type of the i.th particle. To perform this, a random number generation for all particles in the swarm is needed. A pseudo code for this procedure is given below.

```
i=0
Do until i = SS ( SS is the swarm size.)
i=i +1
```

RN (random number) =Rnd( )
If RN $\leq B1$ *and* $RN \geq 0$ *then*
Do not perform cross over for particle(i)
End if
If RN $\leq B2$ *and* $RN > B1$ *then*
Cross the particle(i) with a random particle chosen from swarm.
End if
If RN $\leq B3$ *and* $RN > B2$ *then*
Cross the particle(i) with its individual best obtained so far.
End if
If RN ≤ 1 *and* $RN > B3$ *then*
Cross the particle(i) with global best of the swarm obtained so far.
End if
Loop
Figure 1. A pseudo code for the proposed PSO

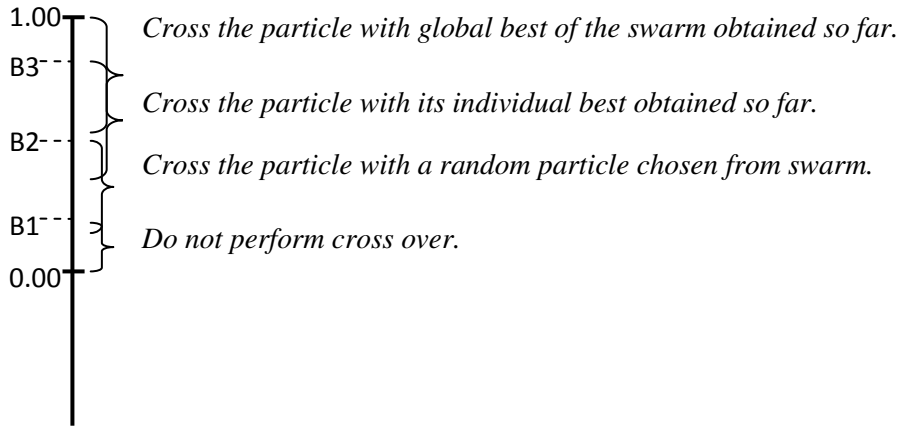


Figure 2. The scale for cross over type

A general flow diagram of the proposed PSO is below given in Figure 3.

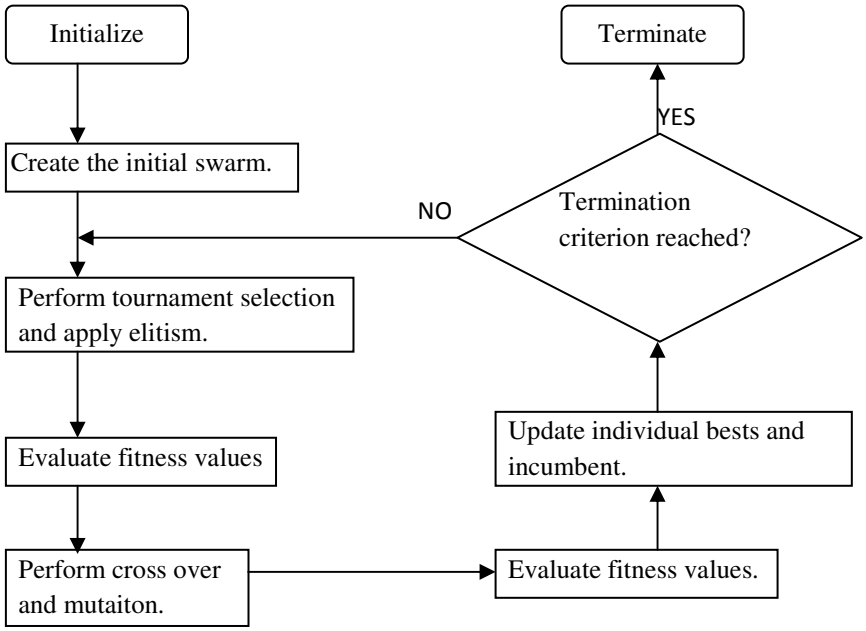


Figure 3. Flow diagram of the proposed PSO.

3. Computational Results

In order to define the success of results obtained from the proposed algorithm and to compare them with the exact solutions, some test instances taken from OR LIB (http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/info.html) were used. The proposed algorithm was coded by using Visual Basic 6.0 and executed on a computer with a hardware of Core2Duo 2.36GHZ and 3GB RAM. The obtained results of the proposed algorithm in 8 test instances are given below in Table1.

Table1. Results of the proposed algorithm.

#	n	p	opt*	BF	AV	%GAP.
1	50	5	715	715	721,8	0,00
2	50	5	718	718	724,3	0,00
3	50	5	740	740	748,1	0,00
4	50	5	829	829	835,7	0,00
5	100	10	966	972	1001,8	0.62
6	100	10	982	1015	1019,4	3,36
7	100	10	1006	1031	1035,8	2,48
8	100	10	1026	1042	1044,9	1,55

The first column of the Table1 shows the number of the problems, second and third columns denote the dimensions of the problem, and the number of medians, respectively. Other columns denote the optimum solution value taken from Or-Lib, the best solution found by the proposed algorithm and the average values of three runs for each test problem.

As it can be seen from the Table 1, for the first 4 problems, the algorithm easily obtained the optimum solutions. However, in the second group of problems the proposed method could not obtain optimum in three runs. On the other hand, the obtained solutions are really close to the optimal solutions. Moreover, these results were obtained less than 300 seconds. The gap percentage from optimum solutions for the second group of test problems was given in column 7 in Table1. It can be seen that gap for all problems is less or equal to 3,36 and it shows that, if the solution time is increased and parameters are optimized more precisely better results could be obtained, whereas in this study these parameters were determined after some performance tests and then these parameters are fixed to max iterations=1500, swarm size=200, B1=0.15, B2=0.80, B3=0.90, mutation rate=0.08. These parameter values are kept for all test problems.

4. Conclusion

In this study, a new design for discrete PSO was proposed and applied to the CPMP. In this new design, also a new chromosome decoding technique was applied. It's shown that this random numbers technique is effective to deal with any possible infeasible chromosome after a cross-over or a mutation. Of course, different techniques could be integrated to the proposed PSO to obtain better results. However, it can clearly be said that the proposed method is remarkable because of being easy to apply and dealing with possible infeasible chromosomes.

Another crucial thing is that optimizing the numerous parameters in the proposed method. Because more precisely determined parameters may yield to better solutions than obtained in this study. Thus, making study an experimental design for determining the values of parameters may be useful. In further studies, the performance of this technique is going to be tested on more test problems including a harder version of CPMP where "p" is a variable instead of being fixed to an integer number, and an experimental design for optimizing the parameters is going to be carried out.

References

A. Kaveh, S. Talatahari. A particle swarm ant colony optimization for truss structures with discrete variables. Journal of Constructional Steel Research 65 (2009) 1558-1568.

Angeline P.J. 1998. Using Selection to Improve Particle Swarm Optimization. In WCCI-98 Proceedings of the IEEE World Congress on Computational Intelligence pp. 84-89. IEEE Press.

Bozkaya B., Erkut E., Laporte G., “A tabu search heuristic and adaptive memory procedure for political districting”, European Journal of Operational Research 144(1), pages 12-26, 2003.
Diaz Juan A, Elena Fernandez, “Hybrid scatter search and path relinking for the capacitated p-median problem”, European Journal of Operational Research 169, pages 570–585, 2006.
Eberhart, R. C., and Kennedy, J. (1995). A New Optimizer Using Particles Swarm Theory, Proc. Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science (Nagoya, Japan), IEEE Service Center, Piscataway, NJ, 39-43.
Eberhart, R. C., Dobbins, R. W., and Simpson, P. (1996), Computational Intelligence PC Tools, Boston: Academic Press.
Fang L., Chen P. and Liu S. Particle Swarm Optimization with Simulated Annealing for TSP. Proceedings of the 6th WSEAS Int. Conf. on Artificial Intelligence, Knowledge Engineering and Data Bases, Corfu Island, Greece, February 16-19, 2007.
Fleszar K., K.S. Hindi, “An effective VNS for the capacitated p-median problem”, European Journal of Operational Research 191, pages 612–622, 2008.
Frans van den Bergh. An Analysis of Particle Swarm Optimizers. PhD thesis, University of Pretoria 2001.
Hansen Pierre, Mladenovic Nenad, “Variable Neighborhood search for the p-median”, Location Science5, pages 207-226, 1997.
Kennedy J. and Russel C. Eberhart. Particle swarm optimization. In proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, volume IV, pages 1942-1948, Piscataway, NJJ,1995. IEEE Press.
Kennedy J. and Eberhart R. C., “A Discrete Binary Version of the Particle Swarm Optimization”, Proc. Of the conference on Systems, Man, and Cybernetics SMC97, pp. 4104-4109, 1997.
Kennedy, J. (1997), The Particle Swarm: Social Adaptation of Knowledge, Proc. IEEE International Conference on Evolutionary Computation (Indianapolis, Indiana), IEEE Service Center, Piscataway, NJ, 303-308.
Kennedy J., Eberhart R. C. and Shi Y., “Swarm Intelligence”, Morgan Kaufmann, San Mateo, 2001, CA.
Luiz A.N. Lorena, Edson L.F. Senne, “A column generation approach to capacitated p-median problems”, Computers & Operations Research 31, Pages 863–876, 2004.
Mulvey J.M., Beck M.P., “Solving capacitated clustering problems”, European Journal of Operational Research 18, pages 317-336, 1984.
Pant M., Thangaraj R., and Singh V. P. Particle Swarm Optimization with Crossover Operator and its Engineering Applications. IAENG International Journal of Computer Science. 36:2, IJCS_36_2_02 (2009).
Pirkul H., “Efficient algorithm for the capacitated concentrator location problem”, Computers and Operations Research14 (3), Pages 197-208, 1987.
S. He, Q.H. Wu, J.Y. Wen, J.R. Saunders, R.C. Paton. A particle swarm optimizer with passive congregation. BioSystems 78 (2004) 135–147.
Yagiura M., Ibaraki T., Glover F., “A path relinking approach with enjection chains for the generalized assignment problem”, European Journal of Operational Research 169(2), Pages 548-569, 2006.

ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN ARI KOLONİ ALGORİTMASI VE GENETİK ALGORİTMA İLE ÇÖZÜLMESİ

Güneş DEMİR[1], Serol BULKAN[2]
[1]Marmara Üniversitesi,Mühendislik Yöneimi A.B.D., Fen Bilimleri Enstitüsü, Göztepe 34722, Türkiye
[2]Marmara Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği., Fen Bilimleri Enstitüsü, Göztepe 34722, Türkiye

ÖZET
Son yıllarda, üretim şirketleri ürün çevrim zamanı ve makine kullanımı yönetimi aracılığıyla verimliliği arttırmaya çalışmışlardır. Bu bağlamda; atölye tipi çizelgeleme, makine kullanımını yönetmek ve ürün çevrim zamanını kısaltmak için önemli bir role sahiptir. Önceki çalışmalar göz önüne alındığında, rekabetçi ortamda üretici için değerli olan kaynak kullanımının üretim süresinin çizelgelenmesinde etkili bir performans ölçütü olduğu görülmüştür. En iyi sonuç elde edilen metotlarla problemleri çözmek çok uzun zaman gerektirdiğinden atölye tipi çizelgeleme problemi bir NP-zor problem olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada literatürde yapılmış atölye tipi çizelgeleme çalışmaları incelenip sınıflandırılmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Atölye tipi çizelgeleme problemleri, Arı Kolonisi Algoritması, Genetik Algoritma

SOLUTION OF JOB SHOP SCHEDULING PROBLEM BY BEE COLONY ALGORITHM AND GENETIC ALGORITHM

ABSTRACT
In recent years, production companies make an effort to increase productivity via product cycle time and machine utilization management. In this context, job shop scheduling has an important role to manage machine utilization and decrease product cycle time. In the light of previous studies, it is seen that sourcing which is vital for manufacturer is an effective performance measurement for scheduling of production time. Job shop scheduling problem is defined as NP-hard because due to long time requirement to solve the problem by the best optimization methods. In this study, job shop scheduling studies done in previous studies are observed and classified.
Key words: Job shop scheduling problems, Bee Colony Algorithms, Genetic Algorithm.

1. GİRİŞ

Son yıllarda daha da belirginleşen global piyasadaki rekabetçi tutumun bir sonucu olarak ortaya çıkan düşük ürün fiyatı ve ürün çevrim zamanının kısalması imalat çevrelerince ilgi odağı oluşturmuştur. Bu süreç, imalat çevrelerinin makine kullanımı ve ürün ömrü yönetimi aracılığı ile imalat sistemlerindeki verimliliği ve etkinliği artırma eğilimine yön vermiştir. Atölye tipi çizelgeleme, makine kullanımını ve ürün çevrim zamanının yönetimini verimli hale getirmek için etkin bir yöntemdir. Atölye tipi çizelgeleme, sonsuz sayıda makine ile işlenecek işler için bir sıralama ve periyot belirlemeyi amaçlar.

Literatürde atölye tipi çizelgeleme problemlerinin amaç fonksiyonlarında kullanılan ‘’makespan’’ süresi işlerin maksimum tamamlanma süresidir. Genel olarak çizelgeleme problemlerinde başarım ölçütü işlerin tamamlanma zamanının bir fonksiyonudur ve bu zamanların minimizasyonu amaçlanır. Bu çalışmada incelenecek olan atölye tipi çizelgeleme probleminde maksimum tamamlanma süresinin minimizasyonu amaç fonksiyonunu oluşturmaktadır. Geçmiş dönemlere ait çalışmalarda geliştirilmiş karınca kolonisi algoritması ve tabu arama algoritmasının Huang ve Jong Liao [1] tarafından birleştirilerek aynı amaç fonksiyonuna sahip atölye tipi çizelgeleme problemlerine uygulanmıştır. Buna ek olarak Yamada ve Nakano [2], Asadzadeh ve Zamanifar [3] ise geliştirdikleri genetik algoritmayı atölye tipi çizelgeleme problemleri üzerine uygulamışlardır. Yapay arı kolonisi algoritması Chong vd. [4, 5] tarafından atölye tipi çizelgeleme problemlerine uygulanmış bunu takip eden yıllarda ise Yao vd. [6] geliştirilmiş yapay arı koloni algoritmasının problem üzerindeki performansını göstermişlerdir.

Atölye tipi çizelgeleme problemini en iyi sonuç elde edilen metotlarla çözmek çok uzun zaman gerektirdiğinden atölye tipi çizelgeleme problemi bir NP-zor ((Non-deterministic Polynomial hard) problem olarak tanımlanmıştır. Günümüzde NP-zor olarak belirlenen problemlerin çözülmesinde doğal benzetimlerden yola çıkılarak oluşturulmuş algoritmaların kullanılmasına olan eğilim klasik eniyileme algoritmalarının büyük boyuttaki bu problemlerde yetersiz kalmasıdır. Son yıllarda yapay arı kolonisi algoritması ve genetik algoritmaların atölye tipi çizelgeleme problemleri üzerinde uygulanması bu eğilimin doğal bir sonucudur.

Yapay arı kolonisi algoritması, doğadaki bal arılarının organizasyon modelinden ve davranışlarından esinlenerek geliştirilmiş bir çeşit yeni sezgisel algoritmadır. İlk olarak Karaboğa, [7] arı kolonisi algoritmasını sayısal eniyileme fonksiyonlarına uygulanmasında başarı kaydetmiş ve sistematik yapay arı kolonisi algoritmasını önermiştir. Yapay arı kolonisi algoritması sayısal fonksiyonlarda ve gerçek hayatta karşılaşılan problemlerde sıkça kullanılan bir algoritmadır ve diğer sezgisel algoritmalar ile kıyaslandığında daha iyi bir performans gösterdiği Karaboğa ve Baştürk [8] tarafından yapılmış çalışmalarda kanıtlanmıştır.

Genetik algoritmalar ise doğal seçim ilkelerine dayanan bir arama ve eniyileme yöntemidir. Temel ilkeleri John Holland tarafından ortaya atılmıştır. Genetik algoritmalarda tıpkı yapay arı kolonisi algoritmasında olduğu gibi geleneksel eniyileme yöntemlerinden çok daha farklı olarak çalışırlar. Bu algoritma doğadaki evrim yöntemleri taklit edilerek geliştirilmiş bir algoritmadır. Olasılık kurallarını baza alarak çalışan genetik algoritmalarda sadece amaç fonksiyonu çözüme gitmek için bir gereksinimdir. Genetik algoritmalar çözüm uzayının tamamını değil belirli bir kısmını tararlar. Böylece, etkin arama yaparak çok daha kısa bir sürede çözüme ulaşırlar.
Atölye tipi çizelgeleme problemlerinde etkinliği çeşitli literatür çalışmaları tarafından kanıtlanmış genetik algoritma ve yapay arı kolonisi algoritmasının performanslarının geçmişte yapılmış test sonuçları ile karşılaştırılması bu çalışmanın temel amacını içermektedir. Bu çalışmada, geçmişte yapılmış arı kolonisi algoritması, genetik algoritma ve karınca kolonisi algoritmaları ile tabu arama metodunun atölye tipi çizelgeleme problemleri üzerindeki performansları değerlendirilerek, literatürdeki çalışmalar sınıflandırılmıştır.
Çalışma temel olarak; atölye tipi çizelgeleme probleminin tanımlanması, genetik algoritmanın probleme uygulamalarındaki yaklaşımlar, yapay arı kolonisi algoritmasının problem üzerindeki performansı, bu tekniklerin literatürdeki diğer tekniklerle birlikte değerlendirilmesiyle oluşan sonuç bölümü olmak üzere dört kısımdan oluşmaktadır.

2. ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Genel olarak atölye tipi çizelgeleme problemi sonlu sayıda işin sonlu sayıda makine tarafından işlenmesi olarak tanımlanabilir. Problem, literatürde NP- zor olarak tanımlanarak çözümü zor kombinatoryel eniyileme problemleri arasında yerini almıştır.
Atölye tipi çizelgelemenin amacı; a) makineye atanan her bir işin işlenme sırası, b) her bir makinenin bir anda en fazla bir iş için işlenme süresi içinde kesintiye uğramadan işletilmesi, c) herhangi bir işin bir önceliğe sahip olmaksızın önceden belirlenmiş makine sırasına bağlı kalması gibi kısıtları sağlayarak tüm işlerin tamamlanma sürelerini minimize edebilecek bir çizelgeleme oluşturmaktır.
Genel atölye tipi çizelgeleme problemi sonlu sayıda iş kümesi J_i'nin (i=1,2,..,n) sonlu sayıda makine kümesi M_k (k=1,2,..,m) üzerinde önceden belirlenen bir sıra ve kapasite kısıtlarını yerine getirerek, belirli bir başarım ölçütünü eniyileyecek şekilde her bir işlem (i işinin k makinesindeki operasyonu, yani O_{ik}) için bir başlama zamanı ($t_{ik} \geq 0$ olacak şekilde) belirlemektir. Burada her bir işin belli bir sırayla bütün tezgahlara uğraması gerekir [9]. Problemin matematiksel ifadesi şöyledir [10]:

$\text{Min } C_{max}$

$t_{il} - t_{ik} \geq p_{ik}$ $\forall$ i $\in$ J; burada [k,l] i işinin ardışık iki işlemidir ve k→l (k işlemi l'den önce gelir).

$t_{iz} - t_{jy} \geq p_{jy}$ V $t_{jy} - t_{iz} \geq p_{iz}$ $\forall$ i, j$\in$ J; burada i$\neq$ j'dir ve [y, z] aynı makinede yapılması gereken iki ayrı işin işlemidir.

$t_{ik} \geq 0$ $\forall$ i $\in$ J ve $\forall$ k$\in$ M

Bu ifadede birinci kısıt her bir işin ardışık iki işleminin başlama zamanları arasındaki farkın en az öndeki işlemin işlem süresi kadar olmasını sağlar. Böylece bir iş bir anda sadece bir makine tarafından işlenebilir. İkinci kısıt bir makinenin aynı anda sadece bir işlemi yapabilmesini sağlar. Üçüncü kısıt negatif olmama koşulunu yerine getirir; böylece bütün işlerin tamamlanması sağlanmış olur.
Atölye tipi çizelgeleme problemleri için Gantt diyagramı yöntemi bir gösterim şekli olarak kullanılmaktadır. Gantt diyagramı atölye tipi çizelgeleme problemindeki işlemlerin sırasını grafiksel olarak göstermeye yarayan genel bir yöntemdir. Bu yöntemde her bir satır makineler üzerindeki atanmış işleri gösterirken, yatay eksen zamanı tanımlamakta, her bir çubuk ise işlem sürelerini göstermekte kullanılmaktadır.

3. ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI

Arı kolonisi algoritması, doğadaki bal arılarının yiyecek arama davranışlarının gerçek hayattaki problemlerin çözümüne uyarlanmak üzere modellenmesi esasına dayanır. Algoritma ile ilgili ilk çalışmalar Karaboğa [7] tarafından gerçekleştirilmiştir. Yapay arı kolonisi algoritması arı popülasyonu baza alınarak geliştirilmiş yeni bir meta-sezgisel yaklaşımdır.
Algoritma, arıların içgüdüsel problem çözme yeteneklerinden yararlanarak sürü zekası yaklaşımının literatürde klasik algoritmaların yetersiz kaldığı problemlere uygulanmasına odaklanmıştır. Bu içgüdüsel problem çözme yeteneğinin algoritmaya uyarlanması için en önemli esin kaynaklarından bir tanesi arılar arasındaki bilgi paylaşımıdır. Doğadaki bal arıları buldukları yiyeceğin kalitesi, yuvaya olan uzaklığı ve yönü, nektar miktarı hakkındaki önemli bilgileri birbirlerine aktarmak için salınım dansı yaparlar.
Bu sistematik sayesinde kolonideki diğer arılar yiyecek kaynaklarına yönlendirilmiş olurlar. Baykasoğlu vd. [11] tarafından da ifade edildiği gibi arı kolonisi temelli algoritmalarda temelde üç tip arı sınıfı tanımlanmaktadır:

Kaşif Arılar: Arı sistemi içerisinde tamamen bağımsız davranarak yeni yiyecek kaynaklarını herhangi bir bilgi kullanmadan arayan arı grubudur.
Görevlendirilmiş Arılar: Yiyecek kaynağına ulaşmış ve kaynaktan kovana dönerek yiyecek kaynağına ilişkin bilgileri (yön, uzaklık, yiyecek kaynağının kalitesi vb.) diğer arılarla paylaşmak üzere salınım dansını gerçekleştiren arılardır.
İzci Arılar: Görevli arıların salınım dansını izleyerek yiyecek kaynakları hakkında bilgi edinen ve daha sonra bu bilgiye göre hareket ederek yiyecek kaynaklarına ulaşan arılardır.
Literatürde pek çok eniyileme çözümü klasik algoritmalarca bulunamamış problemler arı kolonisi algoritması ile çözülmeye çalışılmıştır. Lucic ve Teodorovic [12, 13] karmaşık ulaştırma problemlerinin çözümünde kolektif arı zekası uygulamalarını araştırmışlar ve önerdikleri Arı Sistemi algoritmasını gezgin satıcı problemine uygulamışlardır. Teodorovic ve Dell'Orco [14]. Arı Sistemi algoritmasını genelleştirerek deterministik ve stokastik kombinatoryel problemleri çözebilen Arı Kolonisi Eniyileme algoritmasını önermişlerdir.
Atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümü için literatürde Yapay Arı Kolonisi Algoritması uygulamalarına çok rastlanmamakla birlikte Chong vd. [4] tarafından geliştirilmiş algoritmada bal arılarının yiyecek arama davranışının bu probleme uyarlanışı gösterilmektedir. Buna ek olarak son yıllarda daha çok ilgi çeken algoritmalar hibrit algoritmaları oluşturmaktadır. Bir algoritmanın güçlü yanını diğer bir algoritmanın güçlü olmayan yanıyla tamamlamak esasına dayanan bu algoritmaları Yao vd. [6] atölye tipi çizelgeleme problemlerine uygulamışlardır. Çalışmada geliştirilen algoritma bal arılarının yiyecek arama davranışı ile genetik algoritmaların doğal sürecini yansıtan mekanizmalardan bir tanesi olan mutasyonun hibritlenmesi ile oluşturulmuştur.

3.1. Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının Atölye Tipi Çizelgeleme Problemine Uygulanması

Chong vd. [4, 5] Arı Kolonisi algoritmasını, atölye tipi çizelgeleme problemlerine uygularken bal arısı popülasyonunun salınım dansı ve nektar arama davranışlarını temel faktörler olarak düşünmüşlerdir.

3.1.1. Salınım Dansı

Bir görevlendirilmiş arı f_i, dönüş yolu üzerinde yiyecek kaynağından kovana döndüğü süre içinde $D= d_iA$ salınım dansı yapar, buradaki d_i kazanç oranı ile değişir, A ise salınım dansının ölçekleme faktörünü gösterir. Ayrıca görevlendirilmiş arı rastgele seçilmiş dansları izlemek ve gözlemlemek için denemelerinde olasılık (r_i) kullanır. Bu olasılık dinamiktir ve kazanç oranı ile değişir. Eğer bir görevlendirilmiş arı seçilmiş bir dansı izlemeyi seçerse görevlendirilmiş arıların dans yaparak çiçeklerin olduğu yeri göstermek için yarattıkları yolu kullanacaktır. Bu yola "tercih edilen rota" adı verilir. Bu rota, bir görevlendirilmiş arı için kovandan nektara giden mesafede doğal bir yollar serisini oluşturur.
Atölye tipi çizelgeleme için kazanç oranı amaç fonksiyonunu oluşturmaktadır bu fonksiyonun problem için karşılığı maksimum tamamlanma zamanıdır. Burada Pfi görevlendirilmiş arı için kazanç oranını göstermektedir ve matematiksel ifadesi ise şöyledir:

$$Pf_i = \frac{1}{C^i_{\max}}$$

$C^i_{\max}$ = görevlendirilmiş arı fi tarafından t zamanında oluşturulmuş çizelgenin maksimum tamamlanma zamanı

Arı kolonisinin ortalama kazanç oranı Pf_{koloni} 'nin matematiksel ifadesi şöyledir.

$$Pf_{koloni} = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\frac{1}{C^j_{\max}}$$

Burada n = herhangi bir t zamanında ve d_i dans süresince yapılan salınım dansı sayısıdır,

$C^j_{\max}$ görevlendirilmiş arının (f_i) salınım dansı yaparak oluşturduğu çizelgelemenin maksimum tamamlanma zamanıdır.
Dans süresinin d_i matematiksel ifadesi şöyledir:

$$d_i = \frac{Pf_i}{Pf_{koloni}}$$

4. GENETİK ALGORİTMA

Genetik algoritmaların temel işleyişi, doğadaki evrim mekanizmasının taklit edilmesi ile oluşturulmuştur. Genetik algoritmalar, doğada geçerli olan en iyinin yaşaması kuralını rastsal bilgi değişimi ile birleştirerek bir arama algoritması oluştururlar. Her nesilde bir önceki neslin eniyileri kullanılarak yeni bireyler elde edilmeye çalışılır. Bunun için "iyi"nin ne olduğunu belirleyen bir uygunluk (fitness), fonksiyonu ve yeni çözümler üretmek için yeniden üreme (reproduction), çaprazlama (crossover) ve değişim (mutation) gibi operatörleri kullanır.[15]

Genetik algoritmaların temel prosedürü şöyledir [16]:

1- Öncelikle arama uzayındaki tüm mümkün çözümler dizi olarak kodlanır.

2- Başlangıç olarak n kromozomlu bir popülasyondan oluşan rastsal bir çözüm kümesi oluşturulur.

3- Popülasyon içindeki her bir dizi için bir uygunluk değeri hesaplanır. Bu değerler dizinin çözüm performansını gösterir.

4- Bir grup dizi belirli bir olasılık değerine göre rastsal olarak seçilip çoğalma işlemi gerçekleştirilir.

5- Çoğalma işleminde oluşmuş yeni bireylerin uygunluk değerleri hesaplanarak, çaprazlama ve mutasyon işlemlerine tabi tutulur.

6- Önceden belirlenen kuşak sayısı boyunca yukarıdaki işlemler devam ettirilir

7- İterasyon, belirlenen kuşak sayısına ulaşınca işlem sona erdirilir. Amaç fonksiyonuna en uygun dizi seçilir.

Literatürde yapılmış olan çalışmaların sonuçları yukarıda temel basamakları sıralanmış genetik algoritma mekanizmasının farklı yaklaşımları ile elde edilmiştir. Her bir çalışmanın probleme uygulanma yöntemi kendine özgüdür.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmanın amacı literatürde atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümü için uygulanmış algoritma türlerinin sonuçlarını inceleyerek, bu sonuçlara göre sınıflandırma yapmaktır. Bu çalışma, gelecekteki hibrit algoritma çalışmalarında sonuç değerlendirme sürecine ışık tutma amacı taşımaktadır. Aşağıdaki tabloda (Tablo 1) atölye tipi çizelgeleme probleminin bilinen en iyi sonuçları ve literatürde kullanılan algoritmaların bu sonuçlara yaklaşımları gösterilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan çalışmalar, özellikle genetik algoritma ve arı kolonisi algoritmasını ya da bu algoritmaların diğer sezgisel yaklaşımlarla hibritlenmesinden elde edilmiş algoritmaların atölye tipi çizelgeleme problemi için oluşturduğu sonuçları içermektedir.

Literatürde gösterilmiş sonuçlar göz önüne alındığında Genetik Algoritma ve geliştirilmiş arı kolonisi algoritması daha iyi sonuçlar vermektedir. Önemli olan bu sezgisel algoritmaları kullanırken kromozom ve parametrelerin uygun seçilmesi ve doğru hibrit algoritmanın yaratılmasıdır. Geliştirilen algoritmanın başarısı bu faktörlere bağlıdır.

[1] Tablo 1: Literatürde çalışılmış atölye tipi çizelgeleme problemlerinin amaç fonksiyonu sonuçlarına göre karşılaştırılması

	n, m	Problem	C_{max}_Amaç Fonksiyon Sonuçları									Bilinen en iyi sonuç
			Genetik Algoritma Çözüm Sonuçları					Tabu Arama		Yapay Arı Kolonisi	Geliştirilmiş Arı Kolonisi	
			[3]	[17]	[18]	[19]	[20]	[9]	[21]	[6]	[6]	
1	6,6	MT06	**55**	**55**	**55**	**55**	**55**	**55**	56	**55**	**55**	55
2	10,10	MT10	997	949	**930**	976	951	971	1076	**930**	**930**	930
3	20,5	MT20	1196	1178	**1165**	1209	1178	1167	1310	**1165**	**1165**	1165
4	10,5	LA01	**666**	**666**	**666**	**666**	**666**	**666**	724	**666**	**666**	666
5	15,5	LA06	**926**	**926**	**926**	**926**	**926**	**926**	940	**926**	**926**	926
6	20,5	LA11	**1222**	**1222**	**1222**	**1222**	**1222**	**1222**	1259	**1222**	**1222**	1222
7	10,10	LA16	994	979	**945**	989	973	962	1045	985	977	945
8	15,10	LA21	1146	1085	1058	1114	1079	1066	1210	1177	1051	1046
9	20,10	LA26	1323	1228	**1218**	1307	**1218**	**1218**	1355	1316	**1218**	1218
10	30,10	LA31	1844	**1784**	**1784**	**1784**	**1784**	**1784**	1840	**1784**	**1784**	1784
11	15,15	LA36	-	1325	1291	1358	1303	1296	1383	1334	1275	1268

6. REFERANSLAR

[1] Huang, K.L., Liao, C.J. 2008.''Ant colony optimization combined with taboo search for the job shop scheduling problem'', Computers & Operations Research, 35: 1030 – 1046.

[2] Yamada, T., Nakano, R. 1997. ''Genetic Algorithms for Job-Shop Scheduling Problems'', Proceedings of Modern Heuristic for Decision Support, UNICOM seminar, London, 67-81.

[3] Asadzadeh, L., Zamanifar, K. 2010.'' An agent-based parallel approach for the job shop scheduling problem with genetic algorithms'', Mathematical and Computer Modelling, 52: 1957-1965.

[4] Chong, C.S., Low, M.Y.H., Sivakumar, A.I., Gay, K.L. 2006. "A Bee Colony Optimization Algorithm to Job Shop Scheduling", In Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference,, 1954-1961.

[5] Chong, C.S., Wong, L.P., Puan, C.Y., Low, M.Y.H. 2008. ''Bee Colony Optimization Algorithm With Big Valley Landscape Exploitation For Job Shop Scheduling Problems'', In Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference, 2050-2058.

[6] Yao, B., Yang, C., Hu, J., Yin, G., Yu, B. 2010. An Improved Artificial Bee Colony Algorithm for Job Shop Problem'', Applied Mechanics and Materials, 26-28: 657-660.

[7] Karaboga, D. 2005.''An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization'', Technical Report-TR06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, Turkey.

[8] Karaboga, D., Basturk, B. 2008. ''On the performance of Artificial Bee Colony (ABC) algorithm'', Applied Soft Computing, 8 (1): 687-697.

[9] Geyik, F., Cedimoğlu, İ.H. 2001. '' Atölye Tipi Çizelgelemede Komşuluk Yapılarının Tabu Arama Tekniği İle Karşılaştırılması'', Politeknik Dergisi, 4 (1): 95-103.

[10] Pinedo, M., Scheduling: Theory, Algorithms and Systems, Prentice-Hall, New Jersey, 1995.

[11] Baykasoğlu, A., Özbakır, L., Tapkan, P. 2007. "Artificial Bee Colony Algorithm and its Application to Generalized Assignment Problem", Swarm Intelligence: Focus on Ant and Particle Swarm Optimization, Hazırlayanlar: Chan, F.T.S., Tiwari, M.K., I-Tech Education and Publishing, Vienna, Austria, 113-144.

[12] Lucic, P., Teodorovic, D. 2001. "Bee system: Modeling Combinatorial Optimization Transportation Engineering Problems by Swarm Intelligence", 4th Triennial Symposium on Transportation Analysis, Sao Miguel, Azores Islands, 441-445.

[13] Lucic, P., Teodorovic, D. 2002. "Transportation Modeling: An Artificial Life Approach", International Conference on Tools with Artificial Intelligence, 216-223.

[14] Teodorovic, D., Dell'Orco, M. 2005. "Bee Colony Optimization - A Cooperative Learning Approach to Complex Transportation Problems", Advanced OR and AI Methods in Transportation, 51-60.

[15] Pirlot, M. 1996. ''General local search methods'', European Jaurnal of Operational Research, 92: 493-511.

[16] Engin O. 2001, Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma ile Çözüm Performansının Arttırılmasında Parametre Optimizasyonu, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi.

[17] Bulkan, S. 1999. '' A Genetic Algorithm Approach To Job Shop Scheduling. Cleveland State University, Doktora Tezi.

[18] Wang, L., Zheng, D.Z. 2002. ''A Modified Genetic Algorithm for Job Shop Scheduling'', The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 20(1):72-76.

[19] Ombuki, B.M., Ventresca, M. 2004. '' Local Search Genetic Algorithms for the Job Shop Scheduling Problem'', Applied Intelligence, 21: 99-109.

[20] Gonçalves, J.M., Mendes, J.J.M., Resende, M.G.C.2005. ''A hybrid genetic algorithm for the job shop scheduling problem '', European Journal of Operational Research, 167: 77-95.

[21] Amico, M.D., Trubian, M. 1993. '' Applying tabu search to the job-shop scheduling problem'', Annals of Operations Research, 41: 231-252.

ACİL LOJİSTİK YARDIM OPERASYONLARINDAN DEPREM LOJİSTİĞİ İÇİN KDS ÖNERİSİ

Gürbüz ÜNAL[1], Cevriye GENCER[2], Doğan KARADOĞAN[3]
[1] Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, Çankaya, Ankara, gurbuzunal@yahoo.com
[2] Gazi Üni., Müh Fak., End. Müh. Böl., 06570 Maltepe /Ankara, ctemel@gazi.edu.tr
[3] Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, Çankaya, Ankara, capkaradogan@hotmail.com

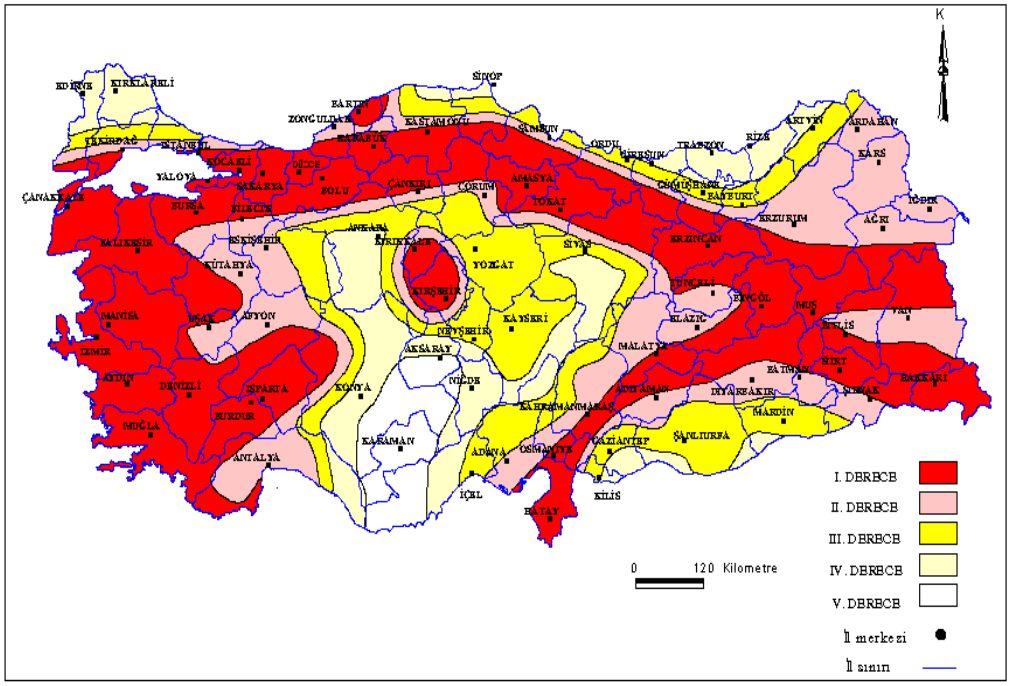
ÖZET
Doğal afetler toplum hayatında çok önemli dönüm noktalarıdır. Doğal afetlerden özellikle **deprem** olgusu geniş kapsamlı hasar, yıkım, yaralanma ve ölümlerle sonuçlanmasından dolayı insanlar üzerinde hem fiziksel hem de ruhsal izler bırakmaktadır. Yakın tarihteki depremler doğal afete her zaman hazırlıklı olunmasının ve ihtiyaç duyulduğunda en kısa zamanda istenilen yerde etkin bir müdahalenin önemini ortaya çıkarmıştır. Deprem sonrasında **iaşe (beslenme)** ve **ibate (barınma)** ihtiyaçlarına yönelik yapılan lojistik faaliyetler genel olarak "**Acil Lojistik Yardım Operasyonları (ALYO)"** kapsamında düşünülmekte ve **"Deprem Lojistiği"** olarak adlandırılmaktadır. Deprem sonrasında risklerin çok fazla olmasının yanında yardım, müdahale ve karar verme süreleri çok kısadır. Normal zamanda bir aya kadar karar verme süresi olana **operasyonel** seviyede kararların 24 saat içinde, bir yıla kadar alınması gereken **taktik** seviyede kararların 48 saat içinde, 1-3 yılda alınması gereken **stratejik** seviyede kararların 7 gün içerisinde alınma zorunluluğu karar vericiler için hayati derece önemlidir. Bu çalışmada deprem lojistiğinin yapısını oluşturan, deprem öncesinde hazırlıklı olma, deprem olduktan hemen sonra lojistik unsurların en uygun yere açılması ve ihtiyaç duyulan malzemenin istenilen zaman ve yerde hazır bulundurulması ve dağıtılmasını sağlayan bir **KDS** yapısı önerilmektedir.
Anahtar Kelimeler: Acil Lojistik Yardım Operasyonları, Deprem, Deprem Lojistiği, KDS, Karar Seviyesi

1. Genel

Depremler doğal afetler içinde en kapsamlı hasar ve yıkıma sebep olan ve binlerce insanı aynı anda ölüm, yaralanma, evsiz bırakma, psikolojik çöküntü gibi yollarla olumsuz etkileyen doğa olaylarıdır. 17 Ağustos 1999 Marmara ve 12 Kasım 1999 Düzce depremleri, doğal afete her zaman hazırlıklı olunmasının ve ihtiyaç duyulduğunda en kısa zamanda istenilen yerde etkin bir müdahalenin önemini ortaya çıkarmıştır. Bu depremlerden alınan derslere göre, arama kurtarma ve ilk yardım konularında, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, İl/İlçe Afet ve Acil Durum Müdürlükleri, sivil toplum örgütleri, arama kurtarma ekipleri ve diğer kuruluşlar önemli tedbirler alarak ilerlemeler sağlamıştır. Ancak aynı tedbirlerin ve gelişmelerin, afete maruz kalanların **iaşe (beslenme)** ve **ibate (barınma)** faaliyetlerini kapsayacak şekilde **depo ve tesis yeri seçimi, malzemenin dağıtımı** ve bunların **ulaştırma faaliyetlerini** kapsayan afet lojistiği için de yapıldığını söylemek zordur. Genellikle, deprem sonrasında ilk olarak arama kurtarma ve ilk yardım faaliyetleri çok önemli görülmektedir. Ancak hayatta kalan depremzedelerin iaşe ve ibate ihtiyaçlarının karşılanması ve bu maksatla kullanılması planlanan tesis yer seçimi ve ulaşım problemlerinin çözülmesi de oldukça önem arz etmektedir.

Deprem sonrasında iaşe ve ibate ihtiyaçlarına yönelik yapılan lojistik faaliyetler genel olarak "**Acil Lojistik Yardım Operasyonları (ALYO)"** kapsamında düşünülmekte ve **"Deprem Lojistiği"** olarak adlandırılmaktadır. Deprem lojistiği denilince tesis ve depo yerlerinin seçimi, tesis/depolardan deprem bölgesine ve depremzedelere uygun en kısa yolların bulunarak ulaştırma faaliyetlerinin yapılması ve dağıtım kanallarının tespit edilmesi faaliyetleri en önemli faaliyetler içerisinde yer almaktadır. Dağıtım kanalları farklı özellik arz eden değişik türde su, ilaç, yakıt, gıda, çadır, battaniye, kıyafet, ısınma ve diğer malzemeleri kapsamaktadır. Deprem lojistiği depremin oluşmasından bir dakika sonra başlayan ve deprem büyüklüğü ve şiddetine göre 1–3 yıla kadar süren lojistik faaliyetleri içermektedir. Ancak ilk 168 saat (ilk 7 gün) süresinde yürütülen faaliyetler durumun aciliyeti bakımından çok önem arz etmektedir.

Şekil-1'de görüldüğü üzere Türkiye coğrafyasının % 92'si, Tablo-1'de görüldüğü üzere nüfusun % 98'i, büyük sanayi merkezlerinin % 98'i ve hidroelektrik santrallerinin %93'ü deprem bölgesinde yer almaktadır. Bu veriler altında bizim de depremle yaşamaya alışmamız ve bu yönde tedbirler geliştirmemizin gerekli olduğu görülmektedir. Depremin hemen sonrasında depremzedelere ulaşmak ve ihtiyaç duyulan malzemeleri hazır bulundurmak oldukça önemlidir.



Şekil-1: Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası (Afet İşleri Genel Müdürlüğü [web])

RİSK DERECESİ	1	2	3	4	5
YÜZÖLÇÜMÜ (KM2)	328.995	186.411	139.594	97.737	32.051
NÜFUS (%)	45	25	15	13	2

Tablo-1: Deprem Bölgelerinin Yüzölçümü ve Nüfusa Göre Dağılımı (Özükan ve diğerleri, 2002:121).

Deprem öncesinde değişik senaryolara hazırlıklı olunması ve bu kapsamda etkin bir **Karar Destek Sistemi (KDS)** geliştirilmesi durumunda, deprem sonrasında hem reaksiyon süresi kısalacak hem de ihtiyaç duyulan malzeme çok kısa sürede istenilen yere ulaştırılacaktır. Bu kapsamda **afet/deprem lojistiğinde** kullanılacak bir **KDS** etkin bir çözüm için faydalı olacaktır. Son yıllarda yöneticiler ve karar vericiler, lojistik sektöründe de KDS'yi yoğun bir şekilde kullanmaya başlamışlardır. KDS vasıtasıyla verilen kararların doğruluğu ve güvenilirliği test edilebilmekte, doğru karara ulaşılabilmekte, maliyetler düşürülebilmekte ve etkin bir lojistik yönetimine katkı sağlanabilmektedir. Karar vericiler değişik seviyelerde ve karar tiplerinde farklı süre dilimini kapsayan kararları vermek durumundadırlar.

2. Lojistik Karar Verme Seviyeleri

Lojistik KDS uygulamalarında kararlar, diğer KDS uygulamalarında olduğu gibi **stratejik**, **taktik** ve **operatif** olmak üzere üç seviyede ve **yapısal**, **yarı yapısal** ve **yapısal olmayan** tiplerde tanımlanmaktadır. Olağan ve deprem gibi olağan üstü durumlarda lojistik karar seviyeleri Tablo-2'de gösterilmiştir.

LOJİSTİK KARAR VERME SEVİYELERİ				
SEVİYELER	**OLAĞAN DURUM**		**OLAĞANÜSTÜ DURUM (DEPREM)**	
	SÜRELER	**UYGULANAN KARAR TİPİ**	**SÜRELER**	**UYGULANAN KARAR TİPİ**
STRATEJİK (UZUN DÖNEM)	1 yıl ve üstü zaman dilimi	Yapısal Olmayan	49–168 saatlik zaman dilimi (3–7. gün)	Yapısal Olmayan
TAKTİK (ORTA DÖNEM)	1 yıldan az zaman dilimi	Yarı Yapısal / Yapısal Olmayan	25–48 saatlik zaman dilimi (2.gün)	Yapısal Olmayan

OPERATİF (KISA DÖNEM)	Günlük ve anlık kararlar	Yapısal	01–24 saatlik zaman dilimi (1. gün)	Yarı Yapısal / Yapısal Olmayan

Tablo-2: Lojistik Karar Verme Seviyeleri

Tablo-2 incelendiğinde; lojistik karar seviyelerinin olağan ve deprem gibi olağan üstü durumlarda farklı süreleri kapsadığı görülmektedir. Lojistik karar seviyeleri hakkında özet bilgi aşağıda verilmiştir.

a. Stratejik Lojistik Kararlar

Geleceğe yöneliktir ve bu kararların belirsizlik seviyesi oldukça yüksektir. Stratejik kararlar işletmenin büyük maliyetli aktif değerlerin (tesisin yeri, kapasitesi, filo büyüklüğü vb.) lojistik sistem tasarımı ve tedarik edilmesine yönelik kararları kapsar. Bu tip veriler genelde **eksik ve kesin olmayan belirsiz veriler** olduğundan, stratejik kararlar o güne kadar elde edilen bütünleşik verilerin bir araya getirilmesi (müstakil ürünlerin gruplandırılması ve müşteri bölgeleri oluşturulması gibi) üzerinden tahmin ve öngörü esasına dayanır. Olağan durumlarda bir yıl ve üzeri bir dönemi kapsayan stratejik kararlar olağan üstü durumlarda genellikle 3-7 günlük dönemi kapsamaktadır. Stratejik kararlar genellikle, problemlerin çok iyi tanımlanmadığı, karar vericinin rasyonel karar vermek için bilgiye ihtiyaç duyduğu veya yargı ve sezgisini kullanmak zorunda kaldığı **yapısal olmayan** kararları içermektedir.

b. Taktik Lojistik Kararlar

Stratejik seviyede verilen kararların yerine getirilmesinde, kaynakların etkin ve verimli olarak elde edilmesi ve kullanılmasına yöneliktir. Taktik kararlar orta-vadeli dönemler için alınır ve üretim ile dağıtım planlamasının yanı sıra, kaynak tahsisini de içerir. Stratejik kararların aksine, taktik kararlar genellikle dağıtık veriler üzerinden tahmin ve öngörü esasına dayanır. Olağan durumlarda bir yıldan az bir dönemi kapsayan stratejik kararlar olağan üstü durumlarda genellikle 1-2 günlük dönemi kapsamaktadır. Taktik kararlar **yapısal olmayan** veya problemin bir kısmının tanımlı olduğu diğer kısmının ise belirsizliğini koruduğu **yarı yapısal** kararları içermektedir.

c. Operasyonel Lojistik Kararlar

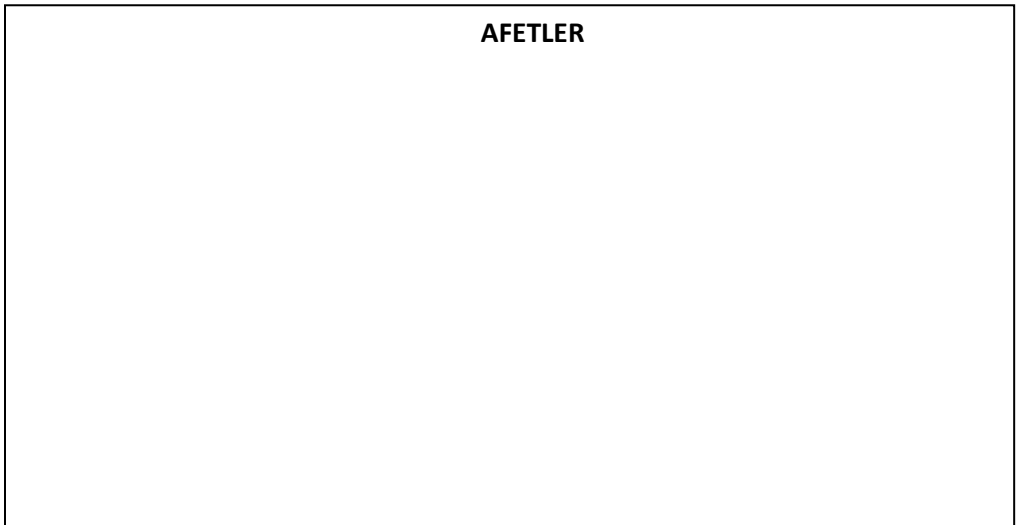
Taktik seviyede alınan kararların yürütülmesi için gerekli görevlerin etkin ve verimli bir şekilde yapılmasını içerir. Günlük olarak veya gerçek zamanlı alınır ve daha dar kapsamlıdır. Operasyonel kararlar, genellikle detaylı verilerin değerlendirilmesine dayanır. Genellikle olağan durumlarda problemin çok iyi tanımlandığı ve karar vericinin sübjektif esnekliğinin olmadığı **yapısal kararları,** olağan üstü durumlarda ise **yarı yapısal** ve **yapısal olmayan kararları** içermektedir.

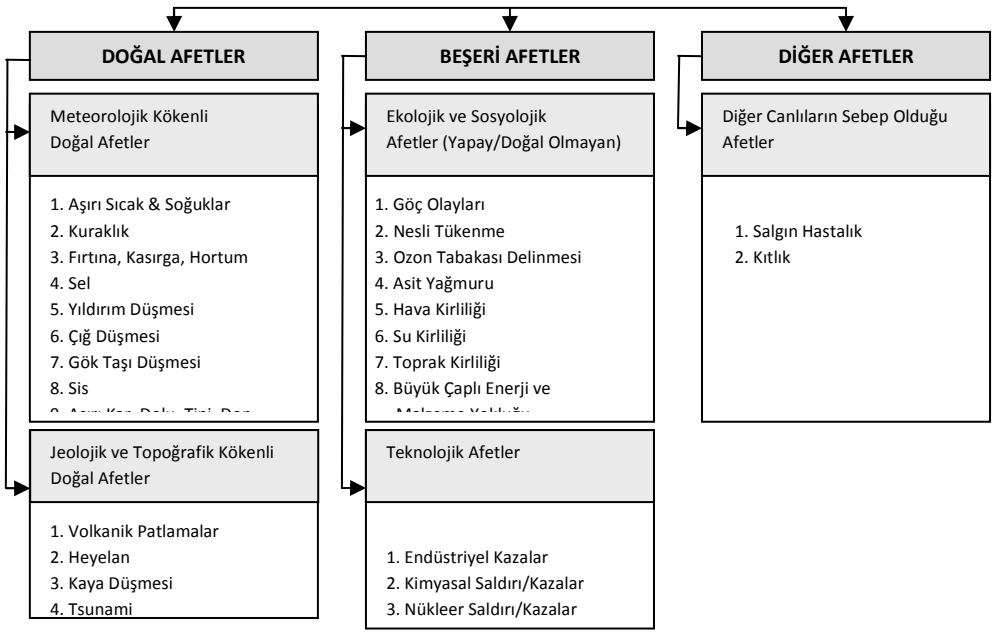
3.Acil Lojistik Yardım Operasyonları (ALYO) ve Deprem Lojistiği

Hayatın normal seyrinde aktığı **"olağan durumlar"** dışında; depremler, fırtınalar, volkanik patlamalar gibi büyük doğa olayları "**olağanüstü durumlar"** olarak algılanırken, yalnızca doğal sebeplere bağlı olmayan, oluşumunda insanoğlunun da rol oynadığı farklı olağanüstü durumlar **"özel durumlar"** olarak değerlendirilmektedir. Olağanüstü ve özel durumlarda insanların ihtiyaçlarını karşılamayı ve yaşamı normale döndürmeyi amaçlayan lojistik faaliyetler uzun süreli, geniş kapsamlı ve karmaşıktır.

a. Olağanüstü Durum ve Özel Durumlar

Mevcut hukuk düzeni ve örgütsel yapısı ile kontrol altına alınabilen, ortadan kaldırılabilen ve yönetilebilen durumlar "**olağan durumlar"**; başa çıkmakta zorlanılan veya çıkılamayan durumlar ise **"olağanüstü durumlar**" olarak tanımlanmaktadır. Olağanüstü durumlarla mücadele etmek maksadıyla **"olağanüstü yönetim"** usulleri geliştirilmiştir. Ancak kimi zaman, olağanüstü yönetim usullerinin de çözüm üretmekte zorlandığı; savaş, iç savaş, ayaklanma, kıtlık, açlık vb. tehlikeler sonucunda yaşamın sürdürülebilirliğini (idame/beka) sağlamak maksadıyla yardım alması gereken **"özel durumlar"** oluştuğu görülmektedir. Bu maksatla, özel durumlarla mücadele edebilecek **"özel yönetim"** usulleri geliştirilmiştir. Olağanüstü durum ve özel durumlar içinde, tahmin edilme güçlükleri, etki büyüklükleri, diğer olayları tetikleyebilme potansiyelleri vb. göz önüne alındığında, afetler daha geniş kapsamlı ve zarar verici olan durumlardır. Kökenlerine göre afet türleri Şekil-2'de gösterilmiştir





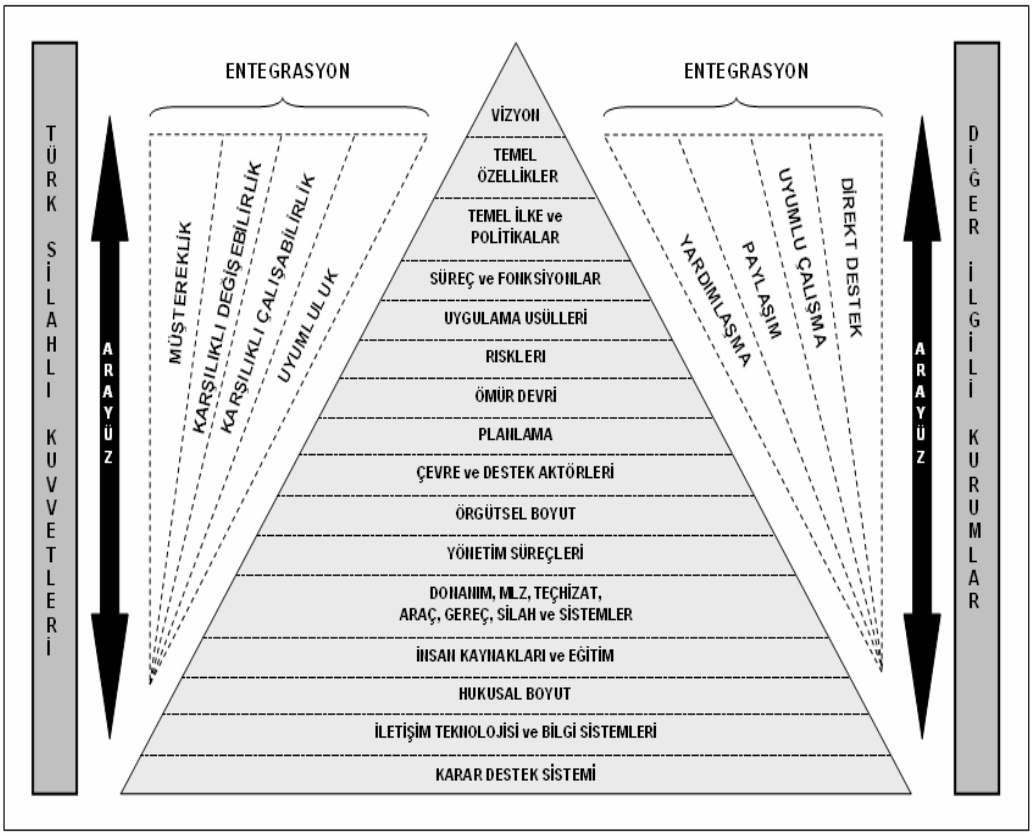
Şekil-2: Afet Türleri

Şekil-2 incelendiğinde, kökenlerine göre afetlerin **"doğal", "beşeri"** ve **"diğer"** olarak üç farklı kategoride sınıflandırıldığı görülmektedir. Doğal afetler oluşumlarında doğa olaylarının; beşeri afetler oluşumlarında dolaylı veya direkt olarak doğal afetlere nazaran insanın daha fazla etkili olduğu ve diğer afetler de ise, oluşumlarında doğal ve beşeri sebeplerin haricinde; hayvan, böcek, virüs, bakteri ve mikro-organizmalar gibi diğer canlıların etken olduğu afetlerdir.

Deprem gibi çok yönlü etkilere sahip olan afetlerle mücadele; iyi planlanmış, uygulamaya hazır ve disiplinler arası "bir yönetim modelinin geliştirilmesi" ile mümkündür. Söz konusu modelin tüm olağanüstü durum ve özel durumlardaki başlıca gereksinimleri; lojistik (her türlü acil ihtiyaç malzemesi), arama-kurtarma, acil sağlık ve ilk yardım, hasta ve yaralıların tahliyesi, emniyet, asayiş, haberleşme, bilgilendirme, yangın söndürme, enkaz kaldırma ve temizleme, karantina, ölülerin defnedilmesi, hasar ve zayiat tespiti vb. olarak sıralanmaktadır. Lojistik bunlar içinde en önemlilerindendir ve bu kapsamda özel bir yaklaşım ile **"ALYO Modeli"** geliştirilmesi gerekmektedir.

b. ALYO Modeli

ALYO, olağanüstü durum ve özel durumun gereksinim ve ihtiyaçlarını öngörülen; zaman, yer ve miktarda karşılamak maksadıyla yürütülen operasyon tabanlı lojistik uygulamalardır. Başta deprem ve afetler olmak üzere tüm olağanüstü ve özel durumlarda (olağanüstü haller, sıkıyönetim ve seferberlik hali-savaş hali hariç, sürdürülebilirlik hali) etkin bir şekilde uygulanabilecek şekilde geliştirilen modelin **boyutları** Şekil-3'te sunulmuştur.

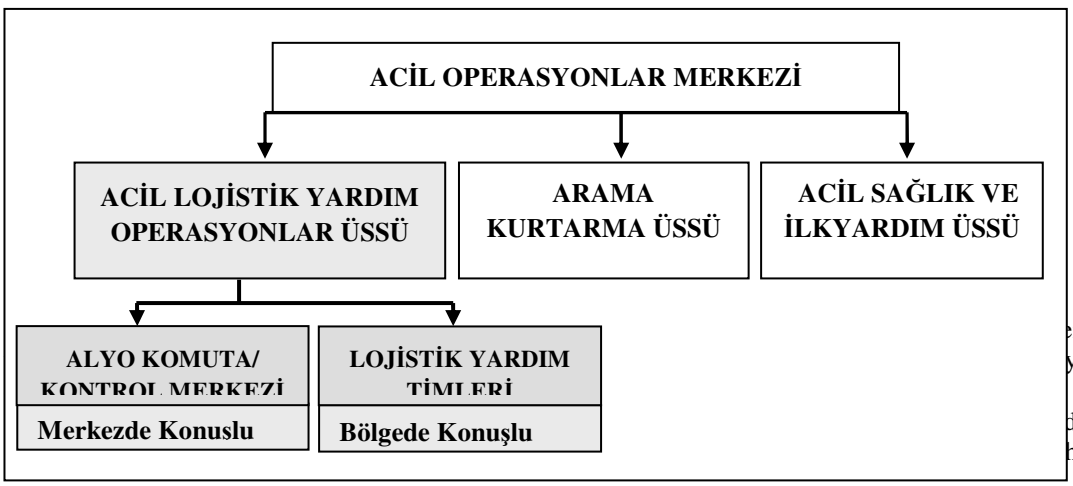


Şekil-3: Acil Lojistik Yardım Operasyonları Boyutları

Şekil-3 incelendiğinde, geliştirilen modelin 18 alt boyuttan oluştuğu gözlenmektedir. Tüm boyutlar bir bütün olarak ele alındığında, modelin **temel özellikleri**; "direkt ikmal esaslı, gereksinim ve ihtiyacı tespit eden, talebi tahmin eden, stratejik dağıtım tabanlı malzeme akışı ve eş zamanlı malzeme ve araç takip/ izleme sistemi kullanan, yeterince stok tutan, gerektiğinde yaygın olarak dış kaynak kullanan, özel eğitimli lojistik personele ve otomatik reaksiyon gösterecek etkili lojistik tepkiye sahip, paylaşıma dayalı güçlü lojistik irtibat ve bilgi sistemleri kullanan, **KDS'**ne sahip, stratejik tedarik yönetimi ve satın alma yapan, ulaştırma modlarını en iyi kullanan, akıllı ve hareketli depolara sahip, elleçleme, barkotlama ve paketleme yapabilen, afetzedelerin ihtiyaçlarını ön görülen yer, zaman ve miktarda karşılayabilen, tek bir merkezden yönetilen, diğer operasyonlarla bütünleşik, eş zamanlı, müşterek, senkronize ve harmonize olan bir yapı" olarak sıralanmaktadır.

c. ALYO Organizasyon Yapısı

Olağanüstü ve özel durumlarda otomatik reaksiyon gösterecek ve acil yardım operasyonlarının yönetimini tek merkezde toplayacak bir organizasyon olarak **"Acil Operasyonlar Merkezi"** kurulması öngörülmektedir. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'na karşı sorumlu olması düşünülen Acil Operasyonlar Merkezinin; **"ALYO Üssü"**, **"Arama-Kurtarma Üssü"** ile **"Acil Sağlık ve İlkyardım Üssü"**nden teşkil edilmesi öngörülmüştür. Öngörülen organizasyon yapısı Şekil-4'te görülmektedir.



em lojistiğine
yardım Üssü"

da **"otomatik**
halinde görev

yapan personelden oluşan bir yapıdır. ALYO Üssü Komuta/ Kontrol Merkezi (KKM) ve Lojistik Yardım Timleri (LYT) olmak üzere birbiriyle ilişkili iki bölümden oluşmaktadır.

(1) Komuta/Kontrol Merkezi (KKM): Herhangi bir olağanüstü durum veya özel durum öncesinde; parametreler, kesin olmayan veriler, alınan dersler, prototip, simülasyon, senaryo ve tatbikatlara dayalı olarak lojistik risk harita ve havuzlarını oluşturarak, bunlara yönelik eğitim, insan kaynakları ve malzemeye yönelik gereksinim, ihtiyaç tespiti ile talep tahminini yapması düşünülmektedir. Olağanüstü durum veya özel durum esnası veya sonrasında ise; devletin siyasi/politik/yasal (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı) lojistiği ile **üst koordinasyon**, askeri/ticari/işletme lojistiği, diğer ilgili kurumlar ve yerel yönetimler ile **yatay koordinasyon** ve LYT ile **alt koordinasyonu** sağlaması öngörülmektedir.

(2) Lojistik Yardım Timleri (LYT): Olağanüstü durum veya özel durum öncesinde ALYO KKM tarafından hazırlanan stratejik, taktik, operatif ve mikro lojistik planlara, uygulayıcı boyutunda eğitim yapmak ve tatbikatlarda icra etmek suretiyle geri besleme, karar ve planlama desteği sağlayacaktır. Havadan en kısa sürede olay yerine intikal edebilecek ve intikal ettiği bölgede **"7 gün kendi kendine iaşe ve ibatesini"** sağlayacak şekilde teçhiz edilmesi düşünülmektedir. Bu bağlamda lojistik planlar aşağıda belirtilen şekilde hazırlanması öngörülmektedir.

(a) 0-24 saatlik zaman dilimindeki operatif planların uygulandığı "1'inci dalgada (hızlı tepki ve müdahale)" LYT; birinci aşamada kendi konuşlanmasını tamamlayacak, ikinci aşamada **"Ana Dağıtım Noktaları, Ara Dağıtım Noktası, Seyyar Araç/ Bot/ Tekne/ Helikopter vb. Filoları ile Çadır Kamplardan (Kentlerden)"** oluşan tesis ve depoları kuracaktır. Üçüncü aşamada kurulan tesis ve depolar ile ALYO KKM ve Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığının ilgili birimleri arasında iletişim, koordinasyon, entegrasyon ve eş güdümü sağlayacak, dördüncü aşamada ise operatif planlara uygun kesintisiz ve sürekli malzeme akışını sürdürecektir.

(b) 25-48 saatlik zaman dilimindeki taktik planların uygulandığı "2'nci dalgada (tansiyon düşürücü müdahale)" LYT; birinci aşamada kendi konuşlanmasını tamamlayacak, ikinci aşamada **"Lojistik Destek Üssü (LDÜ)"**nü ve organizasyonu kuracaktır. Üçüncü aşamada ise, LDÜ ile 1'inci dalgada kurulan tesis ve depolar ile ALYO KKM ve Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığının ilgili birimleri arasında iletişim, koordinasyon, entegrasyon ve eş güdümü sağlayacak, dördüncü aşamada ise taktik planlara uygun kesintisiz ve sürekli malzeme akışını sürdürecektir.

(c) 49-168 saatlik zaman dilimindeki iki bölümlü stratejik planların uygulandığı "3'üncü dalgada (tamamlayıcı müdahale)" LYT; birinci aşamada konuşlanmasını tamamlayacak, ikinci aşamada **"Lojistik Destek Koordinasyon Merkezini (LDKM)"** ve organizasyonu kuracaktır. Üçüncü aşamada ise, LDKM ile 1'inci ve 2'nci Dalgalarda kurulan tesis ve depolar ile ALYO KKM ve Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığının ilgili birimleri arasında iletişim, koordinasyon, entegrasyon ve eş güdümü sağlayacak, dördüncü aşamada ise, stratejik planlara uygun kesintisiz ve sürekli malzeme akışının sürdürülmesini sağlayacaktır.

(3) Yukarıda arz edilen üç dalgalı planlara uygun olarak LYT'nin kuracağı ve işleteceği **lojistik tesisler** aşağıda açıklamıştır.

(a) Lojistik Destek Koordinasyon Merkezi (LDKM): Olağanüstü durum ve özel durumun oluştuğu bölgede; stratejik, taktik ve operatif planlamalara uygun olarak LYT tarafından ihtiyaç miktarı kadar kurulup işletilecek, bilgisayar ve bilgi sistemleriyle (network ağı) teçhiz edilmiş, acil lojistik yardım operasyonlarının diğer üyelerle birlikte icrasında, tüm yapıyı sevk ve idare eden, eş zamanlı bilgi paylaşımını sağlayan, devletin ilgili diğer kurum ve kuruluşları, yurt dışı devlet ve örgütler ile özel dernek, örgüt vb. ile koordinasyonu, entegrasyonu, senkronizasyonu ve eş güdümü sağlayarak köprü vazifesi gören bir ara yüzdür. LDKM, gerek duyulduğunda müstakil olarak da kurulup işletilebilmektedir. LDKM için en uygun yer alternatifinin; ikinci dalgada kurulup işletilen LDÜ'lerden birisinin yanında konuşlanabilecektir.

(b) Lojistik Destek Üssü (LDÜ): Olağanüstü durum ve özel durumun oluştuğu bölgede; stratejik, taktik ve operatif planlamalara uygun olarak LYT tarafından ihtiyaç miktarı kadar kurulup işletilecek, bilgisayar ve bilgi sistemleriyle (network ağı) teçhiz edilmiş, acil ihtiyaç malzemelerinin depolandığı bölgedir. Malzemelerin (paket, konyetnır vb.) ana kabul ve tasnifleme yeri olan LDÜ, LDKM'ye bağlı olarak kurulur. Ancak LDÜ, gerek duyulması halinde (koşullara bağlı olarak vb.) müstakil olarak da kurulup işletilebilir. Çok özel durumlarda bireysel yardım (dağıtım) yapabilen LDÜ, ulaştırma modlarına yakın yerlerde tesis edilmektedir. LDKM'ye bağlı olarak, ilgili bölgede ihtiyaca göre birden fazla noktada açılabilecek olan LDÜ'nün ana görevleri "malzeme yönetimi" ve "sistem yönetimi" olup, lojistik temel süreçlerden "dağıtımı" gerçekleştirmektedir. Bu bilgiler ışığında, LDÜ için en uygun yer alternatiflerinin; Kızılay ve İl/İlçe Afet ve Acil Durum Müdürlükleri ile depoları, büyük ölçekli fabrikalar / depolar, organize sanayi bölgeleri, çiftlik alanları, otoyol civarları, golf sahaları, askeri kışlalar/üsler, iskeleler ve limanlar, havaalanları, piknik alanları, korular ve ormanlar, boş araziler, üniversite yerleşkeleri vb. gibi yerler olabilecektir.

(c) Ana Dağıtım Noktası (ADN): Olağanüstü durum ve özel durumun oluştuğu bölgede; stratejik, taktik, ve operatif planlamalara uygun olarak LYT tarafından ihtiyaç miktarı kadar LDÜ'ye bağlı olarak kurulup işletilecek, bilgisayar ve bilgi sistemleriyle (network ağı) teçhiz edilmiş, mobil ve modüler (bina, baraka, çadır, konteynır, araç, açık depolama sahası vb.) olarak görev yapan dağıtım noktalarıdır.

Malzemelerin daha küçük miktarlarda (paket, konteynır vb.) tasniflendiği ADN; LDÜ ile dağıtım noktaları arasında köprü görevi üstlenmektedir. Çok özel durumlarda bireysel yardım (dağıtım) yapabilen ADN, gerek duyulduğunda müstakil olarak da kurulup işletilebilir. LDÜ'nün özelliklerini taşıyan ve LDÜ'ye bağlı küçültülmüş biçimidir. "Malzeme akış yönetimi" ve "hizmet yönetimi" ana görevlerinden olan ADN; lojistik temel süreçlerden "dağıtımı" gerçekleştirmektedir. Bu bilgiler ışığında, ADN için en uygun yer alternatiflerinin; orta ölçekli fabrikalar/depolar, sanayi siteleri, araç muayene istasyonları, atlı spor kulüpleri, golf sahaları, korular ve ormanlar, otobüs terminalleri, otoyol civarları, parklar, pazaryerleri, spor alanları ve stadyumlar vb. gibi yerler olabilecektir.

(ç) Ara Dağıtım Noktası: ADN'nin; mikro özelliklerini taşıyan, depolama, dağıtım ve perakende süreçlerini esnek ve mobil bir şekilde yerine getiren küçültülmüş ve ADN'ye bağlı olarak çalışan tesislerdir. Şartların gerektirmesi durumunda LDÜ'ye de bağlı olarak açılıp işletilebilir. Bu esasla; ARDN'nin işletildiği alan; helikopter iniş ve kalkışı ile tır/kamyon vb. araçların giriş, çıkışına, yük aktarımına uygun genişlikte olmalıdır. ARDN için en uygun yer alternatiflerinin; küçük ölçekli fabrikalar/depolar, araç bakım servisleri, otoyol civarları, atlı spor kulüpleri, golf sahaları, korular ve ormanlar, katlı otoparklar, parklar, büyük duraklar, pazaryerleri, spor salonları, spor alanları ve stadyumlar, feribotlar/gemiler, okullar ve okul bahçeleri ile alışveriş merkezleri vb. gibi yerler olabilecektir.

(d) Seyyar Araç/Bot/Tekne/Helikopter vb. Filoları: Lojistik Destek Üssü ile Ana Dağıtım Noktası arasında, Ana Dağıtım Noktası ile Ara Dağıtım Noktası ve Çadır Kamp (Kent) arasında, diğer depolama alanları ile merkez ve temel üyeler arasında malzeme akışını sağlayan mobil ara yüzlerdir. Ayrıca, kurulup işletilen tesislerden faydalanamayan aktörzedelere yardım malzemelerinin ulaştırılmasını sağlamaktadır. Merkez ve temel üyelerin ihtiyaçları doğrultusunda, ilgili üyelerin sorumluluğunda kadrolanır.

(e) Çadır Kamp (Kent): Aktörzede gereksinimlerine göre nitel ve nicel açıdan değişkenlik gösterecek çadır kamplar (kentler), farklı büyüklük ve miktarlara sahip olabilecektir. Bu nedenle, kurulacak ve işletilecek çadır kamplar (kentler) "paket proje (mutfak, banyo üniteleri vb.)" anlayışı ile tesis edilip işletilecektir. Günlük yaşamda sıkça kullanılan "çadır kent" kavramı, genel bir tanımlama olup, bir ölçek olarak kullanılmamaktadır. Aktörzedelerin ihtiyaçlarını görmek maksadıyla, ihtiyaç sahibi mevcuda göre ölçeklendirilen çadır kamplar (kentler) beş kategoride tasnif edilmiştir.

(I) Mikro Ölçekli Çadır Kamplar (Kentler): 10-100 adet çadır (40-400 görevli personel ve aktörzede) kapasiteli olup, mikro lojistik planlamalara uygun olarak kısa süreli ve lokal olaylarda, acil yardım operasyonlarına katılacak personel ve zedeler için kurulacak çadır kamplardır. **"E tipi çadır kamplar olup, çadır mahalleler"** olarak adlandırılır.

(II) Küçük Ölçekli Çadır Kamplar (Kentler): 200-400 adet çadır (800-1.600 aktörzede) kapasitelidir. **"D tipi çadır kamplar olup, çadır köyler"** olarak adlandırılmaktadır.

(III) Orta Ölçekli Çadır Kamplar (Kentler): 1.000-1.500 adet çadır (4.000-6.000 aktörzede) kapasitelidir. **"C tipi çadır kamplar olup, çadır beldeler"** olarak adlandırılmaktadır.

(IV) Büyük Ölçekli Çadır Kamplar (Kentler): 2.500-3.000 adet çadır (10.000-12.000 aktörzede) kapasitelidir. **"B tipi çadır kamplar olup, çadır ilçeler"** olarak adlandırılmaktadır.

(V) Makro Ölçekli Çadır Kamplar (Kentler): 5.000-9.000 adet çadır (20.000-36.000 aktörzede) kapasitelidir. **"A tipi çadır kamplar olup, çadır iller"** olarak adlandırılmaktadır.

Ölçeklerine göre yukarıda tasnif edilen çadır kamplar (kentler); ihtiyaç, koşullar, yer, zaman, coğrafi ve fiziki şartlar vb. özelliklere göre birden fazla bir arada kullanılabileceği gibi, herhangi bir ölçekten birden fazla kullanılabilir. Çadır kamplar (kentler) için en uygun yer alternatiflerinin ise; çiftlik alanları, otoyol civarları, atlı spor kulüpleri, golf sahaları, korular ve ormanlar, kışlalar/askeri üsler, havaalanı civarı, boş alanlar, piknik alanları ve üniversite yerleşkeleri vb. gibi olacağı değerlendirilmektedir.

ç. ALYO İş Süreçleri ve Fonksiyon Sahaları

Lojistik temel/ ana süreçler olan "tedarik", "üretim", "dağıtım" ve "kullanım" göz önüne alındığında, LYT'nin; açılacak tesisler, yardım dalgaları, zaman dilimi, örgütsel boyut, iş süreçleri ve iş fonksiyon alanları ile lojistik temel/ ana süreçlerle olan ilişki matrisi Tablo-3'de görülmektedir.

SÜREÇ	(1) Tedarik (2) Üretim	(3) Dağıtım					(4) Kullanım
AÇILMASI PLANLANAN LOJİSTİK TESİS	Lojistik Destek Koordinasyon Merkezi (LDKM)	Lojistik Destek Üssü (LDÜ)	Ana Dağıtım Noktası (ADN)	Ara Dağıtım Noktası (ARDN)	Seyyar Araç **Filosu (SAF)**	Çadır Kamp (ÇK)	

SORUMLU BİRİM	Lojistik Yardım Timleri	Lojistik Yardım Timleri	Lojistik Yardım Timleri	Lojistik Yardım Timleri	
YARDIM DALGALARI	3'üncü Dalga (Tamamlayıcı Müdahale) (STRATEJİK)	2'nci Dalga (Tansiyon Düşürücü Müdahale) (TAKTİK)	1'inci Dalga (Hızlı Tepki ve Müdahale) (OPERATİF)		
AÇILMA ZAMANI	İlk 7 gün (49-168 saat) **ve sonrasındaki** lojistik yardım süreci	İlk 2 gün (25-48 saat)	İlk gün (0-24 saat)	İlk gün (0-24 saat)	
TEŞKİLAT YAPISINDA BULUNAN BİRİMLER	(I) Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Koordinasyon Hücresi, (II) Lojistik Destek Merkezleri Koordinasyon Hücresi, (III) Bilgi İşlem/ Karar Destek Hücresi, (IV) Tedarik (Satın Alma) Hücresi, (V) Muayene Kabul Hücresi, (VI) Üretim Hücresi, (VII) Bütçeleme Hücresi, (VIII) Eğitim ve Ar-Ge Hücresi, (IX) Destek Üyeleri Koordinasyon Hücresi, (X) Veri Toplama Hücresi vb.	(I) Merkez Üye, (II) LDKM Koordinasyon Birimi, (III) Teslim Alma Birimi, (IV) Dağıtım Noktaları Birimi, (V) Teslim Etme Birimi, (VI) Bilgi İşlem Birimi, (VII) Paketleme Birimi, (VIII) Barkodlama Birimi, (IX) Bakım ve Yedek Parça Birimi, (X) Bütçeleme Birimi, (XI) Ana Depo Birimi, (XII) Ulaştırma Birimi, (XIII) Elleçleme Birimi, (XIV) Envanter Birimi,	(I) Merkez Üye, (II) Lojistik Destek Üssü Koordinasyon Birimi, (III) Teslim Alma Birimi, (IV) Dağıtım Noktaları Birimi, (V) Teslim Etme Birimi, (VI) Bilgi İşlem Birimi, (VII) Paketleme Birimi, (VIII) Barkodlama Birimi, (IX) Bakım ve Yedek Parça Birimi, (X) Bütçeleme Birimi, (XI) Ana Depo Birimi, (XII) Ulaştırma Birimi, (XIII) Elleçleme Birimi, (XIV) Envanter Birimi	(I) Merkez Üye, (II) Ana Dağıtım Noktası Koordinasyon Birimi, (III) Teslim Alma Birimi, (IV) Dağıtım Noktaları Birimi, (V) Teslim Etme Birimi, (VI) Bilgi İşlem Birimi, (VII) Paketleme Birimi, (VIII) Barkodlama Birimi, (IX) Bakım ve Yedek Parça Birimi, (X) Bütçeleme Birimi, (XI) Ana Depo Birimi, (XII) Ulaştırma Birimi, (XIII) Elleçleme Birimi, (XIV) Envanter Birimi	Afetzede tarafından yapılan faaliyetleri içeren süreç planlamasıdır.
İŞ SÜREÇLERİ	(I) Talep Yönetimi, (II) Sipariş Tanımlama, (III) Tedarikçi İlişkiler Yönetimi, (IV) Tersine Lojistik, (V) Bakım ve Yedek Parça Desteği.	(I) Talep Yönetimi, (II) Sipariş Tanımlama, (III) Tedarikçi İlişkiler Yönetimi, (IV) Tersine Lojistik, (V) Bakım ve Yedek Parça Desteği.	(I) Talep Yönetimi, (II) Sipariş Tanımlama, (III) Tedarikçi İlişkiler Yönetimi, (IV) Tersine Lojistik, (V) Bakım ve Yedek Parça Desteği.	(I) Talep Yönetimi, (II) Sipariş Tanımlama, (III) Tedarikçi İlişkiler Yönetimi, (IV) Tersine Lojistik, (V) Bakım ve Yedek Parça Desteği.	

İŞ FONKSİYON ALANLARI	(I) İhtiyaç Tespiti, (II) Bütçeleme, (III) Satın Alma, (IV) Muayene Kabul, (V) Geçici Depolama, (VI) Finans Yönetimi, (VII) Envanter Yönetimi, (VIII) Eğitim, Ar-Ge, (IX) Bilgi İşlem.	(I) Bilgi Sistemi, (II) İhtiyaç Tespiti, (III) Sipariş Alma, (IV) Sipariş Verme, (V) Bütçeleme, (VI) Teslim Alma, (VII) Muayene Kabul, (VIII)Geçici Depolama, (IX) Elleçleme, (X) Ulaştırma, (XI) Finans Yönetimi, (XII) Envanter Yönetimi, (XIII) Teslim Etme.	(I) Bilgi Sistemi, (II) İhtiyaç Tespiti, (III) Sipariş Alma, (IV) Sipariş Verme, (V) Bütçeleme, (VI) Teslim Alma, (VII) Muayene Kabul, (VIII)Geçici Depolama, (IX) Elleçleme, (X) Ulaştırma, (XI) Finans Yönetimi, (XII) Envanter Yönetimi, (XIII) Teslim Etme.	(I) Bilgi Sistemi, (II) İhtiyaç Tespiti, (III) Sipariş Alma, (IV) Sipariş Verme, (V) Bütçeleme, (VI) Teslim Alma, (VII) Muayene Kabul, (VIII)Geçici Depolama, (IX) Elleçleme, (X) Ulaştırma, (XI) Finans Yönetimi, (XII) Envanter Yönetimi, (XIII) Teslim Etme.	

Tablo-3: Acil Lojistik Yardım Operasyonları İlişki Matrisi

Tablo-3 incelendiğinde, ALYO süreci içerisinde; açılması planlanan lojistik tesisler, bundan sorumlu birim, açılma zamanları ve bunun hangi yardım dalgasında gerçekleştirileceği, ilgili tesiste teşkilat yapısında bulunacak birimler, bunların iş süreçleri ve fonksiyon alanlarının bütünleşik ve entegre bir hale getirildiği ve söz konusu yapının; stratejik, taktik ve operasyonel planlamayı kapsadığı gözlenmektedir.

d. ALYO Dağıtım Malzemeleri ve Planlama

Olağanüstü ve özel durumlarda, acil ihtiyaç duyulacağı ön görülen ve ALYO marifetince dağıtılması öngörülen dokuz adet **ana yardım malzemesi** Tablo-4'de belirtilmiştir.

Nu	Malzeme	Açıklama
1	Su	İçme ve kullanma suyu
2	Gıda	Ekmek, konserve, bakliyat gibi dayanıklı gıda, kahvaltılık, sebze, meyve gibi dayanıksız gıda vb.
3	İlaç	
4	Battaniye	
5	Kıyafet	Giysi, çorap, ayakkabı, yağmurluk vb.
6	Çadır	
7	Yakıt	Katı, sıvı ve gaz vb.
8	Isınma	Soba, katalitik, tüp vb.
9	Diğer	Temizlik malzemeleri, yemek malzemeleri (tabak, çanak vb.), ağaç palet, sera naylonu, uyku tulumu, met, kampet, yatak vb. gibi ortamın/ koşulların gerektirdiği diğer malzeme

Tablo 4: Acil İhtiyaç Malzemeleri

Söz konusu planlamada acil ihtiyaç malzemeleri kendilerine has özelliklerine göre farklı kanal yapısına sahip olabilecektir. Bu malzemeler cinslerine göre; temel üyelerden LDÜ, ADN, ARDN, SAF ve ÇK tarafından hiyerarşik silsile ile dağıtılabileceği gibi, yardım malzemesi olarak hiyerarşik kanal yapısı haricinde, temel üyelere direkt dağıtımı yapılabilir.

4. Deprem Lojistiği Karar Destek Sistemi

Yöneticiler; günümüzde belirsizliğin fazla olması, faaliyetlerin daha karmaşık ve büyük boyutta olması, koşulların daha da zorlaşması vb. gibi sıkça karşılaştıkları problemleri çözmek, yeni stratejiler belirlemek, politikalar üretmek ve en önemlisi doğru karar vermek için KDS kullanmaya başlamışlardır. Genel anlamıyla KDS, yönetici konumundaki karar vericilerin karar vermelerinde yardımcı olan sistemlerdir şeklinde tanımlanabilir. Diğer bir deyişle, verilmesi gereken kararla ilgili veriyi daha iyi anlayarak, daha etkin karar

seçeneklerini oluşturma, alternatifleri belirleme ve değerlendirme işlevlerinde destek sağlayan ve doğru karar verme olasılığını artıran sistemlerdir.

KDS'nin etkin olarak kullanıldığı ve ihtiyaç duyulduğu alanlar; "askeri uygulamalar, yönetim uygulamaları, mühendislik uygulamaları, eğitim-öğretim uygulamaları, olağanüstü hal ve özel durum uygulamaları (acil lojistik yardım operasyonları) ile lojistik uygulamalar" olarak sıralanabilir. Bu kapsamda önerilen KDS aşağıdaki sorulara cevap verecek şekilde geliştirilmektedir.

a. Açılacak lojistik tesisler ve unsurlar kapsamında;

(1) Loj.Ds.Koor.Mrk.,
(2) Loj.Ds. Üssü,
(3) Dağıtım Noktası,
(4) Ara Dağıtım Noktası,
(5) Çadır kamp,
(6) Seyyar Araçların **en uygun yerleşimi** (uygun geçici lojistik tesislerin yeri / tesis yerleştirme ve planlama) nasıl olmalıdır?

b. Deprem bölgesi ve açılacak tesisler arasındaki mesafeye yönelik olarak;

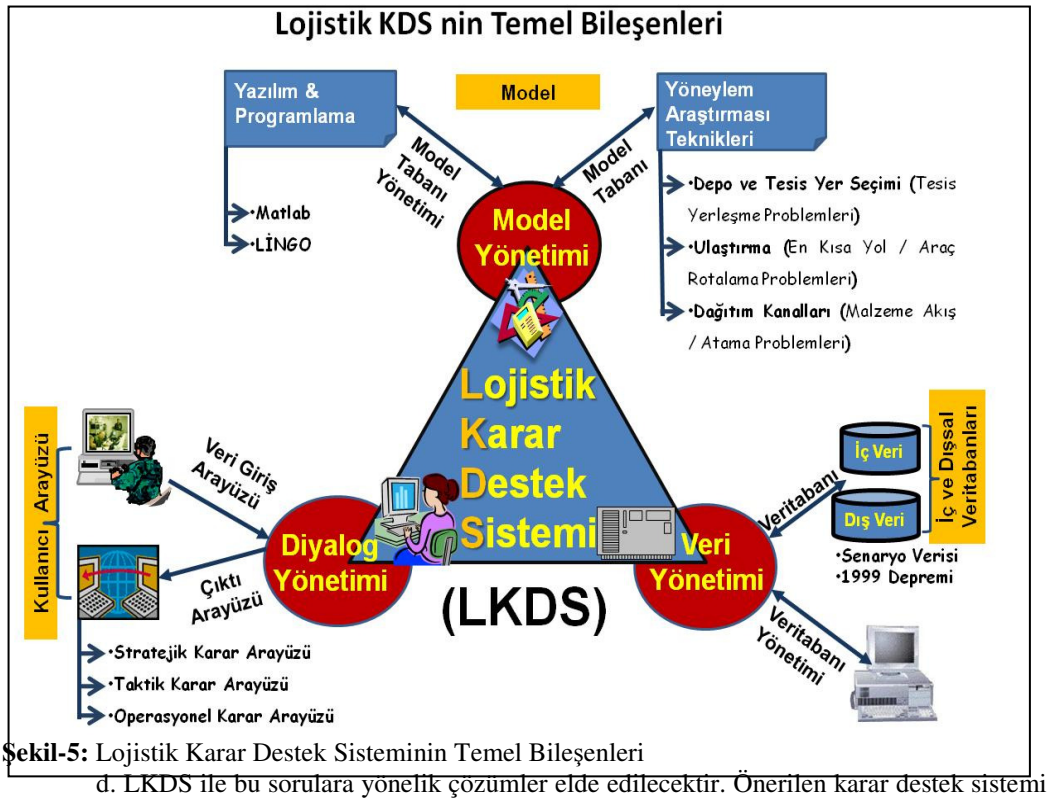
(1) Deprem bölgesi ile lojistik unsurlar/tesisler arasındaki,
(2) Açılacak acil lojistik tesislerinin birbirleri arasındaki,
(3) Lojistik tesisler dışında kalan diğer tesisler (Arama kurtarma, sıhhi yardım vb.) ile acil lojistik tesisler arasındaki,
(4) Lojistik tesislerin ana arterlere bağlantıda **en kısa ve uygun ulaştırma yolları** nerelerdir?

c. **Dağıtım kanalları** neler olmalıdır? Farklı özelliklere sahip farklı malzemelerin sınıflandırması ve dağıtımı nasıl olmalıdır? Bu kapsamda önerilen model için düşünülen lojistik malzemeler; su, gıda, ilaç, battaniye, kıyafet, çadır, yakıt, ısınma ve diğer malzeme şeklinde sırlanmaktadır.

ç. Yukarıdaki üç maddeye yönelik olarak;

(1) **Stratejik seviyede** Loj.Ds.Koor.Mrk.nin nerede açılacağı ve bağlantı durumu,
(2) **Taktik seviyede** Loj.Ds. Üslerinin nerede açılacağı ve bağlantı durumu,
(3) **Operatif seviyede** dağıtım noktaları, ara dağıtım noktaları, seyyar araçlar ve çadır kentlerin nerede açılacağı ve bağlantı durumu ile ilgili kararlar nasıl olmalıdır?

Yukarıda cevap aranan hususlara yönelik geliştirilecek Lojistik Karar Destek Sisteminin (LKDS) temel bileşenleri Şekil-5'de gösterilmiştir.



Şekil-5: Lojistik Karar Destek Sisteminin Temel Bileşenleri

d. LKDS ile bu sorulara yönelik çözümler elde edilecektir. Önerilen karar destek sistemi **veri yönetimi**, **model yönetimi** ve **diyalog yönetimi** olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır.

(1) Veri yönetimi; veri tabanı ve veri yönetiminden oluşmaktadır. Veri yönetimi; karar vericinin belli bir kararı verebilmesi için, ilgili verinin getirilmesi, saklanması ve organize edilmesiyle ilgili

değişik faaliyetlerin yerine getirildiği bir LKDS bileşenidir. Veriler içsel ve dışsal veritabanlarından toplanmaktadır. Önerilen KDS'de veri yönetimi kullanıcı vasıtası ile veri tabanı oluşturularak sağlanacaktır.

(2) Model yönetimi; model tabanı ve model yönetimi tabanından oluşacaktır. Model tabanı alt sisteminde, istenen lojistik alanlarda karar destek sağlayacak model yapılandırılmaktadır. Model tabanı alt sistemi, problemin kısıtları altında amaca uygun olarak karar vericilere doğru karar vermesini ve optimum (en uygun) sonuçların elde edilmesini sağlayan "yöneylem araştırması teknikleri" kullanarak; kâr, memnuniyet, etkinlik vb. hususları maksimize eden; gider, zaman, mesafe vb. hususları minimize eden optimum sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır. Örneğin; depo yeri seçerken, en kısa mesafe ve en düşük maliyetle ulaştırma sağlayan, müşterilerin memnuniyetini maksimum yapan, araç kapasiteleri ve ulaşım süreleri gibi kısıtları göz önünde tutan modellerde yaygın olarak yöneylem araştırması teknikleri kullanılır.

Değişkenler ve katsayıların daha ziyade doğrusal olarak tanımlandığı LKDS'de "doğrusal programlama" daha yaygın olarak kullanılır. Bununla beraber fonksiyonların doğrusal olarak değişmediği durumlarda, doğrusal olmayan programlama söz konusudur. Belirli ve kesin durumlarda deterministik modeller, belirsizlik ve olasılık durumlarında stokasik modeller kullanılır. Ayrıca olasılık söz konusu olduğunda istatistik tekniklerinden, tahmin gerektiren durumlarda ekonometri vb. tahmin modellerinden faydalanılır. Lojistik sistemlerde stok modellerinden de yaygın olarak istifade edilmektedir. Süreç modellemesi ve modelleri test etmek maksadıyla simülasyon tekniklerinden faydalanılır.

(3) Diyalog yönetimi; veri girişinin yapıldığı, çıktıların ve sonuçların görüldüğü **arayüzler** kapsamaktadır. Diğer bir deyişle, kullanıcı ile lojistik karar destek sisteminin iletişimini sağlayan KDS bileşenidir. Kullanıcının sistemle doğrudan temasta bulunduğu tek bileşendir. Bu bileşen temel olarak veri ve modellerin girildiği girdi ekranı ve sonuçların elde edildiği çıktı ekranı, konuşma-sorgulama dili işleyicisi, diyalog üretme ve yöneltme araçlarını içermektedir.

Geliştirilen karar destek sistemi ile olası bir İstanbul depremi test edilmesi düşünülmektedir.

Kaynakça :

[1] Ramazan ÖZEY, (2006), "Afetler Coğrafyası", İstanbul, Aktif Yayınevi.
[2] Bülent ÖZÜKAN ve arkadaşları, (2002), "Yeryüzü ve Deprem", İstanbul, Boyut Yayıncılık, 118-119.
[3] Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi İnternet Sayfası, 08 Temmuz 2009, <http://www.deprem.gov.tr/afetyon.htm; http://www.deprem. gov.tr/deprem.htm; http://www.deprem.gov.tr/linkhart. htm>.
[4] Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Ulusal Deprem İzleme Merkezi İnternet Sayfası, Deprem Ölçme Yöntemleri, 11 Ağustos 2009, < http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/default.htm >.
[5] ERGÜNAY, Oktay. Afet Yönetimi Nedir? Nasıl Olmalıdır? Erzincan ve Dinar Deneyimleri Işığında Türkiye'nin Deprem Sorunlarına Çözüm Arayışları Bildiriler Kitabı, (ed.) T. Tankut, Ankara, TÜBİTAK Yayınları, 1996, 263-264.
[6] ERGÜNAY, Oktay. Acil Yardım Planlaması ve Afet Yönetimi, Ankara, AİGM, 1998.
[7] ERGÜNAY, Oktay. Afet Yönetiminde İşbirliği ve Koordinasyonun Önemi, Afet Yönetiminin Temel İlkeleri, (ed.) Mithat Kadıoğlu – Emin Özdamar, Ankara, JICA Türkiye Ofisi Yayın No:1, 2005,10.
[8] Son Depremler İnternet Sayfası, 11 Ağustos 2009, <http://www.sondepremler.info/buyuk+depremler.php>.
[9] Tufan ŞİMŞEK, Doğan KARADOĞAN (2010), "Olağanüstü Durumlar ve Özel Durumlarda Uygulanacak Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetimine (Acil Lojistik Yardım Operasyonları) Yönelik Bir Model" Y.Lisans Tezi
[10] Hadi GÖKÇEN, Yönetim Bilgi Sistemleri, Palme Yayıncılık, Ankara,2007
[11] Mehmet ŞAHİN, Yönetim Bilgi Sistemi, Anadolu Üniversitesi İ.İ.B.F. Yayınları, Eskişehir,2003
[12] Yaşar HOŞCAN, Özlem OKTAL, Özlem HEPKUL ve ötekiler, Yönetim Bilgi Sistemi, T.C. Anadolu Üniversitesi Yayını, 2003

THE MEASUREMENT OF EFFICIENCY IN TURKISH FINANCIAL SECTOR USING DATA ENVELOPMENT ANALYSIS FOR THE YEAR 2009

Hale Kırer[4] Billur Şeniğne[5] Burcu Yavuz Tiftikçigil[6]

ABSTRACT

In the science of economics which deals with the problem of allocation of scarce resources between the endless needs of human beings, the concept of efficiency is gradually gaining importance. Especially in recent years adopting the most effective way of using scarce resources has become crucial because of the increasing competition and global crises. This situation at micro level for the firms and at macro level for the whole economy is important. Therefore, some efficiency measuring techniques have resultly been introduced. The widely used non-parametric Data Envelopment Analysis (DEA) is esteemed one of these methods. The aim of this study is to evaluate the efficiency of Turkish Financial Sector namely the Banking Sector and the Insurance Sector in 2009 by using the method of Input Oriented Variable Returns to Scale Data Envolopment Analysis. Especially after the 2008 global crise, the banking sector continued its strong position due to capital adequacy, asset quality, profitability and funding structure. The real premiums of the insurance sector have been declined after the global crise in 2009. Within this context, recent paper analyzes how consistent the results with the current situation.

1. Introduction

Scarcity is one of the primary subjects on which economics has put great emphasis at all times. Being of such a great importance, the concept of scarcity is accompanied by another concept "efficiency". Particularly in the contemporary world, the question of how efficient the resources are used has gained increasing importance. This is because maximizing throughput with available resources in an environment of increased competition is the foremost requirement for companies to survive. The concept of efficiency is generally defined as the ability to achieve maximum output with minimum cost. According to Vilfredo Pareto's Efficiency Theory, social welfare is assumed to be optimal if it is not possible to improve people's level of well being without decreasing the well being of at least one person in a society (Dinler, 2000). Pareto-Koopsman's definition argues that pure efficiency (100%) is ensured if it improves nothing but inputs and outputs of a Decision Making Unit (DMU) without compromising others (Cooper et al., 2004). Farell divides Pareto efficiency into two categories as technical and allocative-price efficiency. Allocative-price efficiency measures the success of a DMU in selecting optimal input whereas technical efficiency indicates its ability to obtain maximum output from a given bunch of inputs (Farell, 1957). In addition to technical and allocative-price efficiency, a concept of structural efficiency was introduced. Accordingly, structural efficiency is a type of efficiency that estimates wrong measurement made by allocative-price efficiency (Kök, 1991)

Methods of measuring efficiency generally include three methods. These are Ratio Analysis, Parametric and Non-parametric methods. Ratio analysis is the most basic and common method of all. However, in an industry where a great number of inputs and outputs are used, reaching a conclusion based on a single ratio is not reliable. Parametric methods assume that the production function of industry for which efficiency will be measured has an analytical structure, and are used to identify parameters of that function (Yeşilyurt and Alan, 2003). This method supposes that the best performance in the bunch is above the efficiency limit, and efficiency of others is defined accordingly. Although it was handled in three categories as Stochastic Frontier Approach, Distribution-Free Approach and Thick Frontier Approach, many sources unite it under a single topic called Regression Analysis. Non-parametric methods are addressed in two categories as Data Envelopment Analysis (DEA), which is the subject matter of this study, and Free Disposal Hull (FDH), which is an exception of DEA. A common assumption in non-parametric methods is that there is no random error.

Recent study intends to measure efficiency of banking and insurance sectors in Turkey in 2009 by using DEA. Within the framework of the economic program of Turkey that was put into effect in 2001, macroeconomic stability was ensured and inflation rates dropped below 10%. During that period, the financial sector, particularly the banking sector, underwent certain structural changes. Intermediation as the basic function of banking sector

[4]Research Assistant, İstanbul Kültür University, Department of Economics, h.kirer@iku.edu.tr
[5] Research Assistant, İstanbul Kültür University, Department of Economics, b.senigne@iku.edu.tr
[6] Research Assistant Dr., İstanbul Kültür University, Department of Economics, b.tiftikcigil@iku.edu.tr

has come to the forefront. Especially with the increasing interest of foreigners towards and diminishing profit margins in the banking and insurance sectors in recent years, optimal and effective use of resources in these sectors has become a necessity (Kaya, Doğan, 2005). In this context, this paper also analyzes how global credit crisis of 2008 influenced the banking and insurance sectors in Turkey.

2. Data Envelopment Analysis

DEA is a linear programming-based, non-geometrical technique that is used to measure relative performance of DMUs in cases where inputs and outputs that were measured with multiple and different scales or had various measure units make it difficult to carry out comparisons (Kayalıdere and Kargın, 2004). Definition in DEA with regard to DMUs is a general and flexible one. DEA practices use various forms of DMUs when assessing the performance of assets. (Gregoriov and Zue, 2005).

In the basic understanding of Data Envelopment Analysis, DEA indicates the efficiency limit and compares it to the best observation. In Figure 1, x and y axises indicate respectively input and output.

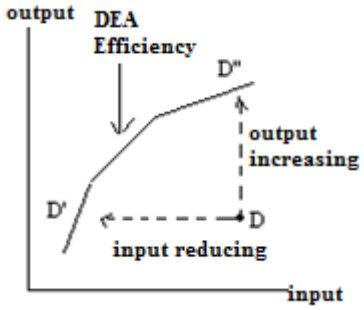


Figure 1: DEA Efficiency Frontier

D shows ineffective DMU. In order to increase efficiency, input should be decreased to D' while output should rise up to D''. D' and D'' are referred to as target points for the DMU D. DEA represents multiple performance measurements as input and output. (Gregoriov and Zue, 2005).

2.1 Methodology

The first essay on DEA was published in the European Journal of Operations Research by Charnes, Cooper and Rhodes (CCR). CCR generalized the method Farrell introduced in 1957, which measured technical efficiency using single input and output, and is used to ensure optimization through mathematical programming in cases with multiple inputs and outputs. CCR model is applied with the assumption of constant returns to scale. The subsequent studies started to speculate alternative assumptions. In 1984, Banker, Charnes and Cooper (BCC) introduced the variable returns to scale assumption. In addition to the two essays, a number of basic DEA models were also developed but they are less common in the literature. These include the additive model developed in 1985 by Charnes, Cooper, Golany, Seiford and Stutz; the multiplicative model introduced in 1982 by Charnes, Cooper, Seiford and Stutz; the cone-ratio model put forward in 1990 by Charnes, Cooper, Huang and Sum; the assurance region DEA model of 1990 by Thompson, Langemeler, Lee and Thrall as well as in 1986 by Thompson, Singleton, Thrall and Smith; and finally the super-efficiency models suggested in 1993 by P. Anderson and Peterson (Barros and Santos, 2006). Development of the Data Envelopment Analysis model was largely influenced by the studies conducted in 1994 by Fare, Grosskopf and Lovell; in 1994 by Charnes, Cooper, Lewin and Seiford; in 1998 by Coelli, Rao and Battese; in 2000 by Cooper, Seiford and Tone; and in 2001 by Thonassoulis.

H. D. Sherman and F. Gold's (1985) analysis on the banking sector was the first notable study using DEA. Since then, number of the studies conducted in this field has increased. A. N. Berger's essay (1997) summarizing 41 DEA studies is a major publication (Paradi, Vela, Yang, 2004). From that time to present, interest in the DEA studies for the banking sector has also grown. These studies usually analyzed a single country, and the number of cross country studies is relatively low. Nevertheless, there are several studies on the European Union banking sector in the literature (Fethi and Pasiouras, 2009). On the insurance sector, studies of Fecher et al. (1993) and Noulas et al. (2001) are prominent ones. (Kao and Hwang, 2008). Kao and Hwang's study (2008) is a contemporary example of applying DEA in non-life insurance sector.

2.2 Types of Data Envelopment Analysis

DEA models basically divide into two groups. These are DEA under the assumption of Constant Returns to Scale, and Variable Returns to Scale. These models are divided into two categories as input-oriented and output-oriented. Figure 1 showed that the input would be decreased or output would be increased for an ineffective DMU to reach the efficiency frontier. The efficiency frontier consists of DMUs which need no input decrease and output increase (Gregoriov and Zue, 2005). In this regard, there is the "input-oriented approach" indicating how much the input used in production could be decreased, or the "output-oriented approach" showing production limit by exploring the rate of maximum possible throughput increase without changing the data input bunch. These two measures give the same results in the constant returns to scale model while lead to different results in the variable returns to scale model. DEA is analyzed with the assumption that DMUs (companies) may

not always be at the full efficiency level (Kök and Deliktaş, 2003). In addition to these two basic models, there are several models developed for DEA.

2.2.1 The Constant Returns to Scale Model (CRS)

DEA involves the generation of a non-parametric piece-wise frontier on the data, using linear programming. Efficiency measures are calculated on the basis of this frontier. Piece-wise convex approach to the frontier estimation was first introduced in 1957 by Farrell. Boles (1966) and Afriat (1972) suggested some mathematical programming models for this approach. However, the most interesting model was put forward in 1978 by Charnes, Chooper and Rhodes (Coelli, Rao and Battese, 1998). The model of Data Envelopment Analysis with CRS was discussed by Charnes, Chooper and Rhodes. Charnes and others argued that a production possibilities curve could be generated under the best practice technology on the basis of data distribution without any restriction on the production technology (Kök and Deliktaş, 2003).

The first model to describe is the input-oriented Data Envelopment Analysis under the assumption CRS. This is because the mentioned analysis method is the most commonly used method (Coelli, Rao and Battese, 1998).

Accordingly, K is input and M is output for each N company (DMU). x_i and y_i are respective vectors specified for the DMU i., X is KxN input for each N company, and Y is MxN output matrix.

CRS method includes a proportional definition of efficiency. It generalizes the method, where a single output is proportioned to a single input, for multiple outputs and multiple inputs (Banker, Charnes, Cooper, 1984). In other words, all outputs are proportioned to all inputs for each DMU (company or industry) to obtain a data set $\left(\frac{u' y_i}{v' x_i}\right)$. Here u is the vector of Mx1 output weights while v is the weight of Kx1 inputs. With the assumption of constant returns to scale, the linear programming model specified here is used to select optimal weights:

$$\max_{u,v}\left(\frac{u' y_i}{v' x_i}\right) \quad \text{st } \frac{u' y_j}{v' x_j} \le 1 \qquad j = 1,2,...,N \qquad (1)$$
$$u, v \ge 0$$

In the problem where efficiency level of DMU i is maximized for the values u and v, all the efficiency measures must be no higher than 1. The basic issue here is caused by the presence of infinite number of solutions for the given system. To solve this problem, the constraint $v' x_i = 1$ can be added to the model. When such a constraint is added, the model will become as follows.

$$\max_{\mu,v} = (\mu' y_i) \quad \text{st } \mu' y_j - v' x_j \le 0 \qquad j = 1,2,...,N \qquad (2)$$
$$v' x_i = 1$$
$$\mu, v \ge 0$$

Here u and v become μ and v so as to show that the model is a different linear programming model. (2) form is also known as the multiplier form of linear programming.

Using the duality method in linear programming, Charnes, Cooper and Rhodes derived an equivalent envelopment model for this problem in 1978.

$$\min_{\theta\lambda} \theta, \text{ st} \quad \theta x_i - X\lambda \ge 0 \qquad (3)$$
$$-y_i + Y\lambda \ge 0$$
$$\lambda \ge 0$$

In this formulation, $\theta, \in [0,1]$ is the scale while λ is the vector of Nx1 constants. This envelopment form contains less constraint (K+M<N+1) than the multiplier form. It is therefore preferred more commonly in solutions (Coelli, Rao, Battese, 1998). The θ value obtained here is the efficiency score for the DMU i. With the 1 value shown above the limit, it meets the $\theta \le 1$ requirement. A linear programming model has to be solved for N time for each DMU. Then, the θ value has to be obtained for each DMU.

2.2.2 The Data Envelopment Analysis with Variable Returns to Scale (VRS) and the Economies of Scale

The CRS approach is suitable only when companies are managed at optimal level. A great number of factors such as insufficient competition and financial restrictions may hinder the DMUs from functioning at optimal level. Banker, Charnes and Cooper (1984) proposed a model for variable returns to scale condition, as an extension of constant returns to scale model. When not all the companies function at optimal scale, the constant returns to scale approach may cause the scale efficiency and technical efficiency become intertwined. Use of VRS in such circumstances ensures that total technical efficiency can be calculated as free from the influence of these scale efficiency (Coelli, Rao and Battese, 1998). Moreover, y and x_i values in the CRS cannot be negative in DEA models. However, it may be the case in some occasions. For example, input and output values may be

negative for returns of hedge funds (Gregoriov, Zue, 2005). Because of these reasons, it is possible to convert CRS linear programming model into the VRS. This involves the addition of convexity restriction to the equation. When the constraint $N1'\lambda = 1$ is added to the equation (3), the following formula is obtained:

$$\min_{\theta,\lambda} \theta \quad \text{restriction} \quad \begin{matrix} -y_i + Y\lambda \geq 0 \\ \theta x_i - X\lambda \geq 0 \\ N1'\lambda = 1 \\ \lambda \geq 0 \end{matrix} \qquad (5)$$

In the equation (5), N1 is the Nx1 vector of 1's. This approach forms a characteristic convex envelope. This envelope is tangent to the peak point of CRS vector. With this new envelope, data points are closer to one another than with the CRS conical envelopment. This ensures to have equal or better results than technical efficiency results obtained through the use of CRS model. VRS was especially used commonly in 1990 (Coelli, Rao and Battese, 1998).

Convexity constraint ($N1'\lambda = 1$) defines the position of a company relative to similar scale companies only. This constraint does not apply for CRS. That is, such a constraint cannot be imposed in CRS. Therefore, under the CRS assumption, the DMU is ranked relative to larger or smaller companies. Then the λ weights are calculated so as to be higher or lower than 1 (Kök and Deliktaş, 2003). Within this framework, many studies conducted to calculate scale inefficiency review the technical efficiency values by separating into 2's from the CRS data envelopment analysis model. One of them is "scale inefficiency" while the other is "pure technical efficiency".

2.2.2.1 Calculating Scale Efficiency

As mentioned before, calculation of the scale efficiency is performed by separating the technical efficiency value into 2's. This separation is only possible when the DEA with CRS and with VRS techniques are handled together. If CRS and VRS efficiency values differ for a DMU, this indicates that the DMU has scale inefficiency, which is calculated from VRS technical efficiency and CRS technical efficiency. This is illustrated in Figure 4.

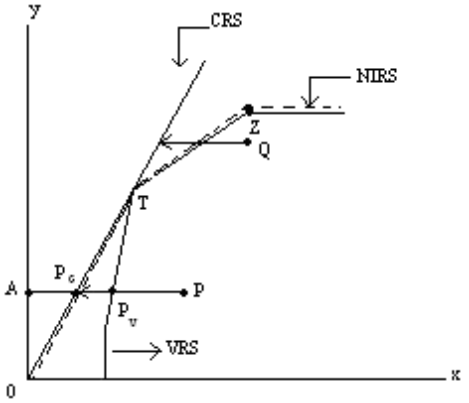


Figure 4: Calculation of Economies of Scale in DEA

Figure 4 includes an illustration with one input and one output at DEA with CRS and with VRS limits. Technical inefficiency of P point under CRS is represented by PP_c distance while that under VRS is shown with PP_v. Difference between the two (P_cP_v) is the scale inefficiency. This can also be shown with the efficiency measure ratios. $TE_{I,CRS} = \frac{AP_c}{AP}, TE_{I,VRS} = \frac{AP_v}{AP}, SE_I = \frac{AP_c}{AP_v}$. All the measurement values are bounded between zero (0) and one (1). Moreover, the specified formula also show the technical efficiency equation under CRS: $TE_{I,CRS} = TE_{I,VRS} * SE_I$. This is caused by the fact that $\frac{AP_c}{AP} = \frac{AP_v}{AP}\frac{AP_c}{AP_v}$. The CRS technical efficiency measurement is separated into full technical efficiency and scale efficiency. $\frac{AP_v}{AP}$ represents pure efficiency while $\frac{AP_c}{AP_v}$ shows scale efficiency.

The only weakness of scale efficiency measurement is its inability to specify whether the DMU is managed from the increasing or decreasing returns to scale (Coelli, Rao, Battese, 1998). This problem is eliminated when non-increasing returns to scale (NIRS) constraint is added to the DEA problem. This is ensured by substituting the constraint $N1'\lambda = 1$ with the constraint $N1'\lambda \leq 1$ in equation (5).

$$\min_{\theta,\lambda} \theta \quad \text{restriction} \quad \begin{matrix} -y_i + Y\lambda \geq 0 \\ \theta x_i - X\lambda \geq 0 \\ N1'\lambda \leq 1 \\ \lambda \geq 0 \end{matrix} \qquad (6)$$

NIRS is represented by dashed lines in Figure 4. Natural condition of scale inefficiency for a DMU (due to increasing or decreasing returns to scale) can be terminated when technical efficiency value obtained when the NIRS restriction was added is equal to the VRS technical efficiency value. There is increasing returns to scale if they are not equal (P point) whereas there is decreasing returns to scale if they are equal. A company operating in the field of increasing returns to scale must increase its throughput up to the optimal scale size, and those which operate under decreasing returns to scale (Q point) must decrease its throughput down to the optimal scale level.

2.2.3 Input- and Output-Oriented Approaches

Previous input-oriented models (those in which CRS and VRS models were described) investigated a model where technical inefficiency is identified with a proportional decrease in input usage while output model is pegged. Input- and output-oriented approaches give the same result under the CRS assumption. On the other hand, they are not the same under the VRS assumption.

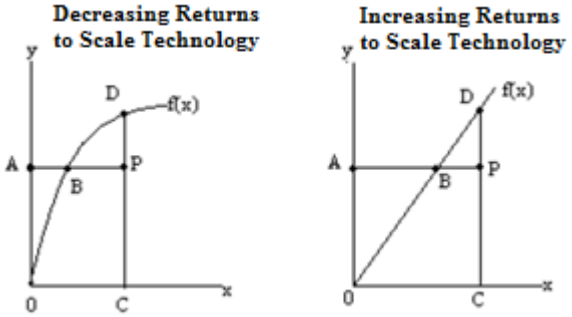


Figure 5: **Input- and Output-Oriented Technical Efficiency Measurement and Returns to Scale**

Figure 5 shows a company with an ineffecient P point. Under decreasing returns to scale, input- and output-oriented approaches produce different results. According to Farell, technical efficiency by input-oriented approach is $TE = \frac{AB}{AP}$, and by output-oriented approach is $TE = \frac{CP}{CD}$. Input- and output-oriented approaches give the same result under constant returns to scale only. Under constant returns to scale technology, technical efficiency is $TE = \frac{AB}{AP} = \frac{CP}{CD}$ (Coelli, 1996).

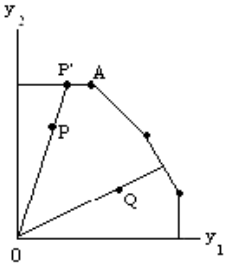
Since DMUs have certain amounts of orders to be fulfilled, in general inpu-oriented models are preferred by the most of researchers. That is why input amount is the primary factor. However, this assumption is not apply for all industries. DMUs in some industries operate with constant input, so they would like to produce the largest amount of output with these factors. In this situation the output-oriented approach is much more suitable. Principally, the approach to be used is decided by the manager. Moreover, it is observed in many examples that choices have minor impacts over the scores obtained (Coelli, Rao and Battese, 1998).

The output-oriented models are similar to the input-oriented models. Equation 7 shows the output oriented DEA with VRS model:

$$\max_{\phi\lambda} \phi \quad \text{restriction} \quad \begin{matrix} -\phi y_i + Y\lambda \geq 0 \\ x_i - X\lambda \geq 0 \\ N1'\lambda = 1 \\ \lambda \geq 0 \end{matrix} \qquad (7)$$

Here this is $1 \leq \phi \leq \infty$. Moreover, $\phi - 1$ shows proportional increase in the output to be obtained by DMU i with constant returns to scale while $1/\phi$ represents technical efficiency score varying from 1 to 0.

The output-oriented DEA model with two outputs can be illustrated with dashed linear production possibility curve, as in Figure 6.

Figure 

6: **Output-Oriented DEA**

Remarkably, the estimated production point calculated in the observations (ineffecient companies) under the curve in Figure 6 and in each section of right angles of the curve leads to excessive output with a radical increase of output. Another notable point is that input- and output-oriented models will exactly estimate the same limit. Therefore, the same DMUs by definition will be specified as efficient. Efficiency measurements can only be associated to the differences among inefficient DMUs between the two models (Coelli, 1996).

3. DEA Efficiency Analysis of Banks and Non-Life Insurance Companies Operating In Turkey for the year 2009

Effective and efficient functioning of the banking sector is of great importance for the Turkish economy. Banking sector assumes the role of financial intermediation that decides the distribution of resources. Thus the banking sector undertakes a key role in economic development of the country. Therefore, to measure performance of banking and insurance sector, efficiency criteria should be analyzed (Aydoğan and Çapoğlu, 1989).

The crisis of 2001 in Turkey lead to a significant transformation in economic policies, and a new economic program was put into effect. This program involved a reformation, particularly in the banking sector. The main clauses of banking reform can be summarized as follows: Issuing public bonds to public banks in return for task-related losses; rapid disposal of banks under the control of Saving Deposit Insurance Fund (SDIF); encouraging private banks to merger; and intensification of government control over the Banking Law (İnan, 2004).

Like other similar service sectors, the non-life insurance sector provides customers with profit other than the premium gains it earns. The profit obtained is not only comes from the insurance service. The non-life insurance companies transfer the insurance premium acquired to systems such as agencies or brokers, and uses it as investment capital (Kao and Hwang, 2008). In this regard, the insurance sector with a share of 3.3 % holds a significant position in terms of financial system and economy. Therefore, how efficient the sector functions is very important for the whole financial system.

In literature, it is observed that a review of studies conducted on the financial sector, particularly banking sector, using DEA. It shows that many of them focus on technical efficiency. In measuring technical efficiency under the assumption that bank managers have more control over inputs, it is shown that the input-oriented approached is preferred to the output-oriented approach. Likewise, the studies were generally conducted with the VRS assumption (Fethi and Pasiouras 2009).

In parallel with the literature, this study measured efficiency of banks and non-life insurance companies, which are in operation in 2009, using DEA method under the assumption of variable returns to scale. The method was implemented using the Deap 2.1 computer software.

3.1 Selection of Variables

The first step of DEA is to select DMUs. Secondly, the number of variables and the variables themselves to be included in the analysis are identified, which followed by analysis of the identified variables. Final step involves interpretation of findings from the analysis.

Variable selection is a tough issue because the list of variables is so large. However, a resource used by any DMU may generally be included as an input in the analysis. Output variables are performance and activity measures obtained when DMUs obtain products or services from inputs. Besides, environmental factors can affect the production process (Boussofiane, Dyson and Thanassoulis, 1991). Thus, these environmental factors can also be considered as an input. Therefore, the number of variables in this large list to be included in the analysis should be limited. Although there is a significant advantage of limitation for analysis, there is no consensus on which criteria this limitation would be based. There are various methods for this (Wagner and Shimshak, 2007). One of the most common methods involves limitation of the number of variables based on the number of DMUs. Accordingly, total number of inputs and outputs in the Data Envelopment Analysis model is typically not to be more than one third of the number of DMUs included in the analysis (Friedman and Stern, 1998). Based on this criterion, maximum number of variables to be used is 10 for both banking and insurance sector. In this direction, this study used 6 variables consisting of 3 inputs and 3 outputs for the banking sector, and 4 variables consisting of 2 inputs and 2 outputs for the insurance sector.

Considering the identification of variables, output is a variable that has no financial asset and thus is difficult to measure and control, for companies providing financial services such as banking and insurance sector. A pragmatic approach suggests that services provided by companies should be defined and measurable proxies that

highly comply with these services should be found to solve this issue (Diacon, 2001). Although there are a variety of methods used to identify the variables in studies for measuring the efficiency of companies, there is indeed a reasonable agreement on identifying variables that are defined as input and output. Asset, user cost and value added methods accept all the principle assets as outputs (Berger and Humphrey, 1997). This study identified loans, interest earnings and non-interest earnings as outputs of the banking sector while written premiums and incomes from non-technical section as outputs of the insurance sector. With regard to input selection, labor and capital are the principal input sources were used for insurance sector. Many studies substitute the labor input with total management and sales costs (Diacon, 2001). As a result of these approaches, equity capital and long- and short term total insurance reserves were identified as inputs. For the banking sector, deposits, interest expense and non-interest expense were chosen as inputs.

3.2 Empirical Findings

There are 45 banks in Turkey. 32 of them are deposit banks and the rest are investment banks. The number of insurance companies in Turkey in the year 2009 is 55. Recent paper examines 29 of the deposit banks and 32 of the insurance companies by using input-oriented variable returns scale (VRS) DEA model. The results are listed in Table 1 and 2.

According to the analysis, both technical efficiency which reflects the ability of a firm to obtain maximal output from a given set of inputs and scale efficiency which are the indicators of the effective management are considerably high.

Table 1 The Results of Banking Sector

Banks	**crste**	**vrste**	**scale**	
Akbank T.A.Ş.	0.920	1.000	0.920	drs
Alternatif Bank A.Ş.	1.000	1.000	1.000	-
Anadolubank A.Ş.	0.767	0.912	0.841	drs
Arap Türk Bankası A.Ş.	1.000	1.000	1.000	-
Bank Mellat	1.000	1.000	1.000	-
Citibank A.Ş.	1.000	1.000	1.000	-
Denizbank A.Ş.	0.977	1.000	0.977	drs
Deutsche Bank A.Ş.	0.311	0.372	0.836	drs
Eurobank Tekfen A.Ş.	0.826	0.920	0.898	drs
Finans Bank A.Ş.	0.785	1.000	0.785	drs
Fortis Bank A.Ş.	0.583	0.852	0.684	drs
Habib Bank Limited	1.000	1.000	1.000	-
HSBC Bank A.Ş.	0.658	1.000	0.658	drs
ING Bank A.Ş.	0.784	0.975	0.804	drs
Millennium Bank A.Ş.	0.588	0.760	0.773	drs
Société Générale (SA)	1.000	1.000	1.000	-
Şekerbank T.A.Ş.	0.965	1.000	0.965	drs
Tekstil Bankası A.Ş.	0.679	0.812	0.836	drs
The Royal Bank of Scotland N.V.	0.845	1.000	0.845	drs
Turkish Bank A.Ş.	0.641	0.790	0.811	drs
Turkland Bank A.Ş.	0.551	0.664	0.830	drs
Türk Ekonomi Bankası A.Ş.	0.583	0.771	0.755	drs
Türkiye Cumhuriyeti Ziraat Bankası A.Ş.	1.000	1.000	1.000	-

Türkiye Garanti Bankası A.Ş.	0.812	1.000	0.812	drs
Türkiye Halk Bankası A.Ş.	0.997	1.000	0.997	drs
Türkiye İş Bankası A.Ş.	1.000	1.000	1.000	-
Türkiye Vakıflar Bankası T.A.O.	0.858	1.000	0.858	drs
WestLB AG	1.000	1.000	1.000	-
Yapı ve Kredi Bankası A.Ş.	0.759	1.000	0.759	drs
Mean	**0.824**	**0.925**	**0.884**	

The banks under the Savings Deposit Insurance Fund (SDIF) and the investment banks are not included in recent analysis. The private and public owned foreign and domestic deposit banks are analysed. According to the analysis, technical and scale efficiency of banking sector are respectively 92,5 % and 88,4 %. The Alternatif Bank, Arap Turk Bank, Bank Mellat, Citibank, Habib Bank, Societe Generale, Ziraat Bank, İsbank and WestLB Bank are found the most efficient commercial banks. For the rest 20 banks, decreasing returns to scale is obtained.

Table 2 The Results of Insurance Sector

Insurance Companies	**crste**	**vrste**	**scale**	
Ace Europe	0.959	0.959	1.000	-
Ak Sigorta	0.592	0.905	0.654	drs
Allianz	0.997	1.000	0.997	drs
Anadolu	0.850	1.000	0.850	drs
Ankara	0.780	0.851	0.916	drs
Atradius	1.000	1.000	1.000	-
Aviva	0.856	0.857	1.000	-
Axa	0.750	1.000	0.750	drs
Birlik	0.770	0.773	0.997	irs
Cardif	0.486	0.618	0.785	irs
Chartis Sigorta	1.000	1.000	1.000	-
Coface	0.459	0.743	0.617	irs
Demir	1.000	1.000	1.000	-
Dubai Group Sigorta	1.000	1.000	1.000	-
Ergo Isvicre	1.000	1.000	1.000	-
Eureko	1.000	1.000	1.000	-
Euro	0.997	1.000	0.997	irs
Fiba	0.793	0.807	0.983	drs
Generali	1.000	1.000	1.000	-
Groupama	0.514	0.522	0.984	drs
Gunes	0.928	1.000	0.928	drs
HDI	0.999	1.000	0.999	drs
Hur	0.657	0.728	0.902	irs

Isık	1.000	1.000	1.000	-
Liberty	0.670	0.895	0.749	drs
Mapfre Genel Sigorta	0.701	0.843	0.831	drs
Neova Sigorta	1.000	1.000	1.000	-
Ray	1.000	1.000	1.000	-
SBN	1.000	1.000	1.000	-
T.Nippon	0.322	0.862	0.373	irs
Yapı Kredi	0.836	0.845	0.989	drs
Zurich	1.000	1.000	1.000	-
Mean	0.841	0.913	0.916	

Although the insurance sector is relatively small compared to the banking sector, it works with average efficiency of 91.6 %. 14 insurance companies operate by full efficiency. However 12 insurance companies operate with decreasing return to scale and 6 insurance companies operate with increasing return to scale. 20 of the 54 total insurance companies are domestic and 34 of them are foreign insurance companies. The insurance sector is dominated by foreign companies. But it is clear that there is not a big efficiency difference between the foreign and domestic insurance companies. The insurance companies with zero premium are eliminated in this study.

One of the most important advantage of the DEA analysis is it could give direction to the unefficient firms to reach the efficiency frontier. Although this evidence is obtained by the analysis, it's not involved in this paper.

DISCUSSION

The strong finance sector is crucial for the economy as a whole. Especially the banking sector is the most important part of the financial sector in Turkey. The financial resources are collected and allocated to the real sector through banking sector. In this context analysis of the financial sector which will contribute to operate efficiently is of great importance.

In this study the banking and non-life insurance sectors' firms are analyzed within DEA under the assumption of input-oriented variable returns scale and those two sectors are found relatively efficient. The global crise in 2008 has negatively affected the financial sector worldwide. But the asset size of financial sector as of end-2009 increased by 12% when compared to the previous year and realized as TL 1.047,6 billion. The banking sector kept its share of 80 % in financial sector and grew by 13,8% when compared to the previous year. The share of insurance companies in the sector's profit increased to 5%. Although profit of finance sector increase in general, insurance companies don't have such a big development.

These findings shows us that the Turkish Financial Sector has taken the crucial steps after the Financial Crise in 2001 and regulated its structure.

References

AYDOĞAN, K. and G. ÇAPOĞLU (1989), .Bankacılık Sisteminde Etkinlik ve Verimlilik Uluslararası Bir Karşılaştırma., Milli Prodüktivite Merkezi yayınları, Yayın No : 397.

BANKER, R. D., Abraham CHARNES and William W. COOPER (1984), "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiency in Data Envelopment Analysis". Management Science, Vol: 31, No:9, Sept. 1984.

BARROS, Carlos Alberto PESTANA and Carla Almeid SANTOS (2006) "The Measurement of Efficiency in Portuguese Hotels Using Data Envelopment Analysis", 30-3, 378-400

BERGER, Alan N. and David B. HUMPHREY (1997) "Efficieny of Financial Institutions: International Survey of Directions for Future Research", European Journal of Operational Research, http://fic.wharton.upen.edu/fic/papers/97/9705.pdf

BOUSSOFIANE A, R.G. DYSON and E. THANASSOULIS (1991), "Applied Data Envelopment Analysis", European Journal of Operational Researc, 50-1, 1-15

COELLI Tim (1996), D.S. Prasada RAO and Geroge E. BATTASE (1998) "An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis", Boston Kluwer Academic Publishers

Coelli, T.J. "A Guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program"**. Centre for Efficiency and Productivity Analysis (CEPA) Working Papers**, The University of New Enfland, No.8/96. http://www.une.edu.au/econometrics/cepawp.htm

COOK, Wade D. and Larry M. SEIFORD (2008) "Data Evelopment Analysis (DEA): Thirty Years On". European Journal of Operational Research", www.sciencedirect.com (20.03.2008)
COOPER, William W., SEIFORD, Lawrence M. and Joe ZHU (2004) "Data envelopment analysis: History, Models and Interpretations", Chapter 1, Kluwer Academic Publishers, 1-39
DIACON, Stephan (2001) "The Efficiency of UK General Insurance Companies" The University of Nttingham Centre for Risk & Insurance Studies, http://www.nottingham.ac.uk/business/cris/papers/2001-3.pdf (16.04.2007)
DİNLER, Zeynel. (2000), "Mikro Ekonomi", Ekin Kitabevi Yayınları, 13. Baskı.
FARELL, M.J. (1957), "The measurement of Produvtive Efficieny", Journal of the Royal Society, Vol 120, 253-290
FETHİ, Meryem Duygun and Fotios PASİOURAS, "Assessing Bank Performance with Operational Research and Artificial Intelligence Techniques: A Survey", University of Bath School of Management Working Paper Series, 2009.
Finansal Piyasalar Raporu, http://www.bddk.org.tr/WebSitesi/turkce/Raporlar/Finansal_Piyasalar_Raporlari/6320Finansal_Piyasalar_Raporu_Aralik_2008.pdf
FRIEDMAN, Lia and Zilla Sinuany STEN (1998) "Combining Ranking Scales and Selecting Variables in DEA Context: The Case of Industrial Branches" Computer Operation Research, 25-9, 781-791
İNAN, Emre Alpan, "Dezenflasyon Süreci ve Düşük Enflasyon Ortamı: Türkiye'de Makroekonomi ve Bankacılık Üzerine Etkileri", Bankacılık Dergisi, Sayı 50, 2004.
KAYALIDERE, Koray and Sibel KARGIN (2004), "Çimento ve Tekstil Sektöründe etkinlik Çalışması ve Veri Zarflama Analizi", DEÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Cilt 6, Sayı 1, 196-219.
KAO Chiang and Sniuh-Nan HWANG (2008) "Efficieny Decomposition in Two-Stage Data Envelopment Analysis: An Application to Non-Life Insurance Companies in Taiwan", European Journal of Operational Research, Vol:185, 418-429
KÖK, Recep (1991), "Endüstriyel Verimlilik ve Etkinlik" Atatürk Üniversitesi Yayınları, No: 680
KÖK, Recep and Ertuğrul DELİKTAŞ (2003) "Endüstri İktisadında Verimlilik Ölçme ve Stratesi Geliştirme Teknikleri", Dokuz Eylül Üniversitesi İİBF, No:25-8/1
YEŞİLYURT, Cavit and M. Ali ALAN (2003) "Fen Liselerinin 2002 Yılı Göreceli Etkinliğinin Veri Zarflama Analizi Yöntemi ile Ölçülmesi". Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Dergisi, 4 (2), 91-104
Emrouznejad, A (1995) "Data Envelopment Analysis Home Page", http://www.DEAzone.com (23.03.2008)
GREGORIEV, Greg N. and Joe ZHU (2005) "Evaluating Hedge Fund and CTA Performance DEA Approach, http://site.ebrary.com/lin/kultur/Doc?id=10114182&ppg=1
WAGNER, Janet M. and Daniel G. SIMSHAK (2007) "Stepwise Selection of Variables in Data Envelopment Analysis: Prosedures and Managerial Perspectives", European Journal of Operational Research, 180, 57-67

HİZMET KALİTESİNİ BELİRLEYEN FAKTÖRLERİN ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ İLE ÖNEM DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ

Halil SAVAŞ[7]

ÖZET

Genel olarak imalata dayalı süreçlerin ve ürünlerin kalitesini ölçmek ve değerlendirmek daha kolay olmasına karşın, soyut ve göreceli özelliklere sahip hizmetlerin kalitesini ölçmek, değerlendirmek ve doğru kararlar alabilmek daha zordur. Hizmet kalitesi ve hizmetlerin kalitesini etkileyen faktörleri belirlemeye ve ölçmeye yönelik bugüne kadar çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada, eğitim-öğretim hizmetleri için kaliteyi belirleyen ve öğrenci memnuniyetini etkileyebilecek faktörlerin işletme bölümü öğrencilerinin bakış açısıyla göreceli önem derecesi hesaplanmıştır. Bu hesaplamaların yapılmasında, çok kriterli karar verme yöntemi olarak Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi kullanılmıştır. Yapılan analiz ve değerlendirmeler sonunda elde edilen bulgulara göre, kaliteyi belirleyen ana faktörlerin önem derecesine göre öncelikleri sıralamasında kariyer fırsatları 0.197 ile ilk sırada yer alırken, akademik personel 0.174 ile ikinci ve idari hizmetler 0.163 ile üçüncü sırada yer almıştır. Diğer ana kriterlerin önem derecelerine göre sıralaması ise; kütüphane hizmetleri 0.138, müfredat yapısı 0.126, fakültenin yeri 0.121 ve altyapı 0.081 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kalite, Hizmet Kalitesi, Analitik Hiyerarşi Süreci

1. GİRİŞ

Gelişmiş ve sanayileşmiş ülkelerde olduğu gibi geçmişten günümüze doğru ülkemizde de hizmet sektörünün imalat sektörüne göre ağırlığı ve önemi her geçen gün artmaktadır. Eğitim-öğretim hizmetleri ise, artan hizmet sektörü büyüklüğü ve hizmet alanları arasında oldukça önemli bir yere sahiptir. Ülkemizin rekabet gücünün artmasında eğitim-öğretim faaliyetlerinin değişen ve gelişen şartlara uygun olarak kaliteli bir şekilde gerçekleştirilmesi, bu hizmetlerden yararlananların memnuniyetinin en yüksek düzeye çıkarılması amacıyla önceliklerin belirlenmesi ve bu önceliklere göre kaynak planlaması dâhil olmak üzere gerekli çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Eğitim sektöründe özellikle de yükseköğretimde hizmetlerin kaliteli olması, mezun olan öğrencilerin çok değişik sektörlerde görev almasından dolayı bu sektörlerdeki üretim ve hizmetlerin kalite düzeyini, dolayısıyla da ülkenin rekabet gücünü etkilemektedir. Nitekim Borahan ve Ziarati (2002) tarafından yapılan bir çalışmada da ülkenin rekabet gücü ile o ülkede sağlanan yükseköğretimin kalitesi arasında güçlü bir korelasyon saptanmıştır.[1]

2. HİZMET KALİTESİ

Günümüzde rekabet üstünlüğü sağlayan stratejiler farklılaştırma, düşük maliyet ve hızlı cevap vermedir.[2] Farklılaştırma, rakiplere göre eşsiz olmaktır. İşletmelerin mal ve hizmetlerini müşterilerine sunma, müşteriye değer katmada rakiplerine göre farklılıklar oluşturmalarıdır. Bu farklılaştırma, aynı hizmetin rakiplere göre daha düşük maliyetle sağlanabilmesi durumunda önemli bir rekabet üstünlüğü sağlar. Hızlı cevap verme, hizmetin esnek, aynı zamanda hızlı ve güvenilir olarak sağlanması anlamına gelir ki, hizmet kalitesine yönelik çoğu çalışmada hizmet kalitesinin bir boyutu olarak dikkate alınmaktadır.

İşletme literatüründe, müşterinin kalite algısı hizmet kalitesi üzerine yapılan çalışmalarda en fazla odaklanılan husus olmuştur. Bu yüzden hizmet kalitesi, çoğunlukla gerçek performans algılamalarıyla hizmet beklentilerinin karşılaştırılması olarak kavramsallaştırılmış ve hizmet kalitesi üzerine yapılan çalışmalar daha çok SERVQUAL aracı üzerine yoğunlaşmıştır.[3] Buna göre, hizmet kalitesinin belirlenmesinde, müşterinin beklentileri algılamalarından daha yüksek ise hizmet kalitesi algılaması düşük düzeyde kalmaktadır. Eğer hizmetle ilgili algılama beklentileri karşılıyor ya da aşıyorsa bu durumda hizmet kalitesi algılaması tatmin edici ya da yüksek düzeyli olmaktadır. Algılanan performans ile beklentiler arasındaki fark olan algılanan kalite müşterinin işletme hakkındaki değer yargıları olup, tatmin düzeyi ile ilişkilidir ve hizmet kalitesi algılaması sonucunda ortaya çıkan memnuniyet veya memnuniyetsizlikler gelecekteki satın almalar ve önerilerde etkili olmaktadır.[4]

Bu kapsamda yapılan çalışmalardan, Körfez İşbirliği Konseyi ülkelerinin birinde bir devlet üniversitesinin işletme alanındaki öğrencilerinin hizmet kalitesi beklentileri ile hizmet kalitesini algılamaları arasındaki farklılık araştırılmıştır. Hizmet ürünü, hizmet çevresi ve hizmetin teslimatı gibi unsurların hizmet kalitesinin elemanları olarak alındığı çalışmada, fakülte ve enstitünün kaliteli hizmet sunmadığı sonucuna ulaşılmıştır.[1]

Sepah Bank tarafından sunulan hizmetlerin kalitesini belirlemek ve aynı zamanda hizmet kalitesi, memnuniyet ve bağlılık arasındaki ilişki üzerine daha önce geliştirilen bazı modellerden yararlanarak yapılan bir çalışmada ise, beklentilerin algılardan yüksek olduğu ve hizmet kalitesinin müşteri bağlılığını da etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.[5]

3. HİZMET KALİTESİNİ BELİRLEYEN FAKTÖRLER

Kalite müşteri için tanımlanırsa, bir ürün veya hizmetin müşteri isteklerini karşılama veya aşma yeteneğidir. [6] Schoenberger (1990), müşterilerin mal ve hizmet kalitesi algılaması için geçmişte; spesifikasyonlara uygunluk, performans, hızlı cevap verme, hızlı değiştirme, özellikler, güvenilirlik, dayanaklılık, hizmet yeteneği, estetik,

[7] PamukkaleÜniversitesi İ.İ.B.F., İşletmeBölümü Kınıklı Kampusu 20070, Denizli.
Tel: (258) 296 27 00 Fax: (258) 2962626E-Posta: hsavas@pamukkale.edu.tr

algılanan kalite, insanlık ve değerler olmak üzere on iki boyut belirlemiştir. Bu boyutlar bütün mal ve hizmetler için geçerli değildir. Daha sonraları Stevenson (2002), fiyatı kalitenin bir boyutu olmaktan çıkarmış ve yerine; performans, estetik, özellikler, uygunluk, emniyet, güvenilirlik, dayanıklılık, algılanan kalite ve satış sonrası hizmet olmak üzere dokuz boyut önermiştir.

Araştırmacılar, bir firmanın müşteri hizmetlerinin çok iyi ya da zayıf olup olmadığını yansıtan hizmet kalitesinin tek boyutlu olmadığı noktasında hemfikirdirler. Hizmet kalitesi, hizmet hakkında müşterilerin algılarını belirleyen faktörler kümesidir. Hizmet kalitesi teknik standartlara göre değil, müşteri tarafından belirlenmiş göreceli standartlara göre ölçülebilir. Bu nedenle de beklenen kalite ile algılanan kalite arasında sürekli bir açıklık vardır.[7] Nitekim Parasuraman, müşterinin hizmetleri değerlendirebileceği ve algılanan kaliteyi geliştirebileceği; fiziki görünüm, güvenilirlik, heveslilik (cevap verme), yeterlilik, nezaket, inanılırlık, emniyet, erişilebilirlik, iletişim ve müşteriyi anlamak şeklinde on boyut tanımlamıştır. Bu yüzden, müşterinin bu özellikler üzerine inşa edilen performans algılaması müşterinin beklentilerini aşarsa, hizmet sağlayıcı kaliteli hizmet sağlamış olur.[3]

Yapılan bir başka çalışmada ise, hizmet kalitesinin belirleyici faktörleri ve çevrimiçi verilen hizmetlerin devam ettirilme niyeti incelenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, hem hizmetin özellikleri hem de teknolojik özelliklerin hizmet kalitesinin anahtar belirleyicileri olduğunu ve hizmet kalitesinin gelecekteki tüketici davranışlarını etkilemesi bakımından önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.[8]

Lien ve Kao (2008) ise, faydaya ve eğlenceye dayalı hizmetler için müşteri memnuniyeti temelinde hizmet kalitesi boyutlarının göreceli önem düzeyini araştırmışlardır. Sonuçlara göre, teknik kalite faydaya dayalı hizmetler üzerinde daha etkili iken, eğlence hizmetlerinde fonksiyonel kalite memnuniyetin en belirleyici faktörüdür. Hizmet kalitesinin boyutları ve memnuniyet arasındaki ilişki alternatiflere ve farklılaştırma derecesine göre de değişmektedir.[9]

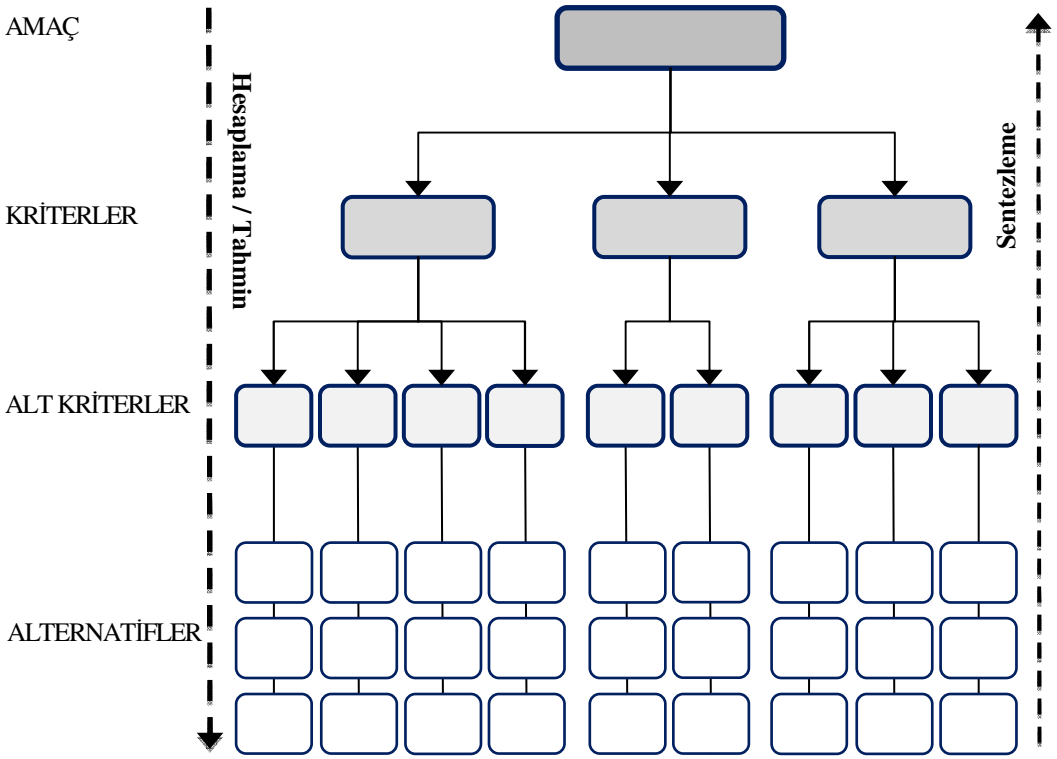
Tsinidou, Gerogiannis ve Fitsilis (2010), öğrencilerin bakış açısıyla Yunanistan'da yükseköğretim kurumları tarafından sağlanan eğitim hizmetleri için kalite faktörlerini tanımlamak ve bu faktörlerin göreceli önemini ölçmek amacıyla bir çalışma yapmışlar, öğrenci memnuniyetini etkileyen kalite faktörlerinin göreceli önemini değerlendirmek için yöntem olarak da AHS'yi kullanmışlardır.[10]

4. analitik hiyerarşi süreci

AHS, ilk olarak 1970'li yıllarda Pittsburg üniversitesinde öğretim üyesi olan Amerikalı matematikçi Thomas L. Saaty tarafından ortaya konmuş olup, karmaşık karar problemlerinin analizinde kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden birisidir. Süreç, önce karar vericinin her bir kriterin göreceli önemi hakkında hükümlerini, sonra da her bir karar alternatifi için karar kriterine dayalı olarak tercihlerini belirlemesini gerektirmektedir. Analitik hiyerarşi sürecinin çıktısı, karar alternatiflerinin her biri için genel performansı gösteren öncelikli sıralamadır.

Karar verme problemlerinde insan düşüncesini yansıtmak için tasarlanan AHS, kaynak paylaşımını ve askeriyenin ihtiyaçlarını planlama amacıyla geliştirilmiş ve ortaya çıktığı yıllardan itibaren uluslararası bilim camiası tarafından karmaşık problemlerin çözümünde güçlü ve esnek bir araç olarak kabul görmüştür. AHS, çok kriterli karar verme problemlerinde kullanılan matematiksel bir tekniktir. Yapısı itibariyle niceliksel ve niteliksel bir yöntem olan AHS, belirsizlik altındaki çok kriterli karar verme problemlerinde karar vericinin deneyimlerini, bilgisini ve sezgisini karara dâhil etmesine yardımcı olur. AHS bunu, kararla ilgili soyut yönleri sayısallaştırmak suretiyle gerçekleştirir. Böylece AHS ile karmaşık ve yapısal olmayan problemlerin çözümünde analitik düşüncelerimiz organize edilmiş olur. AHS'nin en güçlü yönü, çok kriterli göreceli karar verme işlemlerini modellemede niteliksel ve niceliksel etkenleri sistematik olarak karar verme modeline dâhil etmesidir.[11]

AHS'nin uygulanışı çeşitli aşamalara ayrılmaktadır. AHS'de karar verme problemlerini oluşturmak için öncelikle Şekil-1'de genel olarak görüldüğü gibi hiyerarşik bir yapı tasarlanır. Hiyerarşik yapıyı oluşturduktan sonra faktörlerin göreceli önem düzeylerini gösteren ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. Göreceli önem düzeylerini hesaplamak için Saaty (2001)'nin öz vektör yönteminden yararlanılabilir. Daha sonra matris içine atanan değerlerin tutarlı olup olmadığı, tutarlılık oranı hesabıyla kontrol edilir. Tutarlılık oranının kabul edilebilir düzeyde olduğu tespit edildikten sonra alternatiflerin öncelik sıralaması yapılır. Yapılan sıralamaya göre, en yüksek değeri elde eden alternatif tercih edilir.[10,11] Bu süreçte faktörler arası göreceli önem düzeyini saptama amacı taşıyan ikili karşılaştırma matrisi için şu iki soru önem taşır: **(a)** Karşılaştırılan iki faktörden hangisi daha önemlidir? **(b)** Karşılaştırılan iki faktörden önemli olan, diğerine göre ne kadar önemlidir?



Şekil 1: Analitik hiyerarşi süreci için karar problemlerinin hiyerarşik yapısı

5. HİZMET KALİTESİNİ BELİRLEYEN FAKTÖRLERİN Analitik hiyerarşi süreci İLE ÖNEM DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ

5.1. Amaç, Kapsam ve Yöntem

Bu çalışmanın amacı, Pamukkale Üniversitesi İ.İ.B.F. İşletme Bölümü öğrencilerinin bakış açısıyla hizmet kalitesini belirleyen faktörlerin Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ile önem düzeylerini ve bir bakıma öncelik sıralamalarını belirlemektir.

Hizmet kalitesini belirleyen faktörler ve analize temel oluşturan hiyerarşik yapı Tsinidou, Gerogiannis ve Fitsilis (2010)'un çalışmasından uyarlanmıştır. Geliştirilen ikili karşılaştırma matrislerinden oluşan form Pamukkale Üniversitesi İşletme bölümünde farklı sınıflarda bulunan 40 civarında öğrenciye kolayda örnekleme ile dağıtılmış ve öğrencilere ikili karşılaştırmaları nasıl yapacakları anlatılmıştır. Geriye dönen formlardan 36 tanesi değerlendirilmiş ve çoğunluğu tutarsız olduğu için değerlendirme dışı bırakılmıştır. Genel olarak ikili karşılaştırma matrisleri tutarlı olan bazılarında ise tutarlılık oranı 0.15 veya altında olan karşılaştırmalar kabul edilmiş ve 8 öğrencinin ikili karşılaştırmaları değerlendirmeye alınmıştır. Analitik hiyerarşi sürecinde grup karşılaştırmalarına dayalı uygulamalarda tutarlılık oranı 0.20'ye kadar kabul edilebilmektedir.

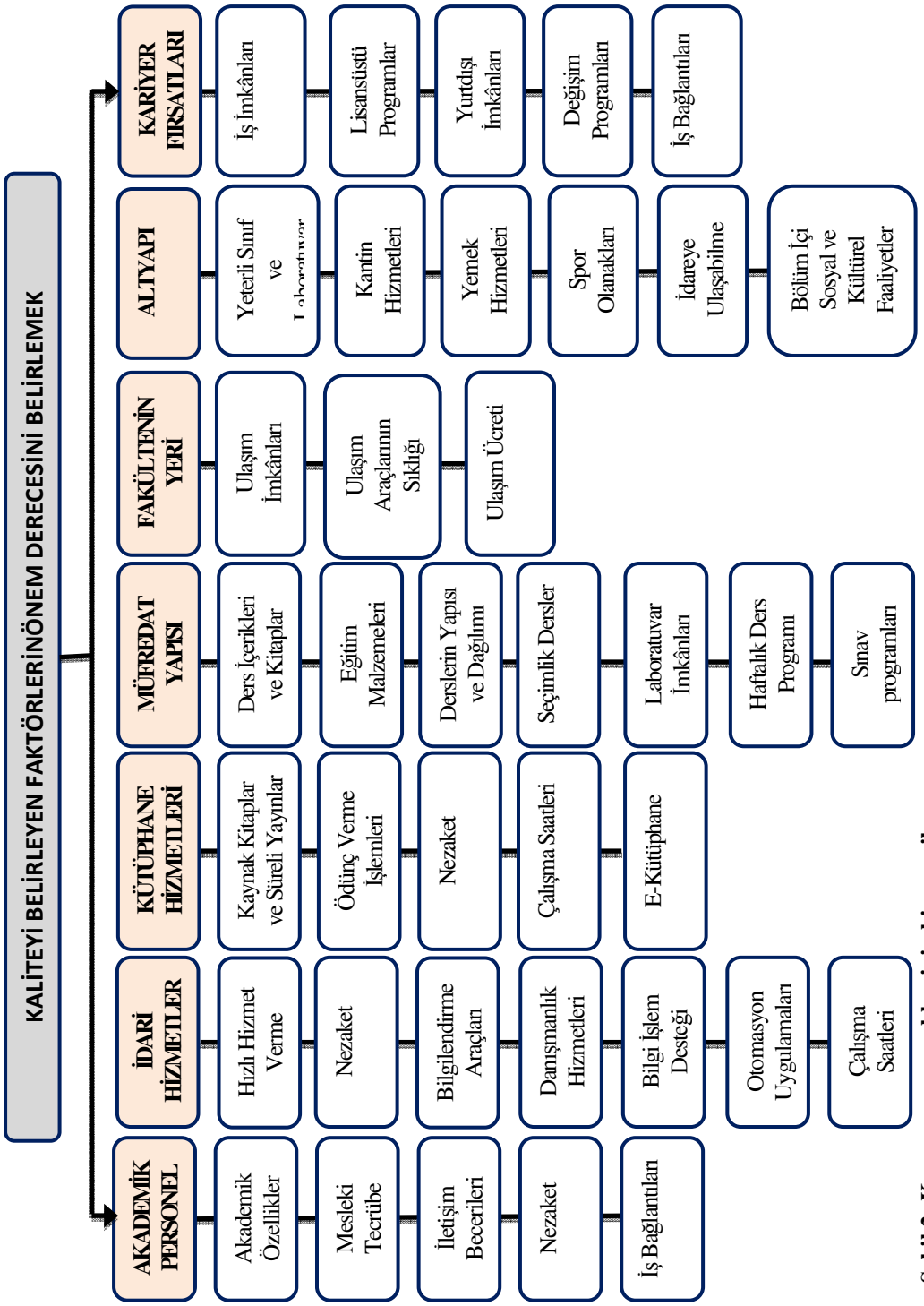
5.2. Problemin Hiyerarşik Yapısı

AHS'de ilk adım, genel amaç, kriterler ve karar alternatiflerine göre problemi grafiksel olarak gösteren hiyerarşik yapıyı geliştirmektir. Bu şekilde geliştirilen problemin hiyerarşik yapısı Şekil 2'de verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi hiyerarşinin en üst seviyesinde problemin genel amacı dikkate alınır. İkinci seviye bütün değerlendirme ana kriterlerini kapsar. Her kriter, daha alt seviyedeki alt kriterlerle değerlendirilir. Hiyerarşinin son aşamasında değerlendirilecek amaçlar veya seçenekler yer alır.[12,13] Bu çalışmada karar seçenekleri yoktur.

5.3. İkili Karşılaştırmalar Matrisi

Problemin hiyerarşisi tanımlandıktan sonra, yöntemin ikinci aşamasında karar verici hiyerarşinin her bir seviyesindeki bütün faktörlerin ikili karşılaştırmalarını yapar. Hiyerarşinin ilk seviyesinde tek faktör olduğundan herhangi bir karşılaştırmaya ihtiyaç duyulmaz. İkinci seviyede, bütün faktörler problemin amacı doğrultusunda ikili olarak karşılaştırılabilir.[12,13,14]

İkili karşılaştırmalar, AHS'nin önemli yapı taşlarından birisidir. İkili karşılaştırmalar matrisindeki değerler, satırdaki faktör ile sütundaki faktör karşılaştırıldığında satırdaki faktörü tercih etmenin bir ölçüsüdür. İkili karşılaştırmalar için tercihleri değerlendirmede 1'den 9'a kadar değerler içeren ve Tablo 1'de gösterilen ölçek kullanılmaktadır.[14,15] Karar verici tarafından ifade edilen sözel tercihler ikili karşılaştırmalar matrisinde sayısal değerler olarak yer almaktadır. Araştırma ve deneyimler, ikili karşılaştırmalarda tercihler arasındaki ayırımı yapmada 9'lu ölçek kullanılmasının uygun olduğunu göstermektedir.



Şekil 2: Karar verme probleminin hiyerarşik yapısı

Tablo 3: Tercihleri değerlendirme ölçeği

Tercihin Önem Derecesi	Tercihin Sözel İfadesi	Açıklama
9	Aşırı	Bir faktörün diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar çok büyük bir güvenilirliğe sahiptir
7	Çok Güçlü	Bir faktör güçlü bir şekilde tercih edilir ve baskınlığı uygulamada rahatlıkla görülür
5	Güçlü	Tecrübe ve yargı bir faktörü diğerine kuvvetli bir şekilde tercih ettirir
3	Orta	Tecrübe ve yargı bir faktörü diğerine çok az derecede tercih ettirir
1	Eşit	İki faktör amaca eşit düzeyde katkıda bulunur
2,4,6,8	Ara değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanmak üzere yukarıda

listelenen yargılar arasına düşen değerler

Çalışmamızda yer alan ikili karşılaştırma matrislerinden AHS'nin uygulanma sürecini açıklamak üzere küçük boyutlu olmasından dolayı Fakültenin Yeri için bir öğrencinin yaptığı ikili karşılaştırmalara ilişkin değerlendirmeler Tablo 2'de verilmiş ve ilgili hesaplamalar bu karşılaştırmalar üzerinden yürütülmüştür.

Tablo 4: Fakültenin yeri için karar vericinin ikili karşılaştırma değerleri

Fakültenin Yeri	Ulaşım İmkânları	Ulaşım Araçlarının Sıklığı	Ulaşım Ücreti
Ulaşım İmkânları		2	3
Ulaşım Araçlarının Sıklığı			2
Ulaşım Ücreti			

İkili karşılaştırmalar matrisindeki diğer değerlerin belirlenmesinde ilk dikkat edilmesi gereken nokta, herhangi bir alternatifin kendisi ile karşılaştırılmasında verilecek hükmün "eşit olarak tercih edilme" olmasıdır. Bu yüzden Tablo 1'de gösterilmiş olan ölçeğe göre, Tablo 2'de verilen ulaşım imkânları ile ulaşım imkânları, ulaşım araçlarının sıklığı ile ulaşım araçlarının sıklığı ve ulaşım ücreti ile ulaşım ücreti karşılaştırıldığında elde edilecek matris değeri 1 olmalıdır. O halde AHS'de ikili karşılaştırmalar matrisinin köşegenindeki tüm elemanlara 1 değeri atanmalıdır.

Daha sonra yapılması gereken, tablodaki diğer faktörlerin ikili karşılaştırmalarının yapılarak matris değerlerinin belirlenmesidir. Bunun için aynı yöntem izlenerek karar vericinin bu ikili karşılaştırmalara yönelik tercihlerini belirtmesi istenebilir. Bununla birlikte ulaşım imkânları ile ulaşım araçlarının sıklığının karşılaştırılmasında karar vericinin tercihinin 2 olduğu bilinmektedir. O halde ulaşım araçlarının sıklığı ile ulaşım imkânları ikili karşılaştırmasını yapmaya ihtiyaç yoktur. Zira ulaşım araçlarının sıklığı ile ulaşım imkânlarının karşılaştırılmasında tercih değeri, ulaşım imkânları ile ulaşım araçlarının sıklığının karşılaştırılmasındaki tercih değerinin tersi, yani $\frac{1}{2}$ olduğu sonucuna ulaşılabilir. Bu yüzden AHS'de ulaşım araçlarının sıklığı ile ulaşım imkânları ikili karşılaştırmasının tercih değeri, ulaşım imkânları ile ulaşım araçlarının sıklığına yönelik tercih değerinin tersini (karşıtını) hesaplamak suretiyle elde edilir. Bu şekilde tüm sayısal tercih değerlerinin ikili karşılaştırmalar matrisine eklenmesi ile Tablo 3'de gösterilen Fakültenin Yeri kriterine göre üç faktörün ikili karşılaştırmalar matrisi tamamlanmış olur.

Tablo 5: Fakültenin yeri için tamamlanmış ikili karşılaştırma değerleri

Fakültenin Yeri	Ulaşım İmkânları	Ulaşım Araçlarının Sıklığı	Ulaşım Ücreti
Ulaşım İmkânları	1	2	3
Ulaşım Araçlarının Sıklığı	1/2	1	2
Ulaşım Ücreti	1/3	1/2	1

5.4. Sentezleme Prosedürü

İkili karşılaştırmalar matrisi oluşturulduktan sonra, karşılaştırılan elemanların her birinin önceliği hesaplanabilir. Örneğin, fakültenin yeri kriterine göre her bir faktöre yönelik göreceli önceliklerin tahmin edilmesi için Tablo 3'deki ikili karşılaştırma değerleri kullanılabilir. AHS'nin bu işlemine sentezleme adı verilmektedir. Sentezleme işlemi matematiksel olarak öz değer ve öz vektör hesaplamalarını içerir. Bununla ilgili olarak her ne kadar farklı hesaplama yöntemleri bulunsa da, amaca uygun üç aşamalı basit bir yaklaşım şekli aşağıda sunulmuştur.[13]

Adım 1: İkili karşılaştırmalar matrisinin her bir sütunundaki değerler toplanır (Tablo 4).

Tablo 6: İkili karşılaştırmalar matrisi sütun değerlerinin toplamı

Fakültenin Yeri	Ulaşım İmkânları	Ulaşım Araçlarının Sık.	Ulaşım Ücreti
Ulaşım İmkânları	**1,00**	2,00	3,00
Ulaşım Araçlarının Sık.	0,50	**1,00**	2,00
Ulaşım Ücreti	0,33	0,50	**1,00**
Sütun Toplamı	**1,83**	**3,50**	**6,00**

Adım 2: İkili karşılaştırmalar matrisindeki her bir eleman sütun toplamına bölünür. Bu işlem sonucunda elde edilen matrise normalize edilmiş ikili karşılaştırmalar matrisi denir (Tablo 5).

Tablo 7: Normalize edilmiş ikili karşılaştırmalar matrisi

Fakültenin Yeri	Ulaşım İmkânları	Ulaşım Araçlarının Sık.	Ulaşım Ücreti
Ulaşım İmkânları	0,55	0,57	0,50
Ulaşım Araçlarının Sık.	0,27	0,29	2,00
Ulaşım Ücreti	0,18	0,14	1,00

Adım 3: Normalize edilmiş ikili karşılaştırmalar matrisinin her bir satırındaki elemanların aritmetik ortalaması hesaplanır. Bu aritmetik ortalama değerleri, karşılaştırılan elemanların göreceli öncelikleri ile ilgili bir tahmin sağlar (Tablo 6).

Tablo 8: Normalize edilmiş ikili karşılaştırmalar matrisi satır ortalamaları

Fakültenin Yeri	Ulaşım İmkânları	Ulaşım Araçlarının Sık.	Ulaşım Ücreti	Ortalama
Ulaşım İmkânları	0,55	0,57	0,50	**0,539**
Ulaşım Araçlarının Sık.	0,27	0,29	0,33	**0,297**
Ulaşım Ücreti	0,18	0,14	0,17	**0,164**

Açıklanan bu sentezleme işlemi sonucunda fakültenin yeri kriterine göre ulaşım imkânları, ulaşım araçlarının sıklığı ve ulaşım ücreti faktörlerinin göreceli öncelikleri elde edilir. Böylece fakültenin yeri kriteri dikkate alındığında en önemli faktörün 0.539 önem düzeyinde ulaşım imkânları iken, 0.297 önem düzeyinde bir öncelik değeri ile ulaşım araçlarının sıklığının ikinci ve 0.164 önem düzeyinde bir öncelik değeri ile ulaşım ücretinin üçüncü sırada yer aldığı görülür. Hesaplanan bu öncelikler tek bir öğrencinin kararına göre örnek olarak verilmiş olup, diğer karşılaştırmalardaki öncelikler işletme bölümündeki değerlendirmeleri tutarlı olan sekiz öğrencinin yaptığı ikili karşılaştırmalar dayalı bir grup kararı olarak ortaya çıkmaktadır. Tablo 6'deki sonuçlara göre öncelik faktörü aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\begin{bmatrix} 0.539 \\ 0.297 \\ 0.164 \end{bmatrix}$$

5.5. Tutarlılık

AHS'de ikili karşılaştırmalar sürecinin kullanımı ile önceliklerin ortaya konulmasından sonra, son kararın niteliği açısından ikili karşılaştırmalarda verilmiş olan hükümlerin tutarlılığının kontrol edilmesi gereklidir. Mükemmel bir tutarlılığı gerçekleştirmek imkânsız olmakla beraber AHS, karar verici tarafından verilen ikili karşılaştırma değerleri arasında tutarlılık derecesinin ölçümüne yönelik bir yöntem sağlamaktadır. Eğer tutarlılık derecesi kabul edilebilir düzeyde ise, karar süreci devam eder. Ancak, tutarlılık derecesi kabul edilemez düzeyde ise, bu durumda karar vericinin analize devam etmeden önce ikili karşılaştırma hükümlerini tekrar ele alması ve düzeltmesi gereklidir.

AHP, bir tutarlılık oranı hesaplamak suretiyle ikili karşılaştırma hükümlerinin tutarlılığını ölçer. Bu oran 0.10 değerini aşması halinde ikili karşılaştırma hükümlerinin tutarsızlığı söz konusu olur ve böyle bir durumda karar vericinin ikili karşılaştırmalar matrisindeki değerleri düzeltmesi gereklidir. 0.10 ya da daha az tutarlılık oranı değerleri ise ikili karşılaştırmalardaki tutarlılık düzeyinin kabul edilebilir olduğu anlamına gelir

Tutarlılık oranının tahmin edilmesi için aşağıdaki adımlar sırasıyla gerçekleştirilir:[16]

Adım 1: : İkili karşılaştırmalar matrisi ile buna yönelik öncelik vektörü çarpılır. Bu şekilde elde edilen vektöre ağırlıklı toplam vektörü adı verilmektedir. Ağırlıklı toplam vektörünü elde etmek için satırlardaki değerler toplanır. Fakültenin yeri kriterine göre ilgili faktörler için hesaplamalar aşağıdaki şekilde olacaktır:

$$0.539\begin{bmatrix} 1 \\ ½ \\ ⅓ \end{bmatrix} + 0.297\begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ ½ \end{bmatrix} + 0.164\begin{bmatrix} 3 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.539 \\ 0.270 \\ 0.180 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.594 \\ 0.297 \\ 0.149 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.492 \\ 0.328 \\ 0.164 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.625 \\ 0.895 \\ 0.492 \end{bmatrix}$$

Adım 2: Adım 1'de elde edilen ağırlıklı toplam vektörünün her bir elemanı, buna karşılık gelen öncelik değerine bölünür. Fakültenin yeri kriteri için işlemler aşağıdaki gibidir:

$$\frac{1.625}{0.539} = 3.015 \qquad \frac{0.895}{0.297} = 3.012 \qquad \frac{0.492}{0.164} = 3.001$$

Adım 3: Adım 2'de elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması hesaplanır. Bu ortalama değere maksimum öz değer denir ve λ_{max} ile gösterilir. Buna göre λ_{max} değeri şöyle hesaplanır:

$$\lambda_{max} = \frac{3.015 + 3.012 + 3.001}{3} = 3.009$$

Adım 4: Aşağıdaki formül kullanılarak tutarlılık indeksi (CI) değeri hesaplanır:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$ n = Karşılaştırılan elemanların sayısı

Fakültenin yerine ilişkin faktörler için $n = 3$ olduğuna göre tutarlılık indeksi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$CI = \frac{3.009 - 3}{3 - 1} = 0.0045$$

Adım 5: Aşağıda tanımlandığı gibi tutarlılık oranı hesaplanır.

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Formülde yer alan RI, rassal (tesadüfi) indeks anlamına gelmekte olup, rassal olarak elde edilen ikili karşılaştırmalar matrisinin ortalama tutarlılık indeksini ifade eder. RI değerleri, karşılaştırılan elemanların sayısına bağlı olarak aşağıdaki değerleri alır.

n	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41

Problemimiz için $n = 3$ ve $RI = 0.58$ olmak üzere tutarlılık oranı şöyle hesaplanır:

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.0045}{0.58} = 0.008$$

Daha önce belirtildiği gibi, tutarlılık oranı 0.10 veya daha az ise kabul edilebilir olarak düşünülmektedir. Fakültenin yeri için tutarlılık oranı 0.008 olduğuna göre, ikili karşılaştırmalar matrisinin tutarlılık derecesi kabul edilebilir düzeydedir.

6. ELDE EDİLEN BULGULAR VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Hizmet kalitesini belirleyen faktörlerin önceliğini veya önem derecesini belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmada akademik personel, idari hizmetler, kütüphane hizmetleri, müfredat yapısı, fakültenin yeri, altyapı ve kariyer fırsatları olmak üzere yedi ana kriter ve bu kriterlere bağlı farklı sayılarda alt kriterler kullanılmıştır. Öncelikleri belirlemede kullanılacak her bir ana kriter için ikili karşılaştırmalar matrisi sekiz öğrencinin ikili karşılaştırmaları değerlerinin geometrik ortalaması alınmak suretiyle hesaplanmıştır. Hesaplanan bu ikili karşılaştırmalar matrislerine göre yukarıda adımları sırasıyla açıklanan AHS yöntemi uygulanarak ana ve alt kriterlerin önem düzeyleri hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 7, 8, 9 ve 10'da verilmiştir.

Tablo 9: Akademik personel ve idari hizmetlerin önem düzeyleri

. AKADEMIK PERSONEL		0.174
	1. Akademik Özellikler	0.186
	2. Mesleki tecrübe	0.371
	3. İletişim Becerileri	0.183
	4. Nezaket	0.126
	5. İş Bağlantıları	0.124

. İDARI HIZMETLER		0.163
	1. Hızlı Hizmet Verme	0.165
	2. Nezaket	0.187
	3. Bilgilendirme Araçları	0.193
	4. Danışmanlık Hizmetleri	0.145
	5. Bilgi İşlem Desteği	0.140
	6. Otomasyon Uygulamaları	0.077
	7. Çalışma Saatleri	0.093

Tablo 10: Kütüphane hizmetleri ve müfredat yapısına ilişkin önem düzeyleri

. KÜTÜPHANE HIZMETLERI		0.138
	1. Kaynak Kitaplar ve Süreli yayınlar	0.211
	2. Ödünç Verme İşlemleri	0.250
	3. Nezaket	0.233
	4. Çalışma Saatleri	0.129
	5. E-Kütüphane	0.177

. MÜFREDAT YAPISI		0.126
	1. Ders İçerikleri ve Kitaplar	0.244
	2. Eğitim Malzemeleri	0.171
	3. Derslerin Yapısı ve Dağılımı	0.170
	4. Seçimlik Dersler	0.151
	5. Laboratuvar İmkânları	0.127
	6. Haftalık Ders Programı	0.072
	7. Sınav programları	0.065

Tablo 11: Fakültenin yerine ilişkin önem düzeyleri

. FAKÜLTENİN YERİ		0.121
1.	Ulaşım İmkânları	0.403
2.	Ulaşım Araçlarının Sıklığı	0.295

3.	Ulaşım Ücreti	0.302

Tablo 12: Altyapı ve kariyer fırsatlarına ilişkin önem düzeyleri

. ALTYAPI		**0.081**
	1. Yeterli Sınıf ve Laboratuvar	0.317
	2. Kantin Hizmetleri	0.191
	3. Yemek Hizmetleri	0.143
	4. Spor Olanakları	0.133
	5. İdareye Ulaşabilme	0.104
	6. Böl. İçi Sos.ve Kül.Fa.	0.113
. KARİYER FIRSATLARI		**0.197**
	1. İş İmkânları	0.394
	2. Lisansüstü Programlar	0.205
	3. Yurtdışı İmkânları	0.179
	4. Değişim Programları	0.079
	5. İş Bağlantıları	0.143

Bu sonuçlardan da görüleceği üzere öğrenciler tarafından birinci önceliği kariyer fırsatları, ikinci önceliği akademik personel ve üçüncü önceliği idari hizmetler almaktadır. Öğrenciler tarafından kariyer fırsatları altında da iş imkânları faktörünün birinci önceliği alması bu konuya daha fazla önem verilmesi ve hizmet kalitesinin sağlanmasında bunun önemli olduğunu göstermesi açısından dikkate değer bir husustur. Yukarıdaki tablolarda verilen öncelikler için tutarlılık indeksi değeri 0.02 olarak bulunmuştur ki, bu da öğrencilerin ikili karşılaştırmaları büyük ölçüde tutarlı olarak yaptıklarını göstermektedir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Hizmet kalitesini belirleyen faktörlerin öncelik ve önem düzeylerinin AHS yöntemi ile belirlenmesine yönelik bu çalışmada, işletme bölümünden sekiz öğrencinin tutarlı olan ikili faktör karşılaştırmalarına dayalı olarak en fazla önemi ve önceliği kariyer fırsatlarına verdiği görülmektedir. Bu da büyük ölçüde ülkemizdeki işsizlik problemi ve gençlerin mezun olduklarında işsiz kalma olasılığından kaynaklanmaktadır.

Eğitim ve öğretim faaliyetlerinin kaliteli bir şekilde sürdürülebilmesinde ikinci önceliği akademik personel almaktadır. Bu noktadan hareketle, üniversitelerin özellikle nitelikli akademik personele sahip olmaları gerektiği ve bunun da hizmet kalitesini önemli ölçüde etkilediği sonucu çıkarılabilir. Diğer yandan belirlenen faktörler içerisinde akademik personel sürekli göz önünde olan ve öğrencilerin karşı karşıya kaldığı hizmet kalitesini sağlamaya yönelik önemli faktörlerin başında gelmektedir. Ayrıca, Türkiye'nin 2023 vizyonu çerçevesinde bilimsel araştırma ve faaliyetlerin, kısaca akademik personelin nitelikleri ve kaliteli çalışmalarının belirlenen hedeflerin gerçekleştirilmesi açısından önemi yadsınamaz.

Hizmet kalitesini belirlemeye yönelik faktörler içinde üçüncü önceliği idari hizmetler almaktadır. İdari hizmetlerin kalitesi, amaç ve hedeflerin gerçekleşmesi, işlerin düzgün ve düzenli olarak hızlı, hatasız bir şekilde gerçekleştirilmesi açısından önem taşımaktadır.

Elde edilen sonuçların sınırlı sayıda öğrencinin karşılaştırmalarına dayanması ise bu çalışmanın önemli bir kısıtını oluşturmaktadır. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda çok daha yönlü ve geneli yansıtacak daha kapsamlı çalışmaların yapılması önceliklerin daha sağlıklı olarak belirlenmesi ve kararların bu doğrultuda alınması konusunda yardımcı olabilir.

KAYNAKÇA

[1] Kassim, N. M., Zain, M. (2010), "Service Quality: Gaps in the College of Business", Services Marketing Quarterly, 31, pp.235–252.

[2] Heizer, J. ve Render, B. (2008), Operations Management, Prentice Hall Inc., New Jersey, ss.36-38

[3] Kara, A., Lonial, S., Tarim, M. ve Zaim, S. (2005), "A Paradox of Service Quality in Turkey", European Business Review, Vol. 17, No. 1, pp. 5-20.

[4] Murat, G. ve Çelik, N. (2007), "Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi ile Otel İşletmelerinde Hizmet Kalitesini Değerlendirme: Bartın Örneği", ZKÜ Sosyal Bilimler Dergisi, Cilt:3, Sayı:6, ss. 1–20.

[5] Mosahab, R., Mahamad, O., Ramayah, T. (2010), "Service Quality, Customer Satisfaction and Loyalty: A Test of Mediation", International Business Research Vol. 3, No. 4, pp.72-80.

[6] Chowdhury, A.H., Iqbal, Md. T., Miah, Md. Khasro (2010), "A Study of Service Quality Determinants of Private Universities in Bangladesh using SERVQUAL", Journal of Knowledge Globalization, Vol.3, No.1, Spring 2010, pp.49-74.

[7] Sohail, M. S., Roy, M. H., Saeed, M., Ahmed, Z. U. (2007), "Determinants of Service Quality In The Hospitality Industry: The Case of Malaysian Hotels", Journal of Accounting – Business & Management, 14 (2007), pp.64-74.

[8] Hu, P.J., Brown, S.A., Thong, J.Y.L., Chan, F.K.Y., Tam, K. Y. (2009), "Determinants of Service Quality and Continuance Intention of Online Services:The Case of eTax", Journal of The American Society For Information Science and Technology, Vol. 60, No. 2, pp. 292–306.

[9] Lien, N., Kao, S. (2008), "The Effects of Service Quality Dimensions on Customer Satisfaction Across Different Service Types: Alternative Differentiation As a Moderator", Advances in Consumer Research, Vol. 35, pp.522-526.

[10] Tsinidou, M., Gerogiannis, V., & Fitsilis, P. (2010), "Evaluation of the Factors that Determine Quality In Higher Education: An Empirical Study", Quality Assurance in Education, 18 (3), pp.227-244.

[11] Yılmaz, M. (2010), "Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ve Bir Uygulama: Lider Bir Kütüphane Müdürü Seçimi", Türk Kütüphaneciliği, 24, 2, ss. 206-234.

[12] Doumpos, M. and Zopounidis, C. (2004), Multicriteria Decision Aid Classification Methods, KluwerAcademicPublishers, New York.

[13] Anderson, D.R., Sweeney, D.J. ve Williams, T.A. (1992), Quantitative Methods for Business, West Publishing Company, Fifth Ed.

[14] Schniederjans, M. J., Hamaker, J. L. and Schniederjans, A. M. (2004), Information TechnologyInvestment: DecisionMakingMedhodology, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.,Singapore.

[15] Kuruüzüm, A. ve Atsan, N. (2001), "Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik A1lanındaki Uygulamaları", Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi, (1), ss.83-105.

STATISTICAL ANALYSIS OF BOTTLENECK OCCURRENCE IN CALL CENTERS: QUEUING SCIENCE PERSPECTIVE IN A PUBLIC BANK

[8]Halim Kazan

ABSTRACT

The purpose of this research is to increase efficiency of a call center by eliminating the factors that cause of the formation of bottlenecks. For this purpose, the data of a public bank call center which has a large amount of customers was analyzed by using queuing theory. In the analysis process, how many customer representatives will work, whether interarrival times of calls are identically distributed or not, whether appropriate software and hardware are used or not and technological controls are made to raise customer satisfaction or not, whether qualified numerical reports are prepared and numerical values are optimized or not, whether objected customer satisfaction is obtained or not, whether efficiency and cost analysis are made or not consist of the research problem. In the research; it was found that the quality and number of customer representatives, technology, software and hardware factor were playing a major role in the occurrence of bottlenecks. By controlling these factors, increase in efficiency was seen/experienced**.**

Key Words: Call Center, Queuing Theory, Interarrival Times, Service Times

1. INTRODUCTION AND RELATED LITERATURE

Businesses serve its customers through different channels. Service channels could be different the type of service provided, the duration and the needs (Brown and Hyer, 2007).According to Abraham (2008), the call center industry is one of the most rapidly growing areas of work globally. This is supported by Bakker, Demerouti and Schaufli (2003), who claim that about two thirds customer interactions take place through call centers and Bat and Moynihan (2002), who highlight a significant tendency for companies to establish their relationships with clients through call centers.

Richard and his friends have expressed the following implementation of scientific management in the service sector (Richard B. Chase A, Uday M. Apte B, 2007, 375-376).

History of research in service operations:

1900–1950s Application of scientific management to services Walt Disney: industrialized fantasy Holiday Inns: consistency in multi-site services

1960s McDonald's: production-line approach to services service economy and operations in health care

1970s Industrialization of services match supply and demand in services the customer contact model data envelopment analysis

1980s Classify services to gain marketing and operational insights gap model of service quality and SERVQUAL strategic service vision

Unconditional service guarantee psychology of queues yield management

1990s Service profit chain using poka-yoke, or fail-safe, methods to prevent human errors in service systems globalization of information-intensive services emergence of experience economy

2000s Using behavioral science in service operations managing operations in information-intensive services information technology in services and e-services global business process outsourcing service design

Leffingwell (1917) was one of the early researchers who applied Taylor's Principles of Scientific Management (1911) to the activities of service industries such as banks, insurance companies, accounting firms and mail-order firms.

Tate and Valk, (2008), focused specifically on customer contact services that have been outsourced to external suppliers. Janet R. McColl-Kennedy, Paul G. Patterson, Amy K. Smith, Michael K. Brady, (2009), examined customer rage-associated emotions, expressions, and behaviors following service failure.

While some firms serve in their shops and others serve outside, telecommunication technology has moved service channels to the virtual media.

Although branches and shops are able to be sufficient for serving small amount of customers, they have difficulties with the increasing number of customers, work load and similar problems. For this reason firms turned to establish and improve call centers to serve more customers faster and more efficiently (Ferreira, Paulo, & Saldiva, 2002: 148-152). Main goal of establishing call centers is to increase customer satisfaction by supplying high quality service in virtual media for maximum customer wishes and needs with minimum cost (Weindruch Jonathan P, 2002; Chaudhry, Abbus, & Jeanne, 2004: 37; Tuten, Tracy, & Presha E. Neidermeyer,

[8] Halim Kazan. Associate Professor at School of Business Administration. Gebze Institue of Technology. Address: Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü İşletme Fakültesi Çayırova Kampüsü Fabrikalar Yolu No:101 41400 Gebze-KOCAELİ-TURKİYE. Tel 02626051418. E-mail addresses: halimkazan@gyte.edu.tr

2002: 1-9; Kohen, 2002: 1-7). Call center is the unit that provides firm to contact directly with customers by the advantages of latest technology and sufficient staff capacity to serve (Zikmund et al., 2003: 122).

Today, call centers are being used broadly, especially in service industry. Cost of using call center is less expensive than the face to face communication with customers (Zeithaml & Bitner, 2000: 68). The sector that commenced using call centers firstly in the world is finance. The tract in which call centers are most extensively utilized is banking (Marr, Bernard, & Parry, 2004: 55). In Turkey these call centers came into the question in personal banking. In year 1996, Citibank established first call center in real meaning (Özsan, 1999). Banks perceive call center as their profit centers. In 1998, American Banks Union declared that 90% of 520 billion dollars assets of banks had been gained from arriving calls (Vance, 1999). Also banks actualize 70% of customer relations by call centers (Gökdağ, 2005). For this reason, the subject of answering arriving calls in most appropriate way gives importance to the research.

The characteristic of call centers is to answer arriving calls on the phone and find direct solutions to customer problems via system. Another significant feature of smart technology is to recognize customer when he dialed his customer number, by this way customer representative has the availability to recognize customer before connection. In this condition, beside service to the customer is faster and less costly, customer satisfaction is increased with sincerely talking and cordial behaviors.

Call center can be defined as the system that supplies all the groups that firm wishes to contact (customers, suppliers, distributors etc.) to use various communication channels such as phone, internet (e-mail, online chat), fax and post; and directs arriving calls to the single center (Dean, 2002: 414-423). Dean, who studied on this subject, founded a positive relation between quality of calls and level of customer satisfaction (Dean, 2002: 462). Insufficient service in call center effect customer expectation negatively and creates bottleneck in purchasing service process (Dean, 2004: 73). According to the study done by Feinberg et al.; if customers encounter negativities when they call call centers, they did not call again call centers (Feinberg et al. 2000: 140). Bennington et al. determined that among customers who use call centers, old ones had been less satisfied versus new ones (Bennington et al..,2000: 170). Malhotra ve Mukherjee has also shown that job satisfaction of the bank call center personnel had beneficial effects on the bank efficiency (Malhotra, Neeru, & Mukherjee, 2004: 162). Tuten ve Neidermeyer investigated how customer satisfaction will be effected if call center personnel who works under stress failures on appropriately answering arriving calls (Tuten, Tracy, Presha, & Neidermeyer 2002: 1). Deslauriers et al. studied on a model related to Markow processes with the aim of decreasing average time an arriving call spends in line (Deslauriers et al., 2007: 1630). A similar study was done by Artalejo et al. In this study average time an arriving call spends in line was calculated (Artalejo et al. 2007: 985). In another research, a different subject was evaluated and the profile of existing customers was tried to be determined. For this purpose, two properties were taken into consideration: personality variables and demographic variables. Personality variables are those such as activity, socialization, self expression, responsibility, respect, happiness, security, masculinity and femininity (Köknel, 1995: 354-370). Sarıyer investigated if customers who have different usage frequency and who uses different channels to reach bank call center, have differences in terms of demographic and personality variables or not (Sarıyer, 2007, 149).

John and Jane examined equal arrival conditions to pension services for movement handicapped guests (John Grady & Jane Boyd Ohlin, 2009: 161)

Vance referred all arriving calls to bank call centers as a value and emphasized that this value is actually an opportunity (Vance, 1999). According to the research made by Zikmund, McLeod ve Gilbertin with 32 active call centers in US, every day 400.000 calls are answered by call centers. This situation creates an opportunity for institutions (Zikmund, McLeod ve Gilbert, 2003: 3). In Datamonitor's research made with 300 European call center managers it is revealed that managers perceive call centers as "increasing customer satisfaction and loyalty" (Morrell, 2000).

There are many researches on call centers. When these researches are investigated academically, it is seen that bottlenecks in call centers lead to deficiencies in service as they directly affect profit of banks. For this reason, this research carries significance for determining and eliminating bottlenecks that are able to occur in banks as a result of arriving calls to be served.

2. RESEARCH METHODOLOGY AND APPLICATION

Purpose of the Research; is to determine the factors that cause bottlenecks to emerge and to increase efficiency of call center by eliminating bottlenecks.

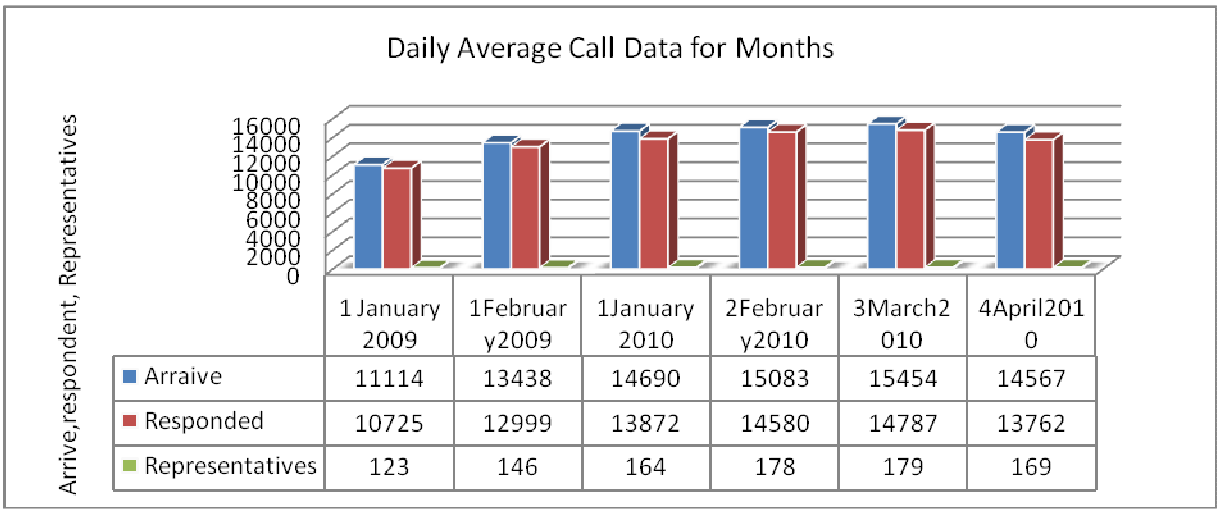
Extent and Content: Call center belongs to one of the biggest public banks in Turkey was taken as the basis. This call center serves all around Turkey 7 days/24 hours. System ranks customers who call call center to be served and add them to the queue. Service times in call center show differences according to months and calls of customers are completely random. It is assumed that number of customers who will call call center i.e. arrival source is infinite. Customers are served in the order of their arrival; first customer in the queue is served firstly. In the queue, FCFS (first come first served) discipline is applied. There are multi-channel parallel servers; each provides the same type of service.

Arriving calls of customers to the call center is accepted to have exponential distribution.
Customer representatives work with shifts (number of representatives changes monthly) and supply the same type of service which occurs in their job definitions.
In call centers; many different applications are operated such as lost-stolen notifications, determining password, credit card, bank card, mobile banking services, and technical support services. Each of the general call center services takes different service times. For example, determining password service ends in short time, on the other hand transfer, eft processes possibly last long times. While customer representatives serve existing customers, other customers hanged on the queue are bored of waiting and start to complain. Customer complaints increase with long waits.

2.1 Research Problem: In the analysis process, number of customer representatives, whether interarrival times of calls are identically distributed or not, whether appropriate software and hardware is used or not and technological controls are made or not, whether qualified numerical reports are prepared and numerical values are optimized or not, whether objected customer satisfaction is obtained or not, whether efficiency and costs are analyzed or not consist of the research problem.

2.2 Acquiring and Analyzing Datas, Software Programmes used in the Research

Datas of the call center belongs to a public bank serves in Turkey are used in application. November, December 2009 and January, February, March, April 2010 datas were procured. Total number of days is 181.
Datas were procured by MS Office Excel and were gathered by the same software programme. For the analysis of gathered datas, MS Office Excel, MS Office Access and WinQSB were used. Model was constructed and concluded on WinQSB.
In the histogram below, by the evaluation of six months data it is seen that call center receive an average of 14054 calls per day and an average of 13449 calls are served, daily an average of 570 calls were lost after arrival. For six months data service rate is calculated as 95,70%. Daily average results of the analysis told above is given below for months.



	1 January 2009	1Februar y2009	1January 2010	2Februar y2010	3March2 010	4April201 0
Arraive	11114	13438	14690	15083	15454	14567
Responded	10725	12999	13872	14580	14787	13762
Representatives	123	146	164	178	179	169

Figure 1: Daily Average Call Datas for Months

When datas are examined daily, it is observed that more customer representatives work in the beginning of the week with the expectation of dense call traffic, trough the end of workday number of representatives reduces and at the weekends less customer representatives work than weekdays. When average number of arriving calls is taken into the consideration, from the beginning to the end of the week a decreasing tendency is observed. Daily average numbers are given below.

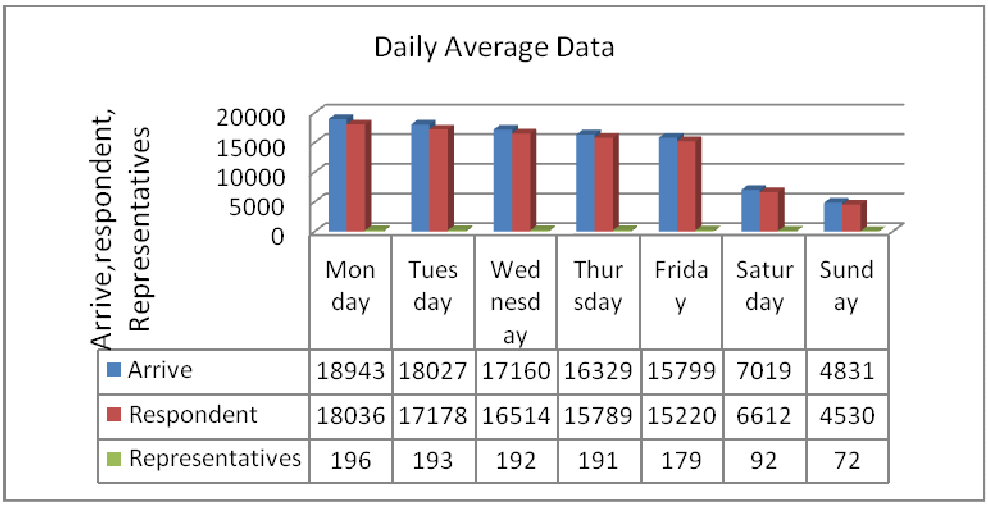


Figure 2: Daily Average Datas

In the daily investigations for a week, numbers are observed to diminish from the beginning to the end of the week. But in weekends more than a half decrease is seen in numbers. If datas are examined in weekday and weekend fracture as daily averages the result below is reached.

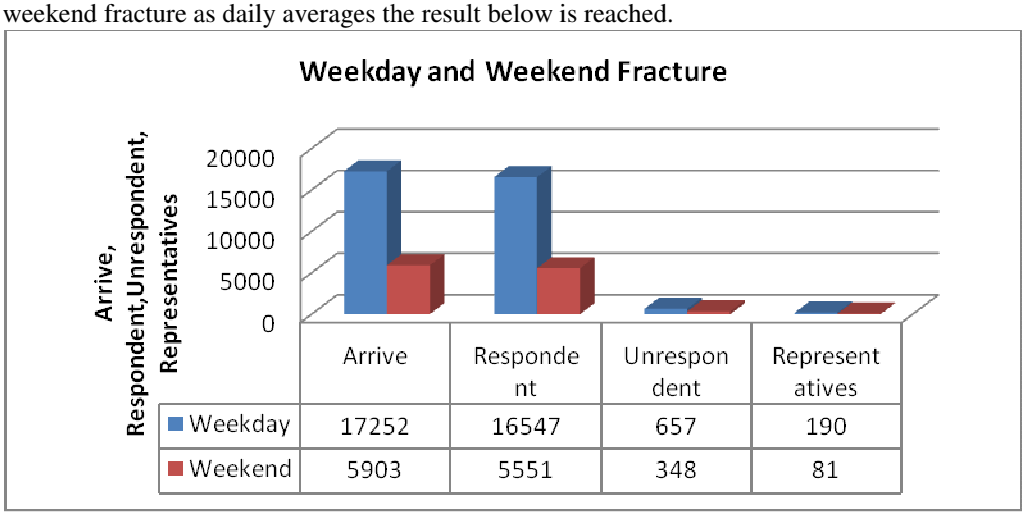


Figure 3: Weekday and Weekend Fracture

Before the data classified above is analyzed by queuing theory, parameters used in the analysis of data were determined as given below.

Parameters:

λ	Customer arrival rate
μ	Service speed
1/ μ	Service rate
ρ	Capacity utilization rate
M	Number of servers
c	Number of channels in the system
L_q	Average number of customers waiting in line
L_s	Average number of customers present in system
W_q	Average time a customer spends in line
W_s	Average time a customer spends in the system
P_0	Probability that the system is idle
P_n	Probability that there are n customers in the system

3. Queuing Model

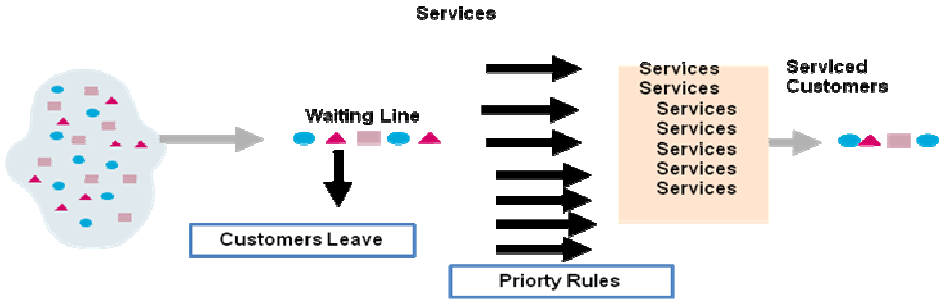


Figure 4: Queuing Model

4. Mathematical Formulations Used in Queuing Model:

If we move from here; as it is explained in the entry, with the assumptions that arrivals follows a Poisson distribution, service times are exponentially distribute, and arrival rate is lower than service rate, general formulations given below are applicable for this model.

- Probability that the system is idle: $P_0 = 1 - \frac{\lambda}{\mu}$ (4.1)
- Probability that there are n customers in system: $P_n = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n . P_0 = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \cdot \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)$ (4.2)
- Average number of customers present in system: $L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$ (4.3)
- Average number of customers waiting in line: $L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$ (4.4)
- Average time a customer spends in line: $W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$ (4.5)
- Average time a customer spends in the system: $W_s = \frac{1}{\mu - \lambda}$ (4.6)
- Probability that there is no ATM in the system:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{M} \left[\frac{M!}{(M-n)!} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \right]} \quad (4.7)$$

- Probability that there are n ATMs serve and (M-n) ATMs out of service:

$$P_n = \frac{M!}{(M-n)!} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n . P_0 \quad (4.8)$$

- Probability that the system is idle with the situation that allowable number of customers in the queuing system is K:

$$P_0 = \begin{cases} 1 - \dfrac{1 - \frac{\lambda}{\mu}}{1 - \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{K+1}} & \lambda \neq \mu \\ \dfrac{1}{K+1} & \lambda = \mu \end{cases} \quad (4.9)$$

- Probability that there are n customers in system:

$$Pn = \begin{cases} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n . P_0 & \lambda \neq \mu \\ \dfrac{1}{K+1} & \lambda = \mu \end{cases} \quad (4.10)$$

- Pollaczek and Khintchine average length of the queue:

$$L_q = \frac{\lambda^2 \sigma^2 + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2}{2\left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)} \quad (4.11)$$

- If number of customers is lower than number of servers, probability that there are n customers in system is calculated as: (4.12)

$$P_{Cn} = \frac{1}{n!}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_{C0} \qquad n = 0, 1, \ldots, C-1 \text{ i.e. } n < C$$

- If number of customers is greater than or equal to number of servers, probability that there are n customers in system is calculated as: (4.13)

$$P_{Cn} = \frac{1}{C!\,C^{n-C}}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_{C0} \qquad n \geq C$$

- For probability that the system is idle or there is no customer in the system; symbolizing number of service channels as C, customer arrival rate as λ and assuming service rates of all servers are identical, up on the condition that service rate of a single channel is μ (Halaç, 310-313);

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{c-1}\frac{1}{n!}(\lambda/\mu)^n + \left[\frac{1}{C!}(\lambda/\mu)^c \frac{C\mu}{C\mu-\lambda}\right]} = \frac{1}{\sum_{n=0}^{c-1}\frac{1}{n!}\rho^n + \frac{\rho^c}{C!(1-\rho/C)}} \qquad (4.14)$$

formulation was used.

- In a multi-channel system, probability of turning an arrival to be served into bulk arrival as a result of C or more customers' existence in the system:

$$P_{Cn} = \frac{\mu\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^C}{(C-1)!\,(\mu C-\lambda)} P_{C0} \qquad (4.15)$$

- Average length of the queue is found with multiplication of the probability that the system is idle, i.e. $\frac{\lambda}{\mu C-\lambda}$ (Tamtam, 2006, 3):

$$L_q = \frac{\lambda\mu(\lambda/\mu)^c}{(C-1)!(C\mu-\lambda)^2}\cdot P_0 \qquad (4.16)$$

- Average number of customers present in multi-channel system is calculated as:

$$L_s = L_q + \rho$$

$$L_s = \frac{\lambda\mu(\lambda/\mu)^c}{(C-1)!(C\mu-\lambda)^2}\cdot P_0 + \lambda/\mu \qquad (4.17)$$

- Average time a customer spends in line:

$$W_q = L_q/\lambda$$

$$W_q = \frac{\mu(\lambda/\mu)^C}{(C-1)!(C\mu-\lambda)^2}\cdot P_0 \qquad (4.18)$$

- Average time a customer spends in the system:

$$W_s = W_q + 1/\mu \qquad (4.19)$$

$$W_s = \frac{\mu(\lambda/\mu)^c}{(C-1)!(C\mu-\lambda)^2}\cdot P_0 + 1/\mu$$

6 days datas chosen randomly from 6 months datas are examined and costs to bank and to customers, essential times, and numbers; in short values will be used in the analysis of datas were attained. Queuing Analysis was used in the analysis of datas. Hourly values acquired for the analysis were taken into consideration. M/M queuing system was based. Entries to WinQsb are as it is seen in Table 1

Table 1: Data Entry to WinQSB

Data Description	ENTRY
Number of servers	32
Service rate (per server per hour)	25
Customer arrival rate (per hour)	586
Queue capacity (maximum waiting space)	M
Customer population	M
Busy server cost per hour	4.47
Idle server cost per hour	5.70
Customer waiting cost per hour	33.957
Customer being served cost per hour	261.7683
Cost of customer being balked	0
Unit queue capacity cost	1

Result of analysis obtained by problem solution is as it is shown in Table 2. Up on results of analysis, an average of 586 calls per hour is arriving to call center which has M/M/32 queuing system and an average of 25 customers per hour are served. System utilization rate is 73,25%.

Table 2: WinQsb Analysis Output

07-03-2010	Performance Measure	Result
1	System: M/M/32	From Formula
2	Customer arrival rate (lambda) per hour =	586,0000
3	Service rate per server (mu) per hour =	25,0000
4	Overall system effective arrival rate per hour =	586,0000
5	Overall system effective service rate per hour =	586,0000
6	Overall system utilization =	73,2500 %
7	Average number of customers in the system (L) =	23,6153
8	Average number of customers in the queue (Lq) =	0,1753
9	Average number of customers in the queue for a busy system (Lb) =	2,7383
10	Average time customer spends in the system (W) =	0,0403 hours
11	Average time customer spends in the queue (Wq) =	0,0003 hours
12	Average time customer spends in the queue for a busy system (Wb) =	0,0047 hours
13	The probability that all servers are idle (Po) =	0,0000 %
14	The probability an arriving customer waits (Pw) or system is busy (Pb) =	6,4023 %
15	Average number of customers being balked per hour =	0
16	Total cost of busy server per hour =	$104,7768
17	Total cost of idle server per hour =	$48,7920
18	Total cost of customer waiting per hour =	$5,9532
19	Total cost of customer being served per hour =	$2887,7610
20	Total cost of customer being balked per hour =	$0
21	Total queue space cost per hour =	$0
22	Total system cost per hour =	$3047,2830

Explanations of the results are given below:
According to analysis results, in M/M/32/GD/∞/∞ queuing system;

- Average number of customers arrive in one unit time -one hour- (λ) is 586.
- Average number of customers served in one unit time -one hour- (μ) is 25.
- Average activity rate of the system – occupation rate (utilization factor, ρ) is 73,50%.
- Probability that all servers are idle ($\pi 0$) is 0.
- Probability that an arriving customer waits in line (P_w) is 6,4023%.
- Average number of customers present in system (L) is 23,6153.
- Average number of customers waiting in line (L_q) is 0,1753.
- Average time a customer spends in the system (W) is 0,0403 hour equals 2,418 minutes.
- Average time a customer spends in line (Wq) is 0,003 hour equals 0,18 minutes.
- Average time a customer spends in line because the system is busy (Wb) is 0,0047 hour equals 0,282 minutes.
- Cost of busy server per hour is 104,7768 TL.
- Cost of idle server per hour is 48,4920 TL.
- Total cost of the system per hour is 3047,2830 TL.

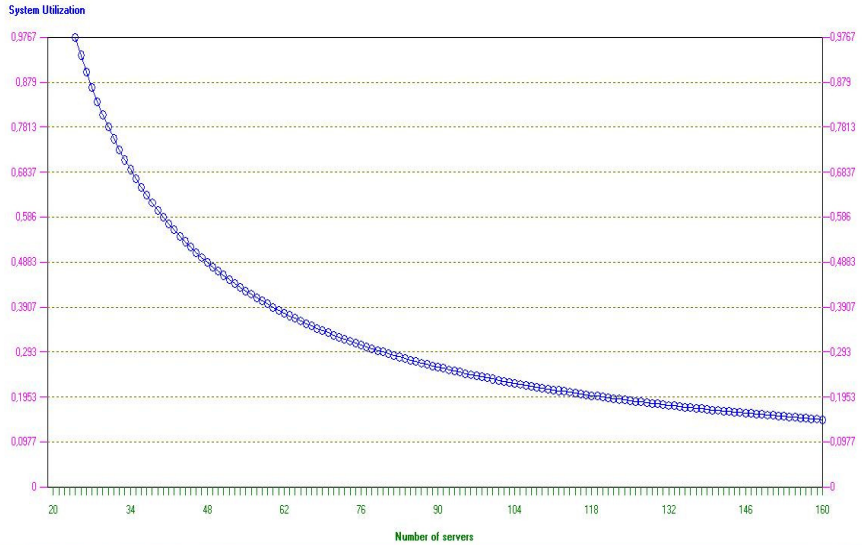


Figure 5: Relation between system utilization rate and number of customer representatives

As gathered from the results of analysis, 25 customer representatives must serve for system utilization rate, activity of the system, to be maximized (97.67%) as it is seen in Figure 5. Increase in the number of customer representatives who serve in the system leads to decrease in system efficiency.
The reason for this situation is that more customer representatives mean higher system capacity but number of arrivals will be the same therefore system will operate with the performance below its capacity. Since 32 customer representatives serve simultaneously in the call center used for the application, system utilization rate takes a value between 68% and 78%. Also this value was observed as 73,50% in the results of the previous analysis.

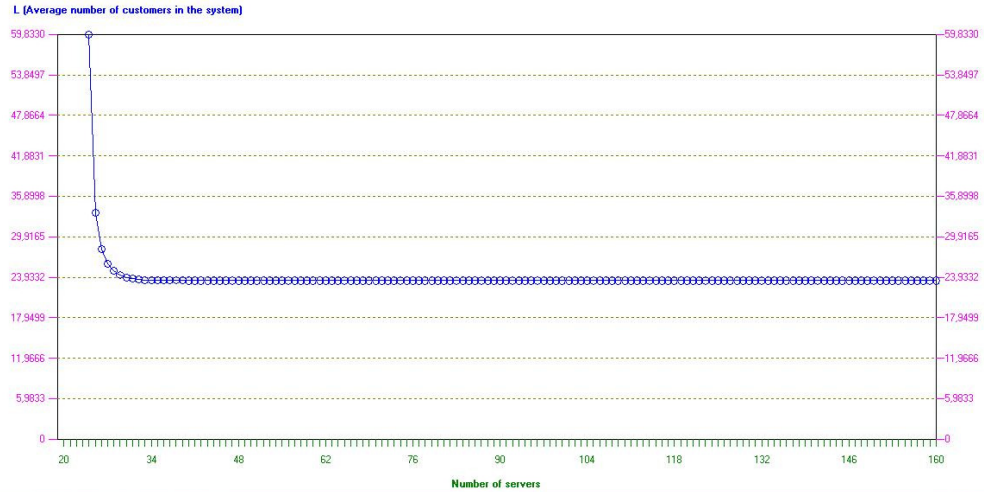


Figure 6: Relation between average number of customers present in the system and number of serving customer representatives

In the initial stages, average number of customers present in the system, decreases with the increase in the number of customer representatives serve in call center but after a while it becomes stable as it is seen in Figure 6, one of the outputs of analysis. While there are approximately 60 customers in the system when 25 customer representatives serve in call center, number of customers present in the system is able to fall down to nearly 24 if number of customer representatives rises.

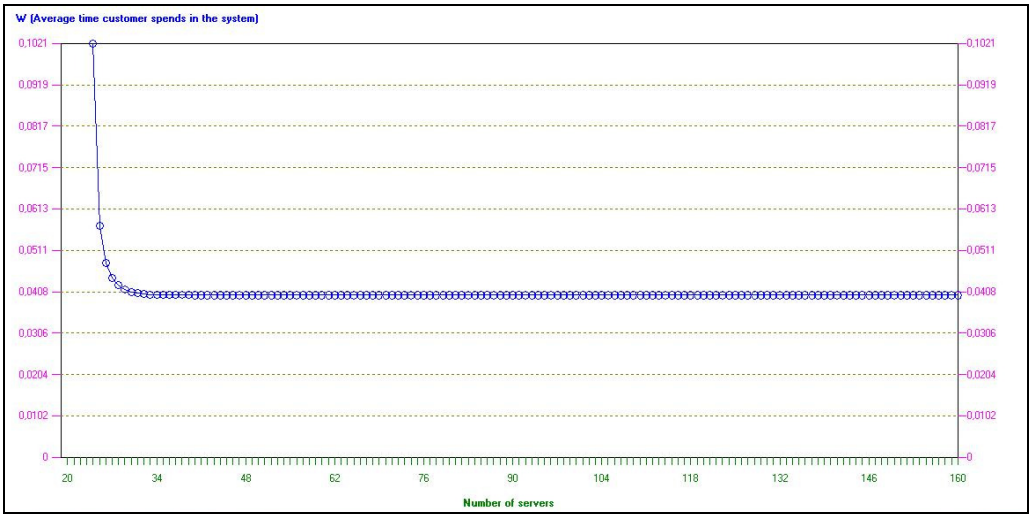


Figure 7: Relation between average time a customer spends in the system and number of serving customer representatives

As it is seen in another output of the analysis Figure 7, when number of customer representatives is about 25, average time a customer spends in the system is 6 minutes. If number of customer representatives increases, time customers spend in the system decreases and reaches a stabilization point on about 2,4 minutes. Before the analysis, average time customer representatives spend for a call was taken as 2,4 minutes from datas and some calculations were made with this value. When number of customer representatives is fewer than it is necessary, customers will be obligated to wait and time they spend in the system will be higher. On the other hand if number of customer representatives is set as high as it gives opportunity to the customers to be served with no waiting in line, time customers spend in the system will be only service time. For this reason, time a customer spends in the system is fixed as 2,4 minutes in the graph when more than 30 customer representatives serve in call center.

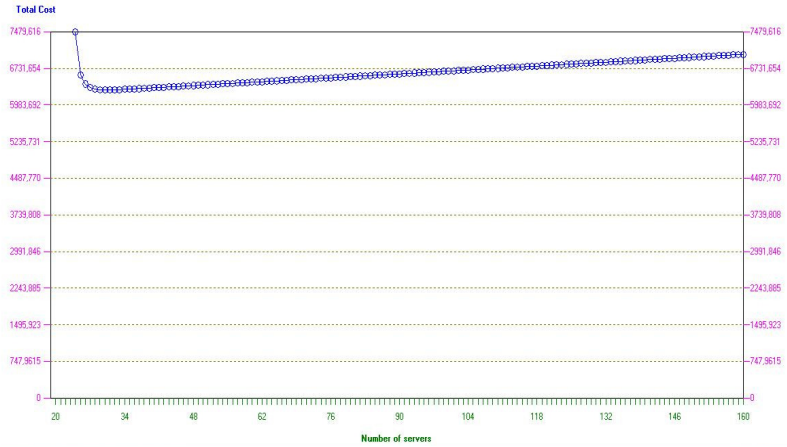


Figure 8: Relation between total cost and number of serving customer representatives

As it is seen in one of the analysis outputs Figure 8, total cost is in its maximum level when number of customer representatives is close to 20. However, when number of customer representatives increases up to 30 total cost decreases to its minimum point. But it starts to rise again if number of customer representatives goes on to increase passing over 30. When number of customer representatives is lower than necessity, lost calls will be high and so total cost will be excessive. When number of customer representatives is close to its optimum level, efficiency of the system will be augmented, thus cost will be reduced. If number of customer representatives is higher than necessity, system will operate with performance under its capacity and idle capacity cost will occur, therefore total cost starts to change in the same direction with the number of customer representatives.

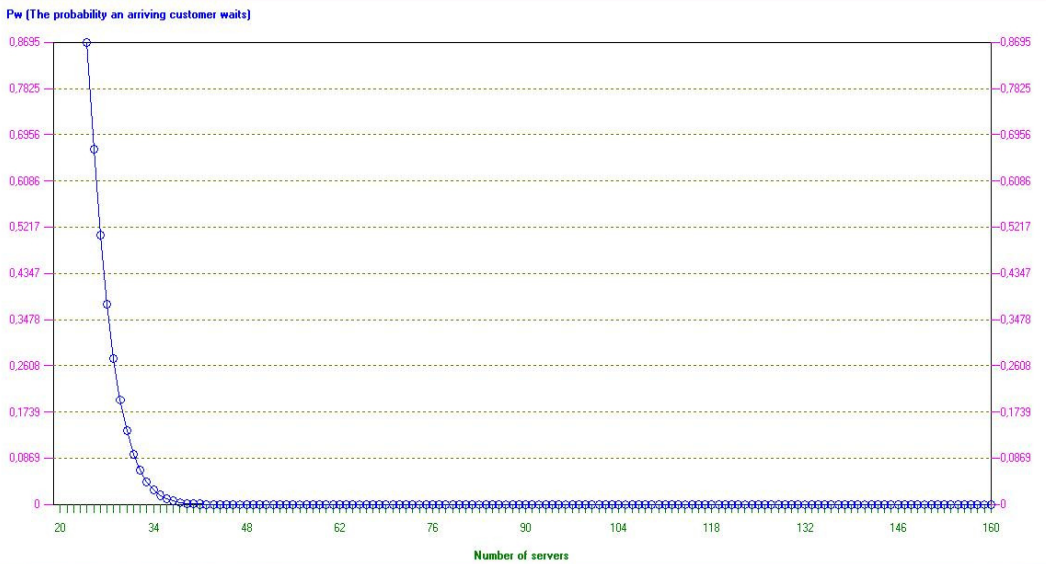


Figure 9: Relation between probability that an arriving customer waits in line and number of serving customer representatives

As it is seen in Figure 9, probability that an arriving customer waits in line is close to 1 when the number of serving customer representatives is about 20. In definition, if number of customer representatives is lower than necessity, probability that all customer representatives are busy will rise and so probability an arriving customer waits in line will also rise. With the increasing number of customer representatives, probability that an arriving customer waits in line decreases and consequently becomes 0 when 40 or more customer representatives serve simultaneously.

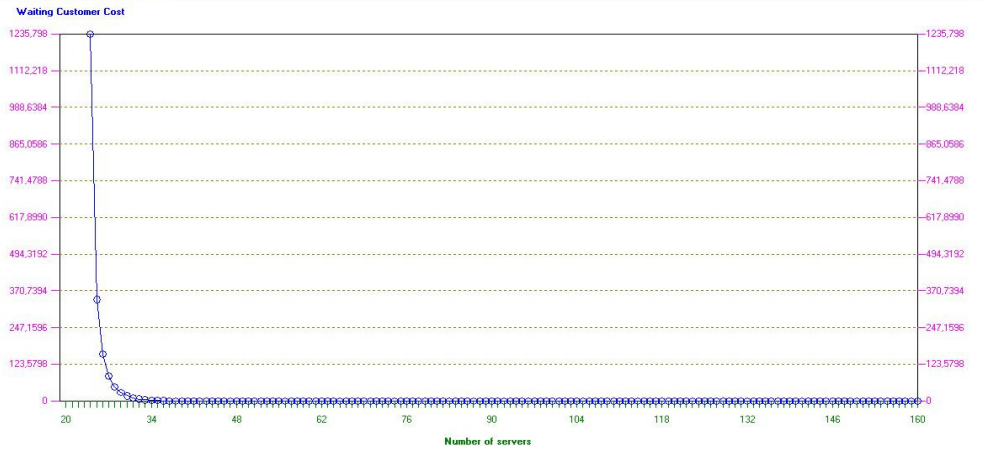


Figure 10: Relation between waiting customer cost and number of serving customer representatives

As it is seen in another output of the analysis Figure 10, the graph of relation between number of serving customer representatives and waiting customer cost and the graph of relation between number of serving customer representatives and probability that an arriving customer waits in line give nearly the same curve. If probability that an arriving customer waits in line increases, waiting customer cost to the bank will increase. Waiting customer cost is stabilized closing to 0, when the number of customer representatives is about 30.

5. Arrangement of Cost Data

April Datas; Total cost of call center in April is 632.514 TL and expenses were given in Closure 2. In that case, daily cost of call center is 21.084 TL.
Cost of call center per month: 632.514 TL
Cost of call center per day: 21.084 TL
Cost of call center per hour: 878.5 TL

Salary of each customer representative per month is 1.121 TL. This is also the service cost and it is calculated below per day and per hour.
Service cost per day: 37.37 TL
Service cost per hour: 1.56 TL
Total cost of 125 servers per hour: 195 TL
Probability that servers are idle is 0.39. This means servers to be idle 23.4 minutes in one hour. Total cost of 125 servers per hour is 195 TL; pursuant to this, cost of servers to be idle is calculated as 76TL per hour.
Waiting that leads to customer dissatisfaction is also another cost factor referred as delay cost and is calculated as below.
Total Cost = Service Cost + Delay Cost
Delay Cost = Total Cost - Service Cost
Delay Cost = 878.5-195 = 683.5 TL/hour
Unit Delay (Queue) Cost = 683.5/210=3.25 TL/hour
May Datas; Total cost of call center in May is 608.249 TL and expenses were given in Closure 2. In that case, daily cost of call center is 20.275 TL.
Cost of call center per month: 608.249 TL
Cost of call center per day: 20.275 TL
Cost of call center per hour: 845 TL
Salary of each customer representative per month is 1.121 TL. Then;
Service cost per day: 37.37 TL
Service cost per hour: 1.56 TL
Total cost of 130 servers per hour: 203 TL
Probability that servers are idle is 0.39. This means servers to be idle 23.4 minutes in one hour. Total cost of 130 servers per hour is 203 TL; pursuant to this, cost of servers to be idle is calculated as 79TL per hour.
Total Cost = Service Cost + Delay Cost
Delay Cost = Total Cost - Service Cost
Delay Cost = 845- 203 = 642 TL/hour
Unit Delay (Queue) Cost = 642/210=3.06 TL/hour

6. CONCLUSION

In the research it is proved that for system utilization rate to be 97.67%, 25 customer representatives should serve in the system. If the number of customer representatives who serve in the system increases, system efficiency will decrease. As a result of that 32 customer representatives serve simultaneously in the call center used for the application, system utilization rate takes a value between 68% and 78%.
Average number of customers present in the system, decreases with the increase in the number of serving customer representatives in call center and after a while it becomes stable While there are approximately 60 customers in the system when 25 customer representatives serve in call center, number of customers present in the system is able to fall down to nearly 24 if number of customer representatives rises.
When number of customer representatives is about 25, average time a customer spends in the system is 6 minutes. If number of customer representatives increases, time customers spend in the system decreases and reaches a stabilization point on about 2,4 minutes.

Total cost is in its maximum level when number of customer representatives is close to 20. However, when number of customer representatives increases up to 30 total cost decreases to its minimum point, but it starts to rise again if number of customer representatives goes on to increase after that point.
When number of customer representatives is lower than necessity, lost calls will be high and so total cost will be excessive. When number of customer representatives is close to its optimum level, efficiency of the system will be augmented, thus cost will be reduced. If number of customer representatives is higher than necessity, system will operate with performance under its capacity and idle capacity cost will occur, therefore total cost starts to change in the same direction with the number of customer representatives.
Probability that an arriving customer waits in line is close to 1 when the number of serving customer representatives is about 20. In definition, if number of customer representatives is lower than necessity, probability that all customer representatives are busy will rise and so probability an arriving customer waits in line will also rise. With the increasing number of customer representatives, probability that an arriving customer waits in line decreases and consequently becomes 0 when 40 or more customer representatives serve simultaneously. If probability that an arriving customer waits in line increases, waiting customer cost to the bank will increase. Waiting customer cost is stabilized closing to 0, when the number of customer representatives is about 30.
As the result of the analysis; it is observed that **arriving calls are identically distributed.** It is assigned that **bank does not employee adequate customer representatives.** It is determined that **appropriate software and**

hardware is used, and technological controls are made to increase customer satisfaction. It is observed that **qualified numerical reports are not prepared**. As it is understood from cost datas, it is revealed that **numerical values are not optimized competently**. It is demonstrated that **costs are not analyzed in detail** and customer complaints exist occasionally.

REFERENCES

Abdurrzzag Tamtam. (2006). Multi-Channel Queuing Problems Approach, 3. Retrieved April 20, 2010, from http://www.feec.vutbr.cz/EEICT/2006/sbornik/03-Doktorske_projekty/09-Pocitacove_systemy/05-yah2002tam.pdf

Abraham, M. (2008). Globalization and the Call Centers. International sociology, 23(2), 197-210.

Artalejo, J.R. et al. (2007). Applications of Maximum Queue Lengths to Call Center Management. Computers & Operations Research, 34 (4) April, 983-996.

Batt, R., & Moynihan, L. (2002). The viability of alternative call center production models. Human Resources Management Journal, 12(4), 14-34.

Bennington, L. et al. (2000). Customer Satisfaction and Call Centers: An Australian Study. International Journal of Service Industry Management, 11 (2), 162-173.

Brown, K.A., & Hyer, N.L. (2007). Archeological benchmarking: Fred Harvey and the service profit chain, circa 1876. Journal of Operations Management, 25 (2), 284–299.

Chaudhry, Abbus Sattar, & Jeanne Chua. (2004). Call Center for Enhanced Reference Services: A Comparison of Selected Library Call Center and the Reference Point at National Library of Singapore. Library Review, 53 (1), 37-49.

Dean, Alison M. (2002). Service Quality in Call Centers: Implications for Customer Loyalty. Managing Service Quality, 12 (6), 414-423.

Dean, Alison M. (2004). Rethinking Customer Expectations of Service Quality: Are Call Centers Different?. Journal of Service Marketing, 18 (1), 60-77.

Deslauriers, A. et al. (2007). Markov Chain Models of a Telephone Call Center with Call Blending. Computer & Operations Research, 34 (6) June, 1616 -1645. enter.doc, (Retrieved February 6, 2006).

Feinberg, R. A. et al. (2000). Operational Determinants of Caller Satisfaction in the Call Center. International Journal of Service Industry Management, 11 (2), 131-141.

Ferreira, M. Jr., Paulo H.N., & Saldiva. (2002). Computer-Telephone Interactive Tasks: Predictors of Musculoskeletal Disorders According to Work Analysis and Workers' Perception. Applied Ergonomics, 33, 148-152.

Gökdağ, Ö. (2005). CPG'den Çağrı Merkezine Yeni Bir Yaklaşım. Retrieved Februaryy10,2006 from http://www.telepati.com.tr/agustos05/konu29.htm

John G., & Jane B. O. (2009).Equal access to hospitality services for guests with mobility impairments under the Americans with Disabilities Act: Implications for the hospitality industry. International Journal of Hospitality Management, 28, 161–169.

Janet R., McColl-Kennedy, Paul G. Patterson, Amy K. Smith, & Michael K. Brady. (2009). Customer Rage Episodes: Emotions, Expressions and Behaviors. Journal of Retailing, 85, 222–237

Kohen, A. (2002).Çağrı Merkezleri:Yararları ve Bileşenleri. Aktive Bankacılık ve Finans Dergisi, 22 (1),1-7 Köknel, Ö. (1995). Kaygıdan Mutluluğa Kişilik (13th Ed.). İstanbul: Altın Kitaplar Yayınevi.

Leffingwell, W.H., (1917). Scientific Office Management. A.W. Chicago, IL: Shaw Publishing.

Leffingwell, W.H., & Robinson, E.M. (1943). Textbook of Office Management (2nd Ed.). New York, NY.: McGraw-Hill Book Company.

Marr, B. & Stephen P. (2004). Performance Management in Call Centers: Lessons, Pitfalls and Achievements in Fujitsu Services. Measuring Business Excellence, 8(4), 55-62.

Morrell, S. (2000). How will CRM Affect the Call Centre?. Retrieved June 1, 2005 from http://www.callcenter.co.uk

Özsan, A. (24 Kasım 1999). Zaman Kaybına İlaç Bulundu. Hürriyet Gazetesi.

Richard B., Chase A., Uday M., & Apte B. (2007). A history of research in service operations: What's the big idea?. Journal of Operations Management, 25, 375–386.

Sarıyer N. (2007). Banka Çağrı Merkezi Pazarının Bölümlendirilmesi-Yozgat İl Merkezi'nde Bir Uygulama. Zkü Sosyal Bilimler Dergisi, 3(6), 149–162.

Tuten, T. L., & Presha E. N. (2002). Performance, Satisfaction and Turnover in Call Centers. The Effects of Stress and Optimism. Journal of Business Research, 56, 1-9.

Vance, D. (1999). Call Centers Lead the Wave of Banking's Future. C@ll Center Solutions Feature Article, Human Resource Development. Retrieved July 25, 2005 from http://www.tmcnet.com

Weindruch, J. P. (2002). Veri Akışı Yönetimi: Çağrı Merkezlerinden Temas Merkezlerine. Retrieved from Sistema Yönetim ve Bilgi Çözümleri Web Site: http://www.sistema.com.tr/download/From%20Call%20to%20COntact%20C

Wendy, L. T., & Wendy, V. D. V. (2008). Managing the performance of outsourced customer contact centers. Journal of Purchasing & Supply Management ,14, 160– 169.

Zeithaml, V.A., & Bitner, M. J. (2000). Services Marketing: Integrating Customer Focus across the Firm (2nd Ed.). New York: McGraw-Hill.

Zikmund, W. G., Raymond McLeod Jr., & Faye, W. G. (2003). Customer Relationship Management. Hoboken: Wiley Publishing.

Malhotra, Neeru ve Avinandan Mukherjee (2004), "The Relative Influence of Organizational Commitment and Job Satisfaction on Service Quality of Customer-Contact Employees in Banking Call Centres", Journal of Services Marketing, 18 (3), ss. 162-174.

ÖDEMELERDE GECİKMEYE İZİN VERİLMESİ DURUMU ALTINDA EKONOMİK SİPARİŞ MİKTARI MODELİNİN ANALİZİ*

Yrd. Doç. Dr. Harun SULAK
SDÜ İİBF Ekonometri Bölümü

Araş. Gör. Mustafa BAYHAN
PAÜ İİBF İşletme Bölümü

ÖZET
Klasik Ekonomik Sipariş ve Üretim Miktarı Modelleri deterministik stok kontrol modelleri bağlamında oldukça yaygın kullanılan yöntemlerdir. Fakat bu modellerde ele alınan varsayımların çoğu, gerçek hayatta geçerli olabilen değişik durumları dikkate almamaktadır. Ekonomik Sipariş Miktarı modellerinde ele alınan gerçek hayatı tam yansıtmayan temel varsayımlardan birisi ödemelerin malın teslimde peşin olarak yapıldığıdır. Bu varsayımın gevşetilmesiyle pek çok yeni model geliştirilmiştir. Bu çalışmada ödemelerde gecikmeye izin verilmesi durumu altında ekonomik sipariş miktarı modeli analiz edilecektir.

ABSTRACT
Economic Order and Production Quantity Models are among the most widely used techniques in deterministic inventory control models. As a result of many unrealistic assumptions embedded in these models, some real life situations are not considered. One of the main unrealistic assumption of Economic Order and Production Quantity Models is payments are made as soon as the items received. By relaxing this assumption, many new models were developed. In this study,the economic order quantity model under permissible delay in payment is analyzed.

1. Giriş

İşletmeler faaliyetlerini yürütmek, müşteri istek ve ihtiyaçlarına anında cevap vermek ve neticesinde de kâr elde edebilmek amacıyla belli bir miktar stok bulundurmak zorundadır. Bütün stok kontrol problemlerinde amaç; toplam maliyeti minimum yapacak şekilde, her bir üründen ne kadar sipariş edileceğinin ve bu siparişlerin ne zaman verileceğinin belirlenmesidir.[9] (Gaither, 1992: 411)

Bu sorulara cevap bulmak için pek çok yöntem ve model geliştirilmiştir. Gözle kontrolden bilgisayarla çözülen karmaşık modellere kadar geniş bir yelpaze oluşturan bu yöntem ve teknikler içinde karmaşık problemlerin çözümü için geliştirilmiş stok kontrol modelleri önemli bir yer tutmaktadır.

Bu modeller içerisinde en yalın ve basit modeller deterministik statik modellerdir. Klasik ekonomik sipariş miktarı ve ekonomik üretim miktarı modelleri yaygın olarak kullanılan deterministik statik stok kontrol modelleri arasındadır. Fakat bu modellerdeki varsayımların gerçek hayattaki birçok problemin çözümünde yetersiz kalması nedeniyle, problem yapısına göre ilave varsayımlarla veya mevcut varsayımların gevşetilmesiyle pek çok yeni model geliştirilmiştir. (Eroğlu, 2003: 125) Yeni açılımlar olarak ele alınan bu modellerde kusurlu ürün durumu, ödemelerde gecikmeye izin verilmesi, enflasyon ve öğrenme etkisi gibi faktörler dikkate alınmaktadır.

2. Klasik Ekonomik Sipariş Miktarı Modeli

Deterministik stok kontrol modellerinde talep oranı kesin olarak bilinmektedir. Talep oranının bir periyottan diğerine değişmediği yani zaman içerisinde sabit olduğu durumda elde edilen stok kontrol modelleri deterministik statik modeller olarak bilinmektedir. Bu modeller içinde en yaygın kullanılan modeller Klasik Ekonomik Sipariş ve Üretim Miktarı modelleridir.

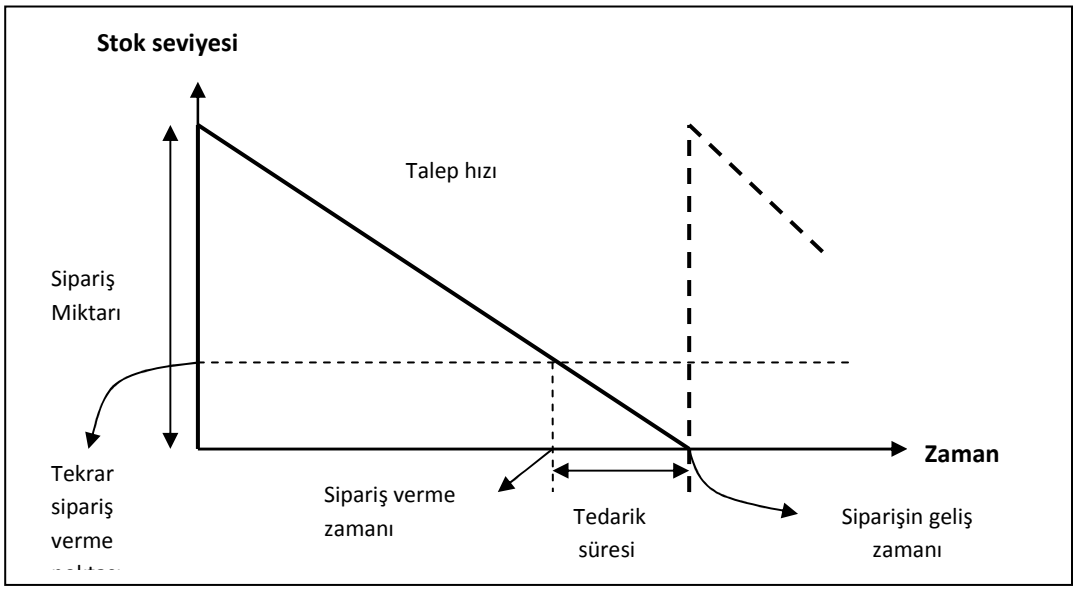
Stok kontrol modelleri içinde en eski ve en yaygın kullanılan model Ekonomik Sipariş Miktarı modelidir. İlk olarak 1915'te Ford W. Harris tarafından ortaya konan bu model günümüzde kullanılan pek çok modelin

---

* Bu çalışma "SULAK, H., **Stok Kontrolü ve Ekonomik Sipariş Miktarı Modellerinde Yeni Açılımlar: Ödemelerde Gecikmeye İzin Verilmesi Durumu ve Bir Model Önerisi**, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Süleymen Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta, 2008" isimli doktora tezinden faydalanılarak hazırlanmıştır.

[9] Üretim yapan işletmeler için düşünüldüğünde bu sorular, "Ne zaman üretime başlayalım?, Ne kadar süre üretelim? ve Ne miktarda üretelim?" şeklinde olacaktır.

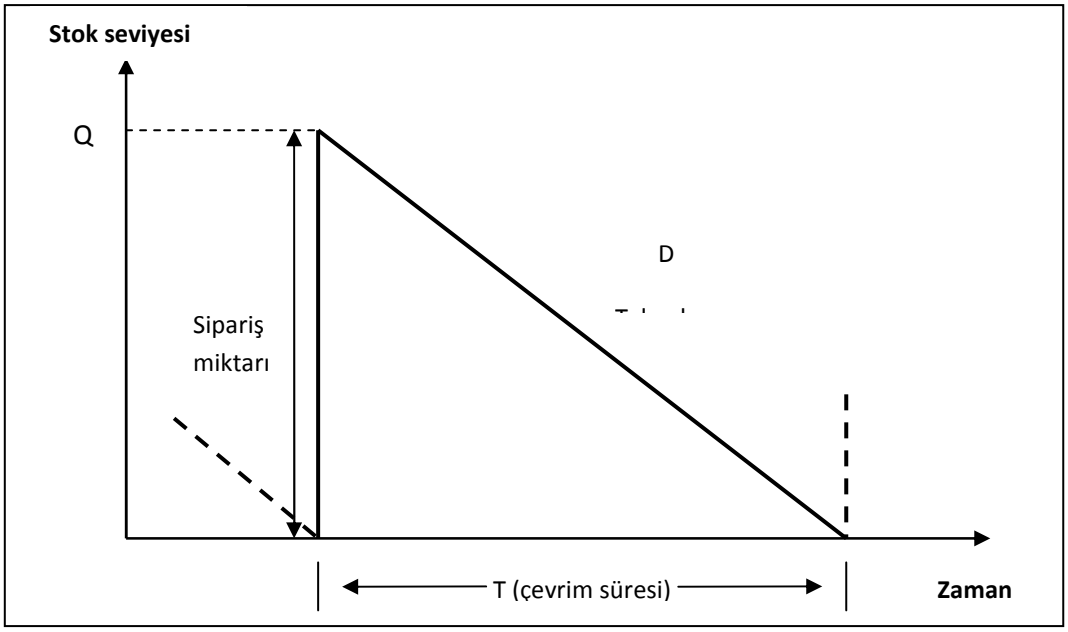
temelini oluşturmaktadır. Kullanımı çok kolay ve basit olan bu teknik pek çok varsayımı da içinde barındırmaktadır. (Zipkin, 2000: 178; Heizer ve Render, 2001: 481)
Ekonomik sipariş miktarı modelinde amaç toplam maliyeti minimum yapacak şekilde ne kadar sipariş verileceğine karar vermektir. Bu modelde stok seviyesinin zamanla değişimi Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Klasik Ekonomik Sipariş Miktarı Modeli
Kaynak: Stevenson, 1993: 594'ten faydalanılarak çizilmiştir.
Ekonomik Sipariş Miktarı modelinde siparişler partiler halinde ve tek seferde teslim alınmaktadır. Daha sonra bu stok sabit bir talep hızı ile azalmaktadır. Siparişler bitmeden yeniden sipariş verme noktasında tekrar sipariş verilmekte ve bu siparişler gelene kadar eldeki stok tükenmektedir. Yeniden sipariş verme noktası, eldeki stokların biteceği zamandan tedarik süresi kadar önce olmaktadır. Bazı modellerde tedarik süresinin sıfır olduğu varsayımı yapıldığından yeniden sipariş verme noktası siparişlerin bittiği zamanla çakışmaktadır. Yani bu durumda sipariş verildiği anda malların teslim edileceği varsayımı geçerli olmaktadır.
Ekonomik Sipariş Miktarı modeli tüm stok kontrol modellerinin en temel ve yalın halidir. Bu model, sabit sipariş maliyeti ve elde bulundurma maliyetleri arasındaki dengeye dayanmaktadır ve daha karmaşık modellerin temelini oluşturmaktadır. Modelde, sipariş edilen miktar, her bir çevrim süresinin başlangıcında teslim alınmakta ve çevrim süresi boyunca oluşan talep tamamen bu stoktan karşılanmaktadır. Ekonomik Sipariş Miktarı modelinde aşağıdaki varsayımlar yapılmaktadır:

1. Tedarik süresi sabit veya sıfırdır ve sipariş miktarından bağımsızdır.
2. Talep sabit ve süreklidir.
3. Satın alma fiyatı (birim değişken maliyet) sabittir.
4. Stok bulundurma maliyeti stok miktarının doğrusal bir fonksiyonudur.
5. Sipariş maliyeti her sipariş için sabit ve sipariş miktarından bağımsızdır.
6. Stoksuzluğa izin verilmemektedir.

Ekonomik Sipariş Miktarı Modelinin gösterimi Şekil 2'de görülmektedir. Her çevrim süresi başında Q birim kadar sipariş verilmekte ve siparişler anında teslim alınmaktadır (tedarik süresi sıfırdır). Daha sonra bu stok, gelen talebin karşılanmasında kullanılmakta ve D sabit talep hızıyla düzgün olarak azalmaktadır. Stok seviyesi sıfıra düştüğünde tekrar sipariş verilmektedir.



Şekil 2. Ekonomik Sipariş Miktarı Modelinde Stok Seviyesinin Zamana Göre Değişimi
Kaynak: Eroğlu, 2003: 8'den faydalanılarak çizilmiştir.

Modelde kullanılan simgeler şunlardır:

Q Sipariş miktarı (adet)
D Talep hızı (adet/birim zaman)
T Çevrim süresi (birim zaman)
c Birim değişken satın alma maliyeti
K Sipariş maliyeti
h Birim stok bulundurma maliyeti
TC Toplam maliyet
TCU Birim zamandaki toplam maliyet
Q^* Optimal sipariş miktarı
T^* Optimal çevrim süresi

Amaç toplam maliyeti minimum yapan ekonomik sipariş miktarı ve çevrim süresinin bulunmasıdır.

Toplam maliyet; sipariş maliyeti, satın alma maliyeti ve stok bulundurma maliyeti toplamından oluşmaktadır.

$$TC = \begin{pmatrix} sipariş \\ maliyeti \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} satın\ alma \\ maliyeti \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} stok\ bulundurma \\ maliyeti \end{pmatrix}$$

Bu model için;

Sipariş maliyeti $= K$

Satın alma maliyeti $= cQ$

Stok bulundurma maliyeti $= h\dfrac{QT}{2}$

olarak yazılır. Buradan toplam maliyet TC şu şekilde olacaktır:

$$TC = K + cQ + h\frac{QT}{2}$$

Toplam maliyetin çevrim süresine bölünmesiyle birim zamandaki toplam maliyet elde edilir. Buradan; birim zamandaki toplam maliyet (TCU) aşağıdaki gibi yazılır.

$$TCU = \frac{K}{T} + \frac{cQ}{T} + h\frac{Q}{2}$$

İki sipariş arasında geçen süre olan çevrim süresi; T, Şekil 1.5'ten; $T = \frac{Q}{D}$ olarak yazılır. Bu değer yukarıdaki eşitlikte yerine konulduğunda birim zamandaki toplam maliyet $TCU(Q)$; çevrim süresinden bağımsız olarak sipariş miktarının fonksiyonu şeklinde aşağıdaki gibi olur:

$$TCU(Q) = \frac{K}{\frac{Q}{D}} + \frac{cQ}{\frac{Q}{D}} + h\frac{Q}{2} = \frac{KD}{Q} + cD + h\frac{Q}{2}$$

Birim zamandaki toplam maliyeti minimum yapan optimal sipariş miktarı; $TCU(Q)$'nun Q'ya göre 1. türevinin sıfıra eşitlenmesiyle bulunur.

$$\frac{d\,TCU(Q)}{dQ} = -\frac{KD}{Q^2} + \frac{h}{2} = 0$$

ve buradan, ekonomik sipariş miktarı: $Q^* = \sqrt{\frac{2KD}{h}}$

olarak bulunur. Optimal çevrim süresi ise; $T = \frac{Q}{D}$ den;

$$T^* = \frac{Q}{D} = \frac{\sqrt{\frac{2KD}{h}}}{D} = \sqrt{\frac{2K}{hD}}$$ olur.

İkinci türev; $\frac{d^2\,TCU(Q)}{dQ^2} = \frac{2KD}{Q^3} > 0$ olduğundan; $TCU(Q)$ fonksiyonu dışbükeydir. Dolayısıyla bu fonksiyonu minimum yapan tek bir Q değeri vardır.

2.1. Yeni Açılımlar

Deterministik statik stok kontrol modellerindeki klasik varsayımlar ile bu varsayımların gevşetilmesi sonucu ortaya çıkan yeni açılımlar özet olarak Tablo 1'de sunulmaktadır. (Sulak, 2008; 51)

Bütün yeni açılımlar ve yaklaşımlar bu tablodakilerden ibaret olmamakla beraber esas bakımından temel teşkil eden bu açılımlardan bu çalışmada ödemelerde gecikmeye izin verilmesi durumu ele alınacaktır.

2.1.1. Ödemelerde Gecikme

Klasik ekonomik sipariş miktarı modellerinde ele alınan ve ödemelerin malın teslimi sırasında peşin olarak yapıldığı varsayımının gevşetilmesiyle ödemelerde belli bir süre gecikmeye izin verilmesi durumu altında pek çok çalışma yapılmış ve bu alanda ortaya büyük bir literatür çıkmıştır.

Bütün bu çalışmalarda, ödemelerde belli bir süre gecikmeye izin verildiği varsayılmaktadır. Uygulamada sıklıkla karşılaşılan bu durumda satıcılar müşterilerine borçlarını ödemeleri için belli bir süre (örneğin 30 gün) kadar gecikmeye izin vermektedir. Genellikle bu süre içerisinde borcunu ödeyen müşterilerin ödemelerine herhangi bir ekstra ödeme ve faiz tahakkuk etmemektedir. Dolayısıyla alıcılar, bu süre içerisinde yaptıkları satışlardan elde ettikleri parayı gelir getirici işlerde kullanarak örneğin faize yatırarak bir gelir elde etmektedir. Bu nedenle, alıcılar ödemelerini izin verilen gecikme süresinin sonuna kadar ertelemektedir. Fakat, ödemelerin tamamı bu süre sonuna kadar ödenmezse kalan miktar için belli bir faiz oranından gecikme faizi alınmaktadır. (Chung, 1998: 49)

Ödemelerde gecikmeye izin verilmesinin hem satıcı hem alıcı için birçok getirisi vardır.

Tablo 1. Ekonomik Sipariş ve Üretim Miktarı Modellerinin Temel Varsayımları ve Bu Modellere Getirilen Yeni Açılımlar

	TEMEL VARSAYIMLAR	YENİ AÇILIMLAR
1	Tek bir ürün söz konusudur.	Birden çok ürün için yeni modeller geliştirilmektedir.
2	Stoksuzluğa izin verilmemektedir.	Stoksuzluğa izin verilmektedir.
3	Stoktaki ürünlerde bozulma söz konusu değildir.	Stoktaki ürünler zamanla bozulmaktadır.

4	Talep miktarı sabittir, süreklidir ve kesin olarak bilinmektedir.	Talebin değişken olduğu farklı talep fonksiyonları ele alınmaktadır.
5	Miktar indirimi yapılmamaktadır.	Miktar indirimi yapılmaktadır.
6	Paranın zaman değeri ve enflasyon etkisi dikkate alınmamaktadır.	Paranın zaman değeri ve enflasyon etkisi dikkate alınmaktadır.
7	Öğrenme etkisi modellere dahil edilmemektedir.	Öğrenme etkisi modellerde içerilmektedir.
8	Ödemelerde gecikmeye izin verilmemektedir.	Ödemelerde belli bir süre gecikmeye izin verilmektedir.
9	Sipariş sonucu gelen veya üretilen mallar kusursuz ve hatasızdır.	Sipariş sonucu gelen mallar belli bir oranda kusurlu ürün içermektedir.

Ödemelerde gecikmeye izin verilmesinin satıcılara sağladığı iki önemli getirisinden birisi; ödemelerde gecikmeye izin verilmesinin yeni müşterileri cezp etmesidir. Çünkü müşteriler için bu gecikme, fiyat indirimi türünden, bir nevi peşin fiyatına vadeli almak gibi bir fırsat sunmaktadır. Bu durumda müşteriler bir seferde daha fazla[10] satın aldıklarında dolaylı olarak satın alma maliyetleri azalacağından daha fazla sipariş vereceklerdir. (Liao ve Chen, 2003: 245) Ayrıca, ödemelerde izin verilen gecikmenin avantajından yararlanmak isteyen alıcılar ödemelerini daha düzenli yapacağından; satıcı, alıcılarda olan parasını daha rahat toplayabilecektir. Böylece ödenmeyen satışlar da azalmış olacaktır.

Satıcılar için ödemelerde gecikmeye izin vermenin ikinci getirisi; talepte meydana gelecek dalgalanmaların bu politika ile en aza indirilebilmesidir.[11] Yani, talebin az olduğu dönemlerde ödemelerde gecikmeye izin vererek talebi canlı tutmakla talepteki mevsimsel ve dönemsel dalgalanmaların önüne geçilebilmektedir. (Chang ve Teng, 2004: 471)

Fakat, ödemelerde gecikmeye izin vermenin satıcılara –sermayenin fırsat maliyeti gibi- bir maliyeti ayrıca bu maliyete ilave olarak -alacakların tahsil edilememesi gibi- risk boyutu da vardır. (Teng, 2002: 915)

Alıcılar açısından bakıldığında, izin verilen gecikme süresi içerisinde ödeme yapmadıkları için satmış oldukları mallardan elde ettikleri geliri mevduat hesabında değerlendirerek belli oranda faiz geliri elde etmektedir. Bu nedenle alıcılar ödemelerini, izin verilen gecikme süresinin sonuna kadar erteleyerek bu kazanımlarını en yüksek seviyede tutmak istemektedir. (Huang, 2007: 911-912)

Bunun yanında, ödemelerde gecikmeye izin verilmesi, dolaylı olarak alıcıların satın alma ve stok bulundurma maliyetini de azaltmaktadır. Çünkü bu dönemde elde tutulan stoklara yapılacak ödeme ve sermaye yatırımı ertelendiği için sermayenin fırsat maliyeti daha az olacaktır.

Öte yandan ödemelerde gecikmeye izin vermenin alıcıya maliyeti; kredi dönemi sonunda ödemeler yapılmadığında, daha yüksek faiz oranından uygulanacak gecikme cezasıdır.[12] (Huang, 2006: 1578; Ouyang vd., 2005: 292; Teng, 2002: 916; Chung, 1998: 49-50)

Ödemelerde izin verilen gecikme süresinin ekonomik sipariş miktarı modeli üzerindeki etkilerini teorik olarak ele alan ve inceleyen ilk çalışma Goyal (1985)'ın çalışmasıdır. Bu model ile Goyal (1985) ödemelerde izin verilen gecikme süresinin optimal sipariş miktarının arttığı toplam maliyetin ise azaldığı sonucuna varmıştır. Goyal (1985) çalışmasında, birim satın alma maliyetinin birim satış fiyatına eşit olduğu varsayılmaktadır. Dave (1985) bu varsayımın çok gerçekçi olmadığını ve satış fiyatının alış fiyatından her zaman bir miktar daha fazla olduğunu belirterek Goyal (1985) modeline itiraz etmiştir. Aynı durum daha sonra Teng (2002)'in makalesinde de ele alınmış fakat Dave (1985)'in bu bakış açısı literatürde pek ilgi görmemiş ve bahsedilmemiştir. Bu çalışmada Goyal(1985)'ın modelinden hareketle ödemelerde gecikmeye izin verilmesi durumunun ekonomik sipariş miktarı üzerindeki etkisi analiz edilecektir.

[10] Satıcı için bu politikanın kârlı olması ancak artan satışların en azından ortaya çıkacak fırsat maliyetini karşılayacak kadar fazla olmasıyla mümkündür.

[11] Aslında satıcılar için ödemelerde gecikmeye izin vermenin en temel amacı nihai ürüne olan talebi uyarmak ve canlı tutmaktır. (Abad ve Jaggi, 2003: 116)

[12] Bazı kaynaklarda bu faiz oranı, elde bulundurulan stoklar için sermayenin fırsat maliyeti olarak da ele alınmaktadır. (Shinn ve Hwang, 2003 :38; Chang ve Dye, 2001: 345)

2.1.2. Ödemelerde Gecikmeye İzin Verilemesi Durumu Altında Ekonomik Sipariş Miktarı Modeli

Uygulamada sıklıkla karşılaşılan ödemelerde gecikmeye izin verilmesi durumunda satıcılar müşterilerine borçlarını ödemeleri için belli bir süre (örneğin 30 gün) kadar gecikmeye izin vermektedir. Genellikle bu süre içerisinde borcunu ödeyen müşterilerin ödemelerine herhangi bir ekstra ödeme ve faiz tahakkuk etmemektedir. Dolayısıyla alıcılar, bu süre içerisinde yaptıkları satışlardan elde ettikleri parayı gelir getirici işlerde kullanarak örneğin faize yatırarak bir gelir elde etmektedir. Bu nedenle, alıcılar ödemelerini izin verilen gecikme süresinin sonuna kadar ertelemektedir. Fakat, ödemelerin tamamı bu süre sonuna kadar ödenmezse kalan miktar için belli bir faiz oranından gecikme faizi alınmaktadır. (Chung, 1998: 49) Uygulamadaki bu işleyiş ekonomik sipariş miktarı modellerinde yeni formülasyonların önünü açmıştır. Goyal (1985) tarafından geliştirilen en yalın modelin varsayımları şunlardır:

1. Her bir çevrim süresi için talep bilinmektedir. Talep hızı sabit ve süreklidir.

2. Stoksuzluğa (elde bulundurmamaya) izin verilmemektedir.

3. Ödemelerde belli bir süre gecikmeye izin verilmektedir. Ödemelerde izin verilen gecikme süresinin bitimine kadar geçen sürede satılan ürünlerden elde edilen satış geliri piyasa faiz oranından, (I_e), vadeli mevduat hesabına yatırılmakta ve faiz geliri elde edilmektedir. İzin verilen gecikme süresinin sonunda, toplam sipariş tutarı ödenmektedir. Ödenmeyen sipariş tutarı için belli bir faiz oranında, (I_o), gecikme cezası uygulanmaktadır. Gecikme cezası olarak ele alınan bu faiz oranı, (I_o), piyasa faiz oranı, (I_e)'ye eşit veya daha yüksektir. ($I_o \geq I_e$)

Modelde kullanılan parametreler ise:

D	yıllık talep miktarı (birim / yıl)
K	her bir sipariş için sipariş maliyeti
c	birim değişken maliyet
p	birim satış fiyatı
h	birim stok bulundurma maliyeti (ödenecek faiz veya sermayenin fırsat maliyeti hariç)
T	çevrim süresi (yıl)
M	ödemelerde izin verilen gecikme süresi (yıl)
I_e	yıllık faiz oranı (mevduat hesabı için)
I_o	izin verilen gecikme süresi sonunda ödenmeyen miktar için -gecikme cezası olarak- yıllık faiz oranı

Modelin işleyişi ödemelerde gecikmeye izin verilen sürenin iki farklı durumu için Şekil 3 ve 4'te görülmektedir. Modelde amaç toplam değişken maliyetin minimum yapılmasıdır. Toplam yıllık değişken maliyet şu kalemlerden oluşmaktadır:

a. Sipariş maliyeti=K/T

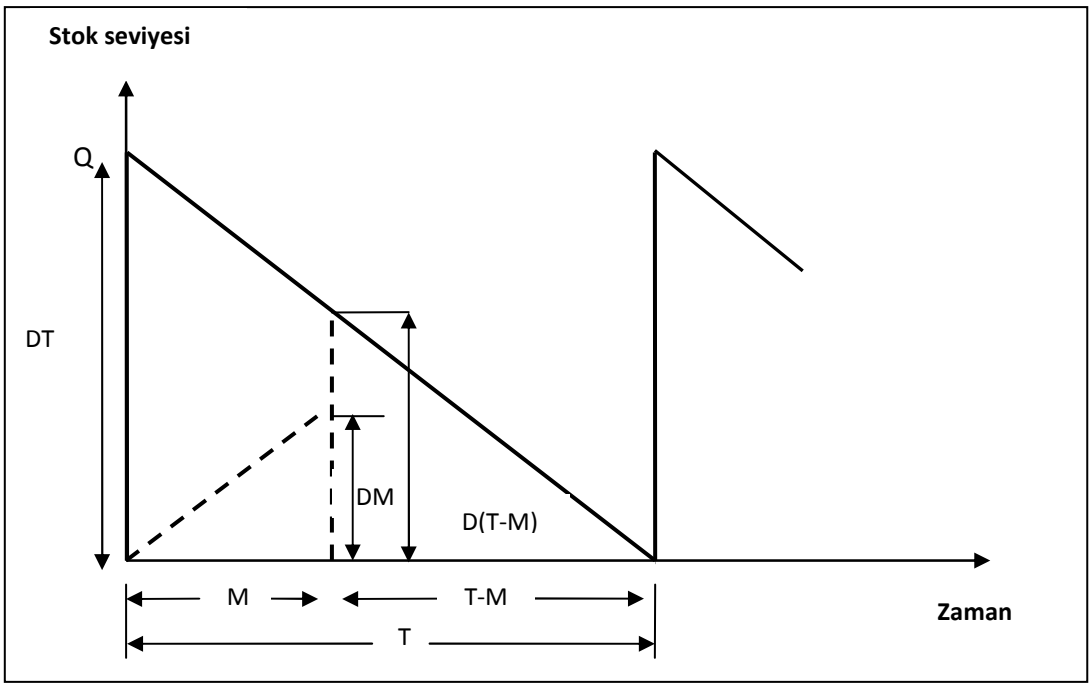
b. Stok bulundurma maliyeti (fırsat maliyeti hariç). Şekil 3'ten ortalama stok $\frac{DT}{2}$ olduğundan yıllık stok bulundurma maliyeti = $\frac{DTh}{2}$

c. Stoktaki ürünler için faiz maliyeti. Satılan ürünlerden elde edilen gelir ödeme süresine kadar I_e faiz oranından faiz hesabında değerlendirilmektedir. Ödeme yapıldıktan sonra ise halen elde bulundurulan stokların ödemesi ise I_o faiz oranından borçlanılarak finanse edilmektedir. Ödemenin yapıldığı andaki stok seviyesi $= D(T - M)$ (Şekil 3'ten) olup $(T - M)$ dönemi için faiz ödenecektir. Buna göre,

Bir çevrim süresi için ödenecek faiz miktarı $= Dp(T - M)^2 o/2$

Bir yıl için ödenecek faiz miktarı $= \frac{Dp(T-M)^2 I_o}{2T} = \frac{DpTI_o}{2} + \frac{DM^2pI_o}{2T} - DpMI_o$

d. İzin verilen gecikme süresi içerisinde kazanılacak faiz geliri. Gecikme süresinde kazanılacak maksimum faiz iki durum için hesaplanır:

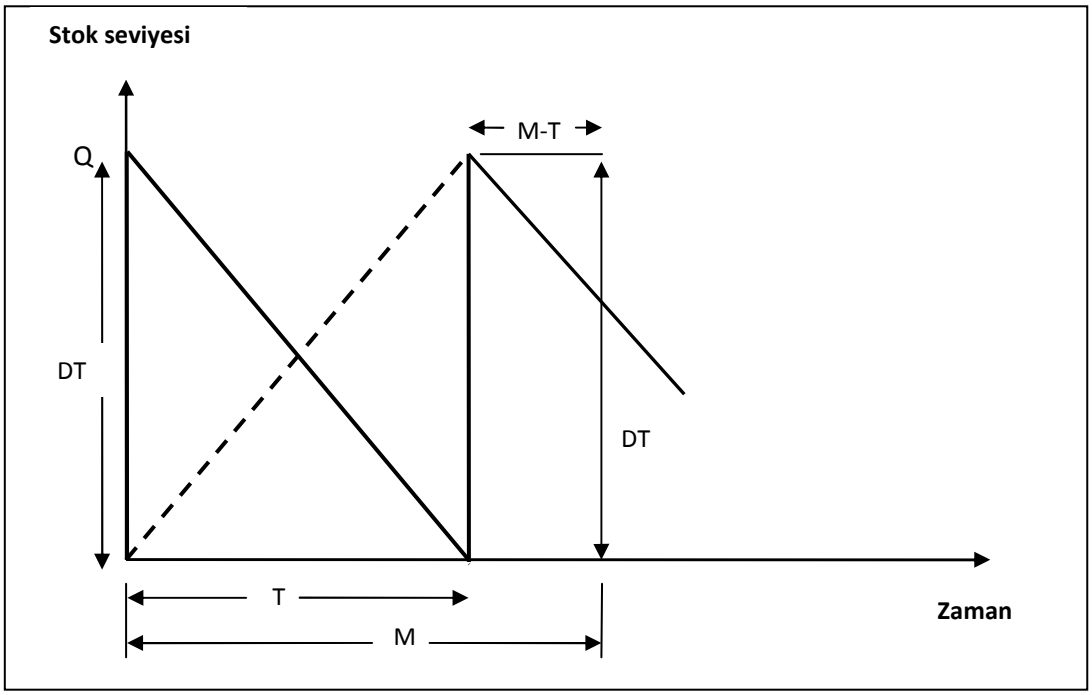


Şekil 3. Stok seviyesinin zamana göre değişimi, Durum 1: $T \geq M$

Durum 1: Eğer $T \geq M$ ise (Şekil 3'e bakınız)

Bir çevrim süresinde kazanılacak faiz geliri $= DpM^2I_e/2$

Bir yıl içinde kazanılacak faiz geliri $= DpM^2I_e/2T$



Şekil 4. Stok seviyesinin zamana göre değişimi, Durum 2: $T < M$

Durum 2: Eğer $T < M$ ise (Şekil 4'e bakınız.) .

Bir çevrim süresinde kazanılacak faiz geliri $= \frac{DT^2p}{2} + DTp(T - M)I_e = DTpI_e(M - \frac{T}{2})$

Bir yıl içinde kazanılacak faiz geliri $= DpI_e(M - \frac{T}{2})$

Her iki durum için toplam maliyetler hesaplanarak optimal ekonomik sipariş miktarı ise aşağıdaki gibi hesaplanır:

Durum 1 için optimal ekonomik sipariş miktarı

Durum 1 için yıllık toplam maliyet şu şekilde yazılabilir:

$$Z(T) = \frac{K}{T} + \frac{DTh}{2} + \frac{DpTI_e}{2} + \frac{DM^2pI_e}{2T} - DpMI_e - DpM^2I_e/2T \qquad (1)$$

Toplam maliyeti minimum yapan T değeri için $\frac{dZ(t)}{dT} = 0$ ve buradan optimal çevrim süresi durum 1 için;

$$T_1^* = \sqrt{(2K + DpM^2(I_o - I_e))/D(h + pI_o)} \qquad (2)$$

olarak bulunur. Buradan optimal sipariş miktarı ve minimum yıllık maliyet;

$$Q_1^* = DT_1^* = \sqrt{D(2K + DpM^2(I_o - I_e))/(h + pI_o)} \qquad (3)$$

Durum 2 için optimal ekonomik sipariş miktarı

Durum 2 için yıllık toplam maliyet şu şekilde yazılabilir:

$$Z(T) = \frac{K}{T} + \frac{DTh}{2} - DpI_e(M - \frac{T}{2}) \qquad (4)$$

Toplam maliyeti minimum yapan T değeri için $\frac{dZ(t)}{dT} = 0$ ve buradan optimal çevrim süresi durum 2 için;

$$T_2^* = \sqrt{(2K/(h + pI_e)} \qquad (5)$$

olarak bulunur. Buradan optimal sipariş miktarı;

$$Q_2^* = DT_2^* = \sqrt{2KD/(h + pI_e)} \qquad (6)$$

olarak bulunur.

$T = M$ için Toplam yıllık değişken maliyet $Z(M)$, 1 veya 4 nolu eşitlikte T yerine M yazılarak şu şekilde elde edilir.

$$Z(M) = \frac{K}{M} + \frac{DMh}{2} - DpMI_e/2 \qquad (7)$$

ve

$$Q(M) = DM \qquad (8)$$

Bu sonuçlar altında ekonomik sipariş politikası olarak şu adımlar izlenmelidir.

Adım 1: 2 nolu eşitlikten T_1^*'ı hesapla. Eğer $T_1^* \geq M$ ise 1 nolu eşitlikten $Z(T_1^*)$'i hesapla.

Adım 2: 5 nolu eşitlikten T_2^*'ı hesapla. Eğer $T_2^* < M$ ise 4 nolu eşitlikten $Z(T_2^*)$'yi hesapla.

Adım 3: Eğer $T_1^* < M$ ve $T_2^* \geq M$ ise 7 nolu eşitlikten $Z(M)$'yi hesapla.

Adım 4: $Z(T_1^*)$, $Z(T_2^*)$ ve $Z(M)$'yi karşılaştır. Adım 1, 2 ve 3'te hesaplanan yıllık maliyet değerleri içinde en küçüğüne karşılık gelen durum için optimal çevrim süresi ve sipariş miktarını belirle.

Sonuç olarak, ödemelerde gecikmeye izin verilmesi, optimal çevrim süresinin ve sipariş miktarının artmasına fakat yıllık maliyetlerin önemli ölçüde düşmesine neden olmaktadır.

Daha sonraki çalışmalarda ödemelerde gecikmeye izin verilmesi konusu incelenirken yukarıdaki model temel alınarak farklı varsayımlar altında pek çok yeni model elde edilmiştir. Bunlardan bir kaçı aşağıda özetlenmiştir.

Chand ve Ward (1987), Goyal (1985) modelini klasik EOQ çerçevesinde tekrar incelemişler ve farklı sonuçlar elde etmişlerdir.

Shah vd. (1988) Goyal (1985) modelini stoksuzluğa izin verecek şekilde geliştirerek yeni bir model elde etmişlerdir.

Mandal ve Phaujdar (1989) Goyal (1985) modelinde satışlar sonucu elde edilen faiz gelirini göz önüne alarak ödemelerde gecikmeye izin veren yeni ekonomik sipariş miktarı modelleri geliştirmişlerdir.

Ödemelerde gecikmeye izin verilmesi durumu, bozulma durumu ile birlikte pek çok çalışmada ele alınmıştır. Bunlar içinde; Shah (1993) ile Aggarwal ve Jaggi (1995), Goyal (1985) modelini bozulma durumunu da içerecek şekilde geliştirmişlerdir. Chu vd. (1998), Aggarwal ve Jaggi (1995) çalışmasına bir düzeltme olarak stok modellerinde toplam maliyet fonksiyonlarının dışbükeyliğinin sağlanması üzerinde durmaktadır. Buradan hareketle Aggarwal ve Jaggi (1995) modelinde elde edilen toplam maliyet fonksiyonunun parçalı-dışbükey özelliğine sahip olduğu ispat edilmektedir.

Jamal vd. (1997) Aggarwal ve Jaggi (1995) modeline stoksuzluğa izin verme durumunu da eklemişler ve yeni bir model elde etmişlerdir. Geliştirdikleri modelde ödemelerde izin verilen gecikme süresi arttıkça optimal sipariş miktarı ve çevrim süresi artmakta izin verilen maksimum stoksuzluk miktarı ile toplam maliyet azalmaktadır.

Chung (1998), Goyal (1985) modelinde elde edilen sonuçlar için daha basit ve kullanışlı bir teorem ortaya koyarak Goyal (1985)'ın açıkladığı çözüme kısa yoldan ulaşacak bir yöntem elde etmiştir.

Teng (2002) ise Goyal (1985) modelinde ele alınan birim maliyet ile birim satış fiyatının eşitliği varsayımını kaldırarak, ele alınan problem için kapalı formda daha kolay bir analitik çözüm geliştirmiştir.
Chung ve Huang (2003) ödemelerde izin verilen gecikme durumunu ekonomik üretim miktarı modellerine uyarlayarak optimal stok politikası için etkin bir çözüm geliştirmişlerdir.
Huang (2003), kredi dönemi altında ekonomik sipariş miktarı için geliştirilen modellerde tek düzey olarak ele alınan kredi döneminden hareketle iki düzeyli kredi dönemi şeklinde yeni bir model geliştirmiştir. Tedarik zinciri açısından ele alınan bu modelde, satıcının (toptancı veya tedarikçi) alıcılara (perakendeci) kredi dönemi olarak ödemelerde gecikmeye izin vermesi birinci düzey kredilendirme olarak kabul edilirken alıcının (perakendeci) da müşterilerine ikinci düzey kredilendirme olarak belli bir süre kredi dönemi önerdiği varsayılmaktadır. Bu şekilde her üç tarafın – toptancı, perakendeci ve alıcı- da bu politikanın avantajlarından yararlanabileceği ifade edilmektedir. Ayrıca modelde toptancının perakendeciye tanıdığı ödemelerde gecikme süresinin perakendecinin kendi müşterilerine tanıdığı gecikme süresinden daha fazla olduğu varsayımı yapılmaktadır.[13]
Huang (2004c); Goyal (1985) ve Teng (2002)'in elde etmiş olduğu modelleri türev kullanmadan çözecek bir yöntem geliştirerek optimal çözüm değerlerine ulaşmıştır.
Teng vd. (2005) bozulan ürünler için geliştirdikleri modelde talebin satış fiyatının azalan bir fonksiyonu olduğunu ve satış fiyatının alış fiyatından yüksek olduğunu kabul etmişlerdir. Modelde daha önceki çalışma (Liao vd. (2000), Jamal vd. (1997), Aggarwal ve Jaggi (1995), Goyal (1985)) sonuçlarının aksine ödemelerde izin verilen gecikme süresi arttıkça çevrim süresi ve sipariş miktarı azalmaktadır.
Hou ve Lin (2005) kredi dönemi altında bozulan ürünler için enflasyon ve miktar indirimini ele alan bir ekonomik sipariş miktarı modeli geliştirmişlerdir. Enflasyonun toplam kâr üzerinde etkisinin oldukça fazla olduğu bu modelde planlama ufku boyunca verilecek sipariş sayısı ile sipariş miktarı arasındaki ilişki belirlenmektedir. Buna göre planlama döneminde verilen sipariş sayısı arttıkça ödemelerde izin verilen gecikme süresi ne olursa olsun optimal çevrim süresi ve sipariş miktarı azalmaktadır.
Chung ve Huang (2006) ödemelerde gecikmeye izin verilmesi yanında kusurlu ürün durumunu da modele dahil ederek yeni bir ekonomik sipariş miktarı modeli elde etmişlerdir. Chung ve Huang (2006) geliştirdikleri modelde Goyal (1985) ile Salameh ve Jaber (2000) modelini birleştirmişlerdir. Bu model ödemelerde gecikmeye izin verilmesi ve kusurlu ürün durumunu aynı anda ele alan ilk ve tek çalışma olması yönüyle önem arz etmektedir.
Huang (2007b) ödemelerde gecikmeye izin verme literatüründe ödemelerde kısmi gecikmeye izin verilmesi durumunu ilk defa ele alarak daha önceki çalışmalara yeni bir açılım getirmiştir. Huang (2007b) bu çalışmasında, ödemelerde gecikmeye izin verilmesi durumunu ele alan diğer çalışmalarda belli bir sipariş miktarının üzerinde sipariş verilmesi durumunda ödemelerde tam gecikmeye izin verileceği aksi halde izin verilmeyeceği varsayımı yerine sipariş miktarı belirlenen miktarın altında olması durumunda da kısmi gecikmeye izin verilebileceğini ifade etmektedir.
Sulak (2008) ödemelerde gecikme, kusurlu ürün ve stoksuzluk durumunu ele alan yeni bir model elde etmiştir. Elde edilen model temel olarak kusurlu ürün durumu için geliştirilen Salameh ve Jaber (2000) modeli ile ödemelerde gecikmeye izin verilmesi durumunu ilk analiz eden Goyal (1985) modellerinin üzerine bina edilmektedir. Modelde stoksuzluğa da izin verilmesi yönüyle bu çalışmada geliştirilen model Chung ve Huang (2006), Eroğlu ve Özdemir (2007) ile Jamal vd. (1997) modellerinin devamı niteliğinde olup stoksuzluğa ve ödemelerde gecikmeye izin verilmesi ile kusurlu ürün durumunu aynı anda ele almaktadır.
Dolayısıyla Sulak (2008) tarafından geliştirilen model ödemelerde gecikmeye izin verilmesi ve kusurlu ürün durumunu birlikte ele alan çalışmalar için yapılan en son çalışma olarak nitelendirilebilir.

3. Sonuç

Klasik ekonomik sipariş ve üretim miktarı modellerindeki varsayımların gerçek hayattaki birçok problemin çözümünde yetersiz kalması nedeniyle, problem yapısına göre, ilave varsayımlarla veya mevcut varsayımların gevşetilmesiyle pek çok yeni model geliştirilmiştir. Yeni açılımlar olarak ele alınan bu yaklaşımlarda çok ürün olması, kusurlu ürün, ödemelerde gecikmeye izin verilmesi, stoktaki ürünlerin bozulması, öğrenme, enflasyon ve paranın zaman değeri etkileri gibi faklı durumlar analiz edilmektedir.
Bu çalışmada, Goyal (1985) tarafından analiz edilen ödemelerde gecikmeye izin verilmesi durumu altında ekonomik sipariş miktarı modeli analiz edilmiş ve goyal (1985) modeline yapılan katkılar literatürden taranmıştır.
Bu çalışmalarda elde edilen modellerde klasik modellerdeki varsayımların çoğu aynen kabul edilmiştir. Örneğin, stoktaki ürünlerin zamanla bozulacağı gerçeği, farklı talep fonksiyonlarının olması, paranın zaman değeri ve enflasyon etkisi ve sürekli tedarik durumu gibi gerçek hayatta karşılaşılabilen pek çok durum göz ardı edilmiştir. Dolayısıyla ödemelerde gecikme durumunu analiz eden modeller, ürünlerin zamanla bozulması durumunu, paranın zaman değeri ve enflasyon etkisini ve farklı talep fonksiyonlarını eşanlı olarak ele alacak şekilde gelecek çalışmalarla geliştirilebilecektir.

[13] Aksi halde perakendeci bu politika ile faiz geliri elde edemeyecektir. Dolayısıyla bu politika yani iki düzeyli kredilendirme politikasını uygulamak perakendeci açısından rasyonel olmayacaktır.

4. Kaynakça

ABAD, P. L. ve JAGGI, C. K., "A Joint Approach for Setting Unit Price and the Length of the Credit Period for a Seller When End Demand is Price Sensitive", **International Journal of Production Economics**, 83, s. 115-122, 2003.

AGGARWAL, S. P. ve JAGGI, C. K., "Ordering Policies of Deteriorating Items under Permissible Delay in Payments", **Journal of Operational Research Society**, 46, s. 458-662, 1995.

CHAND, S. ve WARD, J., "A Note on Economic Order Quantity under Conditions of Permissible Delay in Payments", **Journal of the Operational Research Society,** 38, s. 83-84, 1987.

CHANG, C. T. ve TENG, J. T., "Retailer's Optimal Ordering Policy under Supplier

CHANG, H. J. ve DYE, C. Y., "An Inventory Model for Deteriorating Items with Partial Backlogging and Permissible Delay in Payments", **International Journal of Systems Science**, 32, s. 345-352, 2001.

CHU, P., CHUNG, K. J. ve LAN, S. P., "Economic Order Quantity of Deteriorating Items under Permissible Delay in Payments", **Computers and Operations Research**, 25 (10), s. 810-824, 1998.

CHUNG, K. J., "A Theorem on the Determination of Economic Order Quantity under Conditions of Permissible Delay in Payments", **Computer and Operations Research**, 25, s. 49-52, 1998.

CHUNG, K. J. ve HUANG, Y. F., "Retailer's Optimal Cycle Times in the EOQ Model with Imperfect Quality and a Permissible Credit Period", **Quality and Quantity**, 40, s. 59-77, 2006.

_____, "The Optimal Cycle Time for EPQ Inventory Model under Permissible Delay in Payments", **International Journal of Production Economics**, 84, s. 307-318, 2003.

DAVE, U., 1985. "On ''Economic Order Quantity under Condition of Permissible Delay in Payments'' by Goyal", **Journal of the Operational Research Society**, 36, s. 1069, 1985.

EROĞLU, A., **Deterministik Envanter Modelleri**, Fakülte Kitabevi, Isparta, 2002.

EROĞLU, A. ve GÜLTEKİN, Ö., "An Economic Order Quantity Model with Defective Items and Shortages", **International Journal of Production Economics**, 106 (2), s. 544-549, 2007.

GAITHER, N., **Production and Operation Manegement**, Fifth Edition, The Dryden Pres, New York, 1992.

GOYAL, S. K., "Economic Order Quantity under Conditions of Permissible Delay in Payments", **Journal of the Operational Research Society**, 36, s. 35-38, 1985.

HEIZER, J. ve RENDER, B., **Operations Management**, Prentice Hall, New Jersey, 2001.

HOU, K. L. ve LIN, L. C., "Optimal Production Run Length and Capital Investment in Quality Improvement with an Imperfect Production Process", **International Journal of Systems Science**, 35 (2), s. 133-137, 2004.

HUANG, Y. F., "Economic Order Quantity under Conditionally Permissible Delay in Payments", **European Journal of Operational Research**, 176 (2), s. 911-924, 2007.

_____, "An Inventory Model under Two Levels of Trade Credit and Limited Storage Space Derived Without Derivatives", **Applied Mathematical Modelling**, 30 (5), s. 418-436, 2006.

_____, "Optimal Inventory Control under Conditions of Permissible Delay in Payments Derived without Derivatives", **Journal of Applied Sciences**, 4 (2), s. 287-291, 2004.

_____, "Optimal Retailers Ordering Policies in the EOQ Model under Trade Credit Financing", **Journal of the Operational Research Society,** 54, s. 1011-1015, 2003.

_____, "An Ordering Policy for Deteriorating Items with Allowable Shortage and Permissible Delay in Payment", **Journal of the Operational Research Society**, 48, 826-833, 1997.

LIAO, H. C., TSAI, C. H., ve SU, C. T., "An Inventory Model with Deteriorating Items under Inflation When a Delay in Payment is Permissible", **International Journal of Production Economics**, 63, 207-214, 2000.

LIAO, H. C. ve CHEN, Y. K., "Optimal Payment Time for Retailer's Inventory System", **International Journal of Systems Science**, 34 (4), s. 245-253, 2003.

MANDAL, B. N. ve PHAUJDAR, S., "Some EOQ Models under Permissible Delay In Payments, **International Journal of Management Sciences**, 5, 99-108, 1989.

OUYANG, L. Y., TENG J. T., CHUANG, K. W. ve CHUANG, B. R., "Optimal Inventory Policy with Non-instantaneous Receipt under Trade Credit", **International** RAAFAT, F., "Survey of Literature on Continuesly Deteriorating Inventory Model", **Journal of the Operational Research Society**, 42, s. 27-37, 1991.

SALAMEH, M. K. ve JABER, M. Y., "Economic Production Quantity Model for Items with Imperfect Quality", **International Journal of Production Economics**, 64, s. 59-64, 2000.

SHAH, N. H., "A Lot-Size Model for Exponentially Decaying Inventory When Delay in Payments is Permissible", **Cahiers du CERO**, 35, s. 115-123, 1993.

SHAH, V. R., PATEL, N. C. ve SHAH, D. K., "Economic Ordering Quantity When Delay in Payments of Order and Shortages are Permitted", **Gujarat Statistical Review,** 15 (2), s. 52-56, 1988.

SHINN, S. W. ve HWANG, H., "Optimal Pricing and Ordering Policies for Retailers under Order Size-Dependent Delay in Payments", **Computers and Operations Research**, 30, s. 35-50, 2003.

SULAK, H., **Stok Kontrolü ve Ekonomik Sipariş Miktarı Modellerinde Yeni Açılımlar: Ödemelerde Gecikmeye İzin Verilmesi Durumu ve Bir Model Önerisi**, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta, 2008.
STEVENSON, W. J., **Production/Operations Management**, Irwin, 1993.
TENG, J. T., "On The Economic Order Quantity under Conditions of Permissible Delay in Payments", **Journal of the Operational Research Society**, 53, s. 915-918, 2002.
ZIPKIN, P. H., **Foundations of Inventory Management**, McGraw-Hill, 2000.

Hüseyin Selçuk Kılıç[a], M. Bülent Durmuşoğlu[b], Murat Baskak[b]
[a]Marmara University, Industrial Engineering Department
[b]Istanbul Technical University, Industrial Engineering Department

A MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMMING MODEL FOR MULTIPLE ROUTED MILK-RUN TRAINS IN PRODUCTION ENVIRONMENT

Periodically moving trains in a specified route in determined time periods are called milk-run trains. In addition to inbound and outbound logistics, there is an increasing need for the milk-run applications in manufacturing logistics. Especially, due to the prevalent application of lean production systems where there is smooth production, the use of milk-run trains in production environment has increased. In this study, a mixed integer linear programming model is presented for minimizing the number of milk-run trains in a lean production environment satisfying the needs of production units under some constraints. Different from the current models for the milk-run trains, in this model, a milk-run train can have more than one route for effectively being used. A numerical example is constructed for the application of the proposed model.
Keywords: Manufacturing logistics, milk-run train, lean production

1. INTRODUCTION

In the competitive production environment, one of the waste sources is manufacturing logistics activities. The main aim is to provide the right materials, at the right time, at the right place, in the right quantity and in the right conditions with the minimum cost. It is important to construct a plant logistics structure integrated with production, easily manageable and standardized for a good process.

Manufacturing logistics when compared to inbound and outbound logistics is a less studied subject open to improvement. One of the main fields of the manufacturing logistics is the material handling process. As Hiregoudar and Reddy (2007) state material handling composes the 25 % of the workers, 55 % of the factory area and 87 % of the production time. With the implementation of a good material handling system, Drira et. al. (2007) claims that the cost will decrease between %10 and %30. The objectives of material handling systems are stated by Sule (1994) as follows :

- To increase the material flow efficiency by providing the required materials where and when needed.
- To decrease the material handling costs.
- To increase the usage rate of the material handling vehicles.
- To improve the safety and working conditions.
- To ease production process.
- To increase productivity.

In this study, the milk-run trains, having an increasing rate of use in practical applications, travelling in a specified route and specified time periods in a lean manufacturing environment is investigated. As Chase et. al. (1998) state periodically moving automatic or manual systems provide a just in time working environment for the production systems. When related literature is analyzed, there are few studies about milk-run trains in plant logistics. The original structure of the plant logistics differentiates the milk-run problem from the vehicle routing problems in classic inbound and outbound logistics.

With the use of milk-run trains, it is aimed to have a production environment having less work in process and handling costs, increase value added time ratio and have an easily manageable and standardized material handling system. In this study, different from the current studies, a multi-routed model is proposed for the milk-run trains. By using the model, it is provided for the milk-run trains to have more than one route within specified constraints. The remainder of the article is organized as follows. Section 2 includes literature review. In Section 3, multi-routed mixed integer linear programming model is given. The proposed model is explained in a numerical example in Section 4 and finally conclusions are included in Section 5 with the appendix and reference following.

2. LITERATURE REVIEW

The routing of the milk-run train problem in a lean manufacturing environment is related to vehicle routing problems. When literature is reviewed, it is concluded that there are a lot of studies about vehicle routing problems but few of them include manufacturing logistics. When one of the latest and extensive literature reviews about vehicle routing problems made by Eksioglu et. al. (2009) is analyzed, it can be referred that there is a lack of study about milk-run problems in lean manufacturing environment.

Although the milk-run problem in production environment is related to classical vehicle routing problems, as Vaidyanathan and etc. (1999) state it differs from the classical vehicle routing problems by having some special properties such as the amounts required by the stock usage points are the functions of the routes that serve them. That is, the quantities needed by the stock points change according to the periodic cycle of the moving vehicle in a predefined route.

Since the scope of this article is manufacturing logistics, the studies about inbound and outbound logistics are omitted.

A framework of research in the areas of facility layout and discrete material handling system design were presented by Rajagopalan and Heragu (1997). They tried to combine the fields of facility layout design and material flow network design by aiming to observe the trend in the literature in the area of manufacturing.

A genetic approach was developed by Sienriech and Samakh (1999) for the pickup/delivery station location problem in segmented flow based material handling systems. Vaidyanathan et. al. (1999) developed a non linear programming model with the aim of minimizing the total trip time of the vehicles in a just in time manufacturing environment. Due to the nonlinearity of the model they proposed, they developed a heuristics and a lower bound for the comparison of the heuristics.

A heuristics was developed by Hwang (2004) to find the minimum number of transporters for a given fixed facility layout and predetermined material flow paths. Akıllıoğlu et. al. (2006) developed a mixed integer linear programming model and an application is performed in a real production environment with a simulation study. According to the results, there is an important decrease in the cost of WIP and transportation.

A milk-run distribution system in a real lean manufacturing environment was applied by Domingo (2007). According to their results, dock-to-dock time and cycle times are decreased and beside these, unnecessary inventories, excessive transportation and idle times are reduced.

3. MATHEMATICAL MODEL

While developing this model, it is benefited from the study of Akıllıoğlu and etc. (2006), but different from their model, in this proposed model, a milk-run train can have more than one route. That is, the problem is multi-routed milk run problem. The need for a multi-routed model arose due to big idle times of the milk-run trains having only one route. By assigning more than one route to the milk-run trains, milk-run trains can be used more effectively.

The objective of the mathematical model is to minimize the number of milk-run trains in the production environment. In the model, among the probable routes which are defined before, ones providing the constraints are assigned to the milk-run trains. The assumptions, indices, parameters, objective and constraints are shown as below.

Assumptions

- The production system is smooth and repetitive
- The production layout is fixed. No change is made; material handling system design is made according to the existing layout.
- Each stock point corresponds to a material and demand rate is constant.
- The speed of the vehicle is constant.
- Traffic problems don't occur during the movements of the vehicles.
- No breakdown of the vehicles occurs during the tours.
- All the vehicles in the model are identical.

MODEL

Model Indices

i : stock point

v : vehicle

r, z : route

Decision variables

$vehicle_v$: 0-1 binary integer variable for the vehicle "v"

$vehicleroute_{vr}$: 0-1 binary integer variable for "v" vehicle's "r" route.

X_{ivr}: 0-1 binary integer variable for the assignment of the stock point "i" to "v" vehicle's "r" route.

D_{ivr}: One cycle total demand of the stock point "i" which is assigned to "v" vehicle's "r" route.

L_{ivr}: One cycle total loading-unloading time of the stock point "i" which is assigned to "v" vehicle's "r" route.

$vehiclecycle_v$: The cycle time of the vehicle "v"

$vehicleidle_{vr}$: The idle time of the "v" vehicle's "r" route.

$vehicleroutecycle_{vr}$: the cycle time of the "v" vehicle's "r" route.

Parameters

$time_r$: The fixed time for travelling on the route "r"

maxvehicle: The maximum number of milk-run trains that can be used.

maxvehiclecycle: The upper limit for the milk-run train's cycle time.

maxvehicleidle: The upper limit for the idle time of the vehicle

$demand_i$: The demand of the stock point "i" for per unit time

l_i: The unit loading-unloading time for the stock point "i".

cap_v: The capacity of the vehicle "v"

M: A big number.

Objective
Minimize

$$z = \sum_{v} vehicle_{v} \quad (1)$$

Constraints

$$\sum_{v}\sum_{r} X_{ivr} = 1 \quad (2)$$

$$M.vehicleroute_{vr} \geq \sum_{i} X_{ivr} \quad \forall v, \forall r \quad (3)$$

$$M.vehicleroute_{vr} \geq D_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (4)$$

$$M.vehicleroute_{vr} \geq L_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (5)$$

$$\sum_{v} vehicle_{v} \leq maksvehicle \quad (6)$$

$$\sum_{i \notin Nr} X_{ivr} = 0 \quad \forall v, \forall r \quad (7)$$

$$M.X_{ivr} \geq D_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (8)$$

$$M.X_{ivr} \geq L_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (9)$$

$$L_{ivr} = D_{ivr} * l_{i} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (10)$$

$$D_{ivr} + M * (1 - X_{ivr}) \geq \sum_{z} (vehicleroutecycle_{vz}) * demand_{i} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (11)$$

$$vehicleroutecycle_{vr} = \sum_{i} L_{ivr} + time_{r} * vehicleroute_{vr} + vehicleidle_{vr} \quad \forall v, \forall r \quad (12)$$

$$vehicleidle_{vr} \leq \max vehicleidle \quad \forall v, \forall r \quad (13)$$

$$M * vehicleroute_{vr} \geq vehicleidle_{vr} \quad \forall v, \forall r \quad (14)$$

$$M * vehicle_{v} \geq vehicleroute_{vr} \quad \forall v, \forall r \quad (15)$$

$$vehiclescycle_{v} = \sum_{r} vehicleroutecycle_{vr} \quad \forall v \quad (16)$$

$$vehiclecycle_{v} \leq \max vehiclecycle \quad \forall v \quad (17)$$

$$M * vehiclecycle_{v} \geq \sum_{r} vehicleroute_{vr} \quad \forall v \quad (18)$$

$$\sum_{i} D_{ivr} \leq cap_{v} \quad (19)$$

$$X_{ivr}, vehicle_{v}, vehicleroute_{vr} \in \{0,1\}, others \geq 0 \quad \forall i, \forall r, \forall r \quad (20)$$

Objective (1) is the minimization of the milk-run trains. Constraint (2) assigns each stock point to one vehicle's one route. Constraint (3) doesn't assign a stock point to an unselected "v" vehicle's "r" route. Constraint (4) provides the demand zero at any unselected vehicle's any route. Constraint (5) provides the total loading-unloading time zero at any unselected vehicle's any route. Constraint (6) restricts the maximum number of chosen milk-run trains. Constraint (7) doesn't assign the stock points to the route "r", if they aren't on the way of the related route "r". Constraint (8) provides the total demand of "v" vehicle's "r" route zero, if the stock point isn't assigned to that route. Constraint (9) provides the total loading-unloading time of "v" vehicle's "r" route zero, if the stock point isn't assigned to that route. Constraint (10) gives the total loading-unloading time of the stock point "i" at the "v" vehicle's "r" route. Constraint (11) gives the total demand of the stock point "i" at the "v" vehicle's "r" route. Constraint (12) provides the cycle time equation of "v" vehicle's "r" route. Constraint (13) restricts the idle time of the "v" vehicle's "r" route. Constraint (14) doesn't assign idle time to any unselected "v" vehicle's "r" route. Constraint (15) doesn't assign any route to an unselected "v" vehicle. Constraint (16) provides the cycle time of the "v" vehicle as the sum of the assigned routes' cycle times. Constraint (17) restricts the vehicle cycle time. Constraint (18) makes the cycle time of a vehicle zero if any of

the routes aren't assigned to it. Constraint (19) provides the capacity control of any selected "v" vehicle. Constraint (20) defines the decision variables either as 0-1 binary numbers or as positive real numbers.

4. NUMERICAL EXAMPLE

For the application of the proposed model, a numerical example is provided. For the easiness of operations, some parameters are given small values. The parameters are shown as below.

Layout of the production environment

The layout of the production environment is given in the below figure 1. The paths that the milk-run train can use are shown on the layout. The loading-unloading stations on the cells are shown as black points.

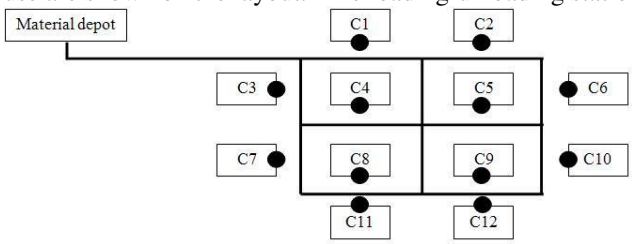


Figure 1: The layout of the production environment in the numerical example

Probable Routes

A lot of probable routes can be defined on the layout but regarding all the probable routes makes both the model construction and the solution very difficult. Because of this, in real production environments, probable routes can be defined according to the physical conditions and product flow. In the numerical example nine routes are defined and shown in the figure 2 below.

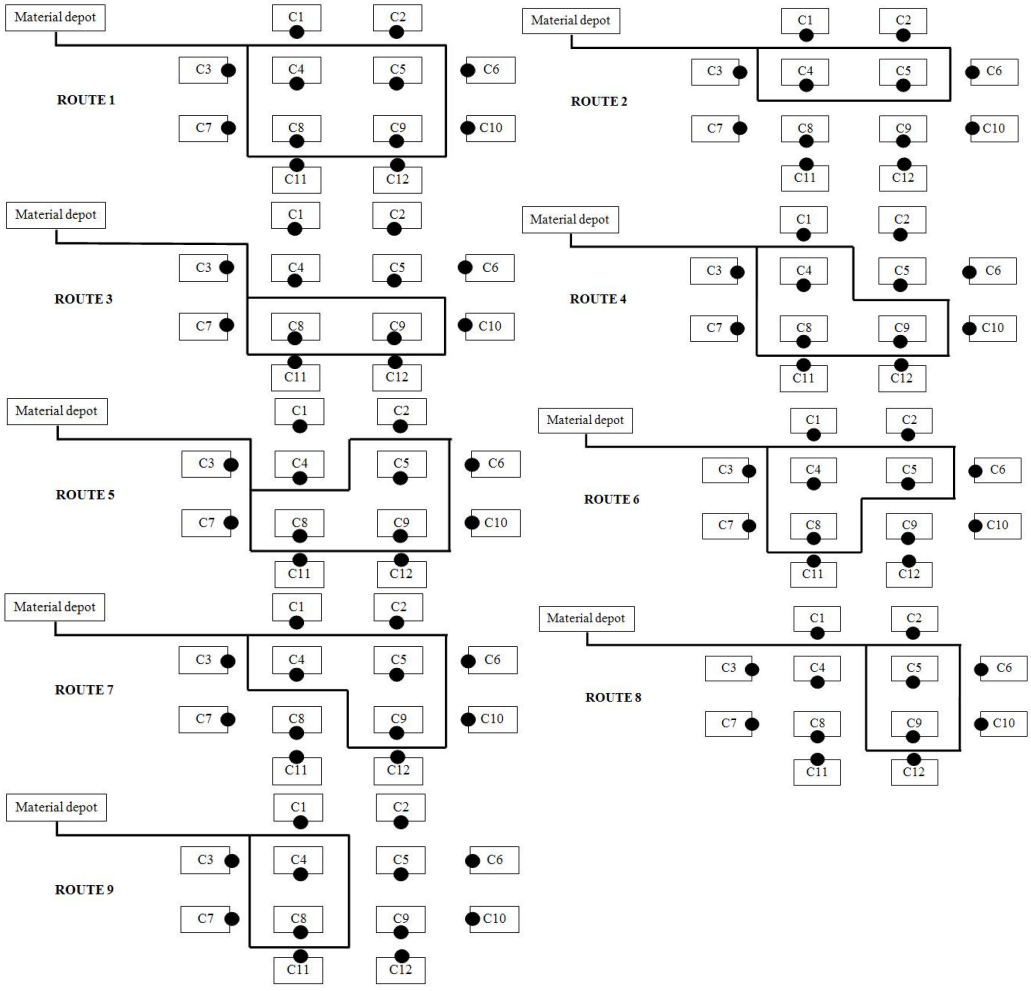


Figure 2: Nine probable routes in the numerical example

* The cells on the way of the routes

The cells which the routes pass nearby are shown as in the table 1. Among these cells, the most proper ones will be assigned to the related route satisfying the constraints and the objective in the model.

Table 1 : The cells which the routes pass nearby

Route no	The cells which are on the way of the route
1	C1, C2, C3, C6, C7, C8, C9, C10, C11, C12.
2	C1, C2, C3, C4, C5, C6.
3	C3, C4, C5, C7, C8, C9, C10, C11, C12.
4	C1, C3, C5, C7, C8, C9, C10, C11, C12.
5	C2, C3, C4, C6, C7, C8, C9, C10, C11, C12.
6	C1, C2, C3, C5, C6, C7, C8, C11.
7	C1, C2, C3, C4, C6, C9, C10, C12.
8	C1, C2, C6, C9, C10, C12.
9	C1, C3, C7, C8, C11.

* Properties of the vehicles

The average speed of the milk-run trains is 60 m./min. The length of the routes and the constant time which milk-run train can start and finish the route is shown in the following.

Route 1: Total distance=360 m., constant time: 6 min.
Route 2: Total distance =300 m., constant time: 5 min.
Route 3: Total distance =360 m., constant time: 6 min.
Route 4: Total distance =360 m., constant time: 6 min.
Route 5: Total distance =420 m., constant time: 7 min.
Route 6: Total distance =360 m., constant time: 6 min.
Route 7: Total distance =360 m., constant time: 6 min.
Route 8: Total distance =360 m., constant time: 6 min.
Route 9: Total distance =300 m., constant time: 5 min.

* Total loading-unloading time is regarded as 0.4 min for one unit including the loading-unloading activities at material depot and cells.

* The capacity of milk-run trains is assumed as 100 units.

*Maximum cycle time of the milk-run train is 60 minutes.

* The demand rate of each stock point "i"

For every stock point "i", the demand rate is given as in the table 2. For the easiness of operations, there is only one material used in the cells. Due to this, demand rate is given as the demand of the station.

Table 2 : The demand rate for every station (case/min.)

Station no	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
Case /min.	0.2	0.1	0.2	0.05	0.1	0.2	0.15	0.3	0.25	0.1	0.15	0.05

Solution of the model

According to the parameters determined in the numerical example, the mixed integer linear programming model is coded in GAMS optimization program and solution is found. For different parameter values, different solutions can be obtained. For showing the applicability of the model, only one of the solutions is shown. As it is seen in table 3, one vehicle having two routes is enough for the production system. The time period of the vehicle is 60 minutes. The cycle times of the routes and the assigned cells are also obtained.

Table 3 : Final solution including selected routes, assigned cells and time periods

Vehicle	**Time period (min.)**	**Routes**	**Cycle time (min.)**	**Assigned Cells**
1	60	r4	27.8	i1, i5, i7, i9, i10
		r5	32.2	i2, i3, i4, i6, i8, i11, i12

5. CONCLUSION

In this study, a mixed integer linear programming model is proposed for the milk-run trains that can be used in a lean manufacturing environment where there is smooth and repetitive production. After analyzing the limited literature about the manufacturing logistics including milk-run trains, a multi-routed mixed integer linear programming model is proposed. Although assigning one route to each milk-run train is good from the side of management and leanness, it usually costs more than the multi-routed one. With this model, more than one route can be assigned to a milk-run train and due to this, milk-run trains can be used more effectively. A numerical example is constructed for showing the applicability of the proposed model. For the real production systems, the model can get bigger and become difficult to solve. For this reason, heuristics can be required for solving real problems.

REFERENCES

Akıllıoğlu, A.H., Baydoğan, M. G., Bolatlı, Y., Canbaz, D., Halıcı, A., Sezgin, Ö., Özdemirel, N. E. and Türkcan, A., 2006: Dizel Enjektör Üretimi Yapan Bir Şirket İçin Fabrika İçi Çekme Esaslı Tekrarlı Dağıtım Sistemi Tasarımı" (A Pull-Based Milk Run Distribution System Design for a Firm Producing Diesel Injectors), Endüstri Mühendisliği Dergisi, 17 (3), 2-15.

Chase, R.B., Aquilano, N. J. and Jacobs, F. R., 1998: Production and Operations Management-Manufacturing and Services, Irwin McGraw-Hill, USA.

Domingo, R., Alvarez, R., Pena,. M. M. and Calvo R., 2007: Materials flow improvement in a lean assembly line: a case study, Assembly Automation, 27 (2), 141-147.

Drira, A., Pierreval, H. and Hajri-Gabouj, S., 2007: Facility Layout Problems: A Survey, Annual Reviews in Control, 31, 255-267.

Ekşioğlu, B., Vural, A. V. and Reisman, A., 2009: The vehicle routing problem: A taxonomic review, Computers & Industrial Engineering, 57, 1472-1483.

Hiregoudar, C. and Reddy, B. R., 2007: Facility Planning & Layout Design: An industrial perspective, Technical Publications, Pune, India.

Hwang, H. S., 2004: Heuristic transporter routing model for manufacturing facility design, Computers & Industrial Engineering, 46, 243-251.

Rajagopalan, S. and Heragu, S. S., 1997: Advances In Discrete Material Handling System Design, Decision Sciences and Engineering Systems Department, USA.

Sinriech, D. and Samakh, E., 1999: A genetic approach to the pickup/delivery station location problem in segmented flow based material handling systems, Journal Of Manufacturing Systems, Vol 18 No.2.

Sule, D. R., 1994: Manufacturing Facilities, PWS Publishing Company, Boston.

Vaidyanathan, B. S., Matson, J. O., Miller, D. M. and Matson, J. E., 1999: A capacitated vehicle routing problem for just in time delivery, IIE Transactions, 31, 1083-1092.

Trajectory Tracking Performance Comparison of Genetic Algorithm and Ant Colony Optimization for PID Controller Tuning on Water Level Process

İrem Düzdar* Serol Bulkan**
* Department of Industrial Engineering, Istanbul Arel University, Küçükçekmece, Istanbul, TURKEY (e-mail: iremduzdar@arel.edu.tr).
**Industrial Engineering Department, Marmara University, Göztepe, Istanbul, TURKEY (e-mail: sbulkan@marmara.edu.tr).

Abstract— **The aim of this research is to optimize the proportional–integral–derivative controller (PID controller) parameters of a liquid level system. This parameter warrants the real system to track any given possible system output as a reference trajectory. To optimize the parameters of the system both Genetic Algorithm and Ant Colony Optimization techniques are employed. Furthermore the performances of both algorithms are compared to see the competence of the prominent algorithm for liquid level control system. The important contribution of this study is the replacement of tiresome trial and error process for better combination of PID parameters and the opportunity of settling the PID controller problem design without any experience of an expert. The results proved that designed controller generate desired performance and it is quite effective for parameter optimization to be implemented in various applications.**

Index Terms— **Parameter Optimization, Genetic Algorithm, Ant Colony Algorithm, PID controller**

I. INTRODUCTION

The liquid level systems have many applications in industry, like as nuclear steam generators, vertical and horizontal liquid tanks. [3-5]. Most of the liquid level systems' behavior is non-linear [6]. The main reasons of this non-linear behavior are the density of the liquid, the room temperature, and variations on the network voltage [7].

The required parameters to construct a mathematical model for the liquid level system have to be as accurate as to get a satisfactory performance of the system. The PID control system is used in this industrial control process because of its reliability. The parameters and the simple algorithm are accordingly adjustable [10].

In the control engineering, the PID controller is called as the "bread and butter". This is an important tool that most of the control engineers have in their tool-box. PID controllers survive in many changes from mechanics or pneumatics to microprocessors and electronic tubes or integrated circuits in industry. The PID controller had affected from the micro processor [11].

ACO and GA are the general purpose optimization algorithms which are developed to find solutions for combination problems like as travelling salesman, exponential functions and parameter adjustment [8]. Both of these two algorithms is not affected by the local minimums and this increases their controller performances [9].

II. LITERATURE REVIEW

The PID controller is the most common used tool to get feedback. Until it become a standard tool of the process control that is emerged in the 1940s; it was an essential element of early governors. Nowadays, more than 95% of the control loops are of PID type in process control, and most loops are PID control actually. Today, one can find PID controllers in all areas where control is used. PID control is often used for energy production, transportation, and manufacturing by combining with logic, sequential functions, selectors, and simple function blocks to build the complicated automation systems [11].

A PID controller is a generic control loop feedback mechanism (controller) widely used in industrial control systems – a PID is the feedback controller which is most commonly used. A PID controller calculates an "error" value as the difference between a measured process variable and a desired setpoint. The controller attempts to minimize the error by adjusting the process control inputs [12].

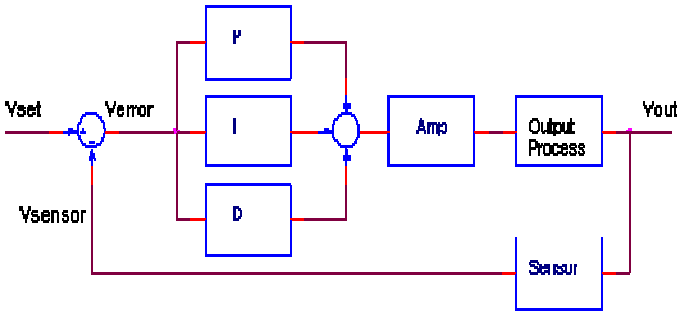


Figure 1. PID Controller [11]

The PID controller can be seen everywhere like as temperature, motion, and flow controllers; and it can be found in the analog and digital forms. The wide usage of PID controllers is the result of their help for getting the output (velocity, temperature, position) where it is needed, in a short time, with minimal overshoot, and with little error. In many applications, the PID controller can do the job - but as usual, with compromises. Anybody can tune a PID controller after a short presentation of the PID terms and an application of a control system. The terms defined before: **P -Proportional, I - Integral, D – Derivative** are familiar for most of the technicians as it is seen in Figure 1.

Verror = Vset - Vsensor.

This error represents the difference between the point that one wants to be (Vset), and the point that one is actually there (Vsensor). The controller performs the PID mathematical functions on the error and applies their sum to a process (motor, heater, etc.). It is very simple and powerful enough. When it is tuned correctly, the signal Vsensor should move closer to Vset.

In this study, Root Mean Square Error (RMSE) values are used to observe the performance of each output to be compared to the reference trajectory [15]:

$$RMSE = \frac{1}{t}\int_0^{\tau}\sqrt{(e(t))^2}\,dt$$

The PID terms and their effect on a control system can be summarized as following [12]:

- Proportional gain, K_p Larger values typically mean faster response since the larger the error, the larger the proportional term compensation. An excessively large proportional gain will lead to process instability and oscillation.
- Integral gain, K_i Larger values imply steady state errors are eliminated more quickly. The trade-off is larger overshoot: any negative error integrated during transient response must be integrated away by positive error before reaching steady state.
- Derivative gain, K_d Larger values decrease overshoot, but slow down transient response and may lead to instability due to signal noise amplification in the differentiation of the error.

III. PROPOSED METHODS

A. Genetic Algorithms

Genetic Algorithms were introduced to understand adaptation in both natural and artificial systems. There are three key properties that differentiate them from other computational methods modeled on natural evolution by [1]:

1. The use of bit string to represent;
2. The use of crossover primarily variant production;
3. The use of proportional selection.

In the evolutionary computation research, Genetic Algorithms are the most useful method. The traditional representation used in the genetic algorithm, is a fixed-length bit string. It is assumed that each position in the string to represent a particular feature of an individual, and the value stored in that position represents the type of that feature is expressed in the solution. Usually, the string is “assessed as a collection of structural features of a solution that have little or no interactions” [1].

The classical reproduction operator used is one point crossover, in which new individuals are formed by exchanging a sub-sequence between two parent strings. Another popular operator is bit-flipping mutation, in which a single bit in the string is flipped to form a new offspring string [1].

There are some important parameters that we have to determine their values, at the beginning. Those parameters are [13]:

- Population options which specify options for the population of the genetic algorithm, and
- Population type that specifies the type of the input to the fitness function.

Population type can be set as double vector, Bit string, or Custom. If Custom is selected, creation, mutation, and crossover functions must be written that work with your population type, and specify these functions in the fields Creation function, Mutation function, and Crossover function, respectively.

The number of individuals in each generation is specified by the size of the population. If population size is set to be a vector of length greater than 1, the algorithm creates multiple subpopulations. Each entry of the vector specifies the size of a subpopulation.

The scaling function converts raw fitness scores returned by the fitness function to values in a range that is suitable for the selection function.

The selection function chooses parents for the next generation based on their scaled values from the fitness scaling function. One can specify the function that performs the selection in the Selection function field.

Elite count shows the number of individuals that are guaranteed to survive to the next generation. The elite count is set to be a positive integer less than or equal to population size.
Crossover fraction is the fraction of the next generation that crossover produces. Mutation produces the remaining individuals in the next generation. Set Crossover fraction to be a fraction between 0 and 1.
The flowchart of GA which is proposed in this study is shown in Figure 2. Also the main steps of Genetic Algorithms' are as follows [1]:
Step 1. Generating the permissible priority lists.
Step 2. (Crossover) In each iteration carry out the crossover procedure with each pair of priority lists.
Step 3. (Mutation) Each iteration carry out the mutation procedure.
Step 4. (Selection) From the priority lists ("parents" and "children") the priority lists must be selected only with smallest values of the objective function.
According to the GA optimization steps, the performance of the GA in this study is given in the Table 1.
Table 1. Parameters of GA

	Pop size	Elit Count	Cros Frac	Selection	RMS
1	10	1	0.4	Tournament	0.0054
2	10	1	0.4	Roulette	0.0077
3	10	1	0.6	Roulette	0.0199
4	10	1	0.6	Tournament	0.0107
5	10	2	0.4	Tournament	0.0009
6	10	2	0.4	Roulette	0.0141
7	10	2	0.2	Tournament	0.0007
8	10	2	0.8	Tournament	0.0433
9	20	2	0.4	Roulette	0.0011
10	20	2	0.4	Tournament	0.0007
11	20	2	0.8	Roulette	0.0348
12	20	2	0.8	Tournament	0.0331
13	20	3	0.6	Roulette Tournament	0.0009
14	20	3	0.6	Tournament	0.0007
15	20	3	0.2	Roulette	0.0008
16	**20**	**3**	**0.2**	**Tournament**	**0.0006**

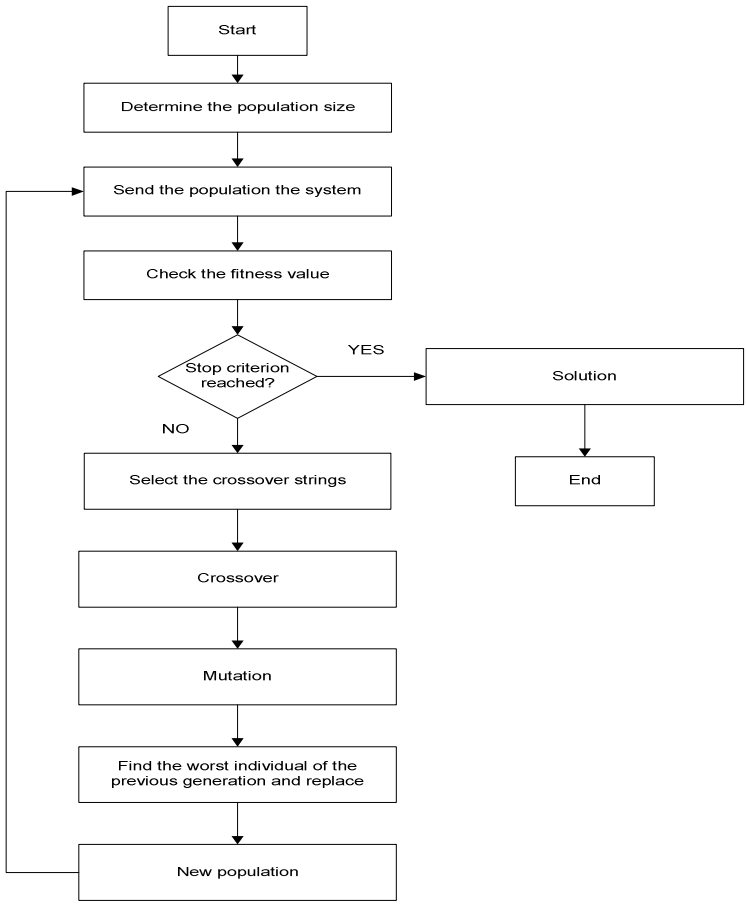


Figure 2. Flowchart for proposed GA model.

A. Ant Colony Optimization Algorithm

The ACO is a multi-agent approach to find a solution for difficult combinatorial optimization problems. The main objective of the ACO approach here is to build a good precedence-cycle-feasible activity list when transformed to a schedule. Each of the ants is assumed as a simple computational agent, constructing a solution by using artificial pheromone traces and heuristic data [2]. The flowchart of ACO algorithm, proposed in this study, is shown in Figure 3.

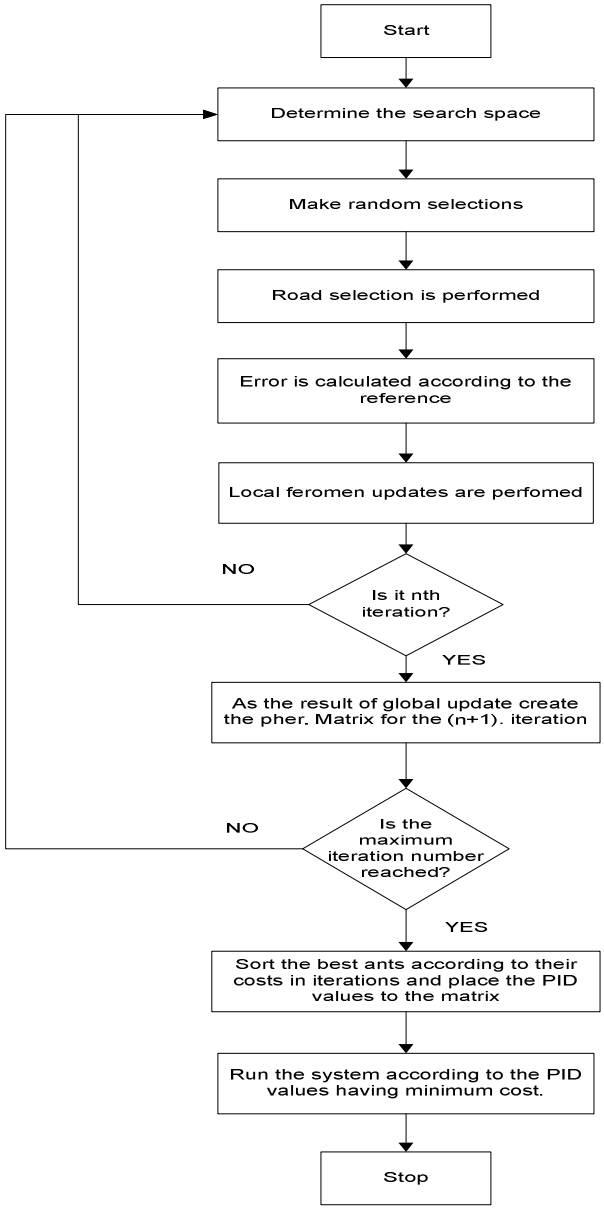


Figure 3. Flowchart of ACO for proposed model.

There are some important parameters of which we have to determine the values, at the beginning. Those parameters are [14]:
The use of the stigmergy is a critical factor for the ant colony algorithms. Hence, the choice of the method for implementation of the trails of pheromone is significant to obtain the best results. This choice is mainly related to the possibilities of representation of the search space, each representation being able to bring a different way to implement the trails.
It is difficult to know precisely the physiochemical properties of the trails of pheromone, since those depend on a great number of parameters and vary from species to species. However, the metaheuristics of ant colony optimization are mainly based on the phenomenon of evaporation of the trails of pheromone. It should be noted that, in real life, the trails evaporate slower than the models envisage it.
The parameters used in this study are:

- 5 ants on each tour
- Total 150 tours
- Pheromone coefficient =0.06
- Evaporation coefficient =0.95

IV. Conclusion

In this study two heuristic optimization algorithms, namely ACO and GA, are introduced for optimizing the PID controller's parameters. The performances of the controllers' optimized with those two algorithms are compared later by setting up various experiments.

The results have demonstrated that the application of ACO-PID and GA-PID for PID parameter optimizations are viable approaches and have quite similar outcomes [7]. Designing PID controller using GA and ACO need not any priority knowledge, any control rules can be derived by self-learning. Both algorithms enhance productivity of designing PID controller, make the controller have comprehensive look out and converge to optimum solution. It can be easily seen from Table 2 that, in this study GA gives better result compared to ACO, hence for engineering applications, the proposed GA application is a promising approach.

Table 2. The Mean RMS Values of the Both Algorithms' for the Same Reference Trajectory

Algorithm	**RMS values**
ACO	0.0076
GA	**0.0006**

REFERENCES

[1] Sakalauskas, L., Felinskas, G. "Optimization Of Resource Constrained Project Schedules By Genetic Algorithm Based On The Job Priority List", Information Technology And Control, Vol.35, No.4, 2006.

[2] Luo, S., Wang, C., Wang, J. "Ant Colony Optimization for Resource-Constrained Project Scheduling with Generalized Precedence Relations" Proceedings of the 15th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI'03) 2003.

[3] Topuz, V. "Bulanık Genetik Proses Kontrolü,", Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, FBE, İstanbul, 2002.

[4] Satean, T., Santi, W. "Level Control in Horizontal Tank by Fuzzy Logic Control," SICE-ICASE International Joint Conference, Busan, Korea, October, 2006.

[5] Zhuo, Xiujuan. "Guaranteed Cost Control of Water Level of Steam Generator Based on T-S Model", IEEE, 2008.

[6] Chengwei, L., Jiandong, L. "The Application of Immune Genetic Algorithm in PID Parameter Optimization for Level Control System," International Conference on Automation and Logistics, China, 2007.

[7] Ergüzel, T., Akbay, E. "Sıvı Seviye Kontrolü İçin Bulanık Kontrolör Parametrelerinin Karınca Koloni ve Genetik Algoritma İle Optimizasyonu" TOK'09 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı Tam Metin Bildiriler Kitabı, Yıldız Teknik Üniversitesi, Cilt 1, Sayfa 19, 2009. Available: http://www.tok09.yildiz.edu.tr/

[8] Dongyun, W. "Parameters Optimization of Fuzzy Controller Based on PSO", IEEE, 2008.

[9] Yongsheng, Z., Baoying, L. "A New Method for Optimizing Fuzzy Membership Function," IEEE, 2007.

[10] Kannan, R. , Raj, P.A. , Poongodi, P. "Design of Fuzzy Immune PID Controller for Liquid Level Control System" Computer and Network Technology (ICCNT), 2010 Second International Conference, Bangkok, pp. 566, IEEE, 2010.

[11] Aström, K. J. "PID Controller" Control System Design, 2002. Available: http://www.cds.caltech.edu/~murray/courses/cds101/fa02/caltech/astrom-ch6.pdf

[12] http://www.ecircuitcenter.com/circuits/pid1/pid1.htm

[13] The Genetic Algorithm Toolbox for MATLAB.

[14] Dréo, J., Pétrowski, A., Siarry, P., Taillard, E. “Metaheuristics for Hard Optimization” France, Springer, 2003.

[15] Kim, J., Kim, J., Park, J., Park, S., Choe, W., Heo, H. “Auto Tuning PID Controller based on Improved Genetic Algorithm for Reverse Osmosis Plant” World Academy of Science, Engineering and Technology, 47, 2008.

İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROL - YALIN ÜRETİMİN KAHRAMANMARAŞ TEKSTİL SANAYİNDE UYGULANMASI

İrfan ERTUĞRUL[*]
Onur ÖZVERİ[**]
Akay GÜNDOĞAN[***]
[*] Yrd.Doç.Dr. Pamukkale Üniversitesi İİBF İşletme Bölümü - DENİZLİ
iertugrul@pamukkale.edu.tr
[**] Doç.Dr. Dokuz Eylül Üniversitesi İİBF İşletme Bölümü - İZMİR
onur.ozveri@deu.edu.tr
[***]Tekstil Müh. Matesa Tekstil A.Ş. İşletme Müd. KAHRAMANMARAŞ
akaygundogan@hotmail.com

Özet
Değişen üretim koşullarında müşteri taleplerinde farklılıklar oluşmuştur. Bunu fark eden işletmeler hem bu tüketici isteklerine cevap vermek hem de ağır rekabet koşullarında var olabilmek için çeşitli yöntemler denemektedirler. Geleneksel üretim sistemleri ile üretime devam eden işletmelerin müşteri odaklı şirketler gibi bu koşullara uyum sağlayamayacakları açıktır. Kalite kontrolde "Yalın Üretim" üretime yük getiren tüm israflardan arınarak, üretim hızını ve esnekliğini artırıp kalite, maliyet ve performansını aynı anda iyileştirmeyi hedeflemektedir.
Uygulama yapılan firmada öncelikle değer ve değer yaratan işlemleri tanımlayıp israfları minimum seviyelere indirmeye yoğunlaşıldı. Bu sebeple istatistiksel kalite kontrol çerçevesinde terbiye proseslerin amaçları ve müşteri için yarattıkları değerler incelendi.
Bu çalışma tekstil sektörünün sağladığı istihdam ve ihracat gücü ile ülkemiz ekonomisinde hala önemli bir yer tuttuğunu göstermektedir. Bu sektörün emek yoğun olması sebebiyle az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerle kıyaslandığında işçilik ve enerji maliyetlerinde yaşadığı maliyet dezavantajını yalın üretimle aşması mümkündür. Bu çalışmada tekstil sektöründe çalışan bir firmanın terbiye bölümünde geleneksel üretim yönteminden yalın üretim yöntemine geçişe başlaması ile firmaya sağlanan faydalar İstatistiksel Kalite kontrol teknikleri yardımıyla verilerle anlatılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Kalite, İstatistiksel Kalite Kontrol, Yalın üretim, Geleneksel üretim,Tekstil-terbiye, israf.

1. Giriş - Yalın Üretim Sisteminin Tanımı

Yalın Üretim, ilk olarak Toyota tarafından geliştirilmiş, hata, maliyet, stok, işçilik, geliştirme süreci, üretim alanı, fire, müşteri memnuniyetsizliği gibi unsurları en aza indirgeyen üretim sistemi, felsefesidir.
Yalın Üretim'in yalın olmasının sebebi, karmaşıklıktan uzak ve basit olması, seri üretimle kıyaslandığında her şeyin daha azını kullanmasıdır. Ayrıca ihtiyaç duyulan stokların çok daha azının bulundurulması yeterlidir, çok daha az bozuk mal çıkmasını ve daha fazla ve gittikçe de artan çeşitlilikte ürünler üretilmesini esas alır. [19]
Yalın düşüncenin temel amacı organizasyonlar, teknolojiler ve sabit kıymetler üzerinde odaklanmak yerine, ürün üstüne odaklanarak, kaynakları ürünü etkileyecek çalışmalara kaydırmaktır. Buna bağlı olarak yalın üretimi aşağıdaki şekilde tanımlamak mümkündür. Yalın Üretim; yapısında hiçbir gereksiz unsur taşımayan; hata, stok, işçilik, üretim alanı, fire, müşteri memnuniyetsizliği ve maliyet gibi unsurların en aza indirgendiği üretim sistemidir. Yalın üretim, "en az kaynakla, en kısa zamanda, en ucuz ve hatasız üretimi, müşteri talebine de bire bir uyabilecek/yanıt verebilecek şekilde, en az israfla (daha doğrusu israfsız), ve nihayet tüm üretim faktörlerini en esnek şekilde kullanıp, potansiyellerinin tümünden yararlanılmasıdır. [8]
Tasarımdan sevkıyata tüm ürün/hizmet yaratma aşamalarındaki her türlü israfın yok edilmesi ile maliyetlerin düşürülmesi, müşteri memnuniyetinin artırılması, piyasa koşullarına uyum esnekliğinin kazanılması, nakit akışının hızlandırılması dolayısı ile firma kârlılığının artırılması hedeflenir. [22]

2. Yalın Üretim Sisteminin Doğuşu ve İlkeleri

Günümüzde yalın üretim olarak isimlendirilen; verimlilik artışı sağlayabilmek, düşük maliyetli ve kaliteli üretim yapabilmek, pazarda var olabilmek amacıyla geliştirilen bu üretim ve yönetim sisteminin temel ilkeleri, Japonya'da Toyota Motor Company'de geliştirilmiştir. 1950'lerde Amerika'da kitle üretiminin yapılması bir sorun yaratmıyordu. Çünkü pazarda rekabet düşüktü, farklılaşmamış ürünün çok miktarda satılabileceği doymamış bir pazar vardı. Bu nedenle, aşırı iş bölümüne dayanan ve üretim miktarı arttıkça kar düzeyi artan kitle üretim sistemiyle, bu sistemin sonucu olan israf bir sorun olarak görülmüyordu. Fakat aynı yıllarda Japonya'da durum çok farklıydı. Pazar küçüktü, kişi başına düşen milli gelir düşüktü, sermaye birikimi yetersizdi. Farklı özellikte ürüne talep vardı ve rekabet fazlaydı. Toyota ve Ohno'nun kitle üretim sistemini eleştirici gözle inceleme nedenleri de tüm bu kısıtlardı. [20]
İkilinin saptamaları özetle şöyledir: Kitle üretiminde, her üretim faktörü ya da unsuru olabildiğince çok sayıda, bonkörce kullanılıp, üretim pek çok gereksizlik ya da israf (Japoncada "muda") içermektedir. İkilinin gözlemlediği diğer bir önemli nokta da şudur; üretimdeki aşırı adanmışlık ve esneksizliğin doğal bir sonucu olarak, kalıp değiştirme ya da bir üründen diğerine geçebilme için gerekli ayarlamalar (set-up) çok uzun süre

almakta, dolayısıyla büyük lot üretim zorunluluğu doğmaktadır. Büyük lot üretimin en önemli yan etkisi ise, işlenmekte olan ürün stokunun çok yüksek düzeylere çıkmasıdır. Yüksek stok hem önemli bir maliyet kaynağı olduğu gibi üretime bir tür rehavet de getirmekte ve üretimde kalitenin mutlaka yüzde yüz sağlanması gereken bir olgu olarak görülmemesine neden olmaktadır. [1]

3. Yalın Üretim Sistemi

Firmalar için asıl maliyet oluşturan kalemler yöneticilerin göremediği alanlarda ve katma değer oluşturmayan zaman kayıplarında gizlidir. Bu sistemin temel hedefi bu gizli maliyetlerin ortaya çıkarılması ve azaltılmasıdır. Değer yaratmayan ama kaynak harcayan faaliyetlere israf ya da Japonca olarak "Muda" adı verilmektedir. Toyota, aşağıda sıralanan iş ve imalat sürecinde değer katmayan sekiz israf tipini belirlemiştir;

Bunlar fazla üretim, bekleme, gereksiz taşıma veya aktarma, fazla ya da yanlış işlem yapma, fazla stoklama, gereksiz hareket, kusurlar, çalışanların yaratıcılığını kullanmamaktır.

4. Yalın Üretim Teknikleri

Bu teknikler kısaca, kanban ya da çekme sistemi, tek parça akış, üretim dengeleme, U tipi yerleşim ve iş rotasyonu, otonomasyon, andon, Poka-Yoke ve deney tasarımı, bir dakikada kalıp değiştirme (SMED) ve model dönüş süresi (MDS), Kaizen ve kalite çemberleri, 5S (Tertip-Düzen-Temizlik), Toplam Verimli Bakım, Toplam Kalite Yönetimi, Altı Sigma'dır.

5. Türkiye'de Yalın Üretim Uygulamaları

Bu yatırımlara öncü olarak yalın yönetimin mucidi Toyota gelmektedir. Toyota Türkiye'nin önde gelen sermaye gücü olan Sabancı Holding'le beraber Adapazarı'nda 1994 yılında faaliyete geçen büyük bir montaj tesisi kurmuştur. Bu tesisin kapasitesi yıllık 100.000 araba olup Corolla modeli ile Türkiye pazarında önemli bir yer edinmiştir. Diğer yandan Amerikalı yalın üretici Ford da Koç Holding'le kurmuş olduğu ortaklığa, pazarda oluşan rekabet karsısında farklı bir yön vererek, Escort modeliyle daha sonra da Focus, Mondeo ve Ka modelleriyle piyasada çok iyi bir yer elde etmiştir. Türkiye, Asya ile Avrupa arasında yer alan, gelişmekte olan ve aynı zamanda küreselleşen dünyada kısıtlı kaynaklarıyla rekabet etmek zorunda olan bir ülkedir. Ayrıca imalat sanayinin kullandığı kredilerin maliyeti, diğer ülkelerle karşılaştırıldığında çok yüksektir. Bu durum firmaları düşük maliyette ve yüksek kalitede ürünler üretmeye ve bu ürünleri hızlı bir şekilde teslim etmeye zorlamaktadır. Bu yönüyle bakıldığında Yalın Üretim sistemi, özellikle finansman ihtiyacını azaltacağından, Türkiye için daha büyük öneme sahiptir.

6. Dünya Tekstil Sektörü Trendleri ve Türk Tekstil Sektöründe Yalın Üretim Sisteminin Uygulanabilirliği

Kotaların kalktığı dünya tekstil ve hazır giyim pazarında yeni trendler belirmeye başlamıştır. Bu yönelimler üretim, tüketim ve tüketici, pazarlama, ihracat ve ithalat trendleridir.

Türk tekstil sektöründe yalın üretim sisteminin uygulamak özetle güç bir iştir. Bu sektörün kendi içerisinde çözülmesini bekleyen problemleri olduğu gibi diğer sektörlerle beraber ele alınabilecek problemleri de mevcuttur.

Bunlar özetle ekipman organizasyonu, üretim planlama ve kontrolü, iş gücü sorunu, yan sanayici sorunu ve finans sistemi sıkıntılarıdır.

Tablo 6.1.: Tekstil Ürün Tiplerinin Dağılımı

Tekstil Ürün Tipi	Üretim miktarındaki payı (%)	Toplam değerdeki payı (%)	Üretim trendi	Müşterinin yönelimi
Ucuz, basit, yüksek miktarlı mallar	65	35	Düşük fiyatla rekabet edilebilen sıradan ürünler.	Uzakdoğuda kalite, termin sıkıntısı olsa bile düşük fiyatla üretim
Orta büyüklüklü, kısmen nitelikli	20	30	Miktar ve değer payı artan, rekabette maliyetler ve katma değer belirleyici	Nispeten kısa terminli ve kaliteli ürünü yakın ülkelerden tedarik. Ör: Avrupa için Türkiye ve Doğu
Pahalı, lüks, küçük miktarlı ürünler	10	20	Yüksek katma değerli, yaratıcı ve kaliteli, fiyat neredeyse belirleyici değil	Yüksek kaliteli ürünü, çok kısa sürede iyi firmalardan tedarik. Ör: İtalya, Portekiz, Türkiye
Fonksiyonel nitelikli ürünler	5	15	İnovatif ve know how gerektiren, kalite tamamen belirleyici	Teknik özellikler risk edilemeyeceği için en profosyonel firmadan. Ör: yelken bezi, paraşüt kumaşı, high-tech ürünler

Re e ve post-fordist
ür etmeler, tüketici
tal ay oranına sahip
ol kabet avantajı da
ge
Gi ının atölyelerini,
fal erde bulunuyor.

Ortak kanı, aradan sıyrılmanın en kestirme yolunun bir 'farklılık' yaratmaktan geçtiği. Ilk bakışta öne çıkan 'fark' Türkiye'nin teslim sürelerinde ürettiği hız. Ancak 'hız' öyle bir kavram ki her teslimatta kendi rekorunuzu kırmanız mümkün. Doğal olarak tüketici talebinin sonu yok gibi. Üstelik tek başına hız kurtarıcı değil. Maliyet

hesaplarının da doğru yapılması gerekiyor. 'Yalın üretim' tam da bu noktada bir çözüm önerisi olarak tekstilcilerin karşısına çıkıyor. [6]

7. Yalın Üretimin Bir Tekstil İşletmesinde Uygulaması

7.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi

Bu çalışmada; yalın üretim sisteminin, bir tekstil işletmesinde şirket çalışanlarının gözlem ve yorumlarıyla, uygulama sürecinde yaşanan sıkıntıların tanımlanması, analiz edilmesi, uygulanabilir proseslerin seçimi ve uygulaması ile sıkıntıların ne şekilde çözümlenebileceğinin ortaya konması amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın önemi işletmenin yalın üretim sistemine geçişte ne gibi zorluklarla karşılaşıldığının ortaya konulması, geçiş süreci aşamalarının incelenmesi ve yalın üretimim beraberinde getirdiği üstünlüklerin gözler önüne serilmesidir. İşletme için önemi, fire ve ıskarta oranı azalacak, maliyetler düşecek, verimlilikteki artış beraberinde büyümeyi ve karlılığı getirecektir.

7.2. Çalışmanın Kapsamı

Çalışmanın derinlemesine yapılabileceği için ve veri toplama kolaylığından dolayı Matesa Tekstil A.Ş. seçilmiştir. Ancak şirket büyüklüğü göz önüne alındığında çalışma kapsamının çok büyük olacağı açıktır. Bu yüzden tüm işletmeler yerine sadece işletmenin boya, baskı ve terbiye işlemlerinin yapıldığı boya-terbiye fabrikası uygulama alanı olarak seçilmiştir. Uygulama kısmında yalın üretim sisteminin uygulama süreci, yapılan çalışmalar ve uygulama sonuçları sayısal veriler yardımıyla ortaya konmuştur.

7.3. Çalışmanın Yöntemi

Çalışmanın yöntemi, örnek olay incelemesidir. Seçilen işletmede yapılan iyileştirmeler öncesi ve sonrası durumun analizi için işletme kalite ve üretim raporları ile veriler toplanmıştır.

7.4. Çalışmadan Elde Edilen Bilgi ve Bulgular

7.4.1. Uygulama Alanı

Matesa Tekstil A.Ş. 1989 yılında Maraş' ta kurulmuştur. Başlangıçta bir iplik işletmesi olarak kurulan Matesa, bugün 350.000 m2 açık ve 305.000 m2 kapalı alanda faaliyet gösteren, örgü ve dokuma sektöründe, iplikten konfeksiyona, 2 dikey entegrasyona sahip, Avrupa'nın en büyük tekstil firmalarındandır. İplikten kumaşa tüm üretim aşamaları kendi çatısı altında gerçekleşmektedir. Firma bu özelliği ile yüksek kalite standartlarını pekiştirmekte ve müşterilerin daha iyi hizmet verme olanağı sağlamaktadır. İplik fabrikaları, örme ve dokuma tesisleri, en nihayetinde örme ve dokuma terbiye fabrikaları Matesa bünyesinde tam entegre olarak faaliyet göstermektedir.

Hızlı servis, yüksek kalite standartları ve uygun fiyat politikası firma için şarttır. Bugün 3000'i aşan çalışanı ve yaklaşık 200.000.000 dolar cirosuyla Türkiye'nin en büyük ve güçlü tekstil firmalarındandır. Matesa Tekstil A.Ş. gerek ihracat üretimi yapması gerekse üretim çeşitliliği açısından bu çalışma için uygun bir firmadır.

7.4.2. Firmanın Üretim Departmanları

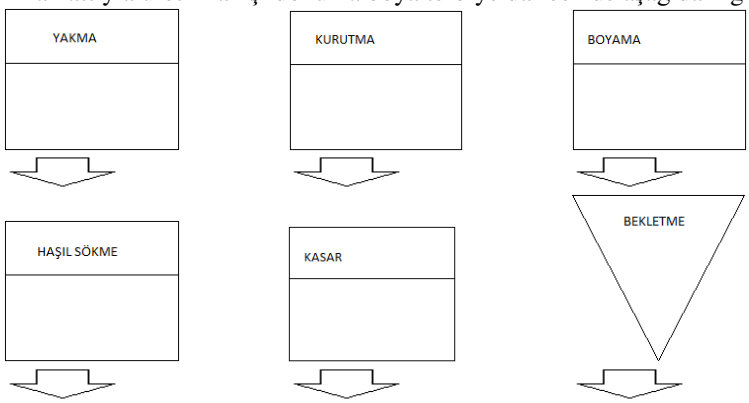
Matesa Tekstil A.Ş. sekiz ana departmandan oluşmaktadır. Bunlar, iplik, örgü, örgü boya, örgü konfeksiyon, dokuma, dokuma boya, denim dokuma ve boya, denim konfeksiyondur.

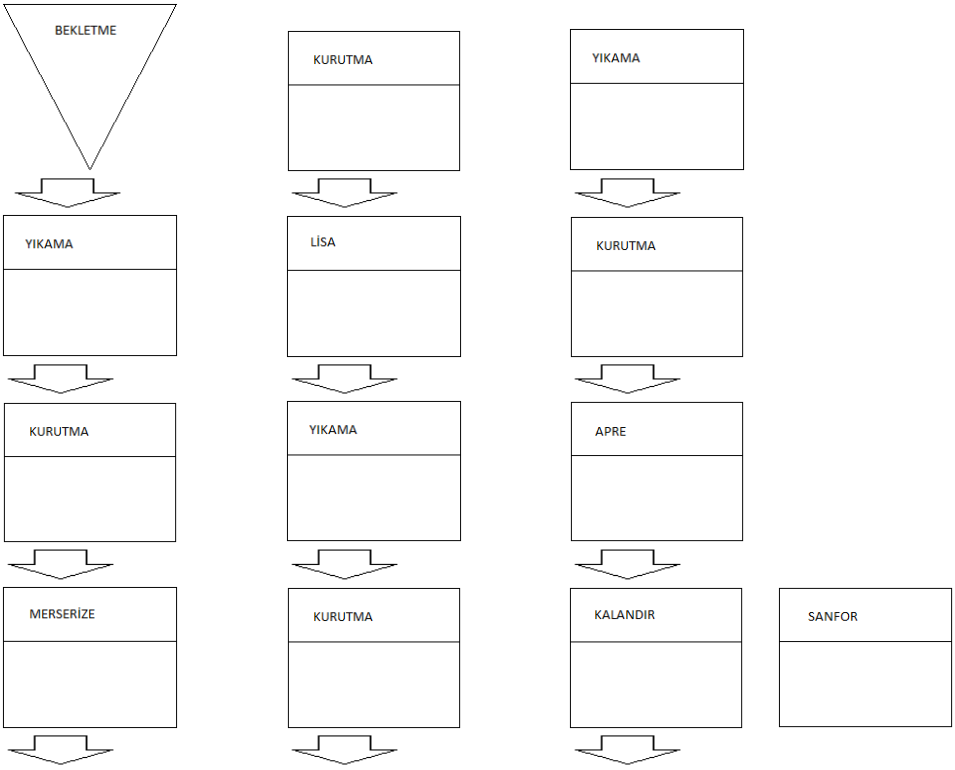
7.4.3. Yalın Üretim Sistemine İlişkin Bilgi Ve Bulgular

Matesa Tekstil A.Ş. sahip olduğu ISO 9001:2000, OEKO-TEX, BELCORO ve SANTEX kalite standartları ile yüksek kalite anlayışını belgelendirmiştir. Firma 3000'den fazla çalışanıyla; yüksek kalite, uygun fiyat ve hızlı servis anlayışıyla müşterilerine hizmet vermektedir.

Matesa Tekstil A.Ş.'nin diğer fabrikalarının daha önce kurulmasına rağmen Boya-Terbiye Fabrikası 2006 yılı sonunda kurulmuştur. Burada da üretim diğer departmanlarda olduğu gibi seri üretim ve itme sistemi esasına dayanarak yapılmaktaydı. Ancak tüm departmanların incelenmesi zor olacağından sadece dokuma boya terbiye departmanı seçildi. Üretimde harhangi bir malzeme ihtiyaç planlama programı kullanılmaması üretimin çekme sistemine uygun çalışmasını engellemektedir.

Ana hattıyla üretim akışı dokuma boya terbiye dairesinde aşağıdaki gibidir:





Bu işletmede uygulanan terbiye işlemlerinin açıklamalarını yapmak israfın ayırt edilebilmesi için faydalı olacaktır.

Yakma: Yakma işleminde amaç, kumaşı oluşturan ipliklerden çıkan lif uçlarını (hav tüycüklerini) uzaklaştırmaktır.

Haşıl Sökme: Kumaşların dokunmaları sırasında çözgü iplikleri haşıllandığından terbiye işlemleri esnasında bu haşılın uzaklaştırılması gereklidir.

Haşıl Sökme bekletmesi: Haşıl sökme kimyasallarının kumaş üzerine aktarılması ardından enzimlerin nişastayı parçalamaya çalışması için verilen süredir.

Haşıl sökme yıkaması : Haşılı kumaştan uzaklaştırabilmek için iyi bir yıkama yapılması gerekmektedir.

Merserizasyon: Bu işlem sonucunda doğal haliyle pek parlak olmayan pamuklu mamül belirli bir parlaklık kazanmakta, kumaşın boyarmadde alımı artmakta ve daha koyu renkler daha az boyarmadde ile elde edilebilmektedir.

Kasar: Ağartmanın amacı liflerin temiz, beyaz bir görünüşe sahip olmasını sağlamaktır.

Lisa: Kumaşın yüzeyinde düzgün bir tüy tabakası oluşturmak için yapılan işlemdir. Burada kumaş enine açık kuru halde fırçalar arasından geçirilerek yüzeyi tüylendirilir.

Lisa sonrası yıkama: Lisa işleminde kumaş fırçalandığı ve tüylendirildiği için kopan tüycüklerin bir kısmı kumaşın üzerinde kalır. Bu yüzden yıkama yapılarak bu tüycükler kumaştan uzaklaştırılır.

Boyama: Kumaşı renklendirmenin birkaç yöntemi vardır. Bunlardan biri boyama diğeri ise baskıdır. Bunu yapabilmek için kumaş enine açık kuru halde boyarmadde çözeltisi içeren tekneden geçirilir, düzgün bir şekilde sıkılır ve bir silindir üzerine sarılır ve bekletmeye alınır.

Boya bekletmesi: Boyanın kumaşla birleşmesi için öncelikle emdirlir ve ardından bu adımda bekletmeye alınır ve yaklaşık 24 saat bekletilerek işlem tamamlanır.

Boya sonrası yıkama: Kumaş boyandıktan sonra üzerinde kalan boyanın fazlasının uzaklaştırılması için yıkanır. Aksi takdirde bu boyarmadde artıkları kullanıcı kıyafeti aldığında akar ki bu da diğer kıyafetleri kirletir.

Apre öncesi kurutma: Apre kimyasallarını kumaşa emdirebilmek için öncelikle enine açık halde kurutulur. Aksi takdirde ya istenen efekt elde edilemez ya da emdirilen çözelti konsantrasyonu arttırılırsa çözelti çöker ve kumaşta yağ lekesine benzer lekeler yapar.

Apre: Tekstil mamüllerinin kullanma özelliklerini, tutumunu ve görünümünü geliştirmek için yapılan terbiye işlemlerinin tümüne apre denir.

Kalandır: Kalandırlamanın esası kumaşı basınç altındaki iki veya daha fazla merdane arasından geçirmeye dayanır. Bu işlemde amaç kumaş yüzeyini düzgün bir durumua getirip ütüleyerek parlaklığını arttırmaktır.

Sanfor: Sanfor işleminin esası kumaşı enden ve boydan sıkıştırıp toplatarak nihai tüketici aldığında çekmemesi sağlamaktır.

Her ne kadar işletme son model ve iyi makinelerle donatılmış ise de yukarıda incelenen tüm bu işlemler konvansiyonel üretim yöntemlerine göre düzenlenmiş makinelerde, klasik metodlara göre, en geleneksel üretim akışlarıyla yapılmakta idi. Bu yüzden hem makineler üretim metodlarını iyileştirmek için gerekli teknolojiye sahip hem de üretim metodları gelişmeye açık bir durumda idi. Ancak işletme yerleşimi makine söküm ve montajı güçlüğü sebebiyle optimizasyon (U hattı yerleşim) yapmaya pek müsait değildi. İşletme geneli personel eğitim seviyesi lise olmasına ve işletmenin 4 yıldır üretim yapmasına rağmen işgören devir oranı yıllık %60 olması sebebiyle operatörlerin deneyimi azdı. Bu yüzden işçinin potansiyelini değerlendirmek oldukça güçtü.

7.4.4. Yalın Üretim Çalışmaları ve Değerlendirmeleri

Ağırlıklı ihracata çalışan ve kalitenin oldukça yüksek olduğu firmada iplikten kumaşa, kumaştan konfeksiyona üretimin her departmanında ISO: 9001 kalite yönetim sistemi yanı sıra ulusal ve uluslararası test yöntemlerine göre üretim kontrol altında tutulmaktadır. Fabrikada ulaşılan yüksek kalite standartları, tüm üretim aşamalarının Matesa bünyesinde yapılması ve üretimin her safhasında kullanılabilen ileri teknoloji ile sıkıntısız bir şekilde sağlanabilmekteydi.

Matesa A.Ş.'de şirket çok büyük olduğundan ve bir üretim takip programı olmadığı için itme şeklindeki çalışma sistemini değiştirmek zordu. Bu yüzden firmada öncelikle değer ve değer yaratan işlemleri tanımlayıp israfları minimum seviyelere indirmeye yoğunlaşıldı. Bu sebeple yukarıdaki terbiye proseslerin amaçları ve müşteri için yarattıkları değer incelendi.

Burada ilk olarak terbiye işlemlerini tanımlayarak başlamak faydalı olacaktır. Tekstil mamullerinin (açık elyaf, ön iplik, iplik, tekstil yüzeyi-dokuma, örme, halı, dokusuz yüzey ve bitmiş parçaların) görünümünü, tutumunu ve kullanılma özelliklerini geliştirmek için yapılan işlemleri "tekstil terbiye işlemleri" olarak tanımlayabiliriz. [37]

Bizim daha önce adım adım incelediğimiz akış şemasında müşteri için değer yaratan adımlar yani özellikle kumaşın görüntü, tuşesini ve kullanım konforunu etkileyen adımlar ve yarattıkları değerler söyledir. Yakma; kumaş yüzeyindeki irili ufaklı tüyleri yok ederk kumaşın düzensiz görüntüsünü değiştirdiği için, merserize; kumaşa parlaklık, mukavemet ve stabilite vererek kullanıcı için albenisini arttırdığından dolayı, kasar; kumaş yüzeyindeki çöpel dediğimiz bitkisel artıkları uzaklaştırıp görüntüsünü daha temiz bir hale getirdiği için, lisa; kumaş yüzeyi üzerinde üniform ve kısa tüycükler oluşturup kayganlık vererek kumaşın tuşesini değiştirdiği için, boyama; kumaşın rengini doğal pamuğun ekru renginden müşterinin kullanabileceği renge dönüştürdüğü için, apre; kumaşın tutum ve kullanım özelliklerini müşterinin bakım ve giyimi esnasında istediği doğrultuda değiştirdiği için, kalandır; kumaşı bir nevi ütüleyip yüzeyini dökümlü, düzgün ve parlak hale getirip görünümünü değiştirdiği için, sanfor; kumaşın son kullanıcıda giyim sonrası yıkamalarda çekmemesini sağlayarak formunun korunmasını sağladığı için olmazsa olmaz ve kullanıcı/müşteri için gerçekten değer yaratan, kumaşın görünüm, tutum ve kullanım özelliklerini geliştirip iyileştiren boya-terbiye proses adımlarıdır.

Kalan tüm adımlar müşteri için değer yaratmadıkları için israftır, bazıları kaçınılamayacak tipte olanlardır. Görüldüğü üzere değer katan adımlardan çok daha fazla israf mevcuttur. Ancak bazıları atlanıp yapılamayabilirler ve yalın üretim gereği yapılmamaları gerekir.

Burada biz öncelikle hangilerinden hiçbir ek masraf yapılmadan kaçılabilir sorusunu sorduk.

1) İlk israf olan haşıl sökme için şöyle bir çözüm bulundu. Eğer dokumada nişasta ve türevi bir haşıllama maddesi kullanılırsa sökmek için haşıl sökme işlemi gerekiyor, PVA tarzı suda direkt çözülebilecek bir malzeme kullanılırsa sadece yıkama yeterli olabiliyordu. Nişasta haşılı için ise bir kalite çemberi kuruldu ve haşıl sökme işlemini kısaltabilmek için çalışma yapıldı. Firma en geleneksel soğuk bekletme yöntemini uygularken operatörler bu sistemi iyileştirmek için bir yöntem arayışına girdiler. Sıcakta haşıl sökme yapılarak tamamen israf olan 24 saatlik bekletme süresi 6 saate kadar düşürülebildi. Bekletme süresi iptal edilemedi ama israf olduğundan en azından %75'lik süre tasarrufu sağlandı.

2) Haşıl sökme yıkaması merserizeye girecek malın üzerindeki haşıldan temizlenip merserize teknesini kirletmemesi için yapılıyordu, merserize ile kasarın yerini değiştirip, haşıl sökme yıkamasını kasarın girişindeki iki kabinde yaparak bu yıkamayı iptal ettik. Hem yıkama makinesini kullanarak israf yapmadık hem de buradaki darboğazı gidererek hat dengelemeye yardımcı olduk.

3) Bununla birlikte kasar işlemini yaştan yapabilmek öncelikle mümkün değildi, çünkü makine kurudan yaşa çalışıyordu, yani kumaş kasara kuru girip doğal olarak arkadan yıkama sonrası yaş çıkmaktaydı. Biz yaştan yaşa çalışabilmek için gerekli makine fonksiyonunu üretici firma montörleri ile görüşüp işletmeye çağırarak devreye aldık.

4) Merserizeye girmeden önceki kurutmayı yapmamak için de bir çember kuruldu ve kimyasal tedarikçilerinin de yardımıyla yaş halde sıcak merserize prosesi geliştirilerek bu kurutmadan da kurtulduk.

5) Lisa öncesi kurutma günümüz teknolojisi ile kaçılabilecek bir israf değildi, mecburen devam edildi. Lisa işlemi için kumaşın mutlaka kuru olması gerekiyordu çünkü tüylendirme ancak kuru haldeyken yapılıyordu.

6) Lisa sonrası yıkama ve kurutmadan kurtulmak için makine üreticisi ile irtibata geçildi ve kumaştaki tüyleri emen fanlar kuvvetlendirildi, tüyleri emildikten sonra depolamaya yarayan toz torbaları büyütüldü ve bir fırça yerleştirilerek bu yıkama ve kurutma işlemleri iptal edildi.

7) Boya bekletmesi için öncelikle iptal edebilmek için çareler arandı ama sadece süre kısaltması yapılabildi. Uygun boyarmaddeler kullanılarak kaçınılmaz olan bekletme süresi 24 saatten 12 saate düşürüldü.
8) Boya sonrası yıkama boyama tekniğinin bir parçası olduğu için müdahale edilemedi. Eğer boyama esnasında fiske olmamış boyarmadde molekülleri kumaştan uzaklaştırılmazlarsa kullanım esnasında tüketiciye ciddi haslık sıkıntıları çıkartılabilir, ve üretim esnasında da düzgün boyama yapmak mümkün olamayabilir.
9) Apre verme işlemi işletmede yaştan yaşa yapılamadığı için kurudan yapılıyordu. Yaştan yaşa çalışıp ara kurutmayı atlayıp kimyasallar kumaşa yaş haldeyken verilerek apre öncesi kurutmadan kurtulundu. Sadece çözelti konsantrasyon artışı ile bu kuru çalışmadan yaş çalışmaya geçmek mümkün olabildi. Gereksiz bir işlem olan ara kurutma yapılmadı.

Aylar	Toplam Üretim (m)	Aylık çalışılan gün	Ortalama üretim m/gün
ocak	622.728	23	27075
şubat	753.573	24	31399
mart	703.514	26	27058
nisan	694.033	25	27761
mayıs	667.153	26	25660
haziran	666.496	26	25634
temmuz	859.059	27	31817
ağustos	853.490	26	32827
eylül	618.801	20	30940
ekim	749.380	26	28822
kasım	901.244	25	36050
aralık	1.058.824	26	40724

Tablo
Tüm b
1)İsraf işlemlerden mümkün olanlar atlandı.
2)Atla
3)Değ daha az maliyetle yapılmaya çalışıldı.
4)Pros esinde tüketilen enerji de azaltıldı.
Tablo 7.1. de görüldüğü üzere yılın ayında başında başlanan bu işlemler sayesinde günlük üretim ortalama 30.940m'den %31,6 artışla aralık ayında 40.724m'ye kadar çıkmıştır. Her ne kadar işlenen kumaş miktarı siparişe bağlı olsa da yapılan iyileştirmelerin sonuçları 2 ayın sonunda kendisini gösterdi.
Tablo 7.2.: İşlemlerin İyileştirme Önce ve Sonrası Toplam Süreleri

1000mlik bir parti için	Makine çalışma hızı (m/dak)	Yalın üretim öncesi süre (dak)	Yalın üretim sonrası süre (dak)
Yakma - Haşıl Sökme	100		
Haşıl Sökme bekletmesi		1440	360
Yıkama	40	25	0
Kurutma	50	20	0
Merserize	40	25	25
Kurutma	50	20	0
Kasar	40	25	25
Kurutma	50	20	20
Lisa	40	25	25
Yıkama	40	25	0

Tablo 7.2.: mesi ile taşıma, hazırlık, makine bekleme s 3235 dakikadan 1305 dakikaya düşürülerek
Tablo7.3.: *

Aylar	Toplam Üretim (m)	Toplam Buhar Sarfı (kg)	Toplam Elektrik Sarfı (kwh)	Toplam Doğal Gaz sarfı (m3)	Birim kumaş başına Buhar Sarfı (kg/m)	Birim kumaş başına Elektrik Sarfı (kwh/m)	Birim kumaş başına Doğal Gaz sarfı (m3/m)
ocak	622.728	1.697.985	641.546	369.942	2,73	1,030	0,59
şubat	753.573	1.413.726	567.385	181.279	1,88	0,753	0,24
mart	703.514	2.000.145	531.472	202.759	2,84	0,755	0,29
nisan	694.033	1.845.632	650.018	197.085	2,66	0,937	0,28
mayıs	667.153	1.981.980	621.321	555.290	2,97	0,931	0,83
haziran	666.496	1.695.670	624.956	611.116	2,54	0,938	0,92
temmuz	859.059	1.846.339	779.901	271.886	2,15	0,908	0,32
ağustos	853.490	1.467.560	653.387	215.046	1,72	0,766	0,25
eylül	618.801	1.928.360	610.914	218.325	3,12	0,987	0,35
ekim	749.380	2.656.592	805.822	204.144	3,55	1,075	0,27
kasım	901.244	2.083.333	688.875	165.096	2,31	0,764	0,18
aralık	1.058.824	2.234.119	778.236	232.941	2,11	0,735	0,22

Bu i blo 7.3'te görüldüğü üzer gazın özgül tüketimi 0,35 ar özgül tüketimleri 3,12 üretim çalışmaları ile ener
Tabl aren kademeli olarak hem urada özellikle hem üretimde darboğaz olan hem de enerji tüketimi yüksek olan yıkama ve kurutma işlemlerinin yapılan çalışmalarla

mümkün olduğunca azaltılabilmesidir. Bu çalışmalara paralel işletmede kaliteye yönelik araştırmalar ve iyileştirmeler yapıldı. Tablo 7.4.'de bunların sonuçları özetlenmiştir.
Bu çalışmalarda işletme hatalarının kontrol altına alınabilmesi için Pareto analizi yardımıyla kronik en önemli üç hata belirlendi: leke, kanat farkı ve kırık. Bu hataların sırasıyla toplam hatadaki oranları leke:%34, kanat farkı:%26 ve kırık:%11 olmak üzere toplamda %%71'dir. Bütün hata cinsleri göz önüne alındığında yaklaşık 20 kadar hata tipinin içerisinde 3 tanesi toplam hataların % 71'ini oluşturuyor.
Tablo 7.4. Aylık Hata Oranları

Aylar	Üretim (m)	leke (m)	kırık (m)	baş-son farkı(m)	kanat farkı (m)	renk farkı (m)	diğer hatalar (m)	Toplam Hata 1A (m)	1A oranı (%)
ocak	622.728	12.583	3.652	1.065	3.997	1.158	2.523	24.977	4,01
şubat	753.573	8.962	2.586	853	4.927	1.253	3.988	22.569	2,99
mart	703.514	6.245	7.896	1.148	9.858	963	4.658	30.768	4,37
nisan	694.033	6.145	2.415	1.256	2.797	2.684	2.175	17.472	2,52
mayıs	667.153	10.128	3.264	1.620	2.136	1.023	999	19.171	2,87
haziran	666.496	8.054	2.236	962	1.606	865	2.353	16.075	2,41
temmuz	859.059	6.349	1.498	2.468	11.390	924	3.723	26.352	3,07
ağustos	853.490	12.458	2.058	1.281	3.791	1.346	1.392	22.326	2,62
eylül	618.801	11.853	4.764	2.469	2.683	854	2.772	25.395	4,10
ekim	749.380	9.584	1.326	1.598	5.348	1.453	8.722	28.031	3,74
kasım	901.244	4.365	1.154	2.648	14.475	2.268	7.867	32.777	3,64
aralık	1.058.824	3.216	896	1.967	12.403	1.369	7.674	27.525	2,60
toplam	9.148.295	99.942	33.745	19.335	75.410	16.160	48.845	293.437	3,21
yıllık % hata		1,09	0,37	0,21	0,82	0,18	0,53	3,21	
Toplam hata içindeki %si		34	11	7	26	6	17		

yaklaşık olarak
zen çalışması
daki sonuçlara
spit ettiler. Bu
l bağlantılı alt
ldı, kullanılan
ili ise boyama
sonrası otomatik temizleme tertibatı devreye alındı, boya tesisatı temizliği görünebilecek şeffaf boruya çevrilerek bir nevi uyarı andonu vazifesi görmesi sağlandı, boyama programı açıktan koyu gidecek şekilde düzenlenmeye başlanarak bir sonraki boyamayı kirletme engellendi.
2)Kanat farkı için ise aynı yolla makinelerde silindirlerin kontrol periyotları sıklaştırıldı, boyanan her tip kumaş için farklı makine ayarları oluşturuldu ve üretimin ilk partisinde boyama ardından kanat kontrolü yaparak üretimin devamının hatalı olması engellendi.
3)Kırık hatası ile ilgili çok fazla yol kat edilemedi, çünkü bu hata makine seçimiyle direkt bağlantılı olduğundan mevcut durumun değiştirilmesi çok mümkün olmadı. Bıurada sadece çalışılan ürünlerin seçiminde sıkıntı yaratabilecek olanların yapılmamasına çalışıldı. Ama yine de devam eden siparişlerde üretim durdurulmadığından hata kısmen de olsa devam etti.
Tablo 7.5. Aylar bazında hata oranları

Aylar	leke (%)	kırık (%)	baş-son farkı(%)	kanat farkı (%)	renk farkı (%)	diğer hatalar (%)
ocak	2,02	0,59	0,17	0,64	0,19	0,41
şubat	1,19	0,34	0,11	0,65	0,17	0,53
mart	0,89	1,12	0,16	1,40	0,14	0,66
nisan	0,89	0,35	0,18	0,40	0,39	0,31
mayıs	1,52	0,49	0,24	0,32	0,15	0,15
haziran	1,21	0,34	0,14	0,24	0,13	0,35
temmuz	0,74	0,17	0,29	1,33	0,11	0,43
ağustos	1,46	0,24	0,15	0,44	0,16	0,16
eylül	1,92	0,77	0,40	0,43	0,14	0,45
ekim	1,28	0,18	0,21	0,71	0,19	1,16
kasım	0,48	0,13	0,29	1,61	0,25	0,87
aralık	0,30	0,08	0,19	1,17	0,13	0,72
toplam	1,09	0,37	0,21	0,82	0,18	0,53

Yapıla ayından sonra
%1,92 kanat farkında
beklen kaçılırken yeni
tiplerle
8. Son
Bu ça değişmesi güç
durum
yerleşmiş makinelerde klasik metodlara göre en geleneksel üretim akışlarıyla üretim yapmaktaydı. Bu yüzden

hem makineler üretim metodlarını geliştirmek için gerekli teknolojiye sahip, hem de üretim metodları iyileştirmeye hazır bir durumda idi.
Öncelikle tüm prosesler yalın üretim bakış açısıyla incelendi ve müşteri için değer yaratmayanlar israf olarak değerlendirilip bu adımlar yapılmamaya çalışıldı. Aynı zamanda mühendislik açısından da enerji tasarrufu imkanları da düşünüldü. Tablolar incelendiğinde çalışmaların başladığı 2010 yılı eylül ayından itibaren kademeli olarak hem üretim miktarı günlük olarak artmakta hem de özgül tüketimler azalmaktadır.
Bu günümüz koşullarında tekstil üretiminin sacayağı diyebileceğimiz kalite – fiyat – termin üçlemesinin fiyat ve termin ayaklarında firmaya rekabet gücü sağlamıştır.
Bahsi geçen kalite konusu hem bugünkü piyasa koşullarında müşteriler için vazgeçilmez bir olgu olduğu gibi yalın üretim açısından da stokların azaltılması için çok önemlidir. İşgören devir oranı yüksek olması sebebiyle operatörlerin deneyimi azdı. Ancak 3-4 ay gibi kısa bir sürede dahi işgörenlerin fikirlerinin de kalite çemberleri aracılığıyla işe katılması sonucunda elde edilen kalite artışı ve proses iyileştirmeleri dikkat çekicidir. Mükemmellik açısından bu adımlar bir başlangıç olmuş ve sonuçları hızla görülmüştür. Kaizen için öneri sistemi yardımıyla problem saptama, inceleme, fikir üretme ve uygulama sistematik olarak gerçekleşecektir.
Tekstil alanında ve özellikle boya-terbiye konusunda Türkiye'de bunları başarabilmiş firma çok azdır. Bugün için en iyi bilinenler bölgemizde Ekoten, Söktaş ve Gökhan Tekstil olup bu firmalarda katma değeri yüksek, pahalı ve nitelikli ürünler, nispeten düşük miktarlarda ve çeşitli, hızlı, en az hata oranlarıyla üretilmektedirler. Bu yüzden sistematik bir çalışmayla yalın üretim tekstil boya ve terbiyesi için hızla ulaşılabilir bir hedeftir.
Eğer tüm bunlar yalın üretimin diğer ilkeleri ile beraber uygulanmaya devam ederse şirketin başta üretim terminleri olmak üzere kalite ve fiyatlarında (enerji ve işçilik giderlerinin azalması sebebiyle) iyileşme sağlanacak, bizim gibi gelişmekte olan ülkeler grubundan gelişmiş ülkeler sınıfına geçmekte olan ülkeler için ve hatta Almanya, Japonya, ABD, İtalya gibi gelişmiş ülkelerde tekstil üretimi için bir var olma savaşı verilebilecektir.

KAYNAKLAR

[1] Akçagün, E., (2006) Hazır Giyim İşletmelerinde Yalın Üretim Tekniklerinin Araştırması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
[2] Akgeyik, T., (2000) Teknolojik Değişim, Post-fordist Eğilimler Ve Endüstri İlişkilerinde Yeni Arayışlar, Çimento İşveren Dergisi, Cilt:14, Sayı:13, s.3-16.
[3] Andersson, R., Eriksson, H., Torstensson, H., (2006) Similarities and differences between TQM, Six sigma and lean, The TQM Magazine, Cilt:18, Sayı:3, s.282-296.
[4] Arnheiter, E.D., Maleyeff, J., (2005) The Integration of Lean Management and Six Sigma, The TQM Magazine, Cilt:17, Sayı:1, s:5-18.
[5] Arslan, S., (2008) Yalın Üretim ve Man Türkiye A.Ş.'de Örnek bir Yalın Üretim Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
[6] Atay, U. (2006) Tekstilin Umudu Toyota Yöntemi, Radikal Gazetesi, (24/03/2006).
[7] Aydın, H., (2009) Yalın Üretim Sistemi, Değer Akış Haritalama Yöntemi ve Yalın Üretim Sisteminin Çalışanlara Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
[8] Belgutay, A.G., (2007) Yalın Üretim Sistemi ve Tekstil Sektöründe Bir Örnek Olay Çalışması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
[9] Bendell, T., (2006) A Review and Comparison of Six Sigma and The Lean Organisations, The TQM Magazine, Cilt:18, Sayı:3, s.255-262.
[10] Charbonneau, H., Webster, G., (1978) Industrial Quality Control, Prentice-Hall Inc., New Jersey.
[11] Christopher, M., Towill D.R., Aitken, J., Childerhouse, P., (2009) Value Stream Classification, Journal of Manufacturing Technology Management, Cilt:20, Sayı:4, s.460-474.
[12] Çağlar, Ö., (2006) Yalın Üretim Tarzı-Otomotiv Yan Sanayi Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
[13] Deming, W.E., (1998) Krizden Çıkış, Kalder Yayınları, İstanbul.
[14] Demirkır, M.S., (2008) Yalın Üretim ve Lastik Sektöründe bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
[15] Erkek, S., (2008) Yalın Üretim Anlayışı, Araştırma Raporu, Konya Ticaret Odası Etüt Araştırma Servisi, Konya.
[16] Ertuğrul, İ., (2006) Toplam Kalite Kontrol, Ekin Yayınevi, Bursa.
[17] Gecü, B., (2008) İç Lojistik Sistemlerinin Yalın Üretim Bakış Açısıyla Yeniden Tasarlanması ve Otomotiv Sektöründe Örnek Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
[18] Girenes, S.Ş., (2006) Yalın Altı Sigma Metodolojisi ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
[19] Gökçe, İ., (2006) Mevcut Üretim Sürecinin Yalın Üretim Yaklaşımıyla Yeniden Yapılandırılması ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

[20] Güre, Z., (2006) Bir Üretim Modeli Olarak Yalın Üretim: İmalat Sektöründe Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya.
[21] Ingle, S., (1982) Quality Circles Master Guide, Prentice-Hall Inc., New Jersey.
[22] İpbüken, Y., (2010) Yalın Yaklaşım, Yalın Enstitü Derneği, http://www.yalinenstitu.org.tr/index.php?option=com_content&task=view&id=9&Itemid=13 (01.12.2010).
[23] Kayacık, S., (2010) Yalın Altı Sigma Metodolojisi ve Tekstil Sektöründe Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
[24] Kazıcıoğlu, B., (2009) Kitle Üretiminden Yalın Üretime Geçiş Süreci: Bir Lastik Fabrikasında Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
[25] Kilpatrick, A.M., (1997) Lean Manufacturing Principles: A Comprehensive Framework for Improving Production Efficiency, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts.
[26] Lewis, M.A., (2000) Lean Production and Sustainable Competitive Advantage International Journal of Operations & Production Management, Cilt:20, Sayı:8, s.959-978.
[27] Ohno, T., (1988) Toyota Production System: Beyond Large-scale Production, Productivity Press, New York.
[28] Oyan, H., Bilgiç, A., İlgün, H., (2008) Kalite İyileştirmede Temel Araçlar, http://www.huist.org/KaliteYonetimi/4_Grup_kalite_%20iyileştirmede_temel_araclar.doc (15.10.2010).
[29] Özmez, D., (2006) Bir Üretim organizasyonu olarak yalın üretim sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Bursa.
[30] Öztürk, A., (2009) Kalite Yönetimi ve Planlaması, Ekin Yayınevi, Bursa.
[31] Pepper, M.P.J., Spedding T.A., (2010) The Evolution of Lean Six Sigma, International Journal of Quality & Reliability Management, Cilt:27 Sayı:2, s.138-155.
[32] Pettersen, J., (2009) Defining Lean Production: Some Conceptual and Practical Issues, The TQM Journal, Cilt:21, Sayı:2, s.127-142.
[33] Samuel, K.M., (2010) Integrated Lean TQM Model For Global Sustainability and Competitiveness, The TQM Journal, s.143-158.
[34] Sevimli, A., (2005) Yalın Üretimde Çalışma Gruplarının Etkinliği ve Ford-Otosan İnönü Fabrikasında bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
[35] Singh, B., Garg, S.K., Sharma, S.K., Grewal, C., (2010) Lean Implemantation and Its Benefits to Production Industry, International Journal of Lean Six Sigma, Cilt:1, Sayı:2, s.158-160.
[36] Şahin, A., (2007) Yalın Üretimde Analitik Hiyerarşi Modelinin Uygulanabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
[37] Tarakçıoğlu, I., (1984) Tekstil Terbiye İşletmelerinde Enerji Tüketimi ve Tasarrufu, Uludağ Üniversitesi Basımevi, Bursa.
[38] Terli, A., (2009) Yalın Üretime Geçiş Sürecinde 5S sisteminin Hazır Giyim İşletmelerinde Uygulama Düzeyleri, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
[39] Tikici, M., Aksoy, A., (2006) Toplam Kalite Yönetiminin Radikal Unsurlarından Birisi Olarak Yalın Yönetim, Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi, www.e-sosder.com (21.11.2010)
[40] Womack, J.P., (2009) From Modern Management to Lean Management, Lean Network Annual Conference, Covington.
[41] Womack, J.P., Jones D.T., (2010) Yalın Düşünce, Yalın Enstitü, İstanbul.

Warm-up Period Determination for a Storage System Simulation Model Focusing on Material Handling Operations

Kemal Subulan, Çağla Cergibozan, A. Serdar Taşan
Dokuz Eylul University, Dept. of Industrial Engineering

Since the most of discrete event simulation models are started empty or idle status, warm-up period determination is becoming an important issue for estimating and evaluating the long term performance measure of the modelled systems. To achieve the accurate estimation of the performance measure in the long run, removing the effect of this initial bias is required. Different warm-up detection methods have been proposed by many authors in the literature. In this study, simulation model of material handling operations in a storage system is developed using Arena 10.0 simulation software. In the simulation model, average hourly shipping rate in the storage system for all types of products is considered as a performance measure of the storage system. In this case, estimating the value of the performance measure requires selecting of warm-up period initially before starting the analysis phase. Thus, statistical process control approach as a graphical method and marginal standard error rule as a heuristic method are applied to the outputs of selected performance criterion. At the end of the study, these two distinct warm-up detection methods are compared based on some of performance measures such as ease of implementation, requirements for the estimation of some parameters, simplicity and prevalence of the assumptions for using these methods.

Keywords: Simulation, Warm-up period, Material Handling Systems.

1. Introduction

Since the most of discrete event simulation models are started empty or idle status, warm-up period determination is becoming an important issue for estimating and evaluating the long term performance measures for steady state parameters of the nonterminating simulation studies. To achieve the accurate estimation of the performance measure in the long run, removing the effect of this initial bias is required. Deleting the data obtained from the simulation output, is an approach for dealing with the initial transient. Other approach is running the simulation model for a very long time. Different kinds of warm-up period determination methods have been proposed in the literature, but each of them has some advantages and disadvantages relatively each other.

In this study, simulation model is developed for material handling operations in a company owned warehouse using Arena 10.0 simulation software. In the simulation model, average utilization rate of the material handling equipment, average number of awaiting products for transferring and average time spent in the system for all types of products may be considered as performance measures of the storage system. In this case, estimating the value of these performance measures requires selecting of warm-up period initially before starting the analysis phase. Hourly shipping rate is considered as a performance measure while determining length of the warm-up period.

Statistical process control (SPC) approach as a graphical method and marginal standard error rule (MSER) as a heuristic method are applied to the outputs of selected performance criterion. At the end of the study, these two distinct warm-up detection methods are compared based on some of performance measures refer to Gafarian et al. (1978), such as ease of implementation, requirements for the estimation of some parameters, simplicity and prevalence of the assumptions for using these methods.

The rest of this paper is organized as follows. In section 2, the relevant literature on warm-up period determination methods are reviewed. In section 3, details of the case problem and the results of the simulation model are given. Then in section 4 and 5 application of the SPC and MSER methods to the simulation model outputs are discussed, respectively. In the last section, study is concluded.

2. Literature review on warm-up period determination methods

Since the opinion about elimination of the initial bias is arised, many studies have been proposed by the researchers in the literature. These methods and approaches that are used for warm-up period determination can be investigated under 5 classes (Robinson, 2007).

Methods as time-series inspection (Robinson, 2004), ensemble average plots (Banks et al., 2001), cumulative mean rule and variance plots (Gordon, 1969), deleting the cumulative mean rule (Banks et al., 2001), cusum plots (Nelson, 1992), Welch's method (Welch, 1983) and SPC method (Robinson, 2002) are known as graphical approaches. Beside this, with the help of some assumptions the followings are evaluated as heuristic approaches: Schriber's rule, goodness of fit and relaxation heuristics (Pawlikowski, 1990), Conway rule (Conway (1963), modified Conway rule (Gafarian et al., 1978), crossing of the mean rule (Fishman, 1973), autocorrelation estimator rule (Fishman, 1971), marginal confidence rule or marginal standard error rules (White, 1997), (White et al., 2000).

From a statistical viewpoint, Kelton and Law regression method (Kelton and Law, 1983) and randomisation tests (Yücesan, 1993); as initialisation bias tests Schruben's maximum test and Schruben's modified test (Schruben, 1982), optimal test (Schruben et al., 1983), rank test (Vassilacopoulos, 1989), the new maximum test, batch means test and area test (Goldsman et al., 1994) are proposed and finally integration of the graphical and heuristic approaches lead the growth of the methods such as Pawlikowski's sequential method (Pawlikowski, 1990) and scale invariant truncation point method (Jackway and DeSilva, 1992).
In this study, two of these approaches; SPC and MSER methods are applied to the simulation model. Both of these methods have some advantages and disadvantages so the results are discussed from the view of the methods' benefits.

3. Problem Description

There are 6 different conceptual product types which are the property of quick storage in the company owned warehouse. The storage system belongs to the warehouse is divided into there zones; receiving zone, reserve zone and the shipping zone respectively.
Assume that the different types of conceptual product arrive at the input port with interarrival times that are exponentially distributed with mean of 300 seconds. The unit arrival percentages of 6 different conceptual product types to the input port from the production area are as follows. 10% of them is A-type, 15% is B-type, 20% is C-type, 15% is D-type, 25% is E-type and 15% is F-type. All of the coming conceptual products are transported to the packaging area by the non-accumulating conveyor which moves at a constant speed of 1 meter/second.
In the packaging area, there are there identical and parallel machines which undertake the packaging operations. An arriving conceptual product finding an idle machine will go directly into for packaging operation and also choses the leftmost idle machine if there are several. The packaging time of a conceptual product is exponentially distributed with a mean of 300 seconds.
After the packaging operation, a conceptual product be moved from the packaging area to its spesific location in the reserve zone by one of the three forklift trucks which move at a constant speed of 5 meters/second. In deed, according to their type, conceptual products are stored on metallic shelves in their specific location separated by aisles. When a forklift becomes available, the rule is shortest distance first. In other words, a requesting conceptual product selects the nearest forklift truck for its transportation operation.
In this study, also the searching of the minimum distance between the conceptual product which is in the transporters' queue and the given forklift truck which is in anywhere in the storage system is examined. Thus, both of the two rules are used for transportation orders.
The load/unload operations of the different types of conceptual product to the any given forklift are performed by two operators and the load/unload times (in seconds) are as in the Table 1.

Table 1. Load/unload times of the different types of conceptual product to the forklift truck

	A-type	**B- type**	**C- type**	**D- type**	**E- type**	**F- type**
Load	30	20	50	40	60	70
Unload	50	40	30	60	70	60

After the storing time which is distributed uniformly with a minimum and maximum values of 3600 and 7200 seconds respectively for all types of conceptual product, the stored conceptual product is transported to the output port and the shipping operation is performed in 60 seconds.
The distances (in meters) between the specific locations for each type of conceptual product and the input/output ports are given in Table 2.

Table 2. From/to chart depicting the distances

From/To	**Packaging area**	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**Output port**
Packaging area	0	65	30	65	90	110	90	125
A	65	0	65	100	45	55	65	80
B	30	65	0	65	90	100	90	125
C	65	100	65	0	65	55	45	80
D	90	45	90	65	0	30	40	75

E	110	55	100	55	30	0	30	85
F	90	65	90	45	40	30	0	75
Output port	125	80	125	80	75	85	75	0

It is assumed that all of the forklift trucks are in the packaging station at the beginning of the simulation clock and the beginning inventory levels are identical and equal to 10 units for each type of conceptual product.
Simulation model of this problem is developed in ARENA 10.0 simulation software and 10 replications of length 864000 seconds or 240 hours are made. The performance measure values such as average utilization of forklifts, average inventory levels of each type of conceptual product, average total wait for transport and average time in the system are obtained from ARENA 10.0 simulation reports as given in Table 3.

Table 3. Summary of ARENA 10.0 simulation results

Average utilization of the first forklift	44,017 %
Average utilization of the second forklift	35,863 %
Average utilization of the thirdt forklift	25,241 %
Average inventory level of conceptual product type 1	11,891 units
Average inventory level of conceptual product type 2	13,174 units
Average inventory level of conceptual product type 3	13,986 units
Average inventory level of conceptual product type 4	12,749 units
Average inventory level of conceptual product type 5	15,000 units
Average inventory level of conceptual product type 6	13,039 units
Average total wait for transport	19,899 seconds
Average time in the system	6319,5 seconds

In this study, average hourly shipping rate from the company owned warehouse is selected as a performance measure for determination of the warm-up period. The average hourly shipping rate value is obtained as 12.708 units from the simulation results.

4. Determination of warm-up period by SPC method

SPC is a graphical method which depends on the visual analysis of time-series of the simulation output for selecting the warm-up period in discrete event system simulation.
In this method, a control chart is generated from a time-series of the simulation output. While determining the warm-up period length, transient phase could be considered to be “out of control” and steady-state phase could be considered to be “in-control”. In order to overcome some limitations for using this method such as non-normality and autocorrelation in the time-series, the data are batched (Robinson, 2007), (Robinson et al., n.d.). Because, independence and normality in the data are key assumptions and could be considered restrictions for the application of this method.
Although this method requires the calculation of the control chart parameters, it is very easy to implement. In addition, estimation of some parameters such as the mean, variance, the number of replications, the run-length and the batch size are required while implementing this method (Robinson et al., n.d.).
SPC method has the adventageous of simplicity and ease of implementation according to the comparison of methods based on some criteria that are used to discuss the strengths and weaknesses of the methods.
In this study, both of descriptions and applications of the methods to the illustrative problem are intertwined. According to Robinson (2007), there are four main steps for application of the method.

4.1. Perform multiple replications and collect output data

Firstly, time-series data need to be collected over a multiple replications and the number of replications should be larger than 5. According to the central limit theorem, when we perform multiple independent replications, the time-series data obtained from the output analsis of the simulation model tends towards normality. While determinig the length of each replication, at least 20 data points are collected in each replication, although the more data that can be collected the better.

Y_{ij} denote the observation from each replication, where i is the observation number and j is the replication number.
Sample means of each observation can be calculated as in the equation (1).

$$\bar{Y}_i = (\sum_{j=1}^{n} Y_{ij})/n \qquad (1)$$

where n is the number of replications.
After this calculation, vector y which represents a time-series of sample means, is formed as follows;

$$\bar{y} = (\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3, \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \bar{Y}_m) \qquad (2)$$

where m is the total number of observations in each replication.
In this paper, average hourly shipping rate of conceptual products that consist of different types is considered as a performance measure and the some parameters using in the simulation model such as run-length and the replication number are determined as 864000 seconds and 10 respectively. Thus, value of 240 performance measures will be obtained from the each replication. These performance measure values and sample means $\bar{y}$ are represented as in the Table 4.

Table 4. Output analysis results of the simulation model for the hourly shipping rate

Observation No	Rep1	Rep2	Rep3	Rep4	Rep5	Rep6	Rep7	Rep8	Rep9	Rep10	$\bar{y}$
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	14	14	12	16	12	13	18	8	17	13	13,7
3	37	39	31	30	38	38	37	29	47	26	35,2
4	24	32	34	24	16	28	26	33	26	33	27,6
5	37	27	31	36	36	34	32	31	14	32	31
6	25	18	35	18	38	21	11	25	9	32	23,2
7	13	13	26	13	10	20	16	22	10	20	16,3
8	12	13	15	9	22	10	11	12	19	21	14,4
9	19	19	10	8	7	7	12	9	11	14	11,6
10	13	13	13	13	11	11	8	12	8	12	11,4
.											
.											
.											
.											
.											
240	9	17	12	12	15	7	19	17	12	13	13,3

4.2. Testing the output data for meeting the key assumptions

Since the simulation output data are typically autocorrelated, the batch means method is used for dealing with this autocorrelation. If we combine the observations into batches, the batch means tend to towards uncorrelated while the batch size k increases. Von Neumann or Durbin-Watson tests can be used for correlation.
After combining the time series obtained from equation (2) into series of batches h, we can generate the batch means as follows;

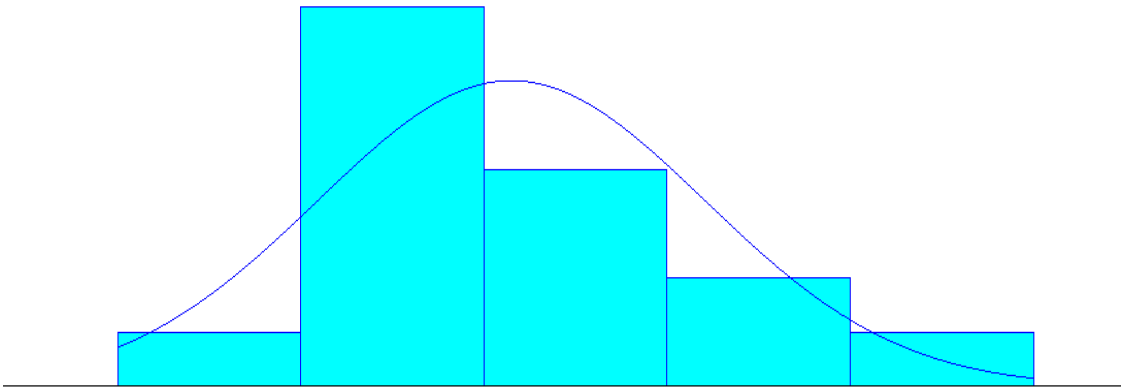
$$\bar{\bar{Y}}_h = \sum_{i=(h-1)k+1}^{hk} \bar{Y}_i \qquad \forall i, i = 1,2, \ldots\ldots, \lfloor m/k \rfloor \qquad (3)$$

After this calculation, vector that is consists of batch means is obtained as follows;

$$\bar{\bar{y}} = (\bar{\bar{Y}}_1, \bar{\bar{Y}}_2, \bar{\bar{Y}}_3, \ldots\ldots\ldots\ldots \bar{\bar{Y}}_b) \qquad (4)$$

where b is the number of batches and $m \geq bk$.
Selecting an appropriate batch size k is an important problem. The batch means should be tested for normality using some methods such as the chi-square test, Kolmogorov–Smirnov test and Anderson–Darling test at each value of k. It is important that as k increases the batch means tend towards normality. Thus, minimum value of k which meets the autocorrelation and normality assumptions should be found by testing the output data.

Number of batches should not falls below 20 during the autocorrelation and normality tests. If the number of batches falls below the 20, additional replications should be performed or simulation model should be run for longer run lengths.
In this study, the batch size (k) is increased until the assumptions are met. Because of both k=8 and k=10 meet these assumptions, the batch size of k=8 is used for chosing the SPC parameters. Kolmogorov–Smirnov test is used for testing the normality of the batch means via ARENA 10.0 input analyzer. According to figure 1, it can be said that batch means are distributed normally.



```
       Distribution Summary

Distribution:   Normal
Expression:     NORM(12.1, 0.343)
Square Error:   0.037084


Kolmogorov-Smirnov Test
  Test Statistic        = 0.153
  Corresponding p-value > 0.15

       Data Summary

Number of Data Points   = 15
Min Data Value          = 11.5
Max Data Value          = 12.9
Sample Mean             = 12.1
Sample Std Dev          = 0.355
```

Figure 1. Resuts of input analysis for normality

For testing the autocorrelation in the time-series which consists of batch means, Durbin-Watson test is used since the number of batches b≥15. In statistics, the Durbin–Watson test is used for determining the presence of autocorrelation in the prediction errors from a regression analysis. Test statistic is calculated as in the equation (5).

$$D = \sum_{i=2}^{n} (e_i - e_{i-1})^2 \;/\; \sum_{i=1}^{n} e_i^2 \qquad (5)$$

After the calculation of test statistic d, it is compared to lower and upper critical values dU and dL. In this study, after the performing Durbin-Watson test for autocorrelation, test statistic is obtained from a value of 1.719456. In this case, because of the value of test statistic is higher than the upper limit value, 1.070, provided from the Durbin-Watson significance tables, there is a statistical evidence that the error terms are not positively autocorrelated. In other words, test statistic d=1.719456 indicates no autocorrelation. It is note that, the number of regressors or number of predictors in the regression equation (it is represented as k in table 2) is specified as 2. While testing the autocorrelation and normality, second half of the data in the time-series are used since these data are also used for calculating the SPC parameters in step 4. Thus, both normality and autocorrelation tests are performed using the number of data b/2 or 30/2.
Therefore, the vector which represents the batch means can be obtained as follows;
$\bar{\bar{y}} = (20.175, 12.5, 11.6, 12.175, \ldots\ldots\ldots\ldots, 11.7625)$

4.3. Construction of the control chart

Before constructing the control chart for the batch means data, the population mean μ and the standard deviation σ of the batch means should be estimated using the second half of the time-series. Thus, it is assumed that the mean and standard deviation are stable in the second half of the time-series. Since the data in second half of the time-series are used, it is adviced that more than 20 data should be obtained from each replication.
Standart deviation of the batch means is calculated as in the equation (6);

$$\hat{\sigma} = \sqrt{1/\left\lfloor \frac{b}{2} \right\rfloor \cdot \sum_{h=b-\left\lfloor \frac{b}{2} \right\rfloor+1}^{b} S_h^2} \qquad (6)$$

where S_h^2 is the variance for each batch mean in $\bar{\bar{y}}$.
After the estimation procedure of SPC parameters, control limit values can be calculated as in the equation (7).

$$CL = \hat{\mu} \pm \frac{z\sigma}{\sqrt{\frac{b}{2}}} \quad \text{for } z = 1,2,3 \qquad (7)$$

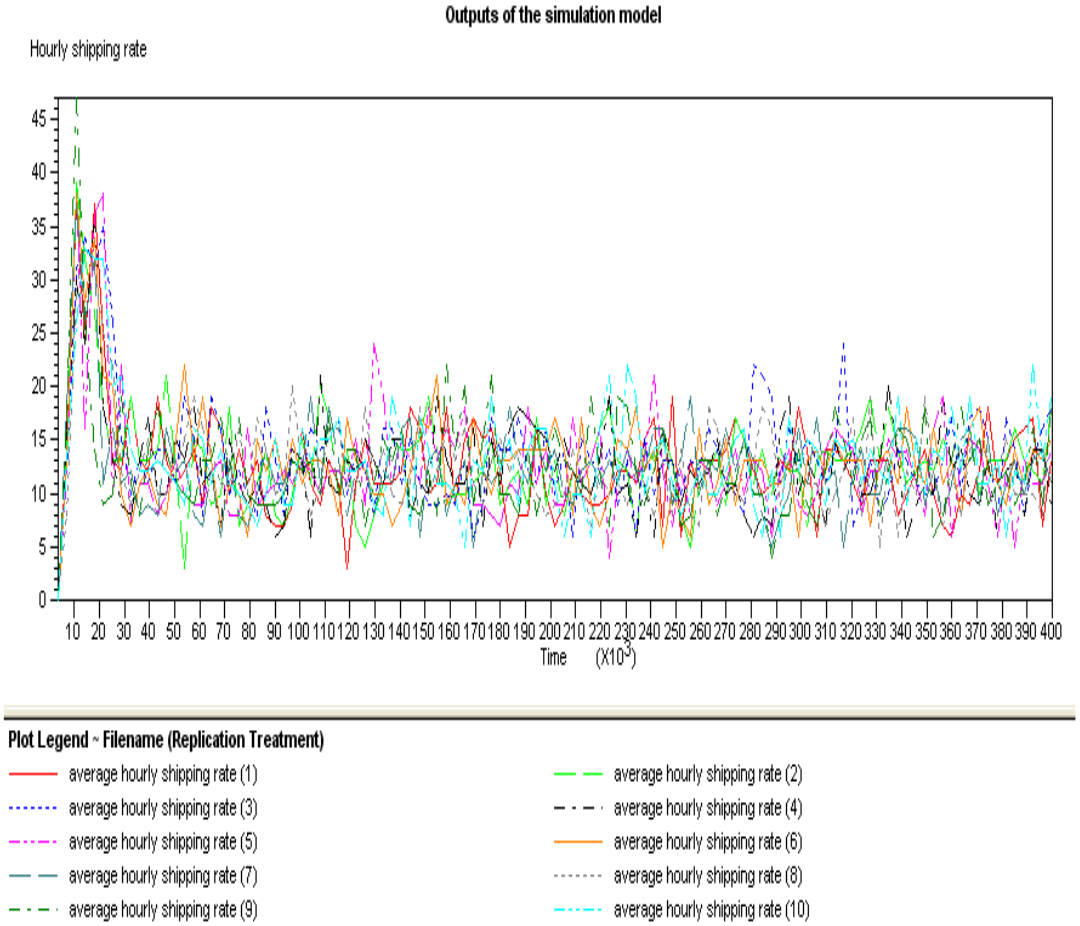


Figure 2. Output analyzer results of the storage system simulation model from ten replications for the hourly shipping rate

Figure 2 shows the time-series of the average hourly shipping rate belongs to the storage system. Ten replications are performed with the model, each of 240 hours duration. It is note that, since the simulation model starts with the arrival of 100 different types of conceptual product at time 0, it is expected that there will be a positive bias in the initial batch means. As seen in Figure 2, warm-up period length may be between 25000 and 35000 seconds.
The control chart depicted in Figure 3 shows the mean, control limits and the time-series data or batch means in $\bar{\bar{y}}$.

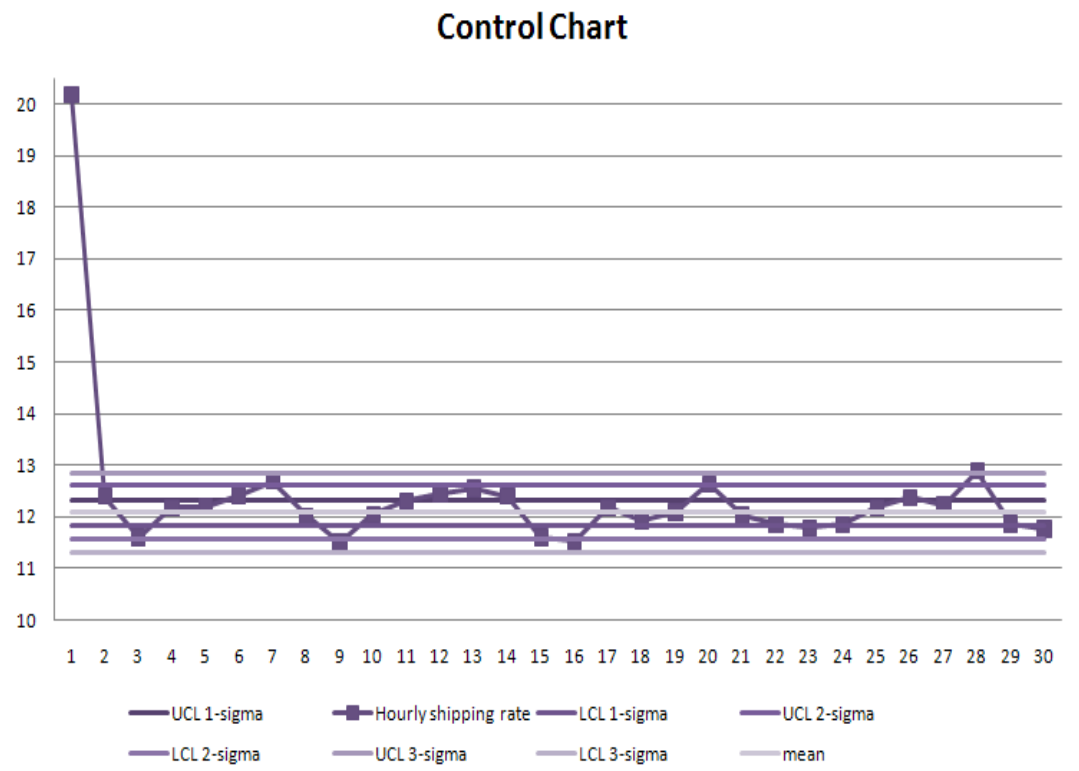


Figure 3. Batch means control chart for the storage system simulation model

4.4. Selecting the warm-up period

After the construction of control chart, warm-up period can be determined simply by specifying the batches which are out of control. Because, data in $\bar{\bar{y}}$ will be out of control during the initial transient. In other explanation, when the system reaches the steady state, the data in $\bar{\bar{y}}$ will be in control.

In Figure 3, since only the first batch is well above the upper 3-sigma control limit or first batch is out of control, the warm-up period of the storage system which consists 1 batch, that is, 28800 seconds or 8 hours is selected.

5. Determination of the warm-up period by Marginal Standard Error Rule (MSER)

White (1997) suggested an approach that finds a point **d** that displays the warm up period for the simulation study and ensures the initial bias is removed. This method is also known as Marginal Confidence Rule (MCR) and suggested by White (1997) with its easy of implementation and effectiveness in mitigating initialization bias. Reducing the sample size will cause loss of data and from another aspect, removing the initial bias will improve the accuracy of the simulation model, thus this method balances the point of accuracy and decreasing sensitivity (White, 1997).

White (1997) remarks this method as follows: "This rule minimizes the width of the marginal confidence interval about the sample mean of the reserved observations."

In the n observations made, initial observations that are far from the sample mean can be eliminated only if they have an important effect on the confidence interval computation. For the output series $\{Y_i: i=1, 2, \dots, n\}$, the optimal point **d** (d*) for the sequence is found by the equation (8) (Robinson et. al, n.d.).

$$d^* = \min\left[1/(n-d)^2 \sum_{i=d+1}^{n} (Y_i - \bar{Y}_{n-d})^2\right] \qquad (8)$$

White (1997) clarified the method such a way that in MCR, instead of selecting a warm-up period to decrease MSE, it is suggested to select a warm-up period that minimizes the width of the confidence interval about the excluded sample mean.

In the application, output data which obtained from the output analysis is evaluated with the MSER method. Results of the 10 replications from Table 4 are used in calculations. To decrease the impact of randomity, means

of the data of these ten replications are considered. Table 5 shows a step by step calculation of the corresponding method. The data in first 36000 seconds is displayed in Table 4.

Table 5. MSER calculations from an excel spreadsheet

No	Time	Average hourly shipping rate	d	$1/(n-d)^2$	$\overline{Y}_{n-d}$	$(Y_i-\overline{Y}_{n-d})^2$	$\Sigma(Y_i-\overline{Y}_{n-d})^2$	$[1/(n-d)^2*\Sigma(Y_i-\overline{Y}_{n-d})^2]$
1	3600	0	0					
2	7200	13,7	1	1,75E-05	12,44017	1,587178	1500,794	0,026273943
3	10800	35,2	2	1,77E-05	12,43487	518,251	1499,207	0,026467176
4	14400	27,6	3	1,78E-05	12,33882	232,9037	980,9558	0,017464362
5	18000	31	4	1,8E-05	12,27415	350,6574	748,0521	0,013430985
6	21600	23,2	5	1,81E-05	12,19447	121,1217	397,3948	0,007195921
7	25200	16,3	6	1,83E-05	12,14744	17,24379	276,273	0,00504553
8	28800	14,4	7	1,84E-05	12,12961	5,154654	259,0292	0,004771302
9	32400	11,6	8	1,86E-05	12,11983	0,270221	253,8746	0,004716754
10	36000	11,4	9	1,87E-05	12,12208	0,521397	253,6044	0,004752616

From Figure 2, one can say that the warm-up period is between 25000 and 35000 seconds, but we need exactly one point **d** as a boundary to remove previous data and this method gives that point. From the last column it can be seen that the minimum d value is found at the point of 32400 seconds. Removing data of the first 32400 seconds is required to eliminate the initial bias so the simulation study then gives a more realistic result.

6. Results and conclusion

Determination of warm-up period for a storage system simulation model focusing on material handling operations is examined in this study. The SPC method that based upon a statistical approach and the MSER method which is a heuristic approach are used then the warm-up period length is found as 28800 and 32400 seconds, respectively. Both of these methods are compared by the authors subjectively according to some qualitative criteria such as ease of implementation, parameter estimation etc.

SPC and MSER methods are both don't require much effort to use, however to implement MSER is slightly easier than SPC. It is easy to understand both of these methods. MSER has advantages over SPC in means of parameter estimation and assumptions.

It is obviously seen that, with the strengths and weaknesses of these methods, results that obtained from the methods are close to each other in the long run.

References

Banks J., Carson J.S., Nelson B.L. and Nicol D.M. (2001). Discrete-event System Simulation, 3rd ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

Conway, R.W. (1963). Some tactical problems in digital simulation. Management Science, 10: 47–61.

Fishman G. S. (1971). Estimating Sample Size in Computing Simulation Experiments. Management Science, 18: 21-38.

Fishman G.S. (1973). Concepts and Methods in Discrete Event Digital Simulation. Wiley, New York.

Gafarian A.V., Ancker C.J. and Morisaku T. (1978). Evaluation of Commonly Used Rules for Detecting 'Steady State' in Computer Simulation. Naval Research Logistics Quarterly, 25: 511-529.

Goldsman D., Schruben L.W. and Swain J.J. (1994). Tests for Transient Means in Simulated Time Series. Naval Research Logistics, 41: 171-187.

Gordon G. (1969). System Simulation. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.

Jackway P.T. and DeSilva B.M. (1992). A Methodology for Initialisation Bias Reduction in Computer Simulation Output. Asia-Pacific Journal of Operational Research, 9: 87-100.

Kelton W.D. and Law A.M. (1983). A New Approach for Dealing with the Startup Problem in Discrete Event Simulation. Naval Research Logistics Quarterly, 30: 641-658.

Nelson B.L. (1992). Statistical Analysis of Simulation Results. In Handbook of Industrial Engineering, 2nd ed. (Salvendy G., ed.). Wiley, New York: chapter 102.

Pawlikowski, K. (1990). Steady-state Simulation of Queueing Processes: A Survey of Problems and Solutions. Computing Surveys 22: 123-170.

Robinson, S., Ioannou, A. (n.d.). The Problem of the Initial Transient: Techniques for Estimating the Warm-up Period for Discrete-Event Simulation Models. www2.warwick.ac.uk/fac/soc/wbs/projects/autosimoa/warmupreviewsimulation.doc

Robinson S. (2002). A Statistical Process Control Approach for Estimating the Warm-up Period. Proceeding of the 2002 Winter Simulation Conference (Yücesan E., Chen C-H, Snowden J.L. and Charnes J.M., eds.). IEEE, Piscataway, NJ: 439-446.
Robinson S. (2004). Simulation: The Practice of Model Development and Use. Wiley, Chichester, UK.
Robinson S. (2007). A statistical process control approach to selecting a warm-up period for a discrete-event simulation. European Journal of Operational Research, 176: 332–346.
Schruben L.W. (1982). Detecting Initialization Bias in Simulation Output. Operations Research, 30: 569-590.
Schruben L., Singh H. and Tierney L. (1983). Optimal Tests for Initialization Bias in Simulation Output. Operations Research, 31: 1167-1178.
Vassilacopoulos G. (1989). Testing for Initialization Bias in Simulation Output. Simulation, 52: 151-153.
Welch P.D. (1983). The Statistical Analysis of Simulation Results. In The Computer Performance Modeling Handbook (Lavenberg S., ed.). Academic Press, New York: 268-328.
White, K.P., Jr. (1997). An Effective Truncation Heuristic for Bias Reduction in Simulation Output. Simulation, 69: 323-334.
White K.P., Cobb M.J. and Spratt S.C. (2000). A Comparison of Five Steady-State Truncation Heuristics for Simulation. Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference (Joines J.A., Barton R.R., Kang K. and Fishwick P.A., eds.). IEEE, Piscataway, NJ: 755-760.
Yücesan E. (1993). Randomization Tests for Initialization Bias in Simulation Output. Naval Research Logistics, 40: 643-663.

A Medium Term Planning Model for a Lead/Acid Battery Closed-Loop Supply Chain

Kemal Subulan, A. Serdar Taşan
Dokuz Eylul University, Dept. of Industrial Engineering

Nowadays, there has been a growing interest in reverse logistics, recycling, remanufacturing and reusing due to the environmental, economical issues and legal obligations. Since more than 97 percent of all battery lead is recyclable, reverse logistics activities for battery recycling has become an important issue in the closed-loop supply chains. In this study, a mixed integer programming model for medium-term planning of a lead/acid battery recycling system, which includes both forward and reverse flows, is proposed. In the model, two options for production of batteries is considered: (1) production directly in battery manufacturers, (2) production of batteries using recycled materials in the recycling plant. Proposed model attempts to optimize all of the consecutive stages in the closed-loop battery supply chain. Aim of this study is to develop a general medium-term planning model for a battery recycling network which includes battery manufacturers, regional wholesaler, licensed recycling facility and customer zone. In other words, this paper focuses primarily on integrating recycling options into medium term planning of a battery industry. Based on costs and environmental impact, optimization of closed-loop supply chain in battery industry is intended. Solving the mixed integer programming model by LINGO 9.0 software yields the weekly production quantities, the inventory levels including backorders and the transportation quantities between the stages of the network in each time period of the planning horizon.

Keywords: Closed-loop supply chains, Mixed integer programming, Recycling, Reverse logistics.

1. Introduction

Due to the growth in the amount of automotive vehicles, trucks, motorcycles on roads as well as boats, marine crafts and in several industrial applications has caused an increase of the demand for lead / acid batteries. Nowadays, along with these demand increments and some obstacles encountered in Turkey such as the lack of producing pure lead economically from the primary sources, prohibition on import of scrap batteries has made reverse logistics activities much more interested issue for battery recycling. As a result of the large part of industrial lead requirements are met through imports with highly purchasing costs instead of producing pure lead from the primary sources has forced the battery manufacturers to produce lead by using secondary sources and to build-up an efficient spent battery collection and recovery systems.

In addition, lead/acid battery recovery networks have an environmental success story because of more than 97 percent of all battery lead can be recycled. This rate is quite high compared to 55% of aluminum soft drink and beer cans, 45% of newspapers, 26% of glass bottles and 26% of tires. Also, the recyclable components such as lead and plastics can be recycled so many times [1].

Besides all of them, If we look at the environmental aspects, spent lead/acid batteries consist of lead, lead compounds, and sulphuric acid, all of which are very toxic metal and hazardous. Spent lead-acid batteries are classified as hazardous waste under the Hazardous Waste Act 1989 and should not be disposed of in normal garbage. Lead is a cumulative poison in human's body and is also harmful to the environment, particularly fish, animals and plants. The electrolyte in batteries is corrosive and can cause loss of eyesight if the battery explodes. Moreover, the plastic parts such as polypropylene casing (box) is not biodegradable and it is appropriate to recycle it. Therefore, spent batteries should be recycled into new ones made from the lead, sulphuric acid and polypropylene since using less energy than refining primary ore and removes lead from the environment [2-3-4].

In this paper, a mixed integer mathematical model for the medium-term planning of a lead/acid battery recovery system, which includes both forward and reverse flows, is proposed. In the model, both forward and reverse flows and their mutual interactions are considered simultaneously as an integrated model because of the environmental and cost perspectives mentioned above.

Proposed model attempts to optimize all of the consecutive stages in the closed-loop lead/acid battery supply chain. Thus, we may explain the main objective of medium term planning as follows; minimize the total costs in closed-loop supply chain that involve production costs, inventory carrying costs, transportation costs, tardiness costs and the non-delivery costs.

In the model, the sequence dependency of setup times and setup costs are ignored but all the other costs above are take into consideration. Because, as mentioned in [5], the sequence dependency of setups is difficult to incorporate in an integer programming formulation and can increase the complexity of the formulation significantly.

The proposed model determines production quantities of manufactured batteries in each battery manufacturer, transportation quantities between different stages in the supply chain that also takes into account the both manufactured, recycled batteries. We dealt with disassembly/reclaiming for a certain fraction of the collected battries from the retailers, auto parts stores or service outlets that were appropriate for recovery and disposal costs for the remaining fraction of the collected batteries with licensed carriers.

There are non-linear constraints in the proposed model, in order to obtain a mixed integer linear programming solution, we transformed these non-linear constraints into linear form using additional binary variables.
Aim of this study is to develop a general medium-term planning model for a battery recovery network which includes battery manufacturers, regional wholesalers, licensed recycling facilities and retailers or service outlets.
The rest of this paper is organized as follows. In section 2, the relevant literature on closed loop supply chains and medium-term planning process are reviewed. In section 3, details of the problem with the model formulation, assumptions and model parameters are described. Then in section 4, application of the proposed model to an illustrative example is discussed. In section 5 and 6 computational results, conclusion and suggestions for future research are given respectively.

2. Literature review

Closed loop supply chains has becoming an important issue for both researchers and practitioners nowadays because of increasing environmental concerns and strict regulations laid by the governments. Closed loop supply chains involves not only the forward flow of raw materials/goods from suppliers to manufacturers and then to customers but also the reverse flows of the materials/goods from the end users to the manufacturers or related facilities.

Closed-loop supply chains cover traditional forward supply chain activities with the additional activities related to the reverse flows. These activities can be explained as follows [6];

- product acquisition to obtain the products from the end-users,
- reverse logistics to move the products from the points of use to a point(s) of disposition,
- testing, sorting, and disposition to determine the product's condition and the most economically attractive reuse option,
- refurbishing to enable the most economically attractive of the options: direct reuse, repair, remanufacture, recycle or disposal.

As mentioned above, reverse logistics activities have been included as an important issue in closed loop supply chain operations. Reverse logistics is defined by the European Working Group on Reverse Logistics (REVLOG) as the proposal of planning, implementing and controlling flows of raw materials, in process inventory and finished goods, from the point of use back to the point of recovery or point of proper disposal [7].
Effective and efficient reverse logistics activities can increase companies' customer service levels while reducing their costs. The environmental side of reverse logistic activities enforce company to gain new customers with environment consciousness. In addition, effective management of reverse logistics and recovery activities provide important cost savings in acquisition, production, disposal, inventory and transportation.
In reverse logistics, how to integrate the forward and reverse channels is an important decision making point. In order to design an efficient reverse logistics channel, firms must determine which elements and functions should exist in logistics network and where these elements and functions should be actualized, how relations between forward and reverse channels should come about [8].
Sasikumar et al. [9] formulated a mixed integer nonlinear programming model for maximizing the profit of a multi-echelon, multi-period reverse logistics network with a real life case of truck tire remanufacturing. At the end of the study, it is emphasized that although the remanufactured tires are sold with %30 to %50 discounts, profit improvements can be obtained both for customers and remanufactured companies.
Kannan et al. [10] developed a multi-echelon, multi-product, multi-product, closed loop supply chain network model for real life case of battery recycling and provided decisions about material procurement, production distribution, recycling and disposal with the genetic algorithm based heuristics as a solution methodology.
Uncertainty associated with the amounts of customers' demand and accordingly return rate are a major problem in both closed loop supply chains and reverse logistics chains. Salema et al. [11] employed a scenario-based approach to model these uncertainty conditions and added new model characteristics to the generic recovery network model proposed by [12] such as capacity limits, multi-product management and uncertainty on product demands and returns.
Zhang and Liu [13] formulated a mixed integer programming model for capacitated production planning problem with remanufacturing option. In the study, demand must be satisfied by capacitated production, remanufacturing and inventory from previous periods. Production and remanufacturing setup costs are considered all time varying and start-up costs also included in the first period of the manufacture/remanufacture operations. At the end of the study, proposed genetic algorithm heuristics approach is compared with the branch and bound method for testing the algorithm's efficiency.
Kreipl and Pinedo [5] developed a mixed integer nonlinear programming model for multi-stage medium term planning process of traditional forward supply chains whose outputs are used as inputs in the short term scheduling process.

A medium term production planning model tries to optimize several consecutive stages in a supply chain. This general model also is designed to allocate the production of the different products to the various manufacturers in each time period, while taking into account inventory holding costs and transportation costs. It can be explained that the main objectives of medium term planning as follows; minimize the total costs in a supply chain that involve inventory carrying costs, transportation costs, tardiness costs and the major setup costs [14].

In this paper, a mixed integer nonlinear programming model is developed for a lead/acid battery closed loop supply chain considering recovery option such as remanufacturing based on [5-14] the medium term planning models for traditional forward supply chains.

3. Problem description

In the forward supply chain part of this study, the new batteries that are produced in different battery manufacturers or remanufactured batteries in licensed recycling facilities are transported to the regional wholesalers which undertake the distribution of these batteries to the retailers or automotive service outlets. Therefore, customers' demand can be satisfied by two alternative ways: (1) new battery production directly in the different manufacturers and (2) according to the state of the battery, remanufacturing option is available for spent batteries.

As with other product recovery network models, spent battery are collected from the end users at its end of life while the end user replace it by a new one in retailer or automotive service outlet. Thus, we can refer the retailer as an initial collection point for spent batteries. When a spent battery is collected, it is sent to a permitted licensed recycler. At this recycling facility, returned batteries are inspected for quality specifications and sorted for recycling. If a spent battery receives a class of recyclable, the battery is distinguished into lead and plastic parts that are reclaimed and used for production of new one. Finally, the recycled batteries are transported to the regional wholesalers from the licensed recycling facility to meet the customers' demand.

The recovery system discussed above can be conceptualized into a framework as shown in Figure 1. Consider four stages in series. The first and most upstream stage (Stage 1) has battery manufacturers in parallel. They both feed stage 2, which consists of regional wholesalers. From the stage 2, batteries can be delivered to the retailers which placed in stage 4 and the returned batteries sent to a permitted recycler which is in stage 3.

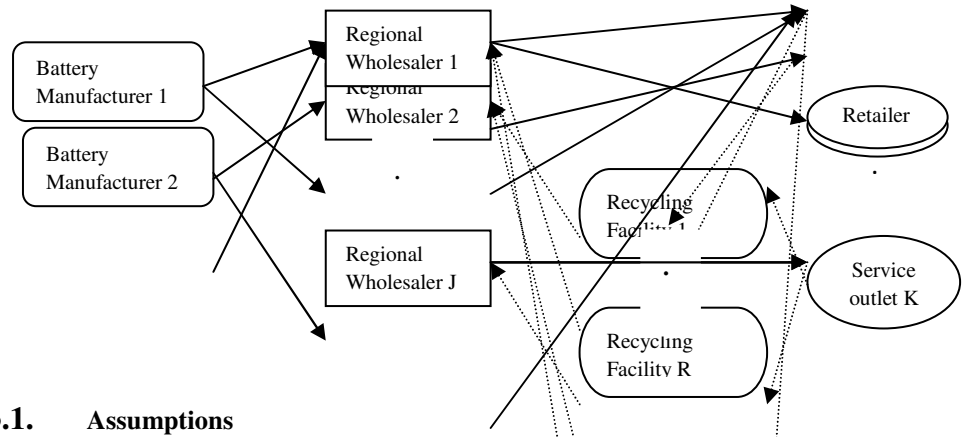


Figure 1: A logistic network including forward and reverse flows for lead/acid battery recovery system

3.1. Assumptions

ch retailer are

- Shortages are allowable for both regional wholesalers' demands and retailers'. Tardiness costs or penalty costs for non-delivering at the end of the planning horizon are incurred in case of any shortage.
- The spent batteries can be transported to the licensed recycling facilities directly from the retailer through licensed carriers. (Multiple sourcing)
- The battery manufacturers have no stock space for finished goods storage.
- The retailers do not want to receive any early deliveries.
- Battery shipments can be made from regional wholesalers to any given retailer.
- It is assumed that there are no quality differences between newly produced batteries and recycled batteries.
- Cost parameters at all stages of the closed loop supply chain network do not change throughout the planning period.

- The transportation cost for one unit of battery type per mile from each manufacturer to all wholesalers, from each wholesaler to all retailers, from each retailer to the given recycling facility, from the recycling facilities to all regional wholesalers remains fixed over the planning periods.
- All transportation times between the stages are assumed to be identical and equal to 1 week. For instance, if a certain amount of newly produced batteries are shipped in week t from the manufacturer i to the regional distributor j, then they leave the manufacturer i in week t and arrive at the destination in week t+1.
- The spent batteries that are not in appropriate condition for remanufacturing process will be disposed after the inspection and sorting.
- Only the regional wholesalers can hold the inventory of both manufactured and recycled batteries. Thus, weekly holding or storage costs are incurred at regional wholesalers.
- The amount of collected spent batteries from a retailer in week t is the fraction of the demand that is met by the regional wholesalers in week t.
- All recycling operations are made at the licensed recycling facility. After these operations, recycled batteries are transported to the regional wholesalers to meet the retailers' demands.

3.2. Indices and sets

i refers to the battery manufacturers; $i \in I$
j refers to the regional wholesalers; $j \in J$
k refers to the retailers or automobile service outlets; $k \in K$
r refers to the licensed recycling facilities; $r \in R$
p refers to the battery type $p \in P$ (Two major product families; starter type and Industrial type)
t refers to time period, week $t \in T$

3.3. Model parameters

DW_{pjt} weekly demand for battery type p at the regional wholesaler j by the end of week t
DR_{pkt} weekly demand for battery type p at the retailer or automobile service outlet k by the end of week t
S_p returned rate of p-type spent batteries that is collected from retailers or service outlets at the end of any given week
R_p rate of returned battery type p that is in appropriate condition for remanufacture process
C_{pi} production cost per unit of battery type p in manufacturer i
P_{pi} required time (hours) to produce one unit of battery type p in manufacturer i. The P_{pi} is just an estimate of the average time required to produce one unit since it combines processing times with set-up times [5]
DC_{pr} disposal cost per unit of battery type p at the licensed recycling facility r
RC_{pr} disassembly/reclaiming cost for per unit of recyclable p-type spent battery at the licensed recycling facility r
TC_p transportation cost for one unit of battery type p per mile
H_p weekly holding or storage cost in any regional wholesaler for one unit of battery type p
CAP_{pr} maximum remanufacturing and recycling capacity of battery type p in licensed recycling facility r (same in each time period)
PE_p the tardiness cost per unit of battery per week for an order of battery type p that arrive late at each regional wholesaler
PJ_p the tardiness cost per unit of battery per week for an order of battery type p that arrive late at each retailer or service outlet
ND_p the penalty cost for never delivering one unit of p-type battery to each retailer and to the each regional wholesaler at the end of the planning horizon
UB_{pi} upper bounds on quantities of battery type p to be shipped from the manufacturer i to the each regional wholesaler throughout the planning horizon
$d1_{ij}$ the distance between battery manufacturer i and the regional wholesaler j
$d2_{jk}$ the distance between regional wholesaler j and the retailer k
$d3_{kr}$ the distance between retailer k and the licensed recycling facility r
$d4_{rj}$ the distance between licensed recycling facility r and the regional wholesaler j

3.4. Decision variables

In order to formulate the problem as a mixed integer program the following decision variables have to be defined;

X_{pit} number of units of battery type p produced at manufacturer i during week t

Y_{pijt} number of units of battery type p shipped to the regional wholesaler j from the manufacturer i in week t
Z_{pjkt} quantity of battery type p shipped to the retailer k from the regional wholesaler j in week t
Q_{pj0} quantity of battery type p being held at the regional wholesaler j at time 0
Q_{pjt} quantity of battery type p in storage at the regional wholesaler j at the end of week t
V_{pkrt} quantity of battery type p shipped to the recycling facility r from the retailer k in week t
W_{prjt} quantity of battery type p shipped to the regional wholesaler j from the recycling facility r in week t
T_{pjt} quantity of battery type p that are tardy (have not yet arrived) at the regional wholesaler j in week t
B_{pkt} quantity of battery type p that is tardy at the retailer k by the end of week t

3.5. Mathematical formulation

By using the indices and parameters above, the objective function of the multi-echelon, multi product and multi-period medium-term planning model which considers recovery option such as recycling is given by the following equation:

Minimize the total cost of closed loop supply chain that consists of;

1. Production costs;

$$\sum_{p=1}^{P}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} C_{pi} . X_{pit} \qquad (1)$$

2. Total transportation costs between the several stages;

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} d1_{ij} . Y_{pijt} . TC_p + \sum_{p=1}^{P}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} d2_{jk} . Z_{pjkt} . TC_p$$

$$+ \sum_{p=1}^{P}\sum_{k=1}^{K}\sum_{r=1}^{R}\sum_{t=1}^{T} d3_{kr} . V_{pkrt} . TC_p + \sum_{p=1}^{P}\sum_{r=1}^{R}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} d4_{rj} . W_{prjt} . TC_p \qquad (2)$$

3. Total disassembly/reclaiming costs;

$$\sum_{p=1}^{P}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{r=1}^{R}\sum_{t=1}^{T} Z_{pjkt} . S_p . R_p . RC_{pr} \qquad (3)$$

4. Total disposal costs for the both un-recyclable batteries;

$$\sum_{p=1}^{P}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{r=1}^{R}\sum_{t=1}^{T} Z_{pjkt} . S_p . (1 - R_p) . DC_{pr} \qquad (4)$$

5. Total inventory holding costs at the regional wholesalers;

$$\sum_{p=1}^{P}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} Q_{pjt} . H_p \qquad (5)$$

6. Total tardiness costs for the regional wholesalers;

$$\sum_{p=1}^{P}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} PE_p . T_{pjt} \qquad (6)$$

7. Total tardiness costs for the retailers or service outlets;

$$\sum_{p=1}^{P}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} PJ_p \cdot B_{pkt} \qquad (7)$$

8. Total penalty costs for non-delivery batteries over a horizon of 8 weeks;

$$\sum_{p=1}^{P}\sum_{j=1}^{J} ND_p \cdot T_{pjs} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{k=1}^{K} ND_p \cdot B_{pks} \qquad (8)$$

Constraints included in this medium-term planning model considering reverse flows are expressed by equations 9 to 24,

$$\sum_{p=1}^{P} P_{pi} \cdot X_{pit} \leq 168 \qquad \forall i, \forall t \qquad (9)$$

Constraint (9) assures that each battery manufacturer can produce the battery type both 1 and 2 in the maximum available operating time of that period. In this constraint, it is assumed that the battery manufacturers work around the clock. Therefore, the weekly production capacity can be expressed in 24 x 7=168 hours.

$$\sum_{k=1}^{K} V_{pkrt} \leq CAP_{pr} \qquad \forall p, \forall r, \forall t \qquad (10)$$

Constraint (10) ensures that the total volume of returned p-type batteries from the retailers can't exceed the maximum capacity related to this type at each licensed recycling facility.

$$X_{pit} = \sum_{j=1}^{J} Y_{pijt} \qquad \forall p, \forall i, \forall t \qquad (11)$$

Constraint (11) is the conservation of flow constraint or balanced equation for each battery manufacturer. In other words, with the constraint (11), the incoming flow will be equal to the outgoing flow at each battery manufacturer.

$$\sum_{j=1}^{J} Z_{pjkt} \leq DR_{pkt+1} + B_{pkt} \qquad \forall p, \forall k, \forall t \qquad (12)$$

According to constraint (12) all amount of demands related to a retailer for each type of battery in each time period may not be satisfied. In other words, there is a possibility of tardy batteries. Also, this constraint forces to satisfy the remaining tardy batteries from the previous period.

$$\sum_{r=1}^{R} V_{pkrt} = \sum_{j=1}^{J} Z_{pjkt-1} \cdot S_p \qquad \forall p, \forall k, \forall t \qquad (13)$$

Constraint (13) is the conservation of flow constraint for balancing the quantities of returned batteries. In this case, constraint (13) makes the incoming flow equal to the outgoing flow at a retailer.

$$\sum_{j=1}^{J} W_{prjt} = \sum_{k=1}^{K} V_{pkrt-1} \cdot (R_p) \qquad \forall p, \forall r, \forall t \qquad (14)$$

Constraint (14) is a balanced equation for the licensed recycling facilities.

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} Y_{pijt} \leq U_{pi} \qquad \forall p, \forall i \qquad (15)$$

Constraint (15) refers to the transportation capacity constraint. In fact, this constraints also indicate that the production capacity (number of units manufactured) of each manufacturer is at most upper bound over the planning horizon.

$$\sum_{k=1}^{K} Z_{pjk1} \leq \max(0, Q_{pj0}) \qquad \forall p, \forall j \qquad (16)$$

Constraint (16) ensures that the amount of p-type battery shipped to the retailers in week 1 can't exceed the initial storage level at the beginning of the planning horizon.

$$\sum_{k=1}^{K} Z_{pjkt} \leq Q_{pjt-1} + \sum_{i=1}^{I} Y_{pijt-1} + \sum_{r=1}^{R} W_{prjt-1} \qquad \forall p, \forall j \text{ and } t = 2, \ldots\ldots, T \qquad (17)$$

Constraint (16) can be extended for the other planning periods as in the equation (17). Thus, in week t, the total volume of shipped batteries to the retailers from the each wholesaler can't exceed the previous period inventory level and the amount of both manufactured batteries and recycled batteries in week t-1.

$$Q_{pj1} = \max\left(0, Q_{pj0} - DW_{pj1} - \sum_{k=1}^{K} Z_{pjk1}\right) \quad \forall p, \forall j \qquad (18)$$

$$Q_{pjt} = \max\left(0, Q_{pjt-1} + \sum_{i=1}^{I} Y_{pijt-1} + \sum_{r=1}^{R} W_{prjt-1} - DW_{pjt} - \sum_{k=1}^{K} Z_{pjkt} - T_{pjt-1}\right) \qquad (19)$$

$\forall p, \forall j \text{ and } t = 2, \ldots\ldots T$

Constraint (18) and (19) are storage constraints for each regional wholesaler. Inventory holding level can be calculated according to equation (18) and (19) for each time period. Thus, in week 1, demand of that week and the outgoing flows from the wholesaler must be subtracted from the initial storage level at the beginning of planning horizon. Similar to the equation (18), incoming flows to the wholesaler must be added to the previous period inventory level and outgoing flows must be subtracted while calculating the storage level in week t.

$$T_{pj1} = \max(0, DW_{pj1} - Q_{pj0}) \qquad \forall p, \forall j \qquad (20)$$

$$T_{pjt} = \max(0, DW_{pjt} + T_{pjt-1} + \sum_{k=1}^{K} Z_{pjkt} - Q_{pjt-1} - \sum_{i=1}^{I} Y_{pijt-1} - \sum_{r=1}^{R} W_{prjt-1}) \qquad (21)$$

$\forall p, \forall j \text{ and } t = 2, \ldots\ldots T$

In equation (20) and (21), constraints regarding number of batteries tardy in each time period and number of batteries not delivered for each regional wholesaler at the end of the planning horizon are examined.

$$T_{pk1} = \max(0, D_{pk1}) \qquad \forall p, \forall k \qquad (22)$$

$$T_{pkt} = \max\left(0, DR_{pkt} + B_{pkt-1} - \sum_{j=1}^{J} Z_{pjkt-1}\right) \qquad \forall p, \forall k \text{ and } t = 2, \ldots\ldots T \qquad (23)$$

Similar to the constraints (20) and (21), in equation (22) and (23), constraints regarding number of batteries tardy in each time period and number of batteries not delivered for each retailer or automotive service outlet at the end of the planning horizon are examined.

$X_{pit}, Y_{pijt}, Z_{pjkt}, V_{pkrt}, W_{prjt} \geq 0$ and integers.

All other variables are continuous. (24)

Constraint (24) maintains the non-negativity of decision variables. Transportation and production variables should take integer values.
Moreover, note that those constraints in which a variable is equal to the max of an expression and 0 are nonlinear. Since the negative values taken by the related decision variables are not desired, these constraints are required for control. In order to ensure that the given variable remains nonnegative, an additional binary variable has to be introduced. For expressing non-linear implications by linear constraints, we must introduce an additional binary variable for each non-linear constraint in the solution phase.

4. Application of the proposed model to an illustrative example

The proposed model is illustrated through a basic example in this section. The following data are used for validating the multi-echelon, multi product, multi period medium-term planning model of the closed loop supply chain:

- Number of battery manufacturers = 2
- Number of regional wholesalers = 1
- Number of retailers or automotive service outlets = 1
- Number of licensed recycling facilities = 1
- Number of time periods (in weeks) = 8
- The storage cost H for a unit of any type of battery at the regional wholesaler is $3 per unit per week.
- Disassembly capacities of battery type 1 and 2 in licensed recycling facility for each week are 200, 250 units respectively.
- The tardiness costs per unit of battery type 1 and 2 that arrive late at the regional are $15 and $10 respectively.
- The tardiness costs per unit of battery type 1 and 2 that arrive late at the retailer or automotive service outlet are 20 and 18 respectively.
- The penalty costs for never delivering one unit of battery type 1 and 2 to the retailer and to the regional wholesaler at the end of the planning horizon (At the end of week 8) are 250 and 200 respectively.
- The distances between battery manufacturers 1, 2 and the regional wholesaler are 10, 8 miles respectively.
- The distance between regional wholesaler and the retailer is 15 miles.
- The distances between retailer and the licensed recycling facility, the licensed recycling facility and the regional wholesaler are 10, 8 miles respectively.
- Assuming the boundary conditions are $B_{pk0}=0$, $T_{pj0}=0$, $Q_{1j0}=100$ and $Q_{2j0}=100$ (Initial tardy batteries and starting inventory levels).

All other parameters are presented in tables 1, 2 and 3.

Table 1. Product Information

Battery Type	**Transportation Costs (per unit)**	**Disassembly / Reclaiming Costs (per unit)**	**Disposal Costs (per unit)**	**Return Rates**	**Acceptio n Rates**
Industrial Type	$0.5	$25	$10	0.6	0.8
Starter Type	$0.3	$20	$8	0.8	0.9

Table 2. Manufacturers and product type information

Manufacturers	**Production Costs** (per unit)		**Production Times** (hours)		**Transportation Upper Bounds** (units)	
	Industria l	**Starter**	**Industrial**	**Starter**	**Industrial**	**Starter**

Manufacturer 1	$40	$30	0,4 h	0,5 h	200	250
Manufacturer 2	$35	$20	0.35 h	0.4 h	200	300

The demand forecasts belong to the regional wholesaler and the retailer for these two different types of batteries are presented in the table below.

Table 3. Weekly demand forecasts over the planning horizon

	W 1	**W 2**	**W 3**	**W 4**	**W 5**	**W 6**	**W 7**	**W 8**
$\mathbf{D_{1jt}}$	100	150	120	110	100	160	200	210
$\mathbf{D_{2jt}}$	250	300	280	320	250	300	350	330
$\mathbf{D_{1kt}}$	80	120	120	100	110	150	180	210
$\mathbf{D_{2kt}}$	250	300	250	300	250	200	280	300

5. Computational results

Running the model with these data for an hour through a mixed integer programming solver (LINGO 9.0) results a feasible solution. Production and transportation decisions are given in table 4 with the total cost of $387766.8.

Table 4. Production and transportation quantities

Week	Production level in Battery Manufacturer 1		Production level in Battery Manufacturer 2		Transportation Quantities from Wholesaler to retailer		Transportation quantities from recycling facility to wholesaler	
	Battery type		Battery type		Battery type		Battery type	
	1	2	1	2	1	2	1	2
1	131	231	137	300	100	100	-	-
2	110	248	137	300	200	300	-	-
3	106	250	136	300	100	300	48	72
4	17	250	137	300	125	300	96	216
5	37	116	137	300	150	300	48	216
6	6	-	137	291	75	300	60	216
7	-	6	137	262	-	310	72	216
8	-	-	-	-	-	-	36	216

6. Conclusions

Due to the environmental, governmental and economic factors mentioned above previously, battery manufacturing firms should emphasis on the utilization of closed-loop supply chain planning model which considers the battery recovery businesses and integrate the forward supply chain with the reverse supply chain while preparing their medium-term planning activities. In this case, the complexity of the planning model will be increased due to the additional reverse flows.

In this study, a closed-loop mixed integer non-linear programming model was developed to determine the production levels for each type of battery in each battery manufacturer, distribution and inventory levels for each type of product in each regional wholesaler, the level of tardy and number of batteries not delivered in each time period, disposal level and remanufacturing level at different licensed recycling facilities with the objective of minimizing the total closed-loop supply chain costs.

The model is solved by the standard branch and bound technique using the mixed integer programming solver LINGO 9.0. Also, all of the non-linear constraints are transformed into linear form in the solution phase.

Since the proposed model was considered for single objective, in future, the multi-objective model which approaches the problem with the environmental aspect may be considered. In addition, the probabilistic demand and return pattern with the scenario based approach may be considered in the future study.

References

[1] http://www.batterycouncil.org
[2] http://www.recyclingnearyou.com
[3] http://practicalaction.org
[4] http://www.brighthub.com
[5] Kreipl S., Pinedo M., (2004). "Planning and Scheduling in Supply Chains: An Overview of Issues in Practice", Production and operations management (13), 77-92.
[6] Guide Jr.V.D.R, Harrison T.P., Wassenhove L.N.V (2003). "The Challenge of Closed-Loop Supply Chains", Interfaces (33/6), 3–6.
[7] Gen, M. & Cheng, R. (2000). Genetic algorithms & engineering optimization, Wiley: New York.
[8] Fleischmann M., Krikke HR., Dekker R., Flapper SDP., (1999). Logistics network redesign for product recovery and reuse. Management Report Series (17), Erasmus Univ, Rotterdam, Netherlands.
[9] P. Sasikumar, Govindan Kannan, A.Noorul Haq (2010), "A multi-echelon reverse logistics network design for product recovery – a case of truck tire remanufacturing", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (49), 1223-1234.
[10] G. Kannan, P.Sasikumar, K.Devika (2010), "A genetic algorithm approach for solving a closed loop supply chain model: A case of battery recycling", Applied Mathematical Modeling (34), 655-670.
[11] M.I.G. Salema, A.P.B. Povoa, A.Q. Novais (2007), "An optimization model for design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty", European Journal of Operations Research (179), 1063-1077.
[12] Fleischmann, M. et al., 2001. "The impact of product recovery on logistics network design". Production and Operations Management (10), 156–173.
[13] Zhang j.,Liu X., (2010). "A Capacitated Production Planning Problem for
Closed-Loop Supply Chain", LNCS 6146, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 243-251.
[14] Pinedo M., (2005). Planning and Scheduling in Manufacturing and Services, Springer Series in Operations Research and Financial Engineering, Springer.

Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri İle Otobüs Terminal Konumunun Belirlenmesi: Denizli Örneği

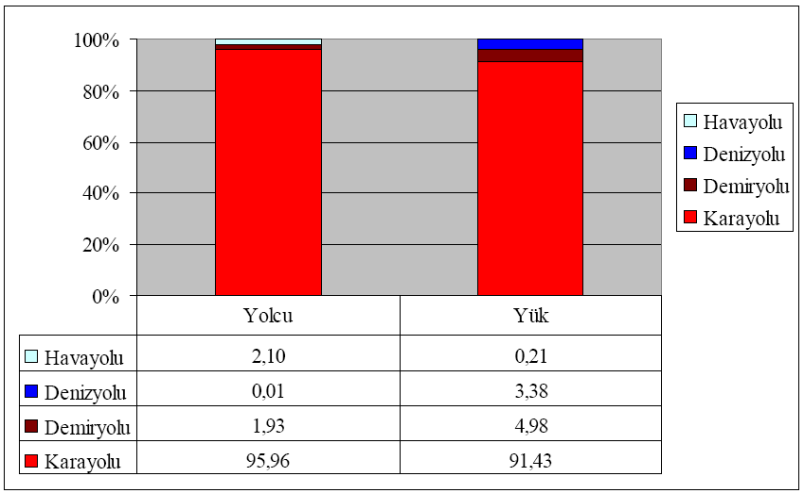
Leyla Özgür, Durcan Özgün İşli, Aşkıner Güngör*

Pamukkale Üniversitesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kınıklı Kampüsü, 20070 Denizli
Tel: +90 258 296 {2094, 2965, 3141}
Fax: +90 258 296 {2325, 2325, 3262}
E-posta: {lozgur,oisli,askiner}@pau.edu.tr

ÖZET
Ülkemizde yolcu ve yük taşımacılığında, demiryolu ve havayolu işletmeciliği gelişse de, karayolu taşımacılığının payı diğer taşımacılık yöntemleriyle kıyaslandığında oldukça yüksektir. Özellikle yolcu taşımacılığında otobüs işletmeleri en büyük paya sahiptir. Otobüsle yapılan taşımacılık işlemlerinde birçok karar probleminin çözüme kavuşturulması gerekmekte ve bunların başında da otobüs terminallerin konumlarının belirlenmesi gelmektedir. Bu çalışmada otobüs terminali yer seçimi, çok kriterli bir karar problemi olarak ele alınarak modellenmiş ve Denizli ili için uygulanmıştır. Bu amaçla çok kriterli karar verme tekniklerinden AHP ve TOPSİS kullanılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Otobüs terminali yer seçimi, Çok kriterli karar verme, AHP, TOPSİS.

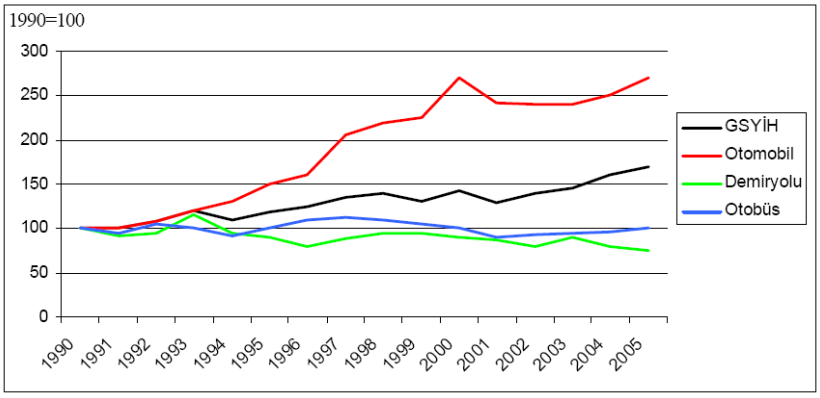
1. Giriş

Türkiye'de yolcu ve yük taşımacılığında karayollarının payı diğer ulaştırma türleri ile karşılaştırıldığında, karayollarının ulaştırma sektörü içinde ne denli önemli bir paya sahip olduğu net bir biçimde ortaya çıkmaktadır. Yıllar itibariyle yolcu ve yük taşımacılığında en büyük paya sahip olan karayolları, son dönemlerde özel havayolu şirketlerinin havacılık sektörüne getirdiği ek kapasite ve daha ucuz ulaşım imkanı neticesinde ağırlığını bir miktar kaybetmiştir. Özellikle artan demiryolu yatırımlarının hizmete girmesi ile de karayolların ulaşım türleri içindeki payı azalacaktır. Tüm bu gelişmelere rağmen, Şekil 1'de de görüldüğü gibi karayollarının payı diğer ulaştırma sistemlerine nazaran oldukça yüksektir ve orta vadeli gelecekte de bu payda çok büyük bir değişim beklenmemektedir.

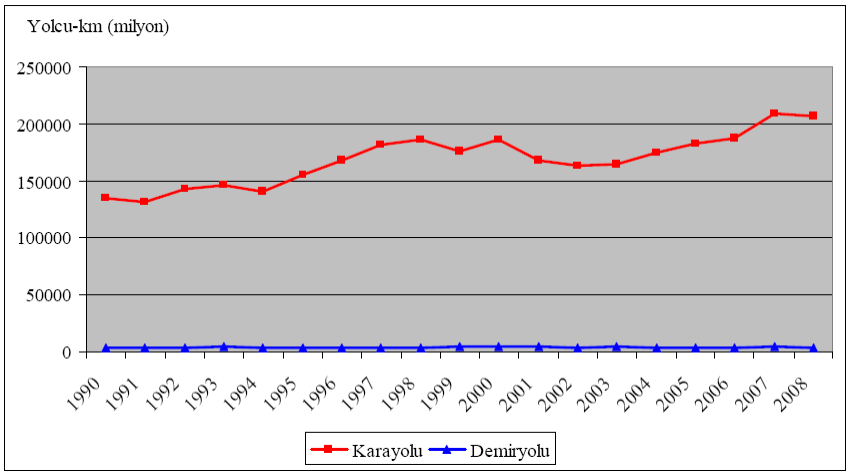


	Yolcu	Yük
Havayolu	2,10	0,21
Denizyolu	0,01	3,38
Demiryolu	1,93	4,98
Karayolu	95,96	91,43

Şekil 1: Türkiye'de Yolcu Ve Yük Taşımacılığında Ulaştırma Sistemlerinin Payı (Babalık-Sutcliffe, 2010)



Şekil 2: Türkiye'de Yolcu Taşımacılığı (Babalık-Sutcliffe, 2010)



Şekil 3: Türkiye'de Yolcu Taşımacılığında Karayolu Ve Demiryolu (Babalık-Sutcliffe, 2010)

Şekil 2'deki ulaştırma verisinde yıllara göre taşınan yolcu-km değerleri ve Şekil 3'de ise yıllara göre yolcu taşımacılığında karayolu payının değişimi yer almaktadır. Şekillerden görüldüğü üzere, yolcu taşımacılığında karayolu payı ve bu payın içinde de otobüsle yapılan taşımacılık oldukça önemli bir yere sahiptir. Ulaştırma Bakanlığı kayıtlarına göre Türkiye'de otobüs sayısı 2008'de 17.141 iken 2010 yılında bu sayı 21.187'ye çıkmıştır. Bu kadar fazla sayıda otobüsün çok sayıda işletme tarafından işletilmesinin ortaya çıkardığı birçok karar problemi bulunmaktadır. Bu problemlerin başında da sistemini destekleyecek gerek maliyet, gerek ulaşım kolaylığı ve gerekse gelecekteki ihtiyaçların etkin yönetimi için otobüs terminallerinin doğru yerde konumlandırılması gelmektedir.

Otobüs terminali yer seçimi, yolcu alma/bırakma faaliyetlerinin etkin bir biçimde sürdürebilmesi için coğrafik konumun belirlenmesi anlamına gelmekte ve uzun süreli bir planlama ile yapılması gerektiğinden başlangıçta sağlam temellere dayandırılmalıdır. Çünkü yanlış belirlenmiş bir konum, kısa ve orta vadede değiştirilemeyeceğinden, otobüs terminali zaman, maliyet ve toplumsal birçok kayıplara neden olabilir. Bu nedenle, otobüs terminali yerinin seçimi çok sayıda faktör göz önünde bulundurularak, alanında uzman kişilerden faydalanılarak yapılmalıdır. Çok yönlü düşünmenin ve günümüz şartları dışında en az 20-30 yıllık bir gelecek perspektifi ile ele alınması gereken otobüs terminallerinin konumlarının belirlenmesine yönelik çalışmalar oldukça azdır ve literatürde sadece bir nitelikli çalışmaya (Ghanbari ve diğerleri, 2011) rastlanmıştır. Dolayısı ile önerilen çalışma, literatüre özgün bir katkı yapacaktır.

Çalışmada otobüs terminalinin konumunun belirlenmesi problemi çok kriterli bir karar problemi olarak modellenmiş ve model Denizli ili için uygulanmıştır. Çalışmada problemin ve verilerin uygunluğuna göre AHP (Analytical Hierarchy Process) ve TOPSİS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemlerinin kullanımına karar verilmiştir.

2. Literatür Araştırması

Literatürde, yer seçim problemi çok sayıda çalışmada ele alınmıştır. Problemin çözümünde birçok optimizasyon yaklaşımı ve/veya sezgisel yöntemler kullanılmıştır (Mirchadani ve diğerleri, 1990; Krarup ve diğerleri, 1990; Shmony ve diğerleri, 1997; Jain ve diğerleri, 2003; Drezner ve diğerleri, 2002; Korte ve diğerleri, 2006; Madhukar ve diğerleri, 2000; Ghosh, 2003; Resende ve diğerleri, 2006, Deb, 2001; Jones ve diğerleri, 2002; Michel ve diğerleri, 2003; Jaszkiewicz ve diğerleri, 2003; Sun, 2006).

Son yıllarda yer seçimi problemlerinde, matematiksel programlama ve çok kriterli karar verme yöntemleri de kullanılmıştır. Çalışmamızda, çok kriterli karar verme tekniklerinden AHP ve TOPSİS yöntemlerinden yararlanılmıştır. Literatürde bu yöntemleri kullanan yer seçim uygulamaları bulunmaktadır. Örneğin; Kuo ve diğerleri (2005) bulanık AHP yöntemiyle yer seçimi problemini ele alırken, Eleren (2006) aynı yöntemle deri sektöründe kuruluş yer seçimi problemine çözüm aramıştır. Chu (2002) bulanık TOPSİS yöntemiyle mobilya sanayisinde yer seçim problemini incelemiştir. Bunun gibi, AHP ve TOPSİS yöntemlerini bir arada kullanarak yer seçim modelleri öneren çalışmalar mevcuttur (Yang ve diğerleri, 1997; Kua, 2002; Yong, 2006; Chou ve diğerleri, 2007).

Literatürde yer seçimi konusuyla ilgili Türkçe çalışmalar da yer almaktadır. Aydın ve diğerleri (2009) şirket hedeflerine uygun kıstasları göz ününde bulundurarak hastane yer seçiminde AHP yöntemiyle ideal konum belirlemişlerdir. Ayrıca literatürde, organize sanayi bölgesi yeri (Demirdöğen ve diğerleri, 2004), katı atık depolama alanı (Sarptaş ve diğerleri, 2007), hastane kuruluş yeri (Cebeci ve diğerleri, 2004), kuyu yeri (Konuk ve diğerleri, 1986), geri dönüşüm tesis yeri (Büyüksaatçı ve diğerleri, 2008), lojistik işletmesi yeri (Birsel ve diğerleri, 2010), banka şubesi yeri (Çınar, 2010) gibi farklı tesislerin yer seçim çalışmaları yer almaktadır. Ertuğrul ve diğerleri (2008) ise bulanık AHP ve bulanık TOPSİS yöntemlerinin yer seçimi probleminde kullanımını kıyaslamışlardır.

Literatürde, bu çalışmanın konusu olan otobüs terminali yer seçimi ile ilgili sadece bir çalışmaya rastlanmıştır (Ghanbari ve diğerleri, 2011). Söz konusu çalışmada, otobüs terminali yer seçiminde genetik algoritma tabanlı bir metot önerilmiştir ve hizmet maksimizasyonu hedeflenerek, yer seçimini etkileyen çok sayıda kriter göz ardı edilmiştir. Sonuç itibariyle otobüs yer seçimi problemini çok kriterli bir karar problemi olarak inceleyen bir çalışmaya erişilmemiştir. Dolayısı ile bu çalışma, literatüre ve uygulamaya önemli bir katkı sağlayacaktır.

3. Metot

Yer seçimi problemlerinde çok kriterli (veya nitelikli) karar verme tekniklerinin kullanıldığı görülmektedir. Tablo 1'de de görüldüğü gibi problemimize en uygun yöntemler Doğrusal Atama, AHP, SAW (Simple Additive Weighting), ELECTRE (ELimination and Choice Expressing Reality) ve TOPSİS yöntemleridir. Bu yöntemler arasından ise AHP ve TOPSİS yöntemleri çalışmada kullanılmıştır.

Tablo 1: Çok Nitelikli Karar Verme Tekniklerinin Sınıflandırılması (Özkan, 2007)

	Karar Vericiden Gelen Bilgi	Bilginin Önem Durumu	Metodun Temel Sınıfı
ÇNKV	Bilgi Yok		Dominant Maxmin Minmax
	Niteliklere Ait Bilgi	Standart Seviye	Birleşik Birleşik Olmayan
		Ordinal	Permütasyon ile Lexicographic Eliminasyon
		Kardinal	Doğrusal Atama SAW AHP ELECTRE TOPSIS
		İkamenin Marjinal Oranı	Hiyerarşik Değişim
	Alternatiflere Ait Bilgi	Tercihler	LINMAP İnteraktif SAW
		Yakınlık Sıralanması	MDS

Bu çalışmada otobüs terminalinin konumunun belirlenmesi probleminin çözülmesi için uygulanan metodolojinin temel aşamaları aşağıda sıralanmaktadır:

Aşama 1: Otobüs terminali yer seçiminde kullanılacak kriterler ve kriterlerin hiyerarşisinin uzmanlar yardımıyla ve araştırmalar ile belirlenmesi,

Aşama 2: Uzmanlar ile yüz yüze görüşülerek AHP matrislerinin doldurulması ve geometrik ortalama yöntemiyle ortak görüş puanlarının belirlenmesi,

Aşama 3: Denizli ilinin özellikleri dikkate alınarak alternatif yerlerin belirlenmesi ve konu ile ilgili uzmanlar ve Denizli Belediyesi yetkilileri ile birebir çalışılarak alternatif yerlerin puanlandırılması,

Aşama 4: Alternatiflerin puanlandırılmasında uzman görüşlerinin yetersiz kaldığı durumlarda hesaplama yöntemleri geliştirilerek alternatiflerin puanlandırılması. (Not: Alternatiflerin puanlandırma yöntemleri Bölüm 6.2'de açıklanmıştır.)

Aşama 5: TOPSİS yöntemi ile nihai sonuçların elde edilmesi.

Devam eden alt bölümlerde kullanılan yöntemler kısaca açıklanmıştır.

3.1 AHP (Analytical Hierarchy Process) yöntemi

Analitik Hiyerarşi Proses (AHP), ilk olarak 1968 yılında Myers ve Alpert ikilisi tarafından ortaya atılmış ve 1977'de ise Saaty tarafından bir model olarak geliştirilerek karar verme problemlerinin çözümünde kullanılabilir hale getirilmiştir (İnternet1).

AHP, bir problemin kriterlerini bir hiyerarşi içinde belirlemeyi ve temsil etmeyi sağlayarak, problemi daha küçük parçalara ayıran ve kriterler ile seçenekleri ikili karşılaştırmalarla çözümün arandığı mantıksal bir süreçtir. Süreç, hiyerarşinin oluşturulması, ikili karşılaştırmalı değerlendirme ve önceliklerin hesaplanması şeklinde üç aşamadan oluşmaktadır. İkili karşılaştırmalı değerlendirmede Saaty tarafından geliştirilen ölçek tablosu kullanılmaktadır. Konu ile ilgili ayrıntılı bilgiler için şu çalışmalar incelenebilir: (Saaty, 1996: 8; Saaty, 1994b: 337; Saaty, 1994a: 26; Saaty ve diğerleri 2000: 8-9).

3.2 Geometrik ortalama yöntemi

Geometrik ortalama, veri kümesini oluşturan gözlem değerlerinin, bir önceki değere bağlı olarak değişme hızını bulmak için kullanılır. Veri değerlerinin çarpımının n. (serideki gözlem sayısı) dereceden kökü alınarak bulunur (İnternet2). Çalışmada geometrik ortalama uzman görüşlerinin ortak bir noktada karar verebilmesini sağlamak amacıyla kullanılmıştır.

$$G = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdots x_n} \qquad (1)$$

3.3 TOPSİS yöntemi

TOPSİS, karar destek sistemlerinde ideal çözüm için kullanılan bir yöntemdir. Metot temel olarak geometrik anlamda ideal çözüme en kısa mesafede ve negatif-ideal çözümden ise en uzak mesafede olan alternatifi belirlemede kullanılmaktadır. Pozitif ideal çözüme en yakın mesafede olan alternatif aynı zamanda negatif ideal çözüme en uzak mesafede olan alternatiftir.

TOPSİS sürecinde kriter değerleri ve kriter ağırlıkları sayısal değerlerdir. İdeal ya da pozitif ideal çözüm olarak ifade edilen çözüm, fayda kriterini maksimize eden, maliyet kriterini ise minimize eden çözümdür (Yılmaz, 2008).

Metot, her bir kriterin tekdüze bir şekilde artan ya da azalan fayda eğilimine sahip olduğunu varsaymaktadır. Böylece ideal ve negatif-ideal çözümleri tanımlamak kolaydır. Öklid mesafesi yaklaşımı alternatiflerin ideal çözüme göreli yakınlıklarını değerlendirmeyi amaçlamaktadır. TOPSİS hakkında daha ayrıntılı bilgiye ulaşmak için (Hwang ve diğerleri, 1981) incelenebilir.

4. Otobüs Terminali Yer Seçiminde Kullanılacak Kriterlerin Belirlenmesi

İncelenen kaynaklar ve konusunda uzman kişilerle gerçekleştirilen görüşmeler sonucunda çevresel, kentsel ve mali kriterler olarak 3 ana başlık altında toplamda 13 kriter belirlenmiştir. Bu kriterlerden oluşan hiyerarşik yapı Şekil 4'de gösterilmiş, kriterlerin açıklamaları ise aşağıda sunulmuştur:

A. Çevresel kriterler: Otobüs terminalinin kurulacağı alanın çevresi ile etkileşimi, buna bağlı olarak gelişecek sonuçlar ve bu sonuçların terminal ve terminalin de çevreye olumlu ya da olumsuz yönde etkileri, tesisin kuruluşundan önce dikkate alınması gereken önemli bir kriterdir.

A1. Tarıma elverişli alan olmaması: Otobüs terminalinin kurulacağı yerin ve çevresinin tarıma elverişli olması istenen bir durum değildir. Bu amaçla bu kriter yer seçimde değerlendirilecektir.

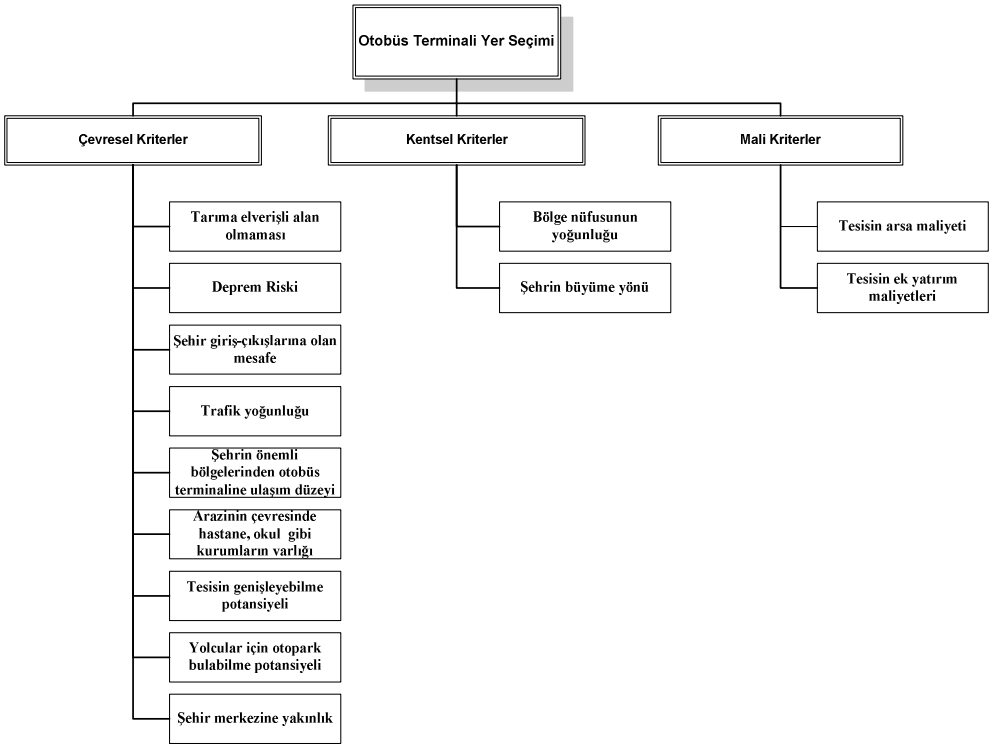
A2. Deprem riski: Kurulacak tesisin binlerce insanla etkileşime gireceği dikkate alındığında ve olası depremlerde şehirden giriş-çıkışların güvenli yapılabilmesi için seçilecek yerin deprem riski bakımından değerlendirilmesi önemli bir kriterdir.

A3. Şehir giriş-çıkışlarına olan mesafe: Şehirlerarası ve şehir merkezi ile şehre bağlı yerleşim yerleri arası yollar göz önünde bulundurulduğunda, otobüs terminal yerinin maliyet, zaman ve güzergah unsurlarını en iyileyen bir konumda yer alması istenmektedir.

A4. Trafik yoğunluğu: Otobüs terminalinin kurulduğu yere ilave bir trafik yükü getireceği bilindiğine göre alternatif yerlerin kıyaslanmasında trafik yoğunluğunun önemli bir kriter olduğunu söylemek yerinde olur.

A5. Şehrin önemli bölgelerinden otobüs terminaline ulaşım düzeyi: Şehir içinden otobüs terminaline ulaşım; şehir merkezinden, şehrin ilçe, belde ve köylerinden otogara ulaşımı kapsamaktadır. Bu yerleşim yerlerinden otobüs terminaline ulaşım mesafeleri ve yapılan seferler dikkate alınarak bir ağırlıklandırma yapılabilir.

A6. Arazinin çevresinde hastane, okul gibi kurumların varlığı: Otobüs terminaline yapılacak alanın etrafında araç trafiği, kalabalık ve gürültünün artacağı düşünüldüğünde çevresinde hastane, okul gibi güvenliğin yaratılması gereken kurum ve kuruluşların olabildiğince uzak ve mümkünse hiç olmaması öncelikli tercih sebebi olacaktır.



Şekil 4: Seçim Kriterlerinin Hiyerarşik Gösterimi

A7. Tesisin genişleyebilme potansiyeli: Nüfus yoğunluğu günden güne artan şehirlerde, otobüs terminalinin de zamanla büyüme göstermesi beklenmektedir. Gereksinim duyulduğunda genişleyebileceği uygun arsalara sahip otobüs terminali yeri daha çok tercih sebebi olacaktır.

A8. Yolcular için otopark bulabilme potansiyeli: Yolcular ve yakınları için otogarda otopark sıkıntısı ne kadar az ise yolcu memnuniyeti o oranda artacak, trafik akışı rahatlayacaktır.

A9. Şehir merkezine yakınlık: Uzmanlardan alınan bilgilere göre otobüs terminali ne kadar şehrin içinde kalırsa o bölgenin suç oranı, çevre kirliliği ve gürültüsü o oranda artacak, dolayısıyla ev ve konut değerleri de düşmektedir. Çünkü otogar 24 saat yaşayan bir yerdir. Bu nedenle sokakta yaşayanlar tarafından şehir merkezinde tam bir barınak olarak görülen otogarlarda suç oranı artabilir. Araç ve insanların çokluğu da çevre kirliliği ve gürültüyü beraberinde getirecektir. Bir otobüs terminalinin şehir merkezinden uzak olması tercih sebebidir. Fakat bu istek şehir içerisindeki toplu taşıma için uygun bir mesafe ile kısıtlanmalıdır.

B. Kentsel kriterler

B1. Bölge nüfusunun yoğunluğu: Bölge nüfusunun yoğun olması otobüs terminaline giriş çıkışları daraltarak zamanlama konusunda sıkıntılar yaratacak ve otobüs terminalinin genişleme potansiyelini azaltacaktır. Zaman kaybının ve arsa sorununun yanında trafiğin aktif olacağı otogar çevresinde vatandaşların daha güvenli ve huzurlu yaşayabilmelerinin için de önemli bir kriterdir. Otobüs terminali çevresinde nüfus yoğunluğu düzeyinin az olması tercih sebebi olacaktır.

B2. Şehrin büyüme yönü: Otobüs terminali seçimi şehrin 30 yıllık planı dahilinde yapılmalıdır. Otobüs terminalinin şehir merkezinden istenen uzaklık değerinin korunması ve otobüs terminalinin istenen verimi sağlaması için şehrin büyüme yönü üst ölçek planı dahilinde dikkate alınmalıdır.

C. Mali kriterler

C1. Tesisin arsa maliyeti: Otobüs terminalinin inşa edileceği arsanın maliyeti ne kadar düşükse o kadar tercih sebebi olacaktır. Ayrıca otobüs terminalinin kurulacağı arsanı alternatif maliyeti söz konusudur.

C2. Tesisin ek yatırım maliyetleri: Otobüs terminali için seçilecek yerin tesis kuruluş yeri maliyetlerinin yanı sıra, elektrik, yol gibi projenin getireceği ek maliyetler göz önünde bulundurulmalıdır.

5. AHP Yöntemi Kullanılarak Otobüs Terminali Yer Seçimi Kriterlerinin Ağırlıklandırılması

Kriterlerin puanlandırılmasında beş farklı uzman (U) ile birebir görüşmeler yapılmıştır. Uzmanlar, mimar (U1), şehir planlamacısı (U2), inşaat mühendisi (U3 ve U4) ve peyzaj mimarı (U5) olarak farklı disiplinler arasından seçilmiştir. Bu sayede konuya farklı bakış açılarının katkısı sağlanarak sonuçların gerçeklik payının arttırılması amaçlanmıştır. Ancak bu çalışmada önerilen yaklaşımın benimsenmesi durumunda, nihai otobüs terminal yerinin belirlenmesi için daha fazla sayıda ve farklı disiplinden uzman ile görüşülmesinin yararlı olacağını vurgulamak gerekir. Belirlenen uzmanların, kriterlerin ikili kıyaslama matrislerini doldurmaları sağlanmıştır ve elde edilen değerlendirme matrisleri Super Decisions Programı ile değerlendirilmiştir.

Her bir uzmanın değerlendirmelerine göre kriterlerin ağırlıkları Tablo 1'de yer almaktadır. Tüm AHP sonuçları için Super Decisions Programı kullanılarak iç tutarsızlık oranları hesaplanmış ve 0.10 kabul edilebilirlik sınırını aşan kriterler için programın öngördüğü düzeltme sonuçları uzmanların görüşleri dahilinde değiştirilerek kabul edilebilir sınırlar dahilinde hesaplanmıştır. İç tutarsızlık oranlarının son halleri Tablo 2'de gösterilmektedir. Tablolarda OG tüm AHP sonuçlarının geometrik ortalamalarının alınmasıyla hesaplanan ortak görüşü temsil etmektedir.

Tablo 1: Uzmanlara Göre Kriterlerin AHP Sonuçları

Kriterler	**U1**	**U2**	**U3**	**U4**	**U5**	**OG**
Çevresel Kriterler	61.94	74.82	66.89	40.55	69.23	63.35
Tarıma elverişli alan olmaması	0.28	0.14	0.11	0.03	0.04	12.11
Deprem Riski	0.21	0.35	0.05	0.02	0.08	12.25
Şehir giriş-çıkışlarına olan mesafe	0.05	0.09	0.24	0.16	0.12	14.23
Trafik yoğunluğu	0.07	0.15	0.08	0.19	0.12	12.04
Şehrin önemli bölgelerinden otobüs terminaline ulaşım düzeyi	0.06	0.10	0.20	0.17	0.19	15.51
Arazinin çevresinde hastane, okul gibi kurumların olmaması	0.10	0.07	0.14	0.06	0.09	9.63
Tesisin genişleyebilme potansiyeli	0.13	0.03	0.08	0.09	0.11	10.20
Yolcular için otobüs terminali bulabilme potansiyeli	0.06	0.03	0.06	0.11	0.11	7.28
Şehir merkezine yakınlık	0.03	0.02	0.04	0.17	0.13	6.74
Kentsel Kriterler	28.42	18.04	26.74	47.96	23.08	28.14
Bölge nüfusunun yoğunluğu	25.00	25.00	16.67	25.00	25.00	23.13
Şehrin büyüme yönü	75.00	75.00	83.33	75.00	75.00	76.87
Mali Kriterler	9.64	7.14	6.37	11.50	7.69	8.51
Tesisin arsa maliyeti	50.00	25.00	16.67	50.00	50.00	36.78
Tesisin ek yatırım maliyetleri	50.00	75.00	83.33	50.00	50.00	63.22

Tablo 2: İç Tutarsızlık Oranları

	İç Tutarsızlık Oranı (IR)					
	U1	**U2**	**U3**	**U4**	**U5**	**OG**
Genel Kriterler	0.0824	0.0279	0.0279	0.0280	0.0000	0.0361
Çevresel Alt Kriterler	0.0982	0.0939	0.1006	0.0590	0.0690	0.0111
Kentsel Alt Kriterler	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mali Alt Kriterler	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

6. Örnek Uygulama: Denizli Örneği

Denizli'nin, merkez hariç 18 ilçe, 87 Belediye ve 358 köyü bulunmaktadır. Ulaşım ağı geniş olan il ülkenin her tarafına karayolu ile bağlıdır. Mevcut durumda otobüs terminali kent merkezindedir. Ancak otobüs terminalinin yenilenmesi süreci yaşanmaktadır. Bu süreçte yer değişikliği de alternatifler arasındadır. Demiryolu ile Ankara, İstanbul ve İzmir illeri ile bağlantısı olan Denizli'nin tren garı da kent merkezinde çevreyolu üzerindedir. Çardak ilçesinde yer alan havaalanı, ilçe merkezine 5km, kent merkezine ise 65km uzaklıkta Denizli ve komşu iller için faaliyet göstermektedir (İnternet 3).

2009 yılı Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemine (ADNKS) göre İlin toplam nüfusu 926.362 kişidir (İnternet 4). Denizlideki otobüs terminali yer seçiminde alternatif yerlerin belirlenmesine alan, ilçelere ve illere ulaşım ve yer şekilleri kısıtları dikkate alınarak uzmanlar ile birlikte karar verilmiştir.

6. 1 Alternatif yerler:

Alternatif yerlerin yaklaşık gösterimi Şekil 5'de sunulmuştur. K1 mevcut konumu, K2 ve K3 ile belirtilen alanlar ise yeni belirlenen konumları ifade etmektedir.

6.2 Alternatif yerlerin TOPSİS yöntemi ile değerlendirilmesi

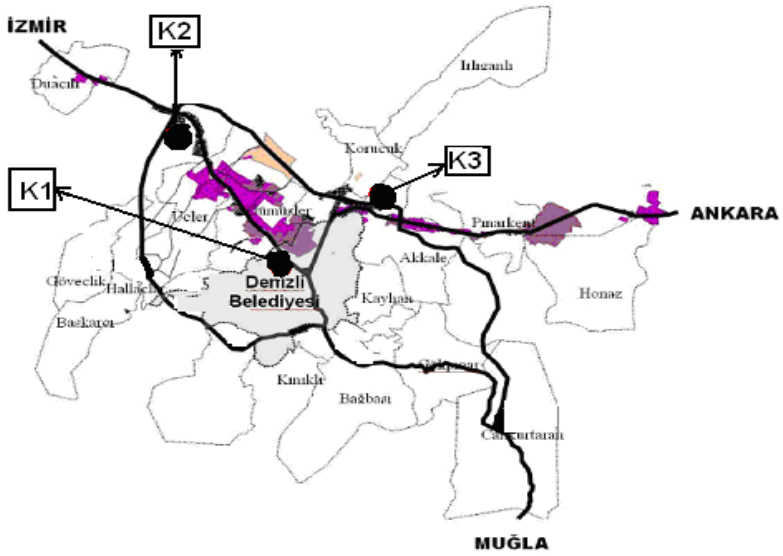
Alternatif yerlerin TOPSİS yöntemi ile hesaplanabilmesi için öncelikle her bir alternatifin kriterler bazında 0'dan 100'e kadar puanlandırılması sağlanacaktır. Her kriter farklı bir yöntemle puanlandırılmıştır. Kriterlerin puanlandırılmasında kullanılan yöntemler aşağıda anlatılmaktadır.

A1: Kriter puanlandırılırken uzman görüşü dikkate alınmıştır. Kriterde yüksek puan alan konum diğer konumlara göre daha az tarıma elverişli bir alandır.

A2: Alanında uzman jeoloji mühendisi tarafından puanlandırılmıştır. Deprem riski yüksek olan konum daha az puan almıştır (Kumsar ve diğerleri, 2008).

A3: Alternatiflerin İzmir, Ankara ve Muğla çıkışlarına olan harita uzaklıkları ile çıkışlardaki otobüs sefer sayıları çarpılarak her konumun ağırlığı hesaplanmıştır. Sefer sayılarının yaklaşık ağırlık değerleri hesaplanırken veriler (İnternet 6)' dan elde edilmiştir. Buna göre toplam ağırlığı küçük olan konum daha fazla puan almıştır.

A4: Uzman görüşleri çerçevesinde ve (İnternet 7)'ye göre hesaplanmıştır. Trafik yoğunluğu yüksek olan yer daha düşük puan almıştır.



Şekil 5: Denizli İli Ulaşım Altyapısı Ve Alternatif Yerlerin Gösterimi (İnternet 5)

A5: Her ilçenin mesafe, köy sayısı ve nüfus değerleri dikkate alınmış kendi aralarında 0-1 arasında puanlandırılmış ardından her ilçenin hangi çıkışa (İzmir, Muğla ve Ankara) daha yakın oluşuna göre çıkışların puanları toplanarak yüzlük sisteme çevrilmiştir. 0-1 arasındaki puanlamada nüfusu yüksek, köy sayısı fazla ve mesafesi yakın 1'e daha yakın değerler almıştır. Sonuç olarak çıkan ağırlık ile konumların çıkışlara olan mesafesi dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır. Ağırlığı yüksek ve mesafesi az olan daha fazla puan almıştır. Nüfus ve köy bilgileri için (İnternet 3)'den mesafe bilgileri için ise (İnternet 8)' den yararlanılmıştır.

A6: Denizli Belediyesi'nden yetkili kişiler ile görüşülerek kurum sayısı ve mesafeler dikkate alınmıştır. Yakın çevresinde okul, hastane gibi kurumlar olmayan konum daha fazla puan almıştır.

A7: Alternatiflerdeki yerleşim yoğunluğu dikkate alınarak puanlandırılmıştır. Buna göre yerleşim yoğunluğu fazla olan konum daha az puan almıştır. Yerleşim yoğunluğu kriterinin puanlandırılmasında Denizli Belediyesi'nde yetkili harita mühendisi ile görüşülerek bölgedeki konut sayıları üzerinden bir değerlendirme yapılmıştır.

A8: A7'deki hesaplama dikkate alınarak puanlandırılmıştır. Yerleşim yoğunluğu fazla olan konum daha az puan almıştır.

A9: Alternatiflerin Denizli Merkezine (Çınar) olan harita uzaklıkları dikkate alınarak puanlandırılmıştır. Yakın olan kriter daha az puan almıştır.

B1: Alternatiflerdeki nüfus yoğunlukları dikkate alınarak puanlandırılmıştır. Buna göre nüfus yoğunluğu fazla olan konum daha az puan almıştır. Nüfus bilgileri için Denizli Belediyesi'nde destek alınmıştır.

B2: Şehrin büyüme yönüne yakınlık değerleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Büyüme yönü Denizli Belediyesi'ndeki uzman kişiler ile görüşülerek belirlenmiştir. Buna göre büyüme yönüne yakın olan konum daha fazla puan almıştır. Hesaplamada Bağbaşı ve Servergazi konumları büyüme yönü olarak belirlenmiş ve ağırlıklandırılarak mesafe ile ağırlığı çarpımı sonucu veriler elde edilmiştir.

C1: Denizli Belediyesindeki uzman kişi tarafından alınan bilgiler dahilinde puanlandırılmıştır. Buna göre arsa maliyeti yüksek olan konum daha az puan almıştır.

C2: C1'in hesaplanmasında kullanılan yöntem ile puanlandırılmıştır. Dikkate alınan nokta, alternatifin altyapı çalışmasına ihtiyacı olup olmayacağıdır. Buna göre altyapısı iyi olan konum yüksek puan almıştır.

Yukarıda gerçekleştirilen tüm hesaplamalar sonucunda alternatif konumların kriterler bazında puanlandırılması Tablo 3'de gösterilmiştir (A matrisi).

Tablo 3: Konumların Kriterler Bazında Puanlandırılması

	A1	**A2**	**A3**	**A4**	**A5**	**A6**	**A7**	**A8**	**A9**	**B1**	**B2**	**C1**	**C2**
K1	100	60	95	10	95	0	10	10	97	3.3	100	10	100
K2	20	55	96	40	93	100	100	100	100	41	97	60	40
K3	30	60	95	20	98	67	80	80	100	100	99	40	60

Tablo 3'deki veriler TOPSİS yöntemi her bir uzman için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Her uzmanın AHP yönteminde değerlendirdiği kriterlerin ağırlık değerleri farklı olduğundan sonuçlar da farklılık göstermektedir. Uzmanların ve yapılan hesaplamalar ile konum değerlendirme sonuçları Tablo 3'de gösterilmektedir. Tablo 3 aynı zamanda

TOPSİS yönteminin ilk adımını oluşturan A matrisini göstermektedir. TOPSİS yönteminin ikinci adımında R matrisi değerleri U1 için Tablo 4'te yer almaktadır. Üçüncü adımdaki ağırlıklı standart karar matrisi V sonuçları Tablo 5'te gösterilmektedir.

Tablo 4: U1 için R Matrisi

	A1	**A2**	**A3**	**A4**	**A5**	**A6**	**A7**	**A8**	**A9**	**B1**	**B2**	**C1**	**C2**
K1	0.94	0.59	0.57	0.22	0.58	0.00	0.08	0.08	0.57	0.03	0.59	0.14	0.81
K2	0.19	0.54	0.58	0.87	0.56	0.83	0.78	0.78	0.58	0.38	0.57	0.82	0.32
K3	0.28	0.59	0.58	0.44	0.59	0.56	0.62	0.62	0.58	0.93	0.58	0.55	0.49
W1	0.17	0.13	0.03	0.04	0.04	0.06	0.08	0.04	0.02	0.07	0.21	0.05	0.05

Tablo 5: U1 için V Matrisi

	A1	**A2**	**A3**	**A4**	**A5**	**A6**	**A7**	**A8**	**A9**	**B1**	**B2**	**C1**	**C2**
K1	0.16	0.08	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.12	0.01	0.04
K2	0.03	0.07	0.02	0.04	0.02	0.05	0.06	0.03	0.01	0.03	0.12	0.04	0.02
K3	0.05	0.08	0.02	0.02	0.02	0.04	0.05	0.02	0.01	0.07	0.12	0.03	0.02

TOPSİS yöntemindeki dördüncü adımı oluşturan ideal (A^+) ve negatif İdeal (A^-) çözümleri Tablo 6'da yer almaktadır.

Tablo 6: U1 için İdeal ve Negatif İdeal Çözüm Sonuçları

A^+	0.164	0.078	0.020	0.037	0.023	0.053	0.062	0.028	0.011	0.066	0.125	0.040	0.039
A^-	0.033	0.071	0.019	0.009	0.022	0.000	0.006	0.003	0.011	0.002	0.121	0.007	0.016

Beşinci adımdaki ayırım ölçülerinin hesaplanması ve altıncı ve son adımdaki ideal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması ile bulunan sonuçlar Tablo 7'de yer almaktadır.

Tablo 7: U1 için Ayrım Ölçülerin ve Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplama Sonuçları

Si^*		**Si^-**		**Ci^***	
$S1^*$	0.11	**$S1^-$**	0.13	**$C1^*$**	0.54
$S2^*$	0.14	**$S2^-$**	0.10	**$C2^*$**	0.41
$S3^*$	0.12	**$S3^-$**	0.09	**$C3^*$**	0.43

Tablo 7'deki U1 uzmanına göre Ci* sonuçlarına göre en yüksek değere sahip olan C1* seçeneği yani K1 konumu en iyi sonucu vermektedir. Buna göre diğer uzman görüşlerinin ve ortak görüşün Ci* değer sonuçları Tablo 8'de yer almaktadır.

Buna göre U1 için K1 konumu, U2 için K2 konumu, U3 için K2 konumu, U4 için K3 konumu, U5 için K2 konumu Denizli için önerilen otobüs terminal yeridir. Bütün uzmanların ortak görüşüne göre ise K2 konumu otobüs terminali için ideal yer olarak önerilmektedir.

Tablo 8: Konumların Uzmanlar Bazında Değerlendirmesi

Konumlar	**U1**	**U2**	**U3**	**U4**	**U5**	**OG**
K1	0.54	0.47	0.37	0.19	0.18	0.33
K2	0.41	0.50	0.60	0.55	0.73	0.61
K3	0.43	0.40	0.55	0.73	0.64	0.57
Sonuçlar	**K1**	**K2**	**K2**	**K3**	**K2**	**K2**

7. Tartışma ve Sonuç

Çalışma kapsamında otobüs terminali yer seçiminde dikkate alınacak kriterler belirlenerek alanında uzman kişiler ile birebir görüşmeler sonucu AHP tekniği yardımıyla kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Ardından alternatif konumlar belirlenmiş ve her bir konumun kriterler bazında puanlandırması gerçekleştirmiş ve TOPSİS yöntemi kullanılarak Denizli ili için otobüs terminal yeri için öneriler ortaya konulmuştur.

Çalışma, otobüs terminali yer seçimini çok kriterli bir karar problemi olarak ele alarak ve örnek bir uygulama sunarak, bu konuda oldukça sınırlı olan literatüre katkı sağlamaktadır. Aynı zamanda belediyelerde gerçekleştirilen çalışmaların daha kapsamlı ve şehrin en az 30 yıllık kalkınma planları dahilinde çalışılması ve kararların bu yönde alınması gerektiğine vurgu yapmaktadır. Bu sayede uzun süreli bir yatırımın daha planlı ve en uygun mevkide konumlandırılması sağlanmış olacaktır.

Çalışma sonunda farklı disiplinler ile çalışıldığından farklı kriter ağırlıkları belirlenmiş ve dolayısıyla da farklı alternatif konumlar öne çıkmıştır. Tablo 8'deki sonuçlara bakılacak olursa her ne kadar K2 sonucu öne çıkmış olsa dahi farklı sonuçlar da elde dilmiştir. Bunun en önemli sebebi farklı disiplinlerdeki kişilerin mesleki özellikleri ağır basarak, değerlendirmeleri kendi alanlarına uygun gerçekleştirmiş olmalarıdır.

Sonuç olarak, çalışmamızda, ortak görüşün de ortaya çıkardığı sonuçların çoğunluğuna uygunluğu dikkate alınırsa K2 konumu en iyi yeri temsil etmektedir. Bu çalışma ileriki çalışmalara kaynak sağlamak ve otobüs terminali yer seçimi problemlerinde dikkat edilmesi gereken çok fazla kriterin olduğunu ve bu kriterleri değerlendirirken de özenli ve ayrıntılı çalışılması gerekliliğini ortaya koyması açısından önemlidir. Çalışmanın

daha etkin ve uzun vadeli sonuç üretebilmesi için, daha fazla meslek grubu ve her disiplinden birden fazla kişi ile çalışılması yerinde olacaktır.

Teşekkür

Çalışmada otogar yer seçiminde dikkate alınacak kriterlerin AHP yöntemiyle puanlandırmasında görüş ve desteklerini esirgemeyen tüm uzmanlarımıza katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Konumların kriterler bazında puanlandırılmasında uzmanlarımız ve Denizli Belediyesi çalışanlarından harita mühendisine katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

[1] Aydın Ö. , Özneh S. , Akçalı E. , Ankara İçin Optimal Hastane Yeri Seçiminin Analitik Hiyerarşi Süreci İle Modellenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi Y.2009, Sayı:14, S.2 s.69-86.

[2] Babalık-Sutcliffe E. , Ulaştırma Sektörü Mevcut Değerlendirme Raporu, Y:2010

[3] Birsel A. , Cerit A. G. , Lojistik İşletmelerinin Kuruluş Yeri Seçiminde Arazi Faktörü, Y:2010

[4] Büyüksaatçı S. , Küçükdeniz T. , Esna Ş. , Geri Dönüşüm Tesislerinin Yerinin Gustafson-Kessel Algoritması-Konveks Programlama Melez Modeli Tabanlı Simülasyon İle Belirlenmesi, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Y: 2008/1 Sayı:13, s.1-20

[5] Cebeci U. , Kılınç M. S. , Hastane Yeri Seçimine Analitik Hiyerarşi Yöntemi Uygulanması

[6] Chou S. Y. , Chang Y. H. , Shen C. Y. , A Fuzzy Simple Additive Weighting System Under Group Decision-Making for Facility Location Selection with Objective/ Subjective Attributes. Eur J Oper Res, 2007

[7] Chu T. C. , Facility Location Selection Using Fuzzy TOPSİS Under Group Decisions, International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, Y:2002, s. 687-701

[8] Çınar N. T. , Kuruluş Yeri Seçiminde Bulanık TOPSİS Yöntemi ve Bankacılık Sektöründe Bir Uygulama, KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi, Y:2010, Cilt: 12 (18), s. 37-45

[9] Deb K. , Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms, John Wiley & Sons Ltd. , 2001

[10] Demirdöğen O. , Bilgili B. , Organize Sanayi Bölgeleri İçin Yer Seçimi Kararlarını Etkileyen Faktörler: Erzurum Örneği, Y:2004

[11] Drezner Z. , Hamacher H. , Facility Location: Applications and Theory, Springer, Y: 2002

[12] Eleren, A. , Kuruluş Yeri Seçiminin Analitik Hiyerarşi Yöntemi İle Belirlenmesi; Deri Sektörü Örneği, ATÜ İBF Dergisi, Y: 2006, Cilt: 20 (2), s. 405-416

[13] Ertuğrul İ. , Karakaşoğlu N. , Comparison of Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSİS Methods for Facility Location Selection, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, doi: 10.2007/w00170007-1249-8, 2007

[14] Ghanbari R. , Mahdavi-Amiri N. , Solving Bus Terminal Location Problems Using Evolutionary Algoritms, Applied Soft Computing, Y:2011, Cilt: 11, s. 991-999

[15] Ghosh D. , Neighborhood Search Heuristics for Uncapacitated Facility Location Problem, European Journal of Operational Research Y:2003, Cilt: 150 (2003), s. 150–162

[16] Hwang, C.L. and Yoon, K., Multiple Attribute Decision Making: Methods and Application. Springer, New York, 1981

[17] Jain K. , Mahdian M. , Markakis E. , Saberi A. , V.V. Vazirani, Greedy Facility Location Algorithms Analyzed Using Dual Facility With Factor-Revealing LP, Journal of the ACM, Y: 2003, Cilt: 50, s. 795–824

[18] Jones D. F. , Mirrazavi S. K. , Tamiz M. , Multi-Objective Meta-Heuristics:An Overview of the Current State-Of-the-Art, European Journal of Operational Research, Y: 2002, Cilt: 137, s. 1–9

[19] Kocatürk F. , Bölen F. , Kayseri'de Konut Alanı Yer Seçimi Ve Hanehalkı Hareketliliği, itüdergisi/a mimarlık, planlama, tasarım Y:2005,Cilt:4, Sayı:2

[20] Konuk A. , Saraç S. , Tesis Yeri Seçiminde Taşıma Maliyeti Optimizasyonu Ve Kuyu Yeri Seçimi Uygulaması, Madencilik Dergisi, Y: 1986 Sayı:1, s.1-39

[21] Korte B. , Vygen B. , Combinatorial Optimization: Theory and Algorithms, Springer, 2006

[22] Krarup J. , Pruzan M. , Ingredients of Location Analysis, in: Mirchandani P. B. , Francis R. L. , (Eds.), Discrete Location Theory, Wiley-Interscience, New York, Y: 1990, s. 1–54

[23] Kumsar H. , Aydan Ö. , Tano H., Çelik S. B. , "23-26 Temmuz 2003 Buldan (Denizli) Depremlerinin Mühendislik İncelemesi, 2008

[24] Kuo R. J. , Chı S.C. , Kao S. S. , A Decision Support System Forselecting Convenience Store Location Through İntegration Of Fuzzy AHP And Artifical Neural Network, Computers In Industry, Y:2002, s. 199-214

[25] Madhukar R. K. , Plaxton C. G. , Rajaraman R. , Analysis of a Local Search Heuristic for Facility Location Problems, Journal of Algorithms, Y: 2000, Cilt: 37, s. 146–188

[26] Marın M. C. , Altıntaş H. , Konut Yer Seçimi-Ulaşım Etkileşim Teorileri: Kritik Bir Literatür İncelenmesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Y:2004, Cilt:19, s.73-88

[27] Michel L. , Hentenryck V. , A Simple Tabu Search for Warehouse Location, European Journal of Operational Research, Y: 2003, Cilt: 157, s. 576–591

[28] Mirchandani P. B. ,Francis R. L. , Discrete Location Theory, Wiley-Interscience, New York, 1990.
[29] Özdamar İ. H. , Kuruluş Yeri Seçiminde Görünmeyen Maliyetlerdeki Eğilimin Belirlenmesinde Kullanılan Bir Yaklaşım, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Y: 2007, Sayı: 2, s. 128-133
[30] Özkan Ö. , Personel Seçiminde Karar Verme Yöntemlerinin İncelenmesi: AHP, ELECTRE ve TOPSİS Örneği, T.C. Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çalışma Ekonomisi ve Endüstri ilişkileri Anabilim Dalı, İnsan Kaynakları Programı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, Y:2007
[31] Resende M. G. C. , Werneck R. F. , A Hybrid Multistart Heuristic for Uncapacitated Facility Location Problem, European Journal of Operational Research, Y: 2006, Cilt: 174, s. 54–68
[32] Sarptaş H. , Alpaslan M. N. , Katı Atık Depolama Alanları Yer Seçimi İçin Bir Konumsal Karar Destek Sistemi, Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi Yaşam Çevre Teknoloji 24–27 Ekim 2007, İzmir
[33] Saaty, Thomas, L. (1994a), "How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Prosess",Interface, November-December, p.19-43.
[34] Saaty, Thomas, L. (1994b), Fundementals of Decision Making and Priority Theory with Analytic Hierarchy Process, RWS Publication, PETTSBURG.
[35] Saaty, Thomas, L. (1996), "Toughts on Decision Making", OR/MS TODAY, April, p.8-9.
[36] Saaty, Thomas, L. and Luis G. Vargas (2000), Models, Methods, Concepts&Applications of the Analythic Hierarchy Process, Kluwer Academic Publisher, Boston/Dordrect/London.
[37] Shmoys D. B. , Trados E. , Ardal K. , Approximation Algorithms for Facility Location Problems, in: Proceedings of the 29th Annual ACM Symposium on Theory of Computing, ACM Press, Y: 1997, s. 265–274
[38] Sun M. , Solving Uncapacitated Facility Location Problem UsingTtabu Search, Computers & Operations Research, Y: 2006, Cilt: 33, s. 2563–2589
[39] Yang J. , Lee H. , (1997) An AHP Decision Model for Facility Location Selection. Facilities, Y:1997 Cilt: 15(9/10), s.241–254
[40] Yılmaz, R. , Türkiye'de Lisansüstü Öğrenim İçin Öğrenci Seçimi: Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsünde Bir Uygulama, T.C. Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü Harekat Araştırması Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2008
[41] Yong D. , Plant Location Selection Based on Fuzzy TOPSİS. Int J Adv Manuf Technol, Y: 2006, Cilt: 28, s. 839–844
[42] İnternet 1: http://www.deu.edu.tr/userweb/k.yaralioglu/dosyalar/Analitik_Hiyerarsi_Proses.doc
[43] İnternet2: http://ozanguzelkan.wordpress.com/2010/06/26/duyarli-ortalamalar-aritmetik-ortalama-geometrik-ortalama-kareli-ortalama-harmonik-ortalama-varyans-fiyat-kazanc-orani-hiz-ortalamasi-iktisadi-alanlar-milli-gelir-logaritma-fonksiyonu-nufus-artisi/
[44] İnternet 3: http://www.Denizli.gov.tr/Denizli/genelbilgiler.htm#NÜFUS
[45] İnternet4: http://www.webhatti.com/illerimiz-yoremiz/45027-Denizli-Denizli-ili-Denizli-ili-hakkinda.html
[46] İnternet 5: http://www.mmf.selcuk.edu.tr/mmfdergi/index.php?option
[47] İnternet 6: http://www.pamukkaleturizm.com.tr/WebBusAutomation/sorgula1.aspx
[48] İnternet 7: http://www.kgm.gov.tr
[49] İnternet 8: http://www.illerarasimesafe.com/?il=Denizli

DECISION MODEL TO CHOOSE GOVERMANTEL SUPPORTING FOUNDATION FOR A R&D PROJECT

Research Asst. Mehlika KOCABAŞ
Kocaeli University
Faculty of Engineering
Department of Industrial Engineering
ie-mehlika@hotmail.com

Prof. Dr. Zerrin ALADAĞ
Kocaeli University
Faculty of Engineering
Department of Industrial Engineering
zaladag@kocaeli.edu.tr

Asst. Prof. Dr. Gülşen AKMAN
Kocaeli University
Faculty of Engineering
Department of Industrial Engineering

Risk can be defined as the exposure to the possibility of delay, of economic or financial loss or gain, or of physical damage or injury, as a consequence of the uncertainty associated with pursuing a particular course of action. Under this explanation risk analysis can be required many approaches to dealing with some problems created by uncertainty, including the identification, evaluation, control and management of risk. The aim of these applications is to identify and see the uncertainty and its effects.

In Turkey automotive sector is unsteady and it is hard to take a place in this sector without making good decisions. Especially SME's have to find different money resources to live in this sector. Some foundations support SME's if they have R&D projects, for example TUBİTAK, KOSGEB and TTGV.

In this study, we have analyzed risk of a new R&D project in a SME, which try to produce new machinery to automobile sector. It is an Automatic Pipe Drilling and Grinding Machine which is worked on a seamy pipe. The firm has to study very hard on this project and some of his stuff has to work for only this project. So it will be risky if the project needs much time. Firm wants to be supported by governmental foundations. Each foundation has different advantages related with duration of the project the firm has to choose best foundation to gain more money. This study helps firm to calculate the possible duration of the project and the best foundation to be supported by using risk analysis.

Key Words: Large project risk management, probabilistic risk analysis

1. INTRODUCTION

Risk is defined as the exposure to the possibility of delay, of economic or financial loss or gain, or physical damage or injury, as a consequence of the uncertainty associated with pursuing a particular course of action [1]. Managing risk become a popular subjects for academic environment and for real life approaches. In this manner risk analysis is the most useful tool to manage problems created by uncertainty.

While decision process, the information that created by risk analysis can be used as a criteria. In this study, we have analyzed risk of a new R&D project in a SME, which try to produce new machinery to automobile sector. It is an Automatic Pipe Drilling and Grinding Machine which is worked on a seamy pipe. The firm has to study very hard on this project and some of his stuff has to work for only this project. So it will be risky if the project needs much time. And also firm wants to be supported by a national governmental foundation as TUBİTAK, KOSGEB or TTGV. There are different ways to support a project for three foundations. We analyze the risk and choose one of them.

RISK ANALYSIS

Risk analysis is a broad term that is used in a number of different settings. In each instance, the term refers to the evaluation of the potential risk inherent in an upcoming transaction and the identification of several different options in how to proceed. Often, these options are designed to minimize the risk while obtaining the most benefit, or at least finding ways to protect yourself while taking the risk [2].

Risk analysis can be quantitative or qualitative. Quantitative Risk Analysis used probabilistic methods which we used in this study. In probabilistic risk analysis risk can be characterized by two quantities. First is the magnitude (severity) of the possible adverse consequence(s), and second is the likelihood (probability) of occurrence of each consequence.

Risk analysis is used for understanding what might happen and what should happen. For an effective risk analysis some models can be used. Some models are very simple, or some models can be very complex. It is

good for analyzer to start with a simple model than make it complex. The risk analysis methods are sensitivity analysis, scenario analysis, probabilistic analysis, simulation analysis. For probabilistic analysis decision trees can be used. In this study we also used decision trees.

According to Gregory, risk analysis may be required initially for a limited range of purposes. However some experience shows that it provides other benefits which may prove far more important in the long term. For example knowledge and confidence for better decision making and improved risk management [1].

2. DECISION MAKING BY USING RISK ANALYSIS MODEL, TO CHOOSE GOVERMANTEL SUPPORTING FOUNDATION FOR A R&D PROJECT

2.1. ABOUT R&D PROJECT

In light commercial vehicle there is a torpedo traverse pipe which carries the front cockpit of the car. That pipe produced by supplier industry firms to automobile primary industry. Supplier industry firms have to use special aimed machinery and assembly systems to product this kind of productions. In this study we have analyzed risk of a new R&D project in a SME, which try to produce new machinery to automobile sector. It is an Automatic Pipe Drilling and Grinding Machine which is worked on a seamy pipe. This machine which developed to process the pipes with has 80mm diameter size and 1237mm length. By small revisions machine can process different type and sized pipes.

2.2. RISK ANALYSIS

In this project the first step is pre-research and FİZİBİLİTE. In this step there are seven employees to developed project in their own special educated field. In this manner the project members start to analyze current production systems and try to find the ways for develop these production systems. After these researches the members describe the main requirements. In this stage the completion time of the first step named as D1. By using past experiments the possible completion times and probabilities of them are giving below (Table 1).

D1	**P(D1)**
3	0.2
4	0.7
5	0.1

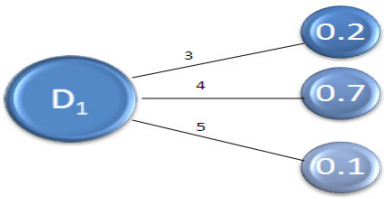


Table 1 D1 (possible completion times and probabilities)

The following step is design and analyze stage. In this stage the same seven members try to design a machine model in a special computer program for 3D design. By the program designer can assembly all the parts of new machine in a 3D view. By simulation they can see all parts movements and can make strength analysis. After 3D design hydraulic, pneumatic, electronic systems designs are done. After design stage ergonomic and functionality designs are made before prototype production. In this stage the completion time of the first step named as D2. By using past experiments the possible completion times and probabilities of them are giving below (Table 2).

D2	**P(D2)**
3	0.1
4	0.5
5	0.4

Table 2 D2 (possible completion times and probabilities)

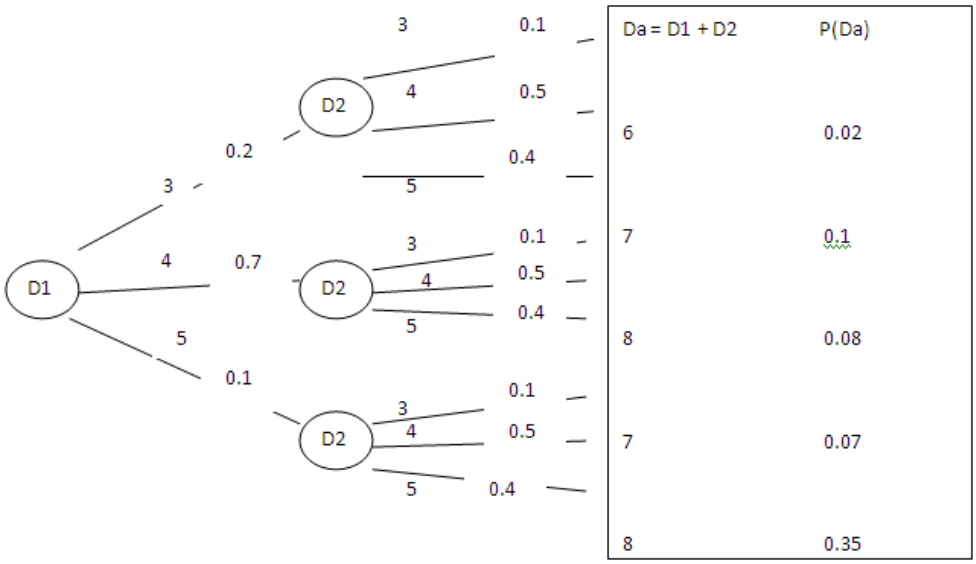


Figure 1 Da = D1 + D2 total completion time for first and second steps.

As you see in Figure 1 the total completion time for both first and second stage of the project named as Da and can be calculated by adding D1 and D2. And in Table 3 the completion times and their probabilities are given.

$Da = D_1 + D_2$				
Da	Hesaplama			**P(Da)**
6	0.2x0.1			0.02
7	0.2x0.5+	0.7x0.1		0.17
8	0.2x0.4+	0.7x0.5+	0.1x0.1	0.44
9		0.7x0.4+	0.1x0.5	0.33
10			0.1x0.4	0.04

Table 3 the completion times and their probabilities for Da

The third step of the project is production of prototype and experiments stage. The completion time of prototype production stage named as D3. And probability named as P(D3). Table 4 shows the completion times and probabilities of this times.

D3	**P(D3)**
4	0.2
5	0.4
6	0.4

Table 4 the completion times and their probabilities for D3

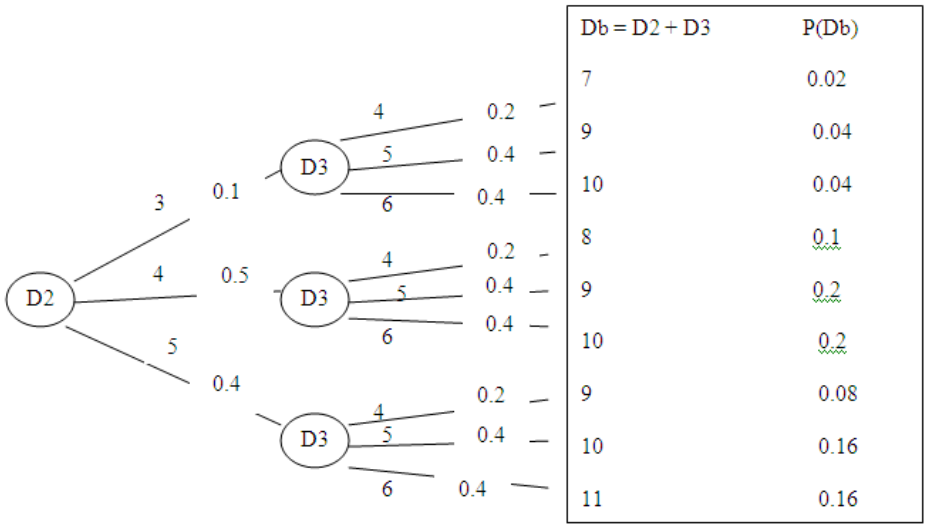


Figure 2 Db = D2 + D3 total completion time for second and third steps.

The total completion time named as Dc. Dc can be calculated in two ways. Dc is calculated by summing D1 and Db (D1 + Db = Dc) or by summing Da and D3 (Da + D3 = Dc). Table 5 shows the completion times for Dc and probabilities P(Dc).

Dc	**P(Dc)**
10	0.016
11	0.084
12	0.17
13	0.31
14	0.316
15	0.148
16	0.016

Table 5 the completion times and their probabilities for Dc

The machine design for the first time and because of the specifications of the processed pipe it is hard to developed. For all these reasons the project can be evaluated as a big R&D project. At the there might be a lot of overhead costs The firm has to study very hard on this project and some of his stuff has to work for only this project. So it will be risky if the project needs much time. And also firm wants to be supported by a national governmental foundation as TUBİTAK, KOSGEB or TTGV. Each foundations has different supporting ratio. However all of them want to support projects that finish in less than 13 months. In good conditions TUBİTAK supports 50%, TTGV supports 80% and KOSGEB supports 60% of the R&D projects cost. But this rates change in bad conditions. In Table 5 the completion time probabilities are calculated as 58% for 13 and less than 13 and 48% for more than 13 month. The manger of this project wants to give new probabilities for good and bad conditions in order 70% and 30%. For both condition the new possibilities are as follow.

Good condition (≤13) 0.58*0.70= 0.406

Bad condition (>13) 0.48*0.30= 0.144

The supporting amounts are shown in Table 6.

	Good condition (0,406)	Bad condition (0,144)
TUBİTAK	125000	40000
TTGV	200000	-40000

KOSGEB	150000	30000

Table 6 the supporting amounts

The expected values are given below.

EV(TUBİTAK) = 125000*0,406 + 40000*0,144 = 56510
EV(TTGV) = 200000*0,406 + (-40000)*0,144 = **75440**
EV(KOSGEB) = 150000*0,406 + 0,144*30000 = 29040

As seen the best choice will be TTGV because its expected values is the highest value. Expected value refers the average gain.

2.3. OPPORTUNITY COST

To make expecting value maximum, make the expected opportunity cost minimum, Minimum EOC table can be compose by subtracting minimum value of the column from all column members (Table 7).

	Good condition (0,406)	Bad condition (0,144)	EOC
TUBİTAK	200000-125000= 75000	40000-40000= 0	30450
TTGV	200000-200000= 0	40000-(-40000)= 80000	11520
KOSGEB	200000-150000= 50000	40000-30000= 10000	21740

Table 7 EOQ table

EOC1= (75000*0.406)+(0*0.144)=30450
EOC2= (0*0.406)+(0.144*80000)=**11520**
EOC3= (0.406*50000)+(0.144*10000)=21740

In this method we can find the same solution. Decision maker chooses TTGV to present the R&D project report to get supporting fund.

3. CONCLUSION

In Turkey automotive sector is unsteady and it is hard to take a place in this sector without making good decisions. Especially SME's have to find different money resources to live in this sector. There are some governmental supporting foundations in Turkey.
In this study by using probabilistic risk analysis model to decide which foundation is better for R&D project. For risk analysis first of all the main steps of the project are defined. The important thing for the project to get support is the completion time. By the past experience decision maker has found the completion times and their probabilities. By using decision trees the possible overall completion times have been calculated with probabilities. The decision maker cannot fell in confidence so s/he give new probabilities for good and bad conditions. The probabilities are 0.7 for optimistic situation, and 0.3 for bad situation. By the view of all these information decision maker chooses the second alternative. To be sure about his/her decision, s/he try another method that opportunity cost and has found the same result.
It is a good way to analyze risks before give a decision if it is a important decision. So for further studies these method can be improved by using different techniques.

4. REFERENCES

[1] Gregory, G., Decision Analysis, Plenum Press, New York, 1988, Chp 14, pg 337 - 362
[2] http://www.wisegeek.com/what-is-risk-analysis.htm; 20.04.2011
[3] http://en.wikipedia.org/wiki/Quantitative_risk_analysis; 20.04.2011
[4] Lee, E., Park, Y., Shin, J. G., Large engineering project risk management using a Bayesian belief network, Expert Systems with Applications 36 (2009) 5880–5887
[5] Ren, Z., et al., Collaborative project planning: A case study of seismic risk analysis using an e-engineering hub, Computers in Industry 57 (2006) 218–230

[6] Shen, L. Y., Project risk management in Hong Kong, International Journal of Project Management Vol. 15, No. 2, pp. 101-105, 1997
[7] Jaafari, A., Management of risks, uncertainties and opportunities on projects:
time for a fundamental shift, International Journal of Project Management 19 (2001) 89±101

Mehlika Kocabaş-M.Kocabaş (1982)was born in Konya.she complicated her undergrate education at Çankaya University. She is currently a PhD student in Industrial Engineering Department of Kocaeli University. She received the MS degrees from Selçuk University.
She worked as an industrial engineer, MS (as production manager) in automotive industry. Now She is research assistant in Kocaeli University.
Her main research areas are Ergonomics and logistics and Multi Criteria Decision Making.

Zerrin Aladağ–Z. Aladağ (1956) was born in Manisa. She completed her undergraduate education at Ege University. She is currently a professor in Industrial Engineering Department of Kocaeli University. She received the MS degree from Ege University, and PhD degree from Yıldız University. Her main research areas are Operations Research, Decision Analysis, and Multi Criteria Decision Making.
Prof. Aladağ is a membership of Chamber of Mechanical Engineers, Turkish Operations Research Association, and Turkish Statistical Association.

Gülşen Akman, Ph.D. is an Assistant Professor in the Industrial Engineering Department at the Kocaeli University in Turkey. She has graduate degrees from Gebze Institute of Technology (Ph.D.-Business Administration), Istanbul Technical University (MSc-Industrial Engineering) and Yıldız Technical university (BSc- Industrial Engineering). Her research interests span the fields of strategic innovation management, innovative capability, product design, product development in supply chain context, fuzzy set theory, multi criteria decision making, statistical analysis, manufacturing systems,

İNTERNET HİZMETİ VEREN BİR İŞLETMENİN KUYRUK MODELİ YARDIMIYLA ETKİNLİĞİNİN ÖLÇÜLMESİ

Mert Tunga EKENCİ[1]

ÖZET

Pek çok konuda rekabetin, teknolojik gelişmelerin yaşandığı günümüzde hizmet üreten işletmeler de gelişmekte, büyümekte, hizmet düzeyini, etkinliğini ve sürekliliğini artırma ihtiyacı duymaktadırlar. Bunun sonucunda da etkinliği artırma faktörü, rekabet ortamında yönetici için önemli bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır.

Sıra beklemenin söz konusu olduğu bir hizmet işletmesinde, hizmet talebinin belirsizliği, birbirine zıt iki durumu ortaya çıkarmaktadır. Bunlardan ilki, müşterilerin beklemesi ya da bekleme nedeniyle müşteri kaybı, ikincisi ise hizmet biriminin boş beklemesidir. Bu durumda yönetici hizmet kapasitesini arttırma ihtiyacını, işletmenin etkinliğini, kapasite artışının maliyetini ve getirisini detaylı hesap etmelidir. Hizmet kapasitesini gereksiz yere arttırmak, hizmet biriminin boş beklemesi durumunda işletmenin etkinliğini düşürüp, maliyeti arttıracaktır.

Bu çalışmada bekleme hattı modeli yardımıyla internet hizmeti veren bir işletmede müşterilerin sıra beklemelerine ilişkin model belirlenmiş ve sistemin ortalama etkinliği hesaplanmıştır. Daha sonra etkinlik ölçütleri ile işletmenin beklenen geliri hesaplanmıştır. Günlük gelir – talep dengesinin fiyata göre değişimi incelenmiştir. Farklı fiyatlandırma döneminde işletmenin günlük ve aylık toplam gelirleri karşılaştırılmış, hâlihazırdaki fiyatlandırma sisteminin eski sisteme göre olumlu ve olumsuz yanları sayısal değerlerle tartışılmıştır. Çalışmanın verileri Ankara ilindeki hizmet odaklı bir internet işletmesinden derlenmiştir.

Analiz sonucunda sistemin ortalama etkinlik ölçütlerinden biri olan doluluk oranının en fazla olduğu saat dilimi %73,01 ile hafta sonu 15:00 – 18:00 zaman diliminde olduğu tespit edilmiştir. İnternet hizmeti kullanım ücretinde yapılan indirim sonucunda doluluk oranı, sadece hafta sonu modelinde anlamlı bir artış sergilemiştir. Ayrıca işletmenin internet hizmetinden elde ettiği kazancı, yeni fiyatlandırma döneminde eski sisteme göre aylık ortalama 270 TL düştüğü tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İşletmelerde yöneylem, bekleme hattı, kuyruk modeli, hizmet etkinliği

1. GİRİŞ

Pek çok konuda rekabetin, teknolojik gelişmelerin yaşandığı günümüzde hizmet üreten işletmeler de gelişmekte, büyümekte, hizmet düzeyini, etkinliğini ve sürekliliğini artırma ihtiyacı duymaktadırlar. Bunun sonucunda da etkinliği artırma faktörü, rekabet ortamında yönetici için önemli bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır.

Sıra beklemenin söz konusu olduğu bir hizmet işletmesinde, hizmet talebinin belirsizliği, birbirine zıt iki durumu ortaya çıkarmaktadır. Bunlardan ilki, müşterilerin beklemesi ya da bekleme nedeniyle müşteri kaybı, ikincisi ise hizmet biriminin boş beklemesidir. Bu durumda yönetici hizmet kapasitesini arttırma ihtiyacını, işletmenin etkinliğini, kapasite artışının maliyetini ve getirisini detaylı hesap etmelidir. Hizmet kapasitesini gereksiz yere arttırmak, hizmet biriminin boş beklemesi durumunda işletmenin etkinliğini düşürüp, maliyeti arttıracaktır.

İnternet hizmeti veren işletmeler için müşterilerin geliş sıklığı kadar internet hizmet süresinin de artışı kazanç açısından önemli bir değişkendir. Müşterilerin birçoğu alacağı hizmetin süresini aşağı yukarı belirlerken, kimi müşteriler için bu değişken alacağı hizmetin fiyatı ile ters orantılı olarak değişmektedir. Günümüzde internet hizmeti bilgilenme, eğitim, ödev hazırlama gibi konularda gereklilik haline geldiği gibi boş zamanları değerlendirmede de birçok kişi için ilk tercih edilen araç olmuştur. Gerek çevrimiçi oyunları ile gerekse farklı oyun çeşitleriyle, hizmet odaklı internet işletmeleri kimi müşteriler için vazgeçilmezdir.

Bu çalışmanın amacı, rekabet ortamında internet hizmeti veren bir işletmenin kuyruk modeli yardımıyla etkinlik değerlerinin tahmini ve bu tahminler yardımıyla işletmenin talep – fiyat dengesini sağlayarak geliri arttıracak çözümler üretmektir. Çalışmada öncelikle bekleme hattı hakkında genel teorik bilgiler verilip çeşitli kuyruk modelleri incelenmiştir. Uygulama kısmında ise işletmenin etkinliği farklı saat dilimlerine ve haftanın günlerine göre incelenmiştir. Son olarak işletmenin ihtiyaçları göz önünde bulundurularak farklı problemlere çözüm önerisi getirilmiştir.

2. BEKLEME HATTI KURAMI

Bekleme hattı, belirli bir zaman birimi içerisinde iş bitirme hizmetinin yürütüldüğü bir veya çok sayıda hizmet merkezlerine işi bitirilecek olandan fazla birimlerin gelmesi halinde ortaya çıkmaktadır. Böyle durumlarda kuyruk dediğimiz bir bekleme hattı oluşmaktadır (Yılmaz, 2000).

Bekleme hattı oluşmasında, rastgele olarak oluşan varışlar ve süresi rastgele gerçekleşen servisler söz konusudur. Servis sayısının tespiti, verilen hizmetin süresini arttırma veya azaltma gibi problemlerin çözümünde "Bekleme Hattı" kuramından faydalanılır.

Kuyruk genellikle, motorlu araçlar kuyruğu, müşteri kuyruğu, sipariş kuyruğu, hava alanında uçak kuyruğu, yük boşaltımı yapacak olan gemi, tren kuyruğu şeklinde amaca göre farklı isimler alabilmektedir.

Bekleme hattı problemlerinin incelenmesi ile ilgili ilk sistematik çalışmaları 1909 yılında Danimarkalı A. K. Erlang yayınlamıştır. Bu ve daha sonraki çalışmalarda bekleme hattı teorisinin kullanılması öncelikli olarak telefon şebekeleri ile sınırlı kalmıştır. Bekleme hattı geniş kullanımına ikinci dünya savaşı sırasında çıkan askeri alandaki çeşitli kuyruk problemleri ile başlamıştır (Yılmaz, 2000).

Bekleme hattı oluşumu hallerinde, problem aşağıdaki iki nedenle oluşur:

1. Olanaklara çok fazla talep vardır. Bu takdirde bekleme zamanı fazladır veya servis olanakları yetersizdir diyebiliriz.
2. Olanaklar için mevcut talep çok azdır. Bu takdirde çok fazla tesis zamanı vardır veya çok fazla olanaklar vardır diyebiliriz (Karayalçın, 1993).

Öte yandan bekleme zamanı ile boş bekleme zamanının meydana getirdiği maliyetler arasında optimum bir denge olması istenir.

Bekleme Hattı ve Maliyet İlişkisi

Bekleme hattı sistemlerinde önemli durumlardan biri de maliyet problemidir. Burada iki türlü maliyet söz konusudur. Bunlardan birisi müşterilerin bekleyişlerinden dolayı oluşan maliyet, diğeri ise hizmet olanaklarının boş kalışından dolayı oluşan maliyettir.

Sisteme gelen müşterilerin büyük bir oranına hizmet verilmek istendiğinde, dalgalanmaları göz önünde bulundurmak için hizmet kapasitesini gereğinden fazla tutmak gerekmektedir. Bu uygulama bazen hizmet olanaklarının aylak (boş) kalmasına neden olur. Hizmet olanaklarının aylak kalışı ise müşteri olmamasından kaynaklanabileceği gibi, müşterilerin hizmete alınana kadar beklememeleri durumlarından ve müşterilerin gelişleri arasındaki zaman farklılaşmalarından da meydana gelebilir. Hizmete açık iken talep azlığından aylak kalan her hizmet noktasındaki isletme giderlerinin tümü aylak kalış maliyeti olarak tanımlanır. Hizmet olanaklarının boş kalışından oluşan bu maliyet, hizmet kapasitesiyle doğru orantılıdır. Hizmet kapasitesi arttıkça aylak kalış maliyeti de artacaktır (Çevik ve Yazgan, 2008).

Taleplerin karşılanmasında bir darlık söz konusu olduğunda da, müşteriler hizmetlerinin görülebilmesi için beklemek durumunda kalmaktadırlar. Bu darlığın sebebi, olanakların azlığından veya olanakların düzensiz olmasından kaynaklanabilmektedir. Müşterilerin bekleyişleri, bir kaynak kullanılmama durumu olmasından dolayı, müşterilerin beklemesinden bekleme zamanı maliyeti oluşur. Bekleme zamanı maliyeti, hizmet kapasitesiyle ters orantılı olduğu için kapasite arttıkça bekleme zamanı maliyeti azalacaktır.

Bekleme hattı sistemlerinin yapısında çeşitli hizmet tesisleri bulunabilmektedir. Bu hizmet tesislerinin kapasitelerinin gereğinden fazla olması durumunda tesislerin atıl kalacağı, az olduğu durumlarda ise müşterilerin uzun süre bekleyeceği açıktır. Sistemin atıl kalma durumu ve müşteri bekleme zamanları mümkün olduğu ölçüde en aza indirilebilirse sistemin etkinliği artırılmış olacaktır. Ancak, sözü edilen sistemin boş beklemesiyle müşterilerin bekleme hattında beklemesi olayları birbirleriyle ters orantılıdır. Bu durum bekleme hattı sistemlerinde karar sürecinin temel özelliğidir (Çevik ve Yazgan, 2008).

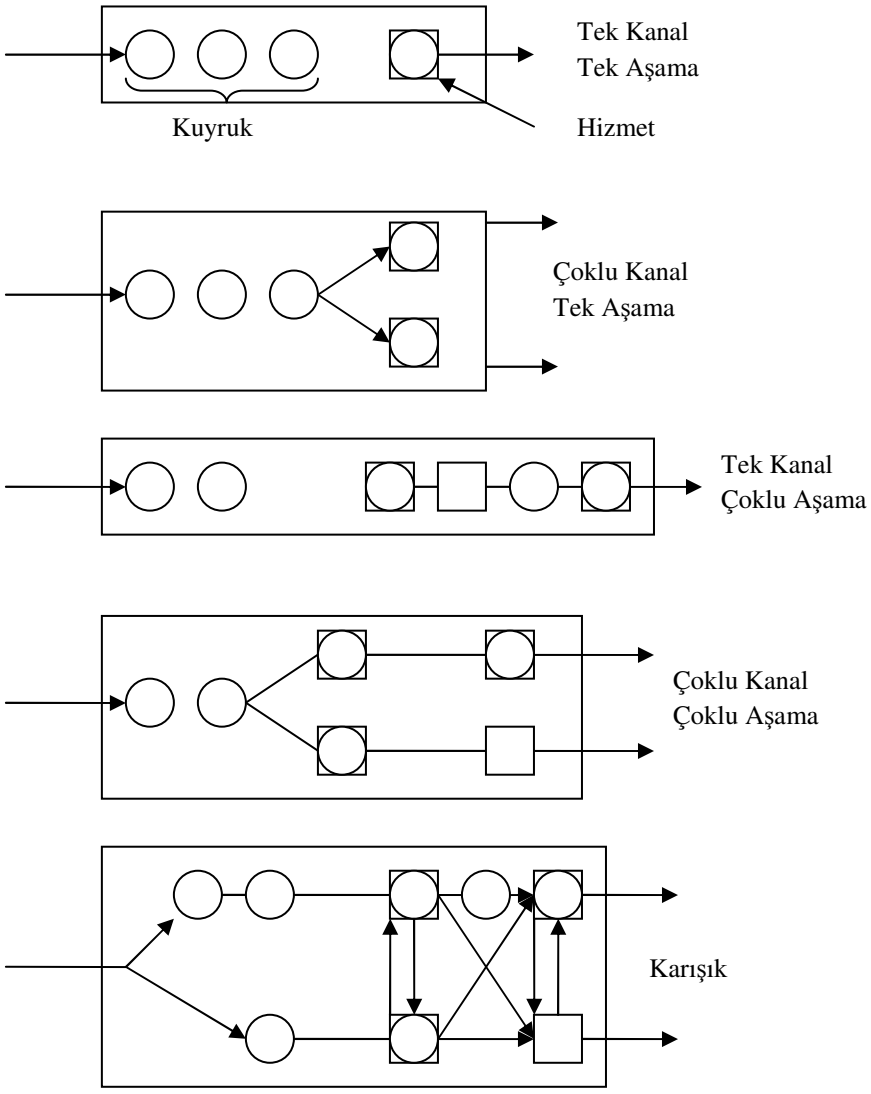
Temel Kavramlar ve Etkinlik Ölçütleri

Bekleme hattı problemlerinin yapısını analiz edebilmek ve işletmenin etkinliğini değerlendirebilmek için kuramla ilgili bazı temel kavramların bilinmesi gereklidir. Aşağıda bu kavramlar kısaca açıklanmıştır.

Servis Kanalı: Müşterilere hizmeti veren sistem veya süreçtir. Örneğin, internet hizmeti veren bir işletmede, müşterinin internete erişimini sağlayabileceği aynı özellikteki her bir bilgisayar servis kanalıdır.
Kuyruktaki Müşteri Sayısı: Bir servis tamamlandığında kuyruktaki müşteri sayısı servisin durumunu belirler. Önceki hizmet tamamlandığında veya hiç başlamamışken kuyrukta müşteri yoksa servis boş, müşteri varsa servis dolu durumdadır denir.
Sistemdeki Müşteri Sayısı: Kuyrukta bekleyenler ile hizmet alan müşterilerin toplamıdır.
Kuyrukta Bekleme Süresi: Müşterinin dolu olan servisten hizmet almak için sisteme varışından itibaren servisin boşalmasına kadar geçen ortalama süredir.
Model: Bir sistemin gösterimidir. Bu gösterim, bir sistemi tanımlamak için sistem durumunu, nesnelerini, olaylarını ve faaliyetlerini kullanan matematiksel ve mantıksal ilişkileri kapsar.
Müşteri Varışı: Sistemin durumunu değiştirir. Yani, servis boş ise dolu duruma geçer veya servislerin tamamı dolu iken kuyruktaki müşteri sayısını bir arttırır.
Geliş Hızı(λ): Birim zamanda sisteme gelen ortalama birim sayısını gösterir.
Servis Hızı(μ): Birim zamanda sistemde servise göre ortalama birim sayısını gösterir.
Doluluk Oranı: Hizmet süresinin ($1/\mu$), gelişler arası süreye ($1/\lambda$) oranıdır. Başlıca etkinlik ölçütleri olarak alınabilir.
Servis Disiplini: Servis istasyonunun, servis için müşteri seçiminde koyduğu ve uyguladığı politikalara servis disiplini denir. Servis disiplini seçimi maliyetleri etkileyen bir karar sürecidir. Dört tip servis disiplininden söz edilebilir. Bunlar;
F.I.F.O.(ilk giren ilk çıkar), L.I.F.O. (son giren ilk çıkar), Rastgele Seçim ve Öncelikli Seçim'dir. Bu servis disiplinleri uluslar arası standartlarda F.C.F.S. (ilk giren ilk servis alır), L.C.F.S. (Son giren ilk servis alır), S.I.R.O.(Rastgele servis, geliş önemli değil) ve GD (Genel servis disiplini) seklinde de isimlendirilir (Taha, 2002).

Kuyruk Modelleri ve Notasyonlar
Bazı Kuyruk Modelleri

M/M/1/∞/∞/FIFO: Gelişler arası ve servis süreleri dağılımları üsseldir. Bir servis birimi vardır. Kuyruk büyüklükleri ve kaynak yığını sonsuzdur (Temel Model).
M/M/s/∞/∞/FIFO: Gelişler arası ve servis süreleri dağılımları üsseldir. "s" adet servis birimi vardır. Kuyruk büyüklükleri ve kaynak yığını sonsuzdur.
M/G/1/∞/∞/FIFO: Gelişler arası süre dağılımları üsseldir. Servis süresi dağılımı ortalama ve standart sapma değeri olan genel dağılımdır. Bir servis birimi vardır. Kuyruk büyüklükleri ve kaynak yığını sonsuzdur.
M/D/1/∞/∞/FIFO: Gelişler arası süre dağılımları üsseldir. Servis süresi deterministiktir. Bir servis birimi vardır. Kuyruk büyüklükleri ve kaynak yığını sonsuzdur.
M/M/s/k/∞/FIFO: Gelişler arası ve servis süreleri dağılımları üsseldir. "s" adet servis birimi vardır. Kuyruk büyüklüğü k adet birimle sınırlı ve kaynak yığını sonsuzdur.
M/M/s/K/K/FIFO: Gelişler arası ve servis süreleri dağılımları üsseldir. "s" adet servis birimi vardır. Kuyruk büyüklüğü kaynak yığınını geçemez. Kaynak yığını K birimle sınırlıdır.
İşletmelerde kuyruk sistemi farklı şekillerde olabilir.



Notasyomlar ve Tanımlar

Model Parametreleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

λ : Birim zamanda servis görmek üzere gelen müşterilerin sayısı
μ : Birim zamanda sistemde servise göre ortalama birim sayısı
s: Sistemde açık bulunan servis sağlayıcısı
Lq: Servis için kuyrukta bekleyen ortalama birim sayısı
L: Sistemde bulunan ortalama birim sayısı (kuyruktakiler ile servistekilerin toplamı)
Wq: Bir birimin kuyrukta geçirdiği ortalama süre
W: Bir birimin sistemde geçirdiği ortalama süre (kuyruktaki ve servisteki süreler toplamı)
ρ : Doluluk oranı. Servis birimlerinin zamanının dolu geçme yüzdesi (servis birimlerinin meşguliyet oranı %)
Po: Sistemde hiç müşteri olmama olasılığı
Pn: Sistemde n müşteri olma olasılığı

3. UYGULAMA

İşletmenin Özellikleri

Asıl gelirini internet hizmeti vererek elde eden işletmede diğer hizmetler; bilgisayar bakım ve onarımı, doküman kopyalama ve diğer hizmet gelirleridir. İşletmede internet hizmeti veren 19 adet çalışır durumda bilgisayar bulunmaktadır. Bu bilgisayarların aynı hızda homojen hizmet verebildiği varsayılmaktadır.

İşletmeden internet hizmeti talep edenlerin çoğunluğunu bölgedeki mahalle sakinleri, ortaokul ve lise öğrencileri ve çevre devlet yurtlarında kalan üniversite öğrencilerinin oluşturduğu gözlenmiştir.

İşletmeci 150 metre yakınındaki devlet yurdunda sağlanan ücretli internet erişim hizmetini rakip olarak görmektedir. İşletmeci son dönemde internet hizmetine olan talebin düştüğünü belirtmektedir. Bu düşüşe, rakip işletmenin fiyatları değiştirmeden teknolojik yenilik yapmasının neden olduğunu düşünmektedir. Bundan ötürü işletme 26 Kasım 2010 tarihi itibariyle internet hizmeti saatlik ücretine 50 kuruş indirim uygulayarak 1 TL olarak yeniden fiyatlandırmıştır.

Problemler

i. İşletme fiyat – talep dengesinde piyasada söz sahibi değildir.
ii. İşletme kar elde edemeyecek derecede atıl kapasite ile hizmet vermektedir.
iii. İşletmeci, 2010 yılı son iki ay için yeni fiyatlandırma ile ortalama kazanıcının hangi seviyede olduğunu bilmek istemektedir.
iv. İşletmeci iki farklı fiyatlandırma dönemini karşılaştırmayı istemektedir.
v. İşletme internet hizmetinden elde ettiği gelir seviyesinin tekrar eski istikrarına ulaşmasını amaçlayacak çözüm yolları aramaktadır.
vi. İşletme doluluk oranını, kuyruk sorunu olmayacak şekilde arttırmayı amaçlamaktadır.

Sistemin Yapısı

İşletmede öncelikli sorun, internet hizmetine olan talebin düşmesidir. Buna bağlı olarak da elde edilen aylık gelir seviyesi de düşmektedir. İşletmeden alınan veriler incelendiğinde müşteri varışlarının haftanın farklı günlerine ve günün farklı saatlerine göre değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca ortalama hizmet sürelerinin de haftanın günlerine göre anlamlı farklılıklar içerdiği gözlenmiştir.

Bu sistemde "ilk gelen ilk servis alır" şeklindeki servis disiplini ile hizmet sunulmaktadır. İşletme bazı gecikmeler dışında sabah saat 9:00'da hizmete açılmaktadır. İnternet hizmeti 23:30 itibariyle son bulmaktadır.

Verilerin Toplanması ve İncelenmesi

Veriler 27.09.2010 tarihi itibariyle işletmenin günlük olarak 19 farklı servis ünitesine göre kayıt altına alınan ana bilgisayardan elde edilmiştir. İşletmenin ihtiyaçları ve problemleri doğrultusunda daha eski tarihli verilere gereksinim duyulmamıştır. Verilerin 15.12.2010 tarihine kadar kaydı tutulmuştur. Varış saati olarak internet servisinin müşterinin kullanımına ilk açıldığı saniye dikkate alınmıştır. Hizmet müşterinin internet oturumunu kapatması veya yönetici bilgisayardan kapatma talimatı gelmesiyle son bulmaktadır. Hizmet süresi de bu veriler ışığında yönetici bilgisayar tarafından otomatik olarak kayıt altına alınmıştır. Ayrıca internet kullanım ücreti, indirimler ve diğer ödemelerin de hizmet noktası bazında kaydı tutulmuştur.

Excel programına aktarılan veriler incelenmiş ve sistemin tam kapasite çalıştığı saat dilimleri tespit edilmiştir. Daha sonra işletmenin kamera kayıtlarından faydalanarak kuyruk probleminin boyutu üzerine yoğunlaşılmıştır. Sistemin tam kapasitede çalıştığı saatler teyit edilip, müşteri kuyruk uzunluğu ve saatlik dilimlere göre servislerin doluluk oranları incelenmiştir.

Excel ve SPSS paket programları aracılığıyla müşteri hızları ve hizmet süresi parametreleri günlük homojen saat dilimlerine ayrılmıştır. Bu işlem sonucunda hizmet süresi parametresi hafta içi ve hafta sonu olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Müşteri varış hızlarının ise günlük üç saatlik dilimler halinde incelenmesine karar verilmiştir.

Model Seçimi

Müşterilerin sisteme gelişleri tesadüfîdir. İlk gelenin ilk servis aldığı hizmet sunulmaktadır. Sistemde aynı anda en fazla 19 kişiye internet hizmeti verilebilmektedir. Kuyrukta sınırsız sayıda birim bekleyebilir. Kuyrukta

bekleyen müşteriler çeşitli nedenlerle sistemi terk edebilirler. Geliş hızı Poisson sürecine uygundur (bkz. Tablo 1.1. ve 1.2.). Gelişler arası süre ve servis süreleri üstel dağılımla açıklanmaktadır (bkz Grafik 1.1 ve 1.2.). Geliş hızı toplam servis hızından küçüktür şartı ($\lambda < s.\mu$) farklı saat dilimleri için ve hafta içi – hafta sonu ayrımına göre sağlanmaktadır.

Sistem bu şekliyle M/M/s/∞/∞/FIFO model kalıbına uymaktadır.

Tablo 1.1. Varışların Poisson Dağılımına Uygunluğu (Salı)

	12:00-15:00	15:00-18:00	18:00-21:00	21:00-23:00
N	10	17	25	10
Mutlak Değerce Uç Farklar	0,321	0,283	0,255	0,226
K-S Z-Değeri	1,016	1,168	1,277	0,715
P-değeri (çift yönlü)	0,253	0,130	0,077	0,686

Hafta içi örneğin Salı günü verileri incelendiğinde hipotez kurarsak;

H0: Örneğin seçildiği yığının dağılımı Poisson dağılımına uyar.
H1: Örneğin seçildiği yığının dağılımı Poisson dağılımına uymaz.

Sonuç tablosu incelendiğinde ilgili P değerleri $\alpha = 0,05$'ten küçük değildir. Dolayısıyla %95 güven düzeyinde H0 hipotezi reddedilemez. Seçilen örnek dağılımı Poisson dağılımı olan bir yığından çekilmiştir.

Tablo 1.2. Varışların Poisson'a Uygunluğu (Cumartesi)

	12:00-15:00	15:00-18:00	18:00-21:00	21:00-23:00
N	24	24	31	12
Mutlak değerce uç fark	0,181	0,234	0,214	0,139
K-S Z değeri	0,887	1,148	1,193	0,481
P-değeri (çift yönlü)	0,411	0,144	0,116	0,975

Hafta sonu için yoğunluğun fazla olduğu bir cumartesi günü için hipotezler şu şekildedir;

H0: Örneğin seçildiği yığının dağılımı Poisson Dağılımına uyar.
H1: Örneğin seçildiği yığının dağılımı Poisson Dağılımına uymaz.

Sonuç tablosu dikkatle incelendiğinde ilgili P değerleri $\alpha = 0,05$'ten küçük değildir. Dolayısıyla %95 güven düzeyinde H0 hipotezi reddedilemez. Dolayısıyla dört örneğinde seçildiği yığın poisson dağılımına uymaktadır.

Grafik 1.1. Hizmet Süresi Dağılımı

Hizmet süresi üstel dağılıma uymaktadır. İki çizgi arasındaki farklar dağılımdan sapmalara işaret etmektedir.

Grafik 1.2. Gelişler Arası Süre Dağılımı

Müşterilerin varışları (gelişler) arası sürelerin dağılımı üstel dağılıma uymaktadır. İki çizgi arasındaki farklar dağılımdan sapmalara işaret etmektedir.

Kısıtlayıcılar

Sistem saat 9:00'da hizmete açılmakta ve 23:30'da kapanmaktadır. Ancak veriler incelendiğinde sabahki varışların çokça değişkenlik gösterdiği varış süreci bakımından tutarsız olduğu düşünülmüştür. Ayrıca saat 12:00'ye kadarki varışlar ve 23:00'den sonraki varışlar içinde kuyruk oluşma ihtimalinin çok düşük olduğu kanısına varılmıştır. Bu uç değerlerin gelir – talep ilişkisinde incelenmesinin önemsiz olduğu aşikârdır. Verilerin analizinde 12:00 – 23:00 saatleri arasında gerçekleşen varışlar dikkate alınmıştır.

Hizmeti sağlayan servis ünitesi (bilgisayarlar) 19 adetle sınırlıdır. Kısa vadede servis sayısı arttırılabilecek kapasitede değildir.

Kuyruk sistemine gelen müşterilerin sayısı(n), kanal sayısından(s) az veya ona eşit, yani $n \leq c$ ise kuyrukta beklemeden müşteri hizmet göreceğinden kuyrukta bekleme süresi olmayacaktır. Buna karşın $n > c$ ise c sayıda müşteriye hizmet sunulacağından n-c sayıdaki müşteri kuyrukta bekleyecektir.

Materyal ve Yöntem

Araştırmanın materyalini internet hizmeti veren bir işletmede bilgisayar ortamında kaydı alınan veriler ve işletme sahasında toplanan gözlemler oluşturmaktadır. Hizmet noktasındaki bekleme hattı sisteminde varışların kaynağı sınırısız ve sonsuz kuyruklu çok kanallı model olarak değerlendirilmiştir. Veriler 27.09.2010 tarihinden 25.11.2010 tarihine kadar eski fiyatlandırma dönemini kapsamakta, 26.11.2010 tarihinden 15.12.2010 tarihine kadar ise yeni fiyatlandırma dönemi olarak adlandırılmaktadır.

Hizmet süresi ve varışlar arası sürenin üstel dağılıma uygunluğu Best Fit programı ile grafik üzerinde gözlenmiştir. Müşteri varışları ise üç saatlik dilimler halinde ayrı ayrı Poisson sürecine uyup uymadığı "Tek Örneklem Kolmogorov - Simirnov Uyum İyiliği Testi" ile test edilmiştir.

Modelin belirlenmesinden sonra, Excel programında modele uygun olarak kuyruk modeli etkinlik ölçütleri için denklemler elde edilmiştir. Elde edilen parametreler yardımıyla işletmenin fiyatlandırma dönemine göre, eski ve yeni performans değerleri karşılaştırılmıştır. Bu değerler ışığında işletmenin saatlik dilimlere göre elde ettiği beklenen kazançları hafta içi ve hafta sonu modellerinde ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Analiz Sonuçları

Saat 09:00–23:30 arası hizmet veren işletmede genel yoğunluk hafta sonu görülmekte, işletmede saat 12:00'ye kadar herhangi bir kuyruk beklenilmemektedir.

Varış süreci $1/\lambda$ hafta içi ve hafta sonu günün saatine göre değişkenlik göstermektedir. Varış süreci için parametreler Tablo 2.1. ve 2.2.'deki gibidir.

Tablo 2.1. Eski Fiyatlandırma Dönemi Müşteri Varış Hızı - λ (m/sa)

	12:00 – 15:00	15:00 – 18:00	18:00 – 21:00	21:00 – 23:00
Hafta İçi	4,41	7,17	5,85	4,04
Hafta Sonu	8,90	7,87	5,36	3,35

İşletmenin, internet hizmet ücretini saatlik 1,5 TL olarak belirlediği eski fiyatlandırma döneminde müşteri varışları Tablo 2.1.'deki gibidir. Hafta içi saatte ortalama 7,17 müşteri ile 15:00 – 18:00, varışların en yoğun gerçekleştiği saat dilimidir.

Hafta sonu ise saatte ortalama 8,9 müşteri ile 12:00 – 15:00, varışların en yoğun gerçekleştiği saat dilimi olarak hesaplanmıştır.

Tablo 2.2. Yeni Fiyatlandırma Dönemi Müşteri Varış Hızı - λ (m/sa)

	12:00 – 15:00	15:00 – 18:00	18:00 – 21:00	21:00 – 23:00
Hafta İçi	5,61	6,62	9,98	4,08

Hafta Sonu	8,55	8,67	6,41	5,10

İşletmenin, internet hizmet ücretini saatlik 1,0 TL olarak belirlediği yeni fiyatlandırma döneminde müşteri varışları Tablo 2.2.'deki gibidir. Hafta içi saatte ortalama 9,98 müşteri ile 18:00 – 21:00, varışların en yoğun gerçekleştiği saat dilimidir.

Hafta sonu ise saatte ortalama 8,67 müşteri ile 15:00 – 18:00, varışların en yoğun gerçekleştiği saat dilimi olarak hesaplanmıştır.

Servis hızı μ'nün hafta içi ve hafta sonuna göre farklılık gösterdiği tespit edilmiş olup, günün saatlerine göre hizmet süresinde anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Servis hızı (hizmet süresi) parametreleri, eski ve yeni fiyatlandırma dönemine göre Tablo 3.'deki gibi hesaplanmıştır.

Tablo 3. Fiyatlandırma Dönemlerinde Hizmet Süresi Parametreleri - 1/μ (dk)

	Eski Fiyatlandırma Dönemi	Yeni Fiyatlandırma Dönemi
Hafta İçi	81 dk	79 dk
Hafta Sonu	84 dk	96 dk

Ortalama internet hizmeti kullanım süresi, hafta içi eski fiyatlandırma döneminde 81dk iken yeni fiyatlandırma döneminde 79dk bulunmuştur. Hafta sonu ise 84dk olan hizmet süresi, yeni fiyatlandırma ile 12dk artış göstermiş ve 96dk olarak hesaplanmıştır.

İşletme için diğer etkinlik ölçütleri Tablo 4.1. ve 4.2.'deki gibi hesaplanmıştır.

Tablo 4.1. İşletmenin Hafta Sonu İçin Etkinlik Değerleri

	Fiyatlandırma Dönemi	**Doluluk Oranı ρ (%)**	**Lq(kişi) – Wq(dk)**	**Hizmet Geliri (TL/3 sa)**	**Gelir Farkı (Yeni – Eski)**
12:00 – 15:00	Eski	65,58	0,17 – 1,12	46,73	-5,69TL
	Yeni	72,00	0,53 – 3,72	41,04	
15:00 – 18:00	Eski	57,99	0,04 – 0,27	41,32	0,30TL
	Yeni	73,01	0,63 – 4,34	41,62	
18:00 – 21:00	Eski	38,76	0,00 – 0,00	27,62	3,15TL
	Yeni	53,98	0,01 – 0,13	30,77	
21:00 – 23:00	Eski	24,68	0,00 – 0,00	17,59	6,89TL
	Yeni	42,95	0,00 – 0,01	24,48	

İşletmenin hafta sonu doluluk oranları incelendiğinde, yeni fiyatlandırma döneminde doluluk oranları eski fiyatlandırma dönemine göre her saat dilimi için artış göstermiştir. Eski fiyatlandırma döneminde hafta sonu doluluk oranı %65,58 ile en yüksek değerine ulaşmakta iken, yeni fiyatlandırma döneminde bu oran 15:00 – 18:00 saat diliminde %73,01 doluluk ile en yüksek değeri almıştır.

İşletmenin bekleme hattı incelendiğinde, kuyrukta bekleyen ortalama kişi sayısı yeni dönemde aldığı en yüksek değer 0,63 bulunmuştur. Söz konusu saat diliminde oluşacak kuyrukta, bekleme süresi 4,34dk hesaplanmıştır.

İşletmenin internet hizmetinden sağladığı yeni dönemdeki beklenen geliri, eski döneme göre (hafta sonu modeli için) akşam saatlerinde artmaktadır.

Tablo 4.2. İşletmenin Hafta İçi İçin Etkinlik Değerleri

	Fiyatlandırma Dönemi	**Doluluk Oranı ρ (%)**	**Lq(kişi) - Wq(dk)**	**Hizmet Geliri (TL/3 sa)**	**Gelir Farkı (Yeni – Eski)**
12:00 – 15:00	Eski	31,33	0,00 – 0,00	22,33	-5,18TL
	Yeni	38,86	0,00 – 0,00	22,15	
15:00 – 18:00	Eski	50,94	0,01 – 0,05	36,30	-10,14TL
	Yeni	45,90	0,00 – 0,02	26,16	
18:00 – 21:00	Eski	41,57	0,00 – 0,00	29,62	-2,04TL
	Yeni	48,37	0,00 – 0,02	27,57	
21:00 – 23:00	Eski	28,69	0,00 – 0,00	20,44	-4,33TL
	Yeni	28,27	0,00 – 0,00	16,12	

İşletmenin hafta içi doluluk oranları incelendiğinde, yeni fiyatlandırma döneminde doluluk oranları eski fiyatlandırma dönemine göre her saat dilimi için artış göstermemiştir. Çoğunlukla önemsiz derecede artış veya azalış şeklinde seyretmiştir. Eski fiyatlandırma döneminde hafta içi doluluk oranı %50,94 ile en yüksek değerine ulaşmakta iken, yeni fiyatlandırma döneminde bu oran 15:00 – 18:00 saat diliminde %45,90 doluluk seviyelerinde kalmıştır.

İşletmenin hafta içi bekleme hattı incelendiğinde, kuyrukta bekleyen ortalama kişi sayısı çok az veya neredeyse hiç yoktur. Hafta içi işletme için kuyruk probleminden ziyade işletmenin az kapasite ile çalışması sorun teşkil etmektedir.

İşletmenin yeni dönemdeki indirim ile internet hizmetinden sağladığı beklenen geliri, eski döneme göre sürekli düşüş göstermiştir. Bunun nedeni hafta içi internet hizmeti kullanım süresinin anlamlı bir artış gösterememesi ve varış hızının da hafta sonunda olduğu gibi önemli derecede artışının sağlanamamasıdır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Rekabet ortamında talebi dengeleyebilmek adına, internet kullanım ücretinde yapılan indirim sonucunda, ortalama hizmet süresi hafta içi anlamlı bir değişikliğe uğramamıştır. Hafta sonu ise indirimle birlikte yeni dönemde ortalama hizmet süresi eski döneme göre ortalama 12dk. artış göstermiştir.

Genel olarak müşteri geliş hızları indirimle birlikte artış göstermekle beraber, bu artışın etkisi, hafta sonu modelinde daha anlaşılır bir hal almıştır.

Yeni fiyat uygulaması gelir açısından bakıldığında sadece hafta sonu 15:00 'dan sonraki saatlerde kârlı bulunmuştur. Bu karardan dolayı şirket eski kazancına nazaran haftalık ortalama 70TL daha az gelir elde etmektedir.

Kuyruk oluşumu açısından değerlendirildiğinde, indirimle beraber hafta sonu modelinde genellikle öğleden sonraki saatlerde kuyruk gözlenmektedir. Hafta içi herhangi bir kuyruk oluşumundan kaynaklı ek maliyet oluşmamaktadır. Kuyruk yaşanan saatlerde işletme sahibinin bilgisayar sayısını artırması ciddi bir maliyete neden olacaktır. Dolayısıyla ilave bir bilgisayar almak işletmenin maliyetlerini daha da artıracaktır. Sadece hafta sonu yaşanan bir kuyruğu engellemek için bilgisayar alımına gidilmesi akılcı değildir. Bu seçeneğin yerine mevcut bilgisayarda teknolojik yeniliklere gitmek genel talebin artmasını sağlayabilir.

Şirket sektöründe fiyat-talep ayarlaması konusunda söz sahibi değildir. Ancak hafta içi – hafta sonu modellerinde çıkan sonuçlara göre işletme, günlük alternatif fiyat uygulamasına gidebilir. İşletme bu talep

koşullarında devam ettiği takdirde hafta içi yapılan indirimin geri dönüşünü sağlayamamaktadır. Çünkü hafta içi internet hizmetine olan talep kısıtlıdır.

Hafta sonu modelinde ise, internet kullanım amacının daha çok boş zaman aktivitesi olarak talep edilmesinden ötürü, indirim sonucu hizmet süresi ve varışlar artış göstermektedir. İndirimle beraber işletmedeki hafta sonu doluluk oranı da artmaktadır.

İşletmenin 400 m. yakınında ki ev ve iş yerlerine reklam kampanyaları düzenlenebilir. Ayrıca yakın çevrede bulunan devlet yurtlarına da broşür dağıtımı ile reklam yapılabilir.

5. KAYNAKLAR

ÇEVİK, O., YAZGAN, A. E., "Hizmet Üreten Bir Sistemin Bekleme Hattı (Kuyruk) Modeli İle Etkinliğinin Ölçülmesi", **Niğde Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi,** 1, (2): 119–128, 2008.

KARAYALÇIN, İ., İ., "Bekleme Hattı ve Kuyruk Oluşum Modelleri", **Kantitatif Planlama ve Karar Verme Yöntemleri**, Baskı: 3, Menteş Yayınevi, İstanbul, 1993, s. 417 - 419.

TAHA, A. Hamdy, **Yöneylem Araştırması**, 6. Basımdan Çeviri, Çeviren ve Uygulayanlar: S. Alp Baray, Şakir Esnaf, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 2002.

YILMAZ, Z., "Bekleme Hattı Sistemleri", **Sayısal Yöntemler**, Baskı: 3, Uludağ Üniversitesi Basımevi, Bursa, 2000, s. 235 - 237.

ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ İLE KIRIKKALE BELEDİYESİ HALK EKMEK DAĞITIMI

Muhammet DEGE, Erhan SUNGUR, Burak AYTAÇ, Tamer EREN

Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara yolu 71451 KIRIKKALE
tamereren@gmail.com

ÖZET

Araç rotalama problemi, belirli bir kapasiteye sahip olan araç filosunun, maliyetleri minimize ederek, müşterilere hizmet vermek için çeşitli yerlerde durarak, etkin olarak kullanılmasını amaçlamaktadır. Problemin amacı kullanılacak araç sayısını ve toplam seyahat mesafesini minimize etmektir. Her bir aracın kapasitesi ve her bir müşterinin karşılanması gereken bir talebi vardır.
Bu çalışmada Kırıkkale Belediyesi Halk Ekmek Fabrikası'nın ekmek dağıtım rotaları belirlenecektir. Problem için 0-1 tamsayılı matematiksel programlama modeli kurulmuştur. Bulunan sonuçlar GAMS 23.5 paket programıyla çözülmüştür. Ayrıca ele alınan problemin tasarruf algoritması ile de etkin bir şekilde çözülebileceği gösterilmiştir. Bulunan sonuçlar mevcut durum ile karşılaştırılmış ve % 09'luk bir iyileşme olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Araç rotalama problemi, 0-1 tamsayılı matematiksel programlama, tasarruf algoritması.

1. GİRİŞ

Firmalar hızla gelişen ve değişen rekabet ortamında ayakta kalabilmek için işletmenin toplam maliyetleri içerisinde önemli bir paya sahip olan dağıtım maliyetlerini minimum seviyeye indirmelidir. Bu da uygun bir dağıtım planının oluşturulmasıyla gerçekleşir. Dağıtım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesinde dikkat edilmesi gereken nokta müşteri gereksinimlerini tam olarak karşılayacak optimum dağıtım planının oluşturulmasıdır. Optimal araç yükleme ve rotalama bu planın oluşturulmasında en önemli konulardan biridir. Uygun kapasiteyle yüklenmiş araçların müşteri noktalarına en kısa mesafede ve en kısa zamanda ulaşması hem toplam dağıtım maliyetlerinin azalmasında hem servis kalitesinin arttırılmasında hem de firmanın rekabet koşullarında daha avantajlı konuma geçmesine imkan sağlayacaktır.

Ülkemizde firmaların büyük bir kısmı dağıtım faaliyetleri için büyük yatırımlar yapmalarına rağmen faaliyetlerini gerçekleştirirken bu yöntem ve metotları kullanmamaktadırlar. Bu nedenle dağıtım maliyetleri gerçek seviyesinin üzerinde oluşmakta ve aynı zamanda da dağıtımın kalitesi de düşmektedir. Bu da işletmelerin toplam maliyetini arttırmakta, rekabet şansını azaltmakta ve işletmeyi zor durumda bırakmaktadır.

Araç rotalama problemleri literatürde en çok araştırma yapılan konulardan birisidir. Özellikle 1970'li yıllardan sonra dağıtımın öneminin artması ve taşımacılık maliyetlerinin toplam tedarik maliyetin yaklaşık % 60'ını oluşturması, rotalama ve çizelgeleme konularına olan ilgiyi önemli ölçüde arttırmıştır. 1970'li yılların basında ortaya çıkan petrol krizine karşın, taşımacılıkta hızlı gelişmeler kaydedilmesi, bu konuda yapılan çalışmalara yoğunluk kazandırmıştır. 1980'li yıllarda, ekonomik soruların yanı sıra, ulaştırma türleri ve şirketleri arasında giderek artan bir rekabet ortaya çıkmıştır. Günümüzde düşük maliyetlerle daha çok ve daha iyi ulaştırma hizmetlerinin sağlanabilmesi, hem işletmecileri hem de bilim adamlarını yakından ilgilendirmektedir. Bu nedenle, araç rotalaması ve çizelgelemesi konusunun önemi artmaya devam edecek, şu ana kadar yapılan pek çok sayıdaki rotalama çizelgeleme problemlerine yenileri eklenecektir[1].

Dağıtım maliyetlerini azaltmak ve müşterilere sunulan servisin kalitesini arttırmak için en kısa zamanı ya da mesafeyi verecek olan, bir aracın şebeke içeresinde izleyeceği en uygun rotayı bulmak günümüzde en çok tartışılan bir konu haline gelmiştir[2].

Bir aracın belirli bir periyot içerisinde gideceği yerlerin belirlenmesi, "araç rotalaması" olarak tanımlanmaktadır. Doğal olarak bu konulardaki kararlar da, genellikle birlikte ya da bir diğerine bağlı olarak verilmektedir. Bu kararlarda çoğu durumda araç ile ilgili işletme maliyetlerinin minimize edilmesi, taşınacak yolcunun ya da karın en yükseklenmesi gibi amaçlar söz konusu olduğundan, araç rotalaması ve çizelgelemesinin optimizasyon problemleri olarak ele alınması gerekmektedir[3].

Çizelgeleme ve araç rotalama, ulaştırma sistemlerinde karlılığı belirleyen temel unsurlardan birisidir. Verilen hizmetlerin kalite düzeyi, günümüz rekabet ortamında firmanın geleceğini tayin etmektedir.

Bu çalışmada da araç rotalama problemi ile bir örnek uygulama yapılacaktır. Problemi çözmek için 0-1 tamsayılı matematiksel programlama modeli kullanılmıştır. Ayrıca tasarruf algoritması sezgisel yöntemiyle de elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Çalışmanın planı şu şekildedir: Çalışmanın ikinci bölümünde araç rotalama problemi anlatılmıştır. Tasarruf algoritması ise üçüncü bölümde bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde ise örnek uygulama verilmiş ve kullanılan çözüm yöntemleriyle sonuçlar gösterilmiştir. Son bölüm olan beşinci bölümde ise çalışmanın sonuçları ve gelecekte yapılacak çalışmalara hakkına bilgi verilmiştir.

2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

Dağıtım yapan firmalar araç rotalama problemi ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu problem firmalara bir dağıtım maliyeti yaratmaktadır. Dağıtım maliyetleri, ürün maliyetlerinin yaklaşık %15-20'sini oluşturmaktadır. Genellikle firmalar bu probleme herhangi bir matematiksel model kullanmadan, geçmiş tecrübelerinden veya kendi geliştirdikleri algoritmaları kullanarak çözüm aramaktadırlar. Firmaların bir matematiksel model kullanmadan yaptıkları bu araç rotaları, yüksek dağıtım maliyetlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Etkin olmayan dağıtım rotaları, firmalara ekstra bir maliyet yaratmaktadır. Sonuç olarak etkin bir dağıtım rotası oluşturmak firmaya büyük bir maliyet tasarrufu oluşturmakta ve günümüzdeki rekabetçi ortamda önemli bir avantaj sağlamaktadır[4,5].

ARP (araç rotalama problemi), müşteri ihtiyaçlarını karşılamak için bir araç filosu için en küçük maliyetli rotaların belirlenmesi problemidir. Kuzey Amerika ve Avrupa da gerçekleştirilen pratik uygulamalar da, bilimsel yöntemler kullanılarak planlanan dağıtım işlemleri ile toplam ulaştırma maliyetlerinde %5 ile %20 arasında bir iyileşme gerçekleşmiştir. Bu tür iyileştirmeler global ekonomi üzerinde gözle görülür bir etkiye neden olmaktadır. Bu öneminden dolayı yaklaşık 50 yıldır üzerinde çalışmalar yapılan AR problemi, ilk kez 1959 yılında Dantzig ve Ramser (1959) tarafından öne sürülmüştür[6]. Bu bölümde AR probleminin en temel hali olan Kapasite Kısıtlı AR (KK-AR) problemi incelenecek ve bu problem için geliştirilen matematiksel modele değinilecektir. Ele alınan araç rotalama problemi NP-zor problemdir[7].
AR probleminin en temel hali olarak düşünülen KK-AR probleminin temel varsayımları şunlardır.

1. Müşteri talepleri belirli, biliniyor ve bölünemez,
2. Depo ile müşteri ve müşteriler arasındaki uzaklıklar sabit ve biliniyor,
3. Araçlar özdeş, sınırsız sayıda, kapasiteli, kapasitesi biliniyor ve merkezi depoda müşterilere servis için hazır beklemekte,

Bu varsayımlar ışığında KK-AR probleminde amaç, bütün müşterilerin ihtiyacını karşılayan en küçük maliyetli rotaların belirlenmesidir.

KK-AR problemi şu şekilde tanımlanabilir: G(V,A) tam bağlı (bütün düğümler arasında doğrudan bir hattın mevcut olduğu durum) bir şebeke olsun. Burada V={0,…,N} düğüm kümesi, A ise bu düğümler arasında tanımlanan hat kümesidir. Düğüm kümesinde '0' düğümü depoyu, '1,…,N' düğümleri ise müşterileri temsil etmektedir. KK-AR problemi, tanımlanan bu şebeke üzerinde aşağıdaki kısıtların sağlayan en küçük maliyetli rotaların tespiti problemidir.

1. Her müşteriye kesinlikle bir kez uğranmalı,
2. Bir rota depodan başlamalı ve tekrar depoda son bulmalı,
3. Rota üzerindeki müşterilerin talepleri toplamı araç kapasitesini geçmemeli.

KK-AR probleminin matematiksel modelinde kullanılan notasyonlar ve matematiksel modeli aşağıda verilmektedir [7].

Problem Girdileri:

N ; tüm düğümlerin kümesi (0,…,N),
N_0 ; müşteriler kümesi (1,…,N),
c_{ij} ; i müşterisinden j müşterisine geçiş maliyeti,
d_i ; i müşterisinin talebi,
C ; araç kapasitesi

Karar Değişkenleri:

$x_{ij;}$ 1 araç i düğümünden j düğümüne geçiyorsa ($\forall$ i, j $\in$ N)

0 dd

M; rota sayısı,

Model:

Min $\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{ij} x_{ij}$ (1)

Kısıtlar

$\sum_{i \in N} x_{ij} = 1$ $\forall j \in N_0$ (2)

$\sum_{j \in N} x_{ij} = 1$ $\forall i \in N_0$ (3)

$\sum_{i \in N} x_{i0} = M$ (4)

$\sum_{j \in N} x_{0j} = M$ (5)

$X_{ij} \in \{0 - 1\}$ $\forall i, j \in N$ (6)

$M \geq 0$, tms (7)

Bu matematiksel modelde, amaç fonksiyonu (1) toplam taşıma maliyetini en küçüklemektedir. (2) ve (3) numaralı kısıtlar ise bir müşteriye bir aracın girmesini ve çıkmasını garantilemekte, (4) ve (5) numaralı kısıtlar depoya giren ve çıkan araç sayısını (rota sayısı) birbirine eşitlemektedir. (6) ve (7) numaralı kısıtlar tamamlayıcı değişkenler olarak tanımlanmış olup, (6) numaralı kısıt x karar değişkenlerinin '0' ya da '1' değerini almasını sağlarken, (7) numaralı kısıt rota sayısının pozitif ve tamsayı olmasını garantilemektedir.

$U_i - U_j + Cx_{ij} \leq C - d_j$ $\forall i, j \in N_0$, $i \neq j$,$d_i + d_J$ C (8)

$d_i \leq U_i \leq C$ $\forall i \in N_0$ (9)

Burada U_i i düğümünden çıkan aracın yük durumunu belirleyen yeni karar değişkenidir. Bu kısıtlarda görüldüğü gibi, x_{ij} karar değişkeni '1' değerini alırsa (8) numaralı kısıt $U_j \geq U_i + d_j$ şeklinde olacaktır ve (9) numaralı kısıt ile beraber incelendiğinde alt turları ve araç kapasitesinin aşılması engellenecektir. x_{ij} karar değişkeni '0' değerini aldığında ise (2.8) numaralı kısıt, $U_i \leq C$ ve $d_j \leq U_j$ olduğu için, anlamsız olacaktır[7].

3. TASARRUF ALGORİTMASI

Clark ve Wright (1964) tarafından geliştirilmiş olan tasarruf algoritması her bir adımda turlar setinin daha iyi bir set elde etmek üzere değiştirilmesine dayanmaktadır. Bu nedenle Clark ve Wright algoritması bir değişim yöntemidir[8].

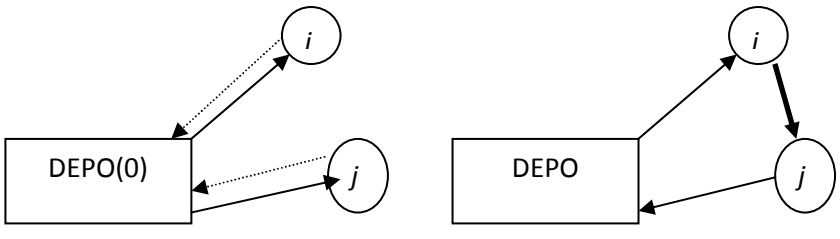
Yöntemde başlangıç olarak her bir- araç için ayrı bir rota oluşturulmakta yani her bir talep noktasına ayrı bir araç ile hizmet verilmektedir. Sonra oluşabilecek en büyük tasarrufa ve uygunluk şartlarına göre iki rota birleştirilmektedir. Burada ifade edilen tasarruflar i ve j düğümlerine iki ayrı araç yerine bir tek araç ile hizmet verilmesi durumunda elde edilecek maliyet azalmasıdır. Bütün araçların yola çıkıp geri döneceği basit bir depo bulunmaktadır. Müşteri talepleri ve konumlan bilinmektedir. Deponun konumu 0 ve müşteri konumları 1,2,3,..n olarak tanımlanmaktadır. Depodan, her müşteri konumuna gitmenin maliyetlerini su şekilde kabul edilir.

C_{0j}= depodan j müşterisine bir yolculuk yapmanın maliyeti

Metodu tamamlamak için aynı zamanda müşteriler arası yolculuk masraflarının bilinmesi gerekmektedir. Bu durumda aşağıdaki bilinen sabitler kabul edilecektir.

C_{ij} = i konumundaki müşteriden j müşterisine bir yolculuk yapmanın maliyeti

Amaca ulaşmak için, her 0□i, j □n için C_{ij} - C_{ji} olduğu durum düşünülecektir. Bu durumun her koşulda geçerli olmadığı unutulmamalıdır, örneğin tek yönlü caddeler varsa, i'den j'ye olan mesafe, j'den i'ye olan mesafeden farklı olabilir. Metot su şekilde devam etmektedir: başlangıçta her müşteri konumuna ayrı bir aracın atandığını farz edilir. Bu durumda başlangıç çözümü, depodan her müşteri konumuna ve geri dönüşen ayrı rota içerecektir. Şekil 1 durum gözükmektedir.



Şekil 1. Depodan her müşteri konumuna ve geri dönüşen rota

Tasarruflar aşağıdaki formül ile bulunur.

$S_{ij}=C_{0i}+C_{i0}+ C_{0j}+C_{j0}-(C_{0i}+C_{ij}+ C_{j0})$

Tasarruf algoritmasının temel adımları aşağıdaki gibidir.

1. Adım: Tüm ij çiftleri için tasarruflar bulunur.
2. Adım: Tasarruflar(S_{ij}) büyükten küçüğe sıralanır.
3. Adım: Listenin başından alınan dal, ARP kısıtlarına uyarak bir mümkün çözüm üretiyorsa bu dalı tura ilave et, aksi durumda çıkar.
4. Adım: Listeden sıradaki dalı al ve 3. adımı listede dal kalmayana kadar tekrarla

Uygulamamızda mevcut durum tasarruf algoritması kullanılarak iyileştirilmeye çalışılmıştır.

4. ÖRNEK UYGULAMA

4.1. Kırıkkale Halk Ekmek Fabrikası

Araç rotalama problemini Kırıkkale Halk Ekmek Fabrikası'nın ekmek dağıtım güzergahlarında uygulanmıştır.

Kırıkkale Halk Ekmek Fabrikası Kırıkkalelilere ekmek ihtiyacı konusunda büyük hizmet veriyor. Üretim adedi, hijyenik temizliği ve kalitesi ile Kırıkkalelilerin ekmek ihtiyacının büyük kısmını karşılayan Halk Ekmek nitelik ve nicelik bakımdan son derece kaliteli olup standartların üstünde bir hizmet anlayışı taşıyor.
Halk Ekmek Fabrikası'nın özellikleri:

- Üretim kapasitesi 80.000 adet.
- Ekmeğin ağırlığı 300 gr. Bu ağırlık sabit olup, bütün ekmeklerde (+ -) 10 gr'dır Türkiye standartlarının üstünde gramaj ayarlaması yapılmaktadır.
- 37 adet satış noktasından Belediye Halk Ekmek halka arz edilmektedir.
- 1. sınıf un ve diğer yan hammaddeler kullanılmaktadır.
- Üretim tam otomasyon olup, insan eli değmeden tamamen hijyenik şartlara uygun şekilde ekmek elde edilmektedir.
- Toplam 3 ekmek dağıtım aracıyla ekmekler Kırıkkale'nin hemen her yerine ulaştırılmaktadır.
- Ekmekler 34 tecrübe sahibi alanında uzman personel tarafından üretilmektedir. Gıda mühendislerince son teknolojiye sahip laboratuvarlarda tetkik edilmeden üretimden halka arz yapılmamaktadır.
- Saatlik temizlik bakımı yapılmakla birlikte günlük, haftalık ve aylık periyodlarla genel temizlik ve bakımları da yapılmaktadır.
- Elektronik güvenlik ortamı sayesinde ekmek üretim alanına sağlığa zararlı hiçbir haşere gibi canlılar girememektedir.

4.2. ARP'nin Uygulanması

Modelin uygulanması aşamasında Kırıkkale Halk Ekmek Fabrikası'nın 1 günü baz alınarak o gün içindeki tüm yapmış olduğu ekmek dağıtımları göz önüne alınacak ve bu noktalara yapılabilecek en uygun rotalar belirlenerek eniyi dağıtım planı oluşturulmaya çalışılacaktır. Fabrikadan 37 farklı büfeye dağıtım yapılacaktır. Bu dağıtımları yapan 3 araç mevcuttur. 1. ve 2. Araç 10 büfeye, 3. Araç ise 17 büfeye gitmektedir.

Dağıtım yapılacak büfe noktalarının fabrikaya ve birbirine olan uzaklıkları kilometre cinsinden Tablo 1, Tablo 2, Tablo 3' te gösterilmiştir. Burada 0 Halk ekmek fırınını, diğerleri de büfeleri göstermektedir. M büyük bir sayıdır.

Tablo 1. 1. Bölge 1. Araç için büfe noktalarının fabrikaya ve birbirlerine olan uzaklıkları(km)

Büfeler	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
0	M	3,4	3,8	3,4	3,5	3,2	3,1	3,1	2,7	2,4	3,1
1	3,4	M	0,5	0,19	2,3	2	0,55	1,3	1	1,2	1,3
2	3,4	0,9	M	0,65	2,3	2	0,5	1,3	1	1,2	1,3
3	3,4	0,21	0,4	M	2,3	2	0,45	1,3	1	1,3	1,3
4	3,5	2,3	2,7	2,4	M	0,5	2,1	1,6	1,4	1,4	0,9
5	3,3	1,6	2	1,7	0,5	M	1,4	1,1	0,9	1,2	0,4
6	2,9	0,7	1,1	0,75	1,8	1,5	M	0,8	0,5	0,75	0,85
7	3,5	1	0,8	0,8	1,6	1,1	0,6	M	1,1	1,3	0,6
8	2,4	1,3	1,7	1,4	1,3	1	1,1	0,65	M	0,28	0,65
9	2,9	1,8	2,2	1,8	1,1	0,75	1,5	0,85	1,1	M	0,85
10	3,5	1,8	1,3	1,3	1	0,5	1,1	0,45	1,1	1,4	M

1. aracın kapasitesi 92 kasadır. Her kasa 20 ekmek almaktadır. 2. ve 3. Aracın kapasiteleri eşit olup 160 kasadır. 3 aracında ekmek dağıttığı büfelerin talepleri Tablo 4 te gösterilmiştir.

1. aracın ekmek dağıtımı yaptığı bölgedeki büfelerin talepleri araç kapasitesine yakın olduğu için büyük olan talepler büyüklüklerine göre 2 ve 3 parçaya bölünerek çözüm geliştirilmeye çalışılmıştır. Aynı büfeden 1'den çok varmış gibi düşünülerek çözülmeye çalışılmıştır. 1. bölgenin mevcut durumu Şekil 2'de gösterilmiştir. 2. bölgenin mevcut durumu Şekil 3'de gösterilmiştir. 3. bölgenin mevcut durumu Şekil 4'de gösterilmiştir.

Tablo 2. 2. Bölge 2. Araç için büfe noktalarının fabrikaya ve birbirlerine olan uzaklıkları(km)

Büfeler	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
0	M	4,6	6,3	6,4	5,6	4	4,4	5,5	4,8	6,1	2,6
1	4,6	M	1,6	2,6	1,4	1,3	1,7	4,2	3,4	4,8	1,9
2	6,3	1,6	M	1,5	1,1	2,3	2,2	5,2	4,4	5,3	3,5
3	6,4	2,6	1,5	M	1	2,4	2,2	4	3,3	4,1	3,6
4	5,6	1,4	1,1	1	M	1,6	1,4	4,8	4	4,9	2,8
5	4	1,3	2,3	2,4	1,6	M	0,45	3	2,3	3,7	1,2
6	4,4	1,7	2,2	2,2	1,4	0,45	M	3,3	2,6	4	1,6
7	5,5	4,2	5,2	4	4,8	3	3,3	M	1	1,2	2,4
8	4,8	3,4	4,4	3,3	4	2,3	2,6	1	M	1,4	2,9
9	6,1	4,8	5,3	4,1	4,9	3,7	4	1,2	1,4	M	3,7
10	2,6	1,9	3,5	3,6	2,8	1,2	1,6	2,4	2,9	3,7	M

Tablo 3. 3. Bölge 3. Araç için büfe noktalarının fabrikaya ve birbirlerine olan uzaklıkları(km)

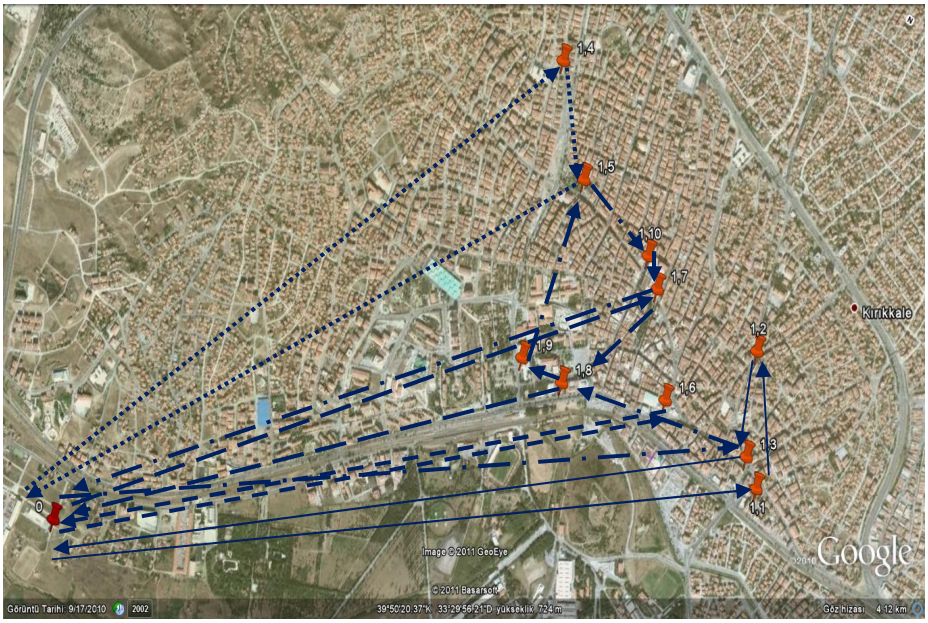
Büfeler	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
0	M	1,3	2,2	2,9	3,6	3,4	2,5	3,6	5,8	4,3	5,1	4,5	4,9	4,1	4,6	5,4	5,5	5,2
1	2,2	M	2,3	1,6	2,5	2,3	2,9	3,5	4,6	3,2	3,9	4,9	5,3	5,6	6,4	6,5	6,8	7
2	2,4	2,1	M	0,7	1	1,5	0,85	1,9	2,2	5,1	5,9	4	4,4	3,6	4,1	4,9	5	4,7
3	3,1	1,1	0,7	M	0,7	0,85	0,8	1,9	2,2	3,9	4,7	3,4	3,8	4,4	4,8	4,9	5,3	5,5
4	3	1,8	1	0,7	M	0,2	0,45	1,1	1,4	2,1	2,9	2,8	3,2	3	4	4,4	4,8	4,6
5	3,6	2,8	1,5	1,5	0,19	M	0,65	1,3	1,5	1,9	2,7	3	3,4	4,3	5,1	4,5	4,9	5,8
6	2,4	1,9	0,85	0,8	0,45	0,65	M	1,1	1,4	2,6	3,3	2,8	3,2	2,9	3,7	4,4	4,8	4,3
7	3,6	3	2	1,9	1,1	1,3	1,1	M	0,4	0,95	1,6	1,9	2,3	2,1	2,9	3,5	3,8	3,5
8	3,9	3,3	2,2	2,2	1,3	1,5	1,4	0,35	M	0,75	1,4	1,3	1,7	1,7	2,5	2,8	3,2	3,1

9	5,1	4,3	3	3	1,7	1,5	2,2	0,9	0,75	M	2,1	3	3,4	1,7	2,6	3,4	3,5	3,2
10	5,3	4,4	4,2	4,2	2,9	2,7	3,4	2,4	2	1,8	M	0,85	1,3	2,9	2,6	2,4	2,8	3,4
11	4,6	5,5	3,5	3,5	2,9	3,1	2,6	1,9	1,3	1,3	1	M	0,45	1,7	1,7	1,6	1,9	2,5
12	4,6	6,3	3,9	3,9	3,1	3,2	2,8	2,4	2	1,9	1,9	0,5	M	0,75	1,4	1,3	1,6	2,2
13	4,1	5,8	3,4	3,4	2,5	2,7	2,3	1,9	1,5	1,3	1,3	1,1	0,75	M	1	1,9	2,3	2,8
14	4,5	5	3,8	4,7	3,6	3,8	3,3	3	2,6	2,4	2,4	1,5	1	1,2	M	0,85	1	1
15	5,3	5,8	4,6	5,5	4,4	4,6	4,1	3,8	3,4	3,2	3,2	1,6	1,3	2	1	M	0,35	1,4
16	5,6	6,1	4,9	5,2	4,7	4,9	4,4	3,7	3,7	3,5	3,5	1,8	1,6	2,2	1,1	0,3	M	0,8
17	5,3	5,7	4,6	5,4	4,4	4,6	4,1	3,7	3,4	3,2	3,2	2,5	2,2	2	0,9	1	0,55	M

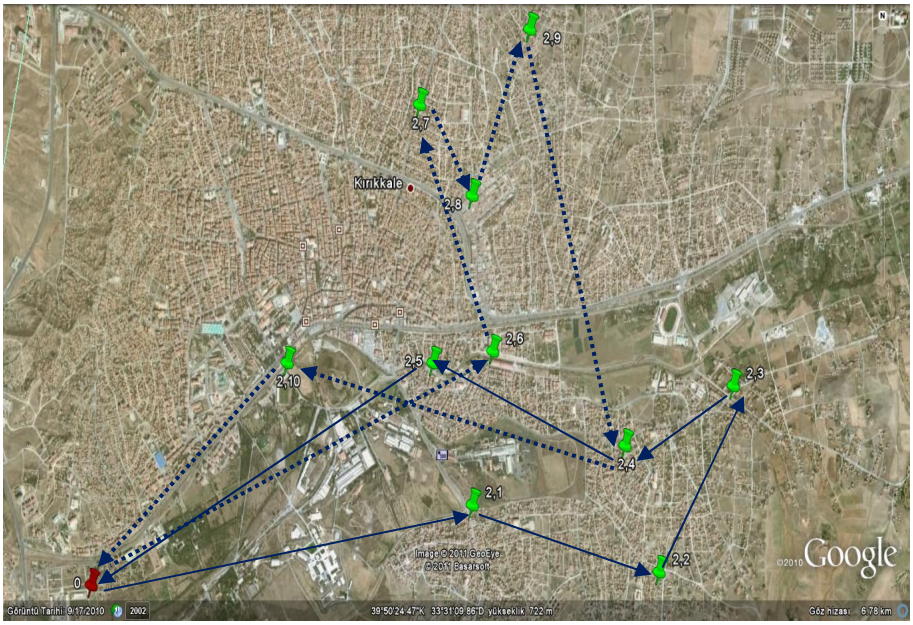
Tablo 4. Büfelerin talepleri

1. Bölge		2. Bölge		3. Bölge	
Büfe	Talep miktarı (kasa)	Büfe	Talep miktarı (kasa)	Büfe	Talep miktarı (kasa)
1	5	1	40	1	3
2	43	2	40	2	45
3	55	3	25	3	32
4	50	4	63	4	5
5	55	5	35	5	5
6	88	6	30	6	50
7	68	7	35	7	43
8	50	8	30	8	15
9	2	9	12	9	20
10	13	10	4	10	33
				11	32
				12	45
				13	31
				14	15
				15	20
				16	32
				17	33
Toplam	429	Toplam	314	Toplam	459

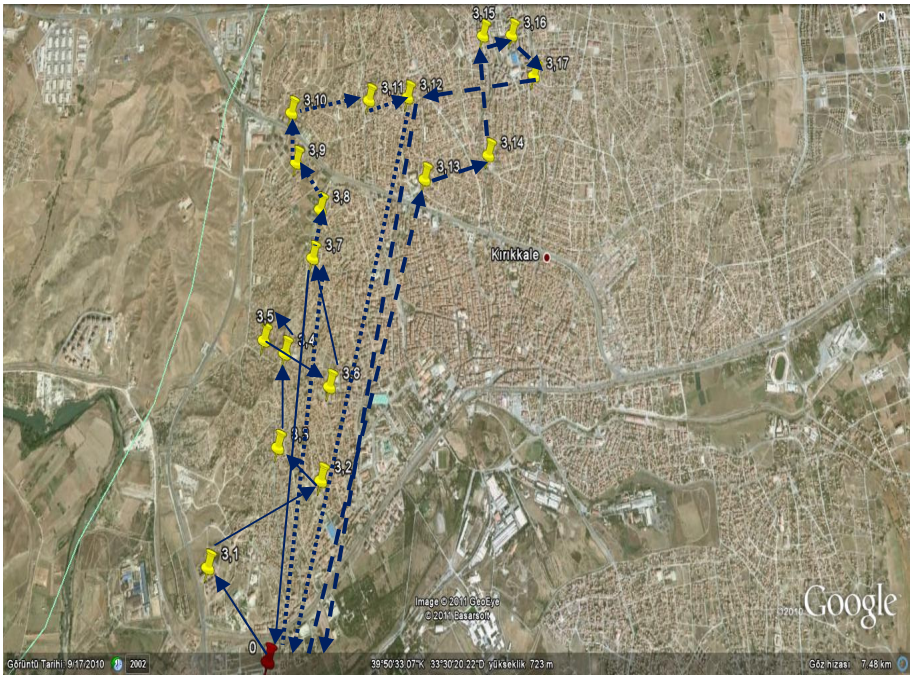
Bölgelerin dağıtım güzergahları 0-1 tamsayılı matematiksel programlama modeli GAMS 23.5 paket programıyla çözülerek bulunan sonuçlar sırasıyla Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 1. Bölge mevcut dağıtım güzergahı



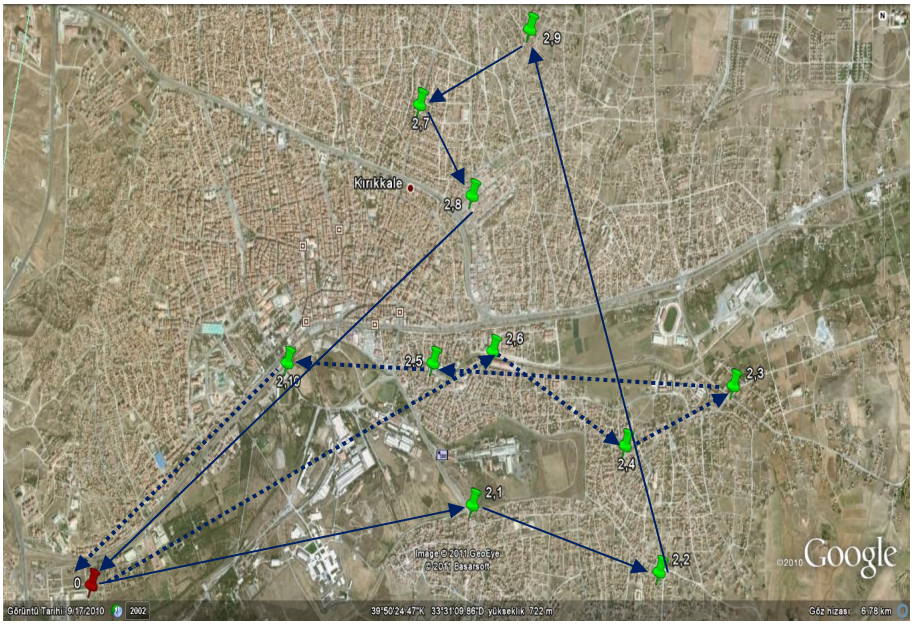
Şekil 3. 2. Bölge mevcut dağıtım güzergahı



Şekil 4. 3. Bölge mevcut dağıtım güzergahı



Şekil 5. 1. Bölgenin optimum dağıtım güzergahı



Şekil 6. 2. Bölgenin optimum dağıtım güzergahı



Şekil 7. 3. Bölgenin optimum dağıtım güzergahı

İyileştirme oranları ve rotalar Tablo 5, Tablo 6 ve Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 5. 1. Aracın iyileştirme oranı ve rotaları

1. Aracın Rotaları		
Mevcut	Tasarruf	Optimal
0-1-2-3-0	0-1-2-3-0	0-1-3-2-6--0
0-4-5-0	0-4-5-0	0-4-5-0
0-6-0	0-7-10-0	0-7-6-8-0
0-7-8-0	0-6-0	0-7-3-2-8-0
0-3-8-9-5-10-7-0	0-5-9-3-8-0	0-9-5-10-7-6-0

Rota uzunluğu	37,63	38,05	36,49
	İyileşme	İyileşme yok	0,030

Tablo 6. 2. Aracın iyileştirme oranı ve rotaları

	2. Aracın Rotaları		
	Mevcut	Tasarruf	Optimal
	0-1-2-3-4-5-0	0-10-7-9-8-5-1-0	0-1-2-9-7-8-0
	0-6-7-8-9-4-10-0	0-2-4-3-6-0	0-6-4-3-5-10-0
Rota uzunluğu	34,7	30,8	30,1
	İyileşme	0,112	0,133

Tablo 7. 3. Aracın iyileştirme oranı ve rotaları

	3. Aracın Rotaları		
	mevcut	tasarruf	optimal
	0-1-2-3-4-5-6-7-0	0-15-16-17-14-13-2-0	0-2-6-4-5-3-1-0
	0-7-8-9-10-11-12-0	0-11-12-10-9-2-0	0-7-9-10-13-0
	0-13-14-15-16-17-12-0	0-7-8-5-4-3-6-1-0	0-8-12-15-16-17-14-0
Rota Uzunluğu	37,2	39,79	33,34
	İyileşme	İyileşme yok	0,104

Tablo 5,6 ve 7'de görüldüğü gibi 1. Bölgede %3 lük, 2. Bölgede % 13,3'lük ve 3. Bölgede ise %10,4'lük bir iyileşme olmuştur. Aynı problem tasarruf yöntemiyle çözüldüğünde ise sadece 2. Bölgede % 11,2'lik bir iyileşme varken 1. ve 3. Bölgelerde iyileşme olmamıştır.

Yapılan çalışma sonucunda 1. bölgede de 92 kasa kapasiteli 1. araç yerine 2 ve 3. bölgelerde kullanılan 160 kasa kapasiteli araçlardan kullanıldığı takdirde 0-1 tamsayılı matematiksel programlama modeli ile modellenmiş ve problem optimal sonuç üzerinden yaklaşık % 40'lık iyileştirme sağlanabileceği görülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada Kırıkkale Halk Ekmek fabrikasında büfelere dağıtım problemi araç rotalama problemi ile çözülmüştür. Problemi çözmek için 0-1 tamsayılı matematiksel programlama modeli ile modellenmiş ve GAMS 23.5 paket programı ile optimal çözümler bulunarak mevcut durum ile karşılaştırılmıştır. 3 bölgeye ayrılan dağıtım planında 1. Bölgede %3, 2. Bölgede % 13,3 ve 3. Bölgede ise % 10,4'lük bir iyileşme görülmüştür. Ayrıca 1 bölgede 92 kasa kapasiteli araç yerine, 2. ve 3. Bölgedeki araçlardaki gibi 160 kasa kapasiteli araç kullanılırsa mevcut durumda %40 gibi oldukça iyi bir oranda iyileşme sağlanabileceği tespit edilmiştir.

Büfe sayısı eğer mevcut durumda artacak olursa bunun optimal olarak çözümünü bulmak oldukça zor olacağından dolayı sezgisel yöntemler kullanılmalıdır. Tele alınan tasarruf algoritması da bunlardan biri olabileceği gibi meta sezgisel yöntemlerde kullanılabilir.

6. KAYNAKLAR

[1] Gencer, C., Yaşa, Ö., "Ulaştırma Komutanlığı Ring Seferlerinin Eş Zamanlı Dağıtım Toplama Karar Destek Sistemi", **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,** Cilt 22, No 3, 437-449, 2007.

[2] Ballou, R.H., "Business Logistics Management: Planning, Organizing and Controlling The Supply Chain", McGraw-Hill, 1999.

[3] Erel, R., "Taşıt Rotalaması ve Çizelgelemesi:Otobüsle Kentlerarası Yolcu Tasımacılıgı için Bir Model", Doktora Tezi ,Yıldız Teknik Üniversitesi, İnsaat Mühendisligi Bölümü, İstanbul, 1995.

[4] Demircioğlu, M., "Araç rotalama probleminin sezgisel bir yaklaşım ile çözümlenmesi üzerine bir uygulama", Çukurova Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora tezi, 2009.

[5] Rushton A., Croucher P., Baker P. "Handbook of Logistics and Distribution Management" 3rd Edition, Kogan Page, Limited, 2006.

[6] Dantzig G.B., Ramser J.H., "The Truck Dispatching Problem", Management Science, 6, 80-91, 1959.

[7] Toth,P., Vigo,D., “The Vehicle Routing Problem”, Siam, Bologna, 2002.
[8] Clarke, G. & Wright, J.W.: "Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points", Operations Research, Vol. 12, 1964, pp. 568-581.

HASTANE ACİL DEPARTMANLARINDA KAYNAKLARIN ETKİN KULLANIMININ GELİŞTİRİLMESİ İÇİN BİR BİLGİSAYARLI BENZETİM MODELİ

Muhammet **GÜL**[14], Erkan **ÇELİK**

Tunceli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 62000, Tunceli, Türkiye
muhammetgul@tunceli.edu.tr, erkancelik@tunceli.edu.tr

Ali Fuat **GÜNERİ**

Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34349, İstanbul, Türkiye
guneri@yildiz.edu.tr

ÖZET
Önemli birer karar verme aracı olan bilgisayarlı benzetim ve modellemenin sağlık hizmetleri dağıtımındaki kullanımları hızla artmaktadır. Sağlık hizmetleri içindeki yeri yadsınamaz olan acil sağlık hizmetlerinin her an ve istenilen kalite düzeyinde çalışabilmesi için gereken kalifiye personel, donanım, zaman ve maliyet kavramlarını optimal şekilde kullanması gerekmektedir. Bu noktada bilgisayarlı benzetim tekniği, servis sistemlerinin kaynak yönetiminde var olan değişkenler ve faktörler arasındaki ilişkilerin analizinde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, hastane acil departmanlarında kaynak yönetiminin geliştirilmesi için yapılan bir bilgisayarlı benzetim uygulaması değerlendirilmiştir. Önerilen yeni yaklaşım Elazığ'daki üniversite hastanesi acil departmanı için kapsamlı bir model geliştirmede kullanılmıştır. Yaklaşım, kaynakların etkin kullanımını geliştirmede ve hastaların sistemde kalış uzunluğunu azaltmada etkili bulunmuştur.
Anahtar Kelimeler: Benzetim, Hastane Acil Departmanları (AD),Kaynak Kullanımı

ABSTRACT
A COMPUTER SIMULATION MODEL TO IMPROVE EFFICIENT USE OF RESOURCES IN HOSPITAL EMERGENCY DEPARTMENTS
The use of modeling and computer simulation as important decision making tools in health care delivery systems has been growing rapidly. Emergency services which has an undeniable importance in health care need to use the terms "required qualified personnel, equipment, time and cost" optimal at desired time and quality level. In this sense computer simulation technique is used to analyze interrelationships among the factors and variables involved in resource management of service organizations. In this paper, a computer simulation application of a hospital emergency department is evaluated to improve resource management. The new proposed approach was used to develop a generic model for the emergency department at the university hospital in Elazığ. The approach found to be effective in improving the efficient use of resources and decreasing the patient length of stay in system.
Key Words: Simulation, Hospital Emergency Departments (ED), Resource Utilization

1. GİRİŞ

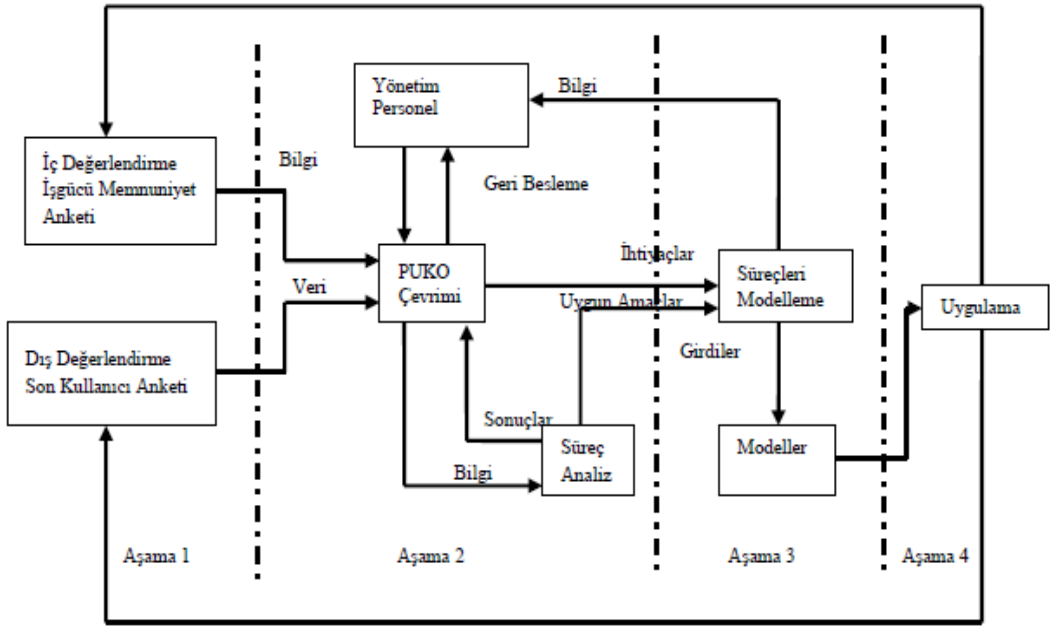
Acil departmanları, insanların farklı türden birçok rahatsızlıktan dolayı başvurdukları ve ilk müdahaleyi almak istedikleri birimlerdir. Bu birimlerde hastalara 24 saat boyunca şikâyetlerine göre çözüm sunulmaktadır. Günümüz şartlarında hizmet sektörünün hızla ilerlemesi bu sistemlerde sunulan hizmetler için geliştirilen araç ve yöntemlerin artmasına sebebiyet vermektedir. Yoğun hasta sayısı ve profiline karşı, kısıtlı personel ve ekipmanları ile en iyi hizmeti verebilmek için yoğun planlama faaliyetleri yürütmek zorunda kalan hastanelerin, özellikle planlama ve optimizasyon yöntemlerine ve bu yöntemlerin uygulayıcılarına olan ihtiyacı oldukça artış göstermektedir (Özdağoğlu vd. 2009). Ülkemizde son yıllarda hastanelerdeki acil departmanları kullanımında yoğunluklar yaşanmaktadır. Bunun sebebi de acil birimlerde hızlı ve ucuz tedavi imkânın olması gösterilmektedir. Türkiye'de gerçekleşen sağlık kurumlarına başvuru sayısının artışı değerlendirildiğinde acil servise başvuru sayısının hızla arttığı görülmektedir (Arslanhan, 2010). Tekkanat (2007) benzetimin, sistem performansının birçok faktöre bağımlı olarak nasıl değiştiğinin gözlemlenmesine olanak sağladığını ifade etmiştir. Bu faktörlere örnek olarak aktivitelerin gerçekleşme süreleri, varlıkların sisteme geliş ve ilerleme hızları, maliyet ve gelirler, kaynak (personel, ekipman) kullanım yüzdeleri verilebilir.

[14] Sorumlu yazar. Tel: +90 428 213 17 52-1176

Bu faktörlerden biri olan kaynak kullanımı, bir işletmeyi diğerlerinden farklı kılmanın ve rakipler karşısında avantajlı olmanın anahtarı kabul edilmektedir. Hastanelerin acil departmanlarının benzetimine yönelik Alkaabi vd. (2006), Glaa vd. (2006), Ruohonen vd. (2006), Jihene vd. (2007), Yeh ve Lin (2007), Khurma vd. (2008), Beck vd. (2009), Brenner vd. (2009), Mohamed ve Alkhamis (2009), Holm ve Dahl (2010) ve İsmail vd. (2010)'in çalışmalarında kaynak kullanımının önemli bir performans göstergesi olduğu incelenmiştir.
Bu çalışmada ilk olarak Alkaabi vd. (2006)'nin servis sistemlerinde kaynak yönetimi ve tahsisine etkili şekilde yardım eden genel bir iyileştirme taslağından söz edilmiştir. Sonraki bölüm ise Elazığ'da bulunan üniversite hastanesi acil departmanına ait bir bilgisayarlı benzetim uygulamasından oluşmaktadır.

2.İYİLEŞTİRME TASLAĞI

Kaynak yönetimi ve planlaması gibi organizasyonel problemler, optimal yöntem ve stratejileri bulmak amacıyla çalışıldığında bu problemleri bir çok farklı bakış açısından incelemek önemlidir. Bunlar içerisinde işgücü, yönetim, son kullanıcı hizmetleri ve analist bakış açıları yer almaktadır. Şekil.1'de gösterilen iyileştirme taslağı, amaç geliştirme ve problem tanımlamanın başlangıç aşamalarına problem sahiplerini (yönetim, son kullanıcılar, personel ve analist) dâhil etmenin önemi üzerinde durmaktadır. Önerilen yeni taslakta diğer bir önemli nokta, sistemin nasıl çalıştığının ve mevcut kaynak yönetimi uygulamaları ve stratejilerinin bir sonucu olarak sistemde gereksiz ve değerli olmayan ilave faaliyetleri tanımlanmasının ortaya konmasıdır.
Yaklaşımda başlangıç aşaması, problem sahiplerinin 3 metodun kullanılması ile mevcut servis sistemi içindeki bir dizi problem ve ilişkileri tanımlamalarıdır. Birinci metot, sistem işlemleri, iş yükü, kesin kaynakların mevcudiyeti ve çalışma çevresine bağlı olarak iş gücünün problem ve ilişkilerinin tanımlanmasını içeren bir dâhili sistem değerlendirmesidir. İkinci metot, hizmetlerin son kullanıcılarının algı ve beklentileri, problemleri ve ilişkileri sağladıkları harici bir değerlendirmenin kullanılmasıdır. Ana sistem problemlerini ve etkisizlikleri tanımlamak için olan üçüncü metot süreç analizi üzerindendir.
Üç metodun çıktısı, tekrar eden sürecin sürekli veri gelişimi için başladığı yerdeki Planla Uygula Kontrol et Önlem al (PUKO) döngüsü ile beslenmektedir. Bu tekrar eden süreç içinde yönetim ve personel, sistem hakkındaki problem ve endişelerini kendi görüşleri çerçevesinde tanımlamada model ve analist üzerinde yüksek yetkiye sahiptirler. Problem sahiplerinin modelleme sürecine bu denli dâhil edilmesi sürecin anlaşılmasının kolaylaştırılmasına yardım etmektedir. Ayrıca problem sahiplerinin modelden çıkan bulguları tam olarak değerlendirmesine ve bunun bir sonucu olarak uygulamada çıkabilecek engellerin üstesinden gelebilmelerine olanak sağlar. Sistemin detaylı olarak anlaşılması ile amaçlar ve ihtiyaçlar geliştirilebilir. Geliştirilen amaç ve ihtiyaçlar önerilen iyileştirme yaklaşımında son aşamayı oluşturan benzetim modelleme süreci için temel teşkil etmelidir. Özetle benzetim sonuçları, problem sahiplerine geri beslemede iletişim imkânı vermektedir. Ve yürütülecek daha fazla analiz yoksa gerçek hizmet sistemlerinin iyileştirilmesine yönelik öneriler sunmada kullanılmaktadır.



Şekil.1 Önerilen iyileştirme taslağı

Önerilen modelleme yaklaşımındaki kalın oklar modelleme etkisinin, bilgi değişiminin, geri beslemenin, analizci ve model arasında ya da problem sahipleri arasında girdi ve çıktıların yönlerini göstermektedir.

3.BENZETİM MODELİ

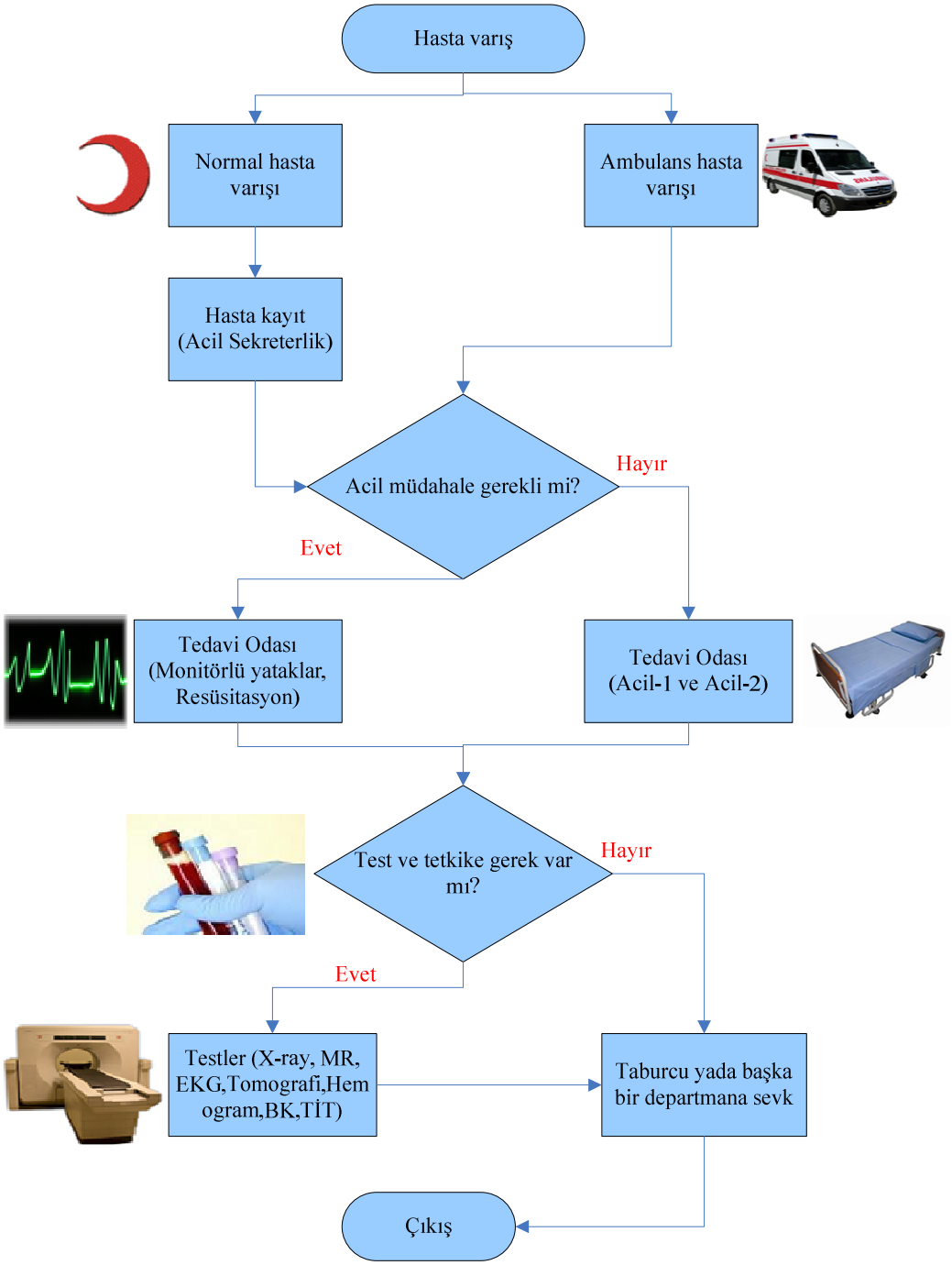
Fırat Üniversitesi Hastanesi Elazığ'da 1985'de faaliyete başlamış üçüncü basamak sağlık hizmeti veren bir bölge hastanesi konumundadır. Çevre illerde üniversite hastanesi olmaması nedeniyle hasta potansiyeli yüksek olan bir kurumdur. Acil Departmanında doktor olarak 1 yardımcı doçent ve 10 asistan doktor ile hizmet verilmektedir.
Birimde, acil sağlık sorunları nedeni ile başvuran hastaların değerlendirmeleri ve gerekli tedavileri yapılmaktadır. Amaç acil servise başvuran hastaları değerlendirme, tanı koyma, tedavisini düzenleme, tedaviyi sonuçlandırmadır (taburcu, yatış veya sevk).

3.1 Problemin Tanımlanması

Ülkemizde acil departmanlarına son zamanlarda artan aşırı talep ve yığılmalar beraberinde bazı sorunlar getirmiştir. Bu sorunlar arasında uzun bekleme zamanları ve sağlanan hizmet kalitesinin düzeyi önem arz etmektedir. Sorunların yol açtığı bu durum hastane sistemi içinde çok önemli bir birim olma niteliğine sahip acillerin sahip olduğu kaynakların etkili kullanılarak yönetilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bu bağlamda hasta verimini maksimize edecek personel tahsis ve planlaması ile bu kaynakların daha etkin kullanılması sağlanabilmektedir.

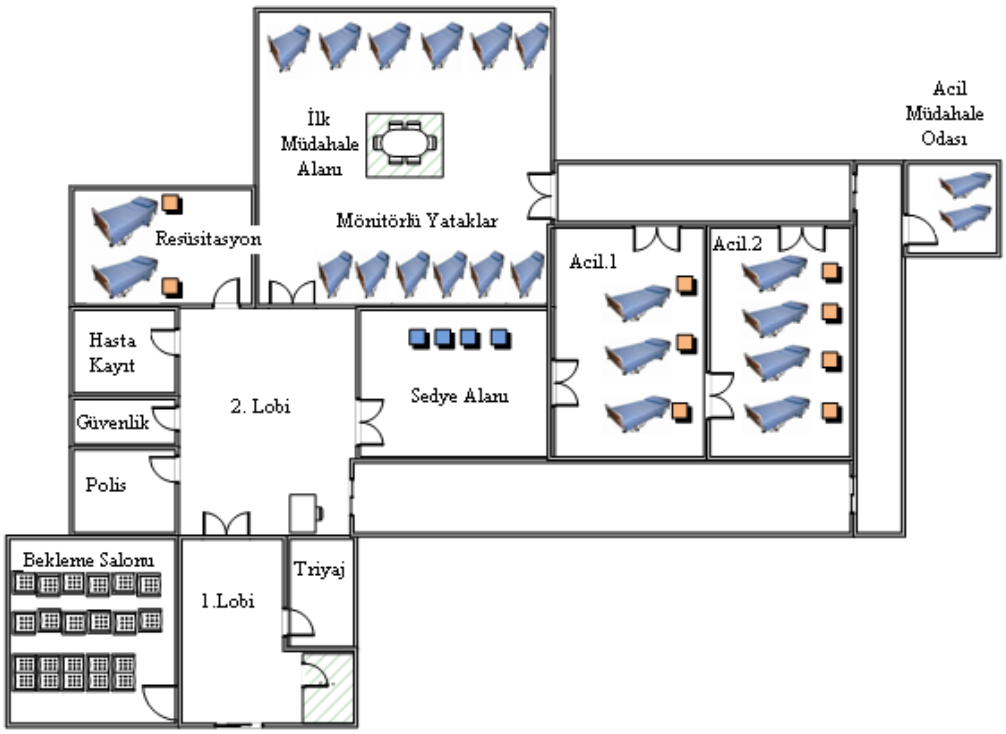
3.2 Süreç Akışı

Fırat Üniversitesi Hastanesi Acil Departmanı günde 24 saat ve üç vardiya halinde çalışmaktadır. Vardiyalar 12-8, 8-16 ve 16-12 olarak düzenlenmiştir. Departman, günlük ortalama 116 hastaya hizmet vermekte olup bu sayı yılın belli periyotlarında değişiklikler gösterebilmektedir. Departmanda kaynak olarak tanımlayabildiğimiz grup içerisinde doktorlar ve hemşireler başta olmak üzere hasta kabul ve giriş işlemlerini düzenleyen resepsiyon görevlileri ile modele dahil edilmediği halde departmanda hizmet eden temizlikçiler ve güvenlik görevlileri bulunmaktadır. Ayrıca hastalara hemşireler tarafından uygulanan tetkikler için tahsis edilen tıbbi cihazlar vardır. Bunun dışında hastalara doktor tarafından konulan teşhislere bağlı olarak uygulanan Tomografi, X-ray, EKG vb. cihazları tüm hastanede müşterek kullanılmaktadır. Acil departmanına hasta varışları Şekil.2'deki gibi olmaktadır. Süreç bir hastanın acil departmanının kapısından içeriye girmesi ile başlamakta ve acilden taburcu edilmesi, başka bir hastaneye sevk edilmesi ya da hastane içinde başka bir birime yatılı hasta olarak gönderilmesi ile son bulmaktadır. Hastaneye varışlar iki türlü olmaktadır. Bunlar; normal hasta diye adlandırılan yürüyerek, tekerlekli sandalye ile gelerek ya da bir yakını tarafından refakat edilerek getirilen hastalar ve ambulans hasta diye adlandırılan ambulans vasıtası ile acile getirilen hastalardır. Normal hasta giriş kapısından geçince acil sekreterlikte bulunan hasta kayıt merkezine alınmaktadır. Ambulans hastalar bu aşamayı direkt geçerek ilk gözlem için doktorun muayene alanına alınmaktadırlar. Bu hastaların kayıtları sonradan yakınları tarafından yapılmaktadır. Kayıt sonrasında normal hastalar ambulans hastalarda olduğu gibi ilk muayene alanına alınmaktadırlar.



Şekil.2 Acil departmanı süreç akışı

Burada da acil sekreterlikte hasta için rastgele atanan bir doktor ve müsait durumdaki bir hemşire tarafından ilk muayene gerçekleştirilmektedir. Sonraki aşamada hastanın durumuna göre yataklara atamalar yapılmaktadır. Kritik durumdaki hastalar resüsitasyon ve acil müdahale odası ile ilk muayene alanının etrafındaki monitörlü yataklara alınmaktadır. Daha az kritik durumunda olan ve genellikle ilaç tedavisi ile taburcu edilebilecek durumdaki hastalar ise Acil-1 ve Acil-2 denilen alanlardaki yataklara alınmaktadır (Şekil.3). Burada gerekli tetkik ve testler hemşireler tarafından uygulanmakta ve tedavisi sona eren hasta durumuna bağlı olarak taburcu edilmekte ya da başka bir birime gönderilmektedir.

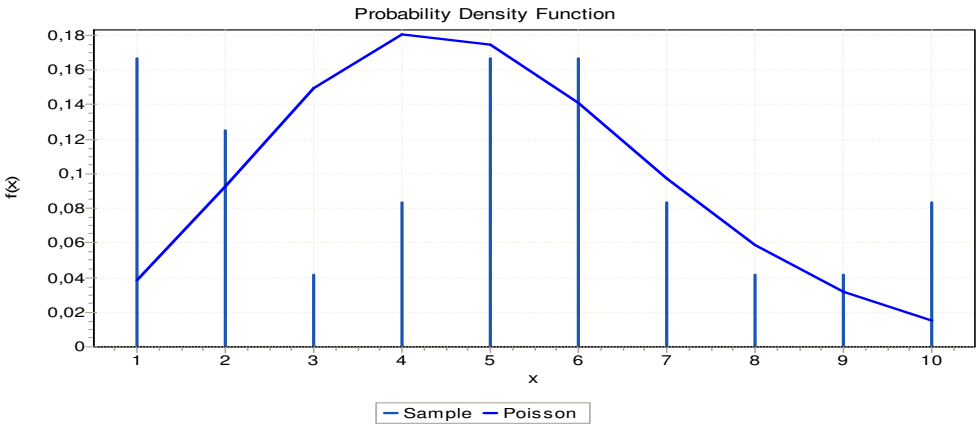


Şekil.3 Yerleşim planı

Tüm hastaların % 93,1'i normal hasta olarak % 6,9'u ise ambulans hasta olarak giriş yapmaktadır. Hastaların % 57,5'i monitörlere, resüsitasyona ve acil müdahale odasına, % 42,5'i ise acil-1 ve acil-2 odalarına gönderilmektedir. Departman içerisinde 10 asistan doktor, 12 hemşire, 6 hasta kabul ve kayıt görevlisi çalışmaktadır.

3.3 Verilerin Toplanması ve Model Girdilerinin Hazırlanması

Model için veri toplama aşamasında izlenecek birçok yol bulunmaktadır. Bunlar; sistemde ilgili kişilerle mülakatlar yapmak, süreç değerlendirme formları (süreç analizi) oluşturmak ya da varsa otomasyondan elde etmektir. Çalışmada veri toplama yöntemi olarak, bir form hazırlanması ve bu formun asistan doktorlar ve hemşireler tarafından tüm hastalara istisnasız uygulanması yöntemi seçilmiştir. Bu form Mcguire (1998)'in çalışmasında kullandığı formun revize edilerek uygulama yapılan acil departmanına uyarlanmış biçimidir. Departman 13 gün boyunca gözlemlenmiş ve bu süreç zarfında 1500 hastaya ait veriler elde edilmiştir. Bu veriler içerisinde hasta adı, dosya numarası (protokol no), varış türü (normal/ambulans), acil sekreterliğe kayıt zamanı, doktor ve hemşirenin ilk müdahale zamanı, hastanın gönderildiği birim ve yatak numarası (örneğin, Mo.1-Monitör.1), hasta taburcu edilme zamanı, hastaya bakan doktorun adı, hastaya yapılan tetkiklerin (örneğin, EKG, BK, X-ray vb.) sipariş, ilgili birime ulaşma ve sonuç alma zamanları gibi bilgiler sayılabilir. Acil departmanına varışların günün saatlerine göre değişimi formlardan elde edilen bilgiler yardımı ile tespit edilmiştir. Süreçlerde geçen zamana ait istatistiksel dağılımları bulmada EasyFit yazılım aracı kullanılmıştır. Microsoft Excel'den direk olarak verileri alabilen bir özelliği de bulunmaktadır. Varış süreci $\lambda(t)$ oranı ile homojen olmayan bir Poisson sürecini takip etmektedir. Varışlar ortalama 12,41 dk sıklıkla olmaktadır ve P(4,8333) dağılıma uygundur (Şekil.4).



Şekil.4 Hasta varışlarına ait olasılık yoğunluk fonksiyonu

Sürecin diğer aşamalarındaki servis zamanı dağılımları ve sistem içindeki aşamalara hastaların iletilme olasılıkları Çizelge.1'de gösterilmiştir.

Çizelge.1 Servis zamanı dağılımları ve hasta iletilme olasılıkları

Lokasyon Adı	Gelen Hasta Yüzdesi	Kapasite (Yatak)	Dağılım
Monitörler	53,3	12	W(1.285,51.345)
Acil-1	25	3	E(0.0202)
Acil-2	17,5	4	E(0.02001)
Acil Müdahale Odası	3,8	2	E(0.03733)
Resüsitasyon	0,5	2	E(0.02924)
W:Weibull dağılımını, E:Üssel dağılımı göstermektedir.			

3.4 Model Varsayımları

Model geliştirme sürecini basitleştirmek için bazı önemli varsayımlar yapılmıştır. Bunlar arasında şunlar sayılabilir:

(1) Alanlar ve kaynaklar için tanımlı herhangi bir duruş yoktur.

(2) Bir doktor ya da hemşire aynı anda birden fazla hastaya hizmet verememektedir.

(3) Hastalar tedavi boyunca acilde kalmaktadırlar.

(4) Personel için aralar ve şahsi ihtiyaçlar için kullanılan molalar modele dâhil değildir.

3.5 Modelin Doğrulanması ve Geçerliliği

Doğrulama, benzetim modeli için hazırlanan bilgisayar programı ile ilgilidir. Bilgisayar programının gerçek dünya sisteminin bir gösterimi olarak hakkıyla çalışıp çalışmadığını kontrol eder. Karmaşık modellerde bu zordur fakat mümkün değilse birçok hatadan arındırılmadan geniş ölçüde başarılı bir modele dönüştürülmesi gerekir. Geçerlilik, gerçek sistemin tam bir sunumu olacak modelin belirlenmesidir. Modelin geçerliliği, genellikle model kalibrasyonu içinde, gerçek sistem davranışı için ilerlemeli süreç kıyaslama modeli ve modeli geliştirmek için kazanılan bakış açılarını geliştirmiştir. Bu süreç modelin tamlığı ve eksiksizliği kabul edilinceye kadar tekrar eder. Modelin mantıksal yapıları ve girdi parametreleri doğru ölçüde bilgisayara konulduğunda doğrulama tamamlanmıştır. Bu çalışmanın amacı için doğrulama ve geçerlilik süreçleri, modelin güvenilirliğinden emin olmak adına yapılış süreci içerisinde çeşitli aşamalardan geçmiştir. Modelin doğruluğu ve geçerliliği için çeşitli yaklaşımlar kullanılmıştır. Bunlar: (1) verilerin doğruluğu, (2) bilgisayardaki modelin geçerliliği ve görsel açıdan düzgün çalışması ve (3) işlem ve çıktıların doğruluğudur.

3.6 Performans Ölçütleri

Çalışmada temel amaçlar acil departmandaki kaynakların kullanımı ve hastaların sistemde kalış uzunluklarının azaltılmasına yöneliktir. Bunların yanında sistemin modellenerek benzetime konu edilmesinde, diğer bazı performans ölçütlerinin belirlenmesine çalışılmıştır. Bunları şöyle sıralayabiliriz:

(1) Hastalar için acil departmanında toplam bekleme uzunluğu,

(2) Hastanın bir kaynak için beklediği ortalama süre,

(3) Hastanın işlemde beklediği ortalama süre,

(4) Sistemdeki alanların kısmi ya da tam kapasite çalışma yüzdeleri,
(5) Doktor ve hemşirelerin oluşturduğu kaynakların kullanım yüzdeleri,
(6) Acil departmanında hizmet gören hasta sayısı ve
(7) Her bir süreçte hizmet gören ve bekleyen hasta sayısı şeklindedir.

3.7 Modelin Kurulması ve Deneylere Ait Sonuçlar

Model süreci ServiceModel benzetim yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. ServiceModel, kesikli olay sistem benzetimi konusunda dünyanın sayılı büyük şirketlerinden ProModel'ın hizmet sistemleri benzetimi için özel olarak tasarlamış olduğu bir yazılımıdır. Geniş kodlama kabiliyetleri yanında yüksek seviyeli benzetim yazılımı işlevliğindeki ServiceModel, Windows tabanlı bir yazılımdır. Model kurulumu, veri analizi, girdi analizi, çıktı analizi ve animasyon gibi benzetim geliştirme döngüsünün tüm sürecini desteklemektedir. Süreç, bir kesikli-olay benzetim sistemi olarak modellenmiştir. Hasta varışları, ilk muayene alanı ve diğer alanlara hasta iletilme olasılıkları, sistem içinde her aşamada servisçi (kaynak) sayıları, servis zamanı dağılımlarının türü ve parametre değerleri, sisteme ait alanlar, varlıklar, kaynaklar, işlemle, vardiyalar ayrı ayrı belirlenerek programa girilmiştir.

Acil departmanındaki mevcut durumu değerlendirmek ve hasta kalış uzunluğu ile kaynak kullanımına bağlı olarak optimal çözümü belirlemek için farklı senaryolar geliştirilmiştir. Bekleme zamanı sistem süreci esnasında gerçekleşen tüm beklemelerin toplamı olarak tanımlanmıştır. Daha önce bahsedildiği üzere performans ölçütleri, hastanın sisteme girdiği andan itibaren toplam kalış uzunluğu ve acil departmanındaki kaynakların (doktor ve hemşireler) kullanım oranlarını içermektedir. Bu ölçütler için istatistikler, farklı işlem senaryoları için karşılaştırılmıştır. İşlemlerle ilgili senaryolar aşağıdaki gibidir:

(1) Mevcut sistem akışı (Temel model)
(2) Personel seviyelerinde değişiklik (2 farklı senaryo)

Her senaryo 50 replikasyon olarak 1 günlük ısınma süresi ile beraber 30 günlük çalıştırılmıştır. %95'lik bir güven aralığı mevcut sistemde olduğu şekliyle her senaryo için hesaplanmıştır.

3.7.1 Mevcut Sistem

Acil departmanı Çizelge.2'de görüldüğü üzere tüm yıl için haftanın 7 günü sabit personel çizelgesini sürdürmektedir.

Çizelge.2 Mevcut personel çizelgesi

Vardiyalar			
Kaynaklar	08:00-16:00	16:00-24:00	24:00-08:00
Doktor	3	4	3
Hemşire	4	5	3
Resepsiyon Görevlisi	2	2	1

Mevcut kaynak atamaları ve çizelgesi ile sistem çalıştırıldığında ortalama hasta kalış uzunluğu sonuçları Çizelge.3'de görülmektedir.

Çizelge.3 Simüle edilen mevcut sistemin hasta kalış uzunluğu

Varlık (Entity)	Sistemde kalış uzunluğu (LOS)	Kaynak bekleme süresi	İşlemde bekleme süresi	%95 güven aralığında LOS
Hasta	105.43	17.01	83.15	100.16-110.70

Modellenen sistemde varlıkları gösteren hastaların, kaynak için bekledikleri süre toplam kalış uzunluğunun %16'sını oluşturmaktadır. Diğer yanda hastanın hizmette harcadığı süre ise toplam kalışın %79'unu göstermektedir. Mevcut kaynaklarla beraber çalıştırılan temel modelin sonuçları, kaynakların aşırı ya da yetersiz kullanımının personel çizelge politikaları (vardiyalar) üzerinde bir etki yarattığına dikkat çekmiştir. Hasta kalış uzunluğu (LOS) ve kaynak kullanım oranının her ikisini birden iyileştirecek 2 farklı vardiya senaryosu üzerinde çalışılmıştır.

Senaryo 1

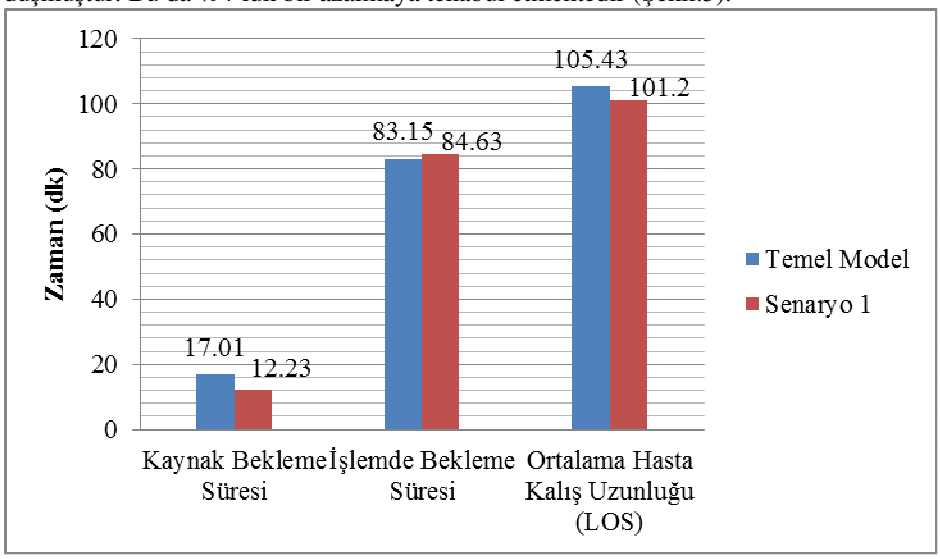
Bu senaryoda mevcut sistemin vardiya yapısı incelendikten sonra hem doktorlar hem de hemşirelerin her ikisi için farklı kaynak sayıları ve vardiya zamanları düzenlenerek sistem modifiye edilmiştir. İşgücünü dengelemek, ortalama hasta kalış uzunluğunu iyileştirmek ve kaynak kullanım oranlarını geliştirmek için sabah, akşam ve gece vardiya zamanları değiştirilmiştir.

Buna göre önerilen yeni vardiya zamanları 9-17,17-1 ve 1-9 şeklindedir. Mevcut modelden ayrı diğer bir değişiklik ise, gece vardiyasındaki doktor ve hemşire sayısını 1'er azaltmak ile akşam vardiyasındaki doktor ve hemşire sayısını 1'er artırmak suretiyle yapılmıştır (Çizelge.4).

Çizelge.4 Senaryo 1'in personel çizelgesi

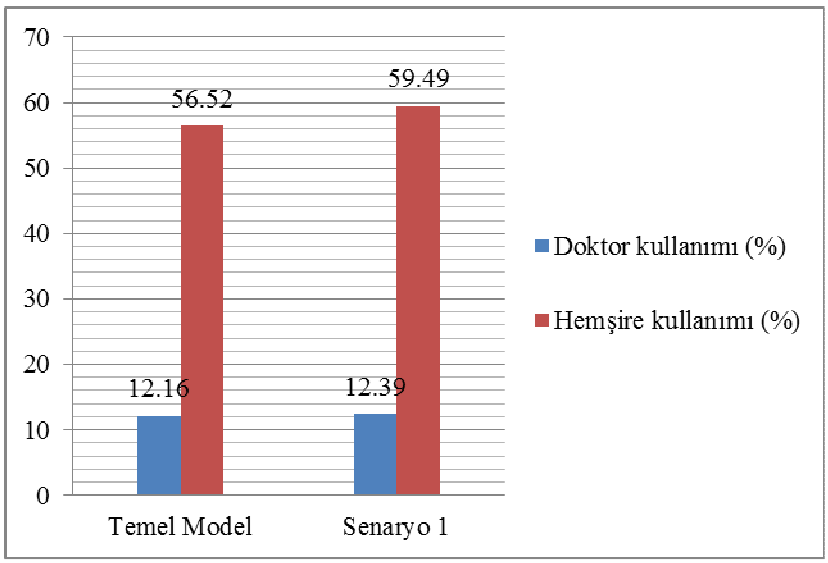
Kaynaklar	Vardiya zamanı	Kaynak sayısı
Doktor	09:00-17:00	3
	17:00-01:00	5
	01:00-09:00	2
Hemşire	09:00-17:00	4
	17:00-01:00	6
	01:00-09:00	2

Gece vardiyasındaki doktor ve hemşire sayısını azaltıp akşam vardiyasındaki sayıyı artırmak üzere kurulu bu stratejiyi önerilmesinin nedenlerinden birkaçı; gece vardiyasında hasta talebinin diğer vardiyalara göre düşmesi ve hastanelerin diğer departmanlarında muayenelerin akşam mesaisinin bitimiyle acil departmanlarına kayması ve bunun da hasta başvurularının sayısını artırması olarak gösterilebilir. Önerilen yeni personel çizelgesi ile modelin çalıştırılması neticesinde hastanın sistemde ortalama kalış uzunluğu 105.43 dk'dan 101.2 dk'ya düşmüştür. Bu da %4'lük bir azalmaya tekabül etmektedir (Şekil.5).



Şekil.5 Senaryo 1 ortalama hasta kalış uzunluğu

Senaryo 1'in kaynak kullanım oranlarının karşılaştırmalı sonuçları Şekil.6'da gösterilmektedir. Şekle göre hemşire kullanımında yaklaşık %6'lık bir iyileştirme sağlanmıştır. Doktor kullanımında ise bu oran düşük olmasına rağmen bir iyileşme söz konusudur.



Şekil.6 Mevcut sistemin Senaryo 1'in kaynak kullanımına göre karşılaştırılması

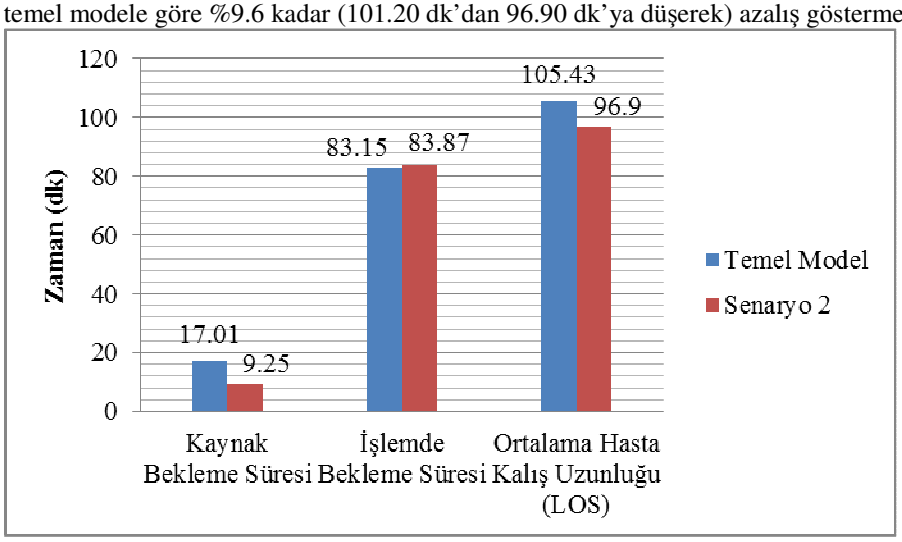
Senaryo 2

Senaryo 2 modeli, personel çizelge politikası Çizelge.5'de gösterildiği gibi çalıştırılmıştır. Bir önceki senaryoya göre farklı tarafı, hasta varışının yoğunluklu olduğu zaman periyodunu kapsayacak şekilde bir ara vardiya konulmuştur. Ara vardiya 15:00-23:00 saatleri arasında olup, bu vardiyaya 1 doktor ve 1 hemşire atanmıştır.

Çizelge.5 Senaryo 2'nin personel çizelgesi

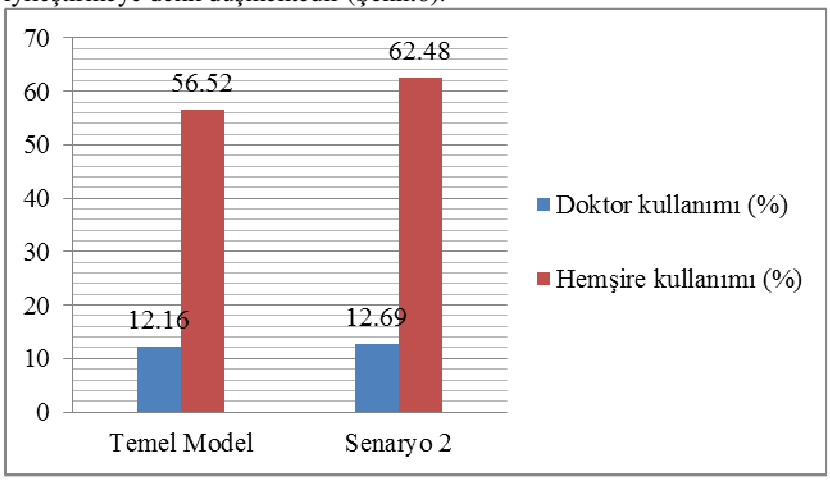
Kaynaklar	Vardiya zamanı	Kaynak sayısı
Doktor	08:00-16:00	3
	16:00-24:00	4
	24:00-08:00	2
	15:00-23:00 (Ara vardiya)	1
Hemşire	08:00-16:00	4
	16:00-24:00	5
	24:00-08:00	2
	15:00-23:00 (Ara vardiya)	1

Acilde ortalama hasta bekleme uzunluğunun bu personel çizelge politikasındaki değişikliğinin meydana getirdiği etki Şekil.7'deki gibi olmaktadır. Şekil.7'de de görüldüğü gibi sistemde hastanın ortalama bekleme uzunluğu temel modele göre %9.6 kadar (101.20 dk'dan 96.90 dk'ya düşerek) azalış göstermektedir.



Şekil.7 Senaryo 2 ortalama hasta kalış uzunluğu

Bu politika, kaynak kullanım oranlarında da etkisini göstermiştir. Nitekim hemşire kullanım oranı %56.52'den %62.48'e yükseltilerek yaklaşık %5'lik bir iyileştirme sağlanmıştır. Doktor kullanımında ise bu oran %2'lik bir iyileştirmeye denk düşmektedir (Şekil.8).



Şekil.8 Mevcut sistem ile Senaryo 2'nin kaynak kullanımına göre karşılaştırılması

4. SONUÇ

İyileştirme taslağı, hastane yönetimine fayda getirecek değişiklikleri açıklamayı sağlamıştır. Elazığ'da üniversite hastanesi acil departmanının modellenmesi, kalış uzunluğunun düşürülmesi ve kaynakların etkin kullanılması bakımından çok büyük katkı sağlamıştır. Mevcut sistemin ve ardından vardiya çizelge politikalarındaki değişikliklerin 2 farklı senaryo ile ortaya konması önemli iyileştirmeler yapılmasını sağlamıştır. Bunun yanında

elde edilen sonuçların kıyaslanması, yöneticilerin kaynak tahsis ve planlamada değişik stratejiler geliştirmelerine yardım edecektir.

KAYNAKLAR

[1] Ahmed M.A. ve Alkhamis T.M. (2009), Simulation Optimization for an Emergency Department Healthcare Unit in Kuwait, European Journal of Operational Research, 198:936-942.

[2] Alkaabi R., Abd El Halim A.O. ve Mahmoud S., (2006), Improving Resource Allocation Efficiency In Health Care Delivery Systems, Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 1389-1394.

[3] Arslanhan S., (2010), Muayene Sayısındaki Artış, Anlamlı Bir Erişim Artışını mı İfade Ediyor?, TEPAV Politika Notu

[4] Beck E., Balasubramanian H. ve Henneman P.L., (2009), Resource Management and Process Change in a Simplified Model of the Emergency Department, Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference, 1887-1895.

[5] Brenner S., Zeng Z., Liu Y., Wang J., Li J. ve Howard P.K., (2009), Modeling and Analysis of the Emergency Department at University of Kentucky Chandler Hospital Using Simulations, Journal of Emergency Nursing, 36:303-310.

[6] Glaa B., Hammadi S. ve Tahon C., (2006), Modeling the Emergency Path Handling and Emergency Department Simulation, International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 4585 – 4590.

[7] Holm L.B. ve Dahl F.A. (2010), Simulating the Influence of a 45% Increase in Patient Volume on the Emergency Department of Akershus University Hospital, Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference, 2455-2461.

[8] İsmail K., Abo-Hamad W. ve Arisha A., (2010), Integrating Balanced Scorecard and Simulation Modeling to Improve Emergency Department Performance in Irish Hospitals, Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference, 2340-2351.

[9] Jihene J., El Mhamedi A. ve Chabchoub H., (2007), Simulation Model of Emergency Department, International Conference on Service Systems and Service Management, 1-5.

[10] Khurma N., Bacioiu G.M. ve Pasek Z.J., (2008), Simulation-based Verification of Lean Improvement for Emergency Room Process, Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference:1490-1499

[11] Mcguire F., (1998), Simulation in Healthcare, Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice. Edited by J. Banks, John Wiley & Sons, Inc. 605-628.

[12] Özdağoğlu A., Yalçınkaya Ö. ve Özdağoğlu G., (2009), Ege Bölgesi'ndeki Bir Araştırma ve Uygulama Hastanesinin Acil Hasta Verilerinin Simüle Edilerek Analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 16:61-73

[13] Ruohonen T., Neittaanmäki P. ve Teittinen J., (2006), Simulation Model for Improving The Operation of The Emergency Department of Special Health Care, Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, 453-458.

[14] Tekkanat A.O., (2007), Hat Yönetiminde Simülasyon Tabanlı Optimizasyon ve İstanbul Deniz Otobüsleri A.Ş.'de Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (yayınlanmamış).

[15] Yeh J. ve Lin W., (2007), Using Simulation Technique and Genetic Algorithm to Improve the Quality Care of a Hospital Emergency Department, Expert Systems with Applications, 32:1073-1083.

Veri Zarflama Analizi Skorlarının Geçerliliğinin Aracı Regresyon Modelleri ile Sınanması

Münevver TURANLI[15] A. Mete Çilingirtürk[16]

Özet

Son 10 yıl içinde Veri Zarflama Analizi (VZA) süreçlerin etkinliğinin ölçülmesinde sıklıkla kullanılan çıktıya yönelik bir optimizasyon çözümü olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem parametrik olmayan bir yöntem olarak sunulmakta, girdi ve çıktıların sayısal ölçümlemelerinin yapıldığı durumlarda konvekslik kısıtı altında herhangi bir varsayım gerektirmeden çözülmektedir. Alternatif olarak çıktıya yönelik Cobb-Douglas ve gelişmiş ekonometrik modeller kurularak girdilerin etkinliğinin irdelenmesi daha uzun süredir kullanılan bir yöntem olup, bu parametrik yaklaşımda anlamlılık sınamalarının yapılması kullanılan tahmin yönteminin gerek duyduğu varsayımlar altında mümkün olmaktadır.

Bu araştırma etkinliği girdi-çıktı süreci arasında bir kara kutu diğer bir ifade ile sürece ait bir özellik olarak varsaymakta olup, VZA etkinlik skorlarının geçerliliğini incelemek üzere alternatif bir yaklaşım getirmeyi amaçlamaktadır. Etkinlik sürecin bir parçası olacağına göre girdi ile birlikte çıktıyı belirleyen bir değişkendir. Ancak aynı etkinliğe sahip süreçlerde de girdinin kalitesine bağlı olarak çıktı verimliliği farklı olabilecektir. Bu durumda çıktı, girdi ve etkinliğin bir fonksiyonu olmalı ve girdi aynı zamanda etkinliği de etkilemelidir. Bu yaklaşımdan yola çıkıldığında aracı regresyon modelleri (moderated mediation models) kullanılarak VZA çözümlemesi ile belirlenen etkinlik skorlarının sınaması yapılabilir ve girdilerden ve ölçeklerden etkilenen VZA etkinlik skorları arasından en uygun sonuçların seçimi yapılabilir.

Çalışmada OECD ülkeleri eğitim etkinliğini belirleme amacı ile sunulmuş bir başka çalışmanın sonuçları kullanılarak, VZA etkinlik skorlarının ne tür bir modele uygun olduğu ve sonuçların sınanabileceği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: veri zarflama analizi, aracı regresyon modeli, eğitim etkinliği

Giriş

Performans, belirli bir süreç sonunda bir işi yapmakla sorumlu olan bir karar biriminin amaçlanan hedeflere göre ortaya çıkan ürün, hizmet veya sonuçları birlikte değerlendirmesine yönelik analitik bir süreçtir[1]. Kullanılan kaynaklar ile üretilen ürün ya da hizmetlerin amaçlanan hedefe ulaşıp ulaşmadığı, elde ettiği sonuçlara ulaşılırken, kaynakların verimli ve etkin kullanılıp kullanılmadığının değerlendirilmesinde performans ölçümü büyük önem taşımaktadır. Verimlilik, bir sistemin çıktılarının, bu çıktıyı elde etmek için kullandığı girdilere oranı şeklinde tanımlanırken, etkinlik ise en yüksek çıktıya en az kaynak kullanımı ile ulaşabilme gücüdür.

Performans kavramının oldukça geniş bir kavram olması performans ölçümünde çeşitli etkinlik veya verimlilik ölçüm yöntemlerinden yararlanılmasını gerekli kılmıştır. Performans ölçümünde kullanılan yöntemleri oran analizi ve sınır etkinlik yaklaşımları olarak ikiye ayırmak mümkündür. Oran analizinde bir tek girdinin ve çıktının oranı şeklinde tanımlanan bir oranın süreç içerisinde izlenmesi şeklinde uygulanır. Son dönem etkinlik çalışmalarında Veri Zarflama Analizi (VZA) ön plana çıkmaktadır. Bu konuda çok hızlı metodolojik gelişmeler kaydedilmekte ve çeşitli alanlara uygulanabilir olmaktadır.

Bu durumda çıktı, girdi ve etkinliğin bir fonksiyonu olmalı ve girdi aynı zamanda etkinliği de etkilemelidir. Bu yaklaşımdan yola çıkıldığında aracı regresyon modelleri (mediated regression) veya düzenleyici regresyon modelleri (moderated regression) kullanılarak VZA çözümlemesi ile belirlenen etkinlik skorlarının sınaması yapılabilir.

Veri Zarflama Analizi

Veri Zarflama Analizi, doğrusal programlama prensiplerine dayanan ve literatürde Karar Verme Birimleri (KVB) olarak adlandırılan işletme, kuruluş, ülkeler gibi birimlerin girdileri çıktıya dönüştürme süreçlerinin göreli verimliliğini ölçmek için tasarlanmış parametresiz ve doğrusal programlama tabanlı bir tekniktir

Yöntem, regresyon tekniğinin doğrudan uygulanmadığı çoklu girdi ve çoklu çıktılar içeren ve fiyatların belirsiz olduğu üretim ilişkilerinde, girdi ve çıktıların nispi önem ağırlıklarını, etkinlik sınırı ile etkin olup olmayan KVB'lerin belirlenmesine ve performans karşılaştırmaları yapılmasına olanak tanımaktadır. Etkinlik sınırı, etkin karar birimlerinin mümkün olan tüm üretim imkânlarının kümesidir ve bu sınırın altında kalan karar birimler göreli olarak kaynaklarının bir kısmını etkin kullanmayan birimlerdir.

Veri Zarflama Analizinin temelleri, E. Rhodes'in, Carnegie Mellon Üniversitesinde, W.W Cooper'in danışmanlığını yaptığı doktora çalışması esnasında atılmıştır. Çalışmada; 70 okula ait bir eğitim programının etkilerinin, programa katılanlar ve katılmayanlar açısından etkinliğinin çoklu girdi ve çıktılarla tahmin etme isteği CCR (Charnes, Cooper, Rhodes) modeli olarak bilinen ve ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında yapılan

[15] Prof.Dr., İstanbul Ticaret Üniversite, İstatistik Bölümü.
[16] Doç.Dr., Marmara Üniversitesi, Ekonometri Bölümü.

ilk VZA modelini doğurmuştur [2]. Banker, Charnes ve Cooper çalışmalarında ölçeğe göre değişken getiri durumunu ele alarak BBC modelini geliştirmişlerdir [3]. CCR ve BBC modellerinin her biri için girdiye ve çıktıya yönelik olmak üzere iki ayrı denklem sistemi oluşturulmuş ve verimsizlik kaynaklarının yanı sıra verimsizlik türlerinin de incelenmesi mümkün olmuştur. Ayrıca Charnes, Cooper, Golany, Seiford ve Stutz tarafından ortaya atılan toplamsal ve çarpımsal model adı altında diğer VZA modelleri literatürde yer almıştır [4]. VZA' da etkin KVB' ni sıralamak için Andersen ve Petersen Süper Etkinlik modelini, Sexton vd. Çapraz Etkinlik Matris'ni, Li ve Reeves çok amaçlı bir VZA modelini önermişlerdir [5].
CCR yaklaşımında (m) adet girdi kullanarak, (s) adet cıktı üreten, n sayıdaki KVB'den oluşan bir gözlem kümesinde; k'ıncı KVB'nin girdiye yönelik oran modeli aşağıda gösterilmektedir [6].

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Mak } h_k = \sum_{r=1}^{s} u_{rk} Y_{rk}$$

Kısıtlar

$$\sum_{r=1}^{s} u_{rk} Y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_{ik} X_{ij} \le 0 \qquad j=1,2,\ldots, N \qquad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{m} v_{ik} X_{ik} = 1$$

$$u_{rk}, v_{ik} \ge 0 \qquad r=1,2,\ldots,s \quad i=1,2,\ldots,m$$

Modelde, analiz edilecek problemde $X_{ij} > 0$ parametresi j karar-birimi tarafından kullanılan i girdi miktarını göstermektedir. Benzer şekilde $Y_{rj} > 0$ parametresi j karar-birimi tarafından üretilen r çıktı miktarını göstermektedir. Bu karar problemi için değişkenler, k karar-biriminin i girdi ve r çıktıları için vereceği ağırlıklardır. Bu ağırlıklar sırasıyla v_{ik} ve u_{rk} olarak gösterilmektedir. Bu aşamada problem n tane karar-birimi için n tane kesirli doğrusal programlama modelinin formülasyonu olarak ifade edilebilir. Kesirli doğrusal programlama modelinin amaç fonksiyonu, verimlilik tanımından hareketle, k karar-birimi için toplam ağırlıklandırılmış çıktıların toplam ağırlıklandırılmış girdilere oranının maksimizasyonudur. CCR modelinin n kez çözülmesi sonucunda girdi ve çıktı ağırlıkları ile bunlara dayalı olarak etkinlik sınırı elde edilmektedir. Bu sınır, göreli etkinlik kriteri olarak değerlendirilmekte ve en az bir karar biriminin etkin olacağı düşünülmektedir. CCR modeli, girdi minimizasyonu ve çıktı maksimizasyonu amaçlarına göre düzenlenebilmekte, her iki modelde de karar birimleri için aynı etkinlik skorları elde edilmektedir [7].
Etkinliğin, ölçek büyüklüğünden etkilendiği durumlarda CCR modeli yerine, değişken getirili ölçek varsayımı altında geliştirilen BBC modelleri kullanılmaktadır. BCC modellerinin, CCR modellerinden tek farkı; sabit ölçek altında değil, değişken getirili ölçek varsayımı altında işlev görmesidir. CCR modellerine konvekslik kısıtı eklenerek BCC modeli elde edilir.
1984 yılında R.D. Banker, A. Charnes, ve W.W. Cooper tarafından ilk defa ortaya atılan bu model, bu kişilerin adlarının bas harfleri (BCC) ile kullanılmaktadır. Çıktıya yönelik BCC Modeli aşağıdaki gibidir [7].

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Mak } h_k = \sum_{i=1}^{m} u_{rk} Y_{rk} - u_0$$

Kısıtlar

$$\sum_{r=1}^{s} u_{rk} Y_{rj} - u_0 - \sum_{i=1}^{m} v_{ik} X_{ij} \le 0 \qquad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{m} v_{ik} X_{ik} = 1$$

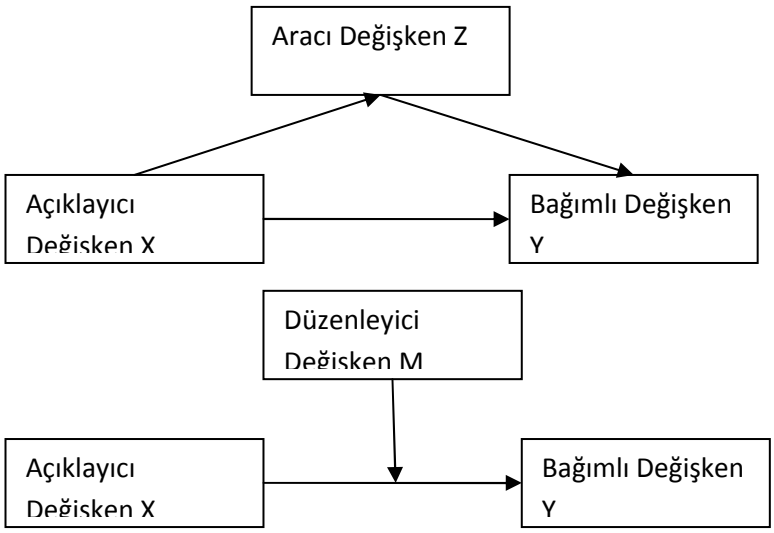
$$u_{rk}, v_{ik} \ge 0 \qquad r=1,2,\ldots,s \quad i=1,2,\ldots,m$$

BCC modelleri de, CCR modelleri gibi girdiye ve çıktıya yönelik olmak üzere ayrılabildiği gibi; aynı zamanda oran, ağırlıklı model ve zarflama modeli seklinde de sınıflandırılabilir. BCC modelleri, CCR modellerine benzer şekilde yorumlanmaktadır.

Aracı (Mediation) ve Düzenleyici (Moderator) Regresyon Modeli

Sosyal araştırmaların temel hedefinde genelde P(ylx) ile temsil edilen nedensel etkileri belirleme amacı vardır. Bu yapı açıklayıcı değişkenler X'in bağımlı değişken Y üzerindeki toplam etkisini ortaya koymaktadır. Ancak çoğu zaman arzu edilen diğer tüm faktörler sabit iken Y'nin X'deki değişimlere duyarlılığını belirlemek ve bu doğrudan etkiyi X→Y sayısallaştırmaktır.

Yapısal eşitlik modelleri etki-sonuç tabanlı (Pathspecific effects) modellerin analizinde doğrudan, dolaylı ve toplam etkileri belirlemek için uygun bir tekniktir [8, 9, 10, 11]. Bu analiz her bir yapısal denklemdeki patikaların katsayılarını temsil eden matrislerin kuvvetlerinin toplamlarını ele almaktadır. Bu tekniğe rağmen aracı etkilerin analizi sosyal bilimlerde üzerinde durulan bir sorun olmuştur [12, 13, 14, 15, 16]. Bunun sebebi bu araştırmalarda genelde doğrusal analizlerde nedensel parametrelerin regresyon katsayıları ile yorumlanmasında kolayca yanılgı yapılabilmesidir [17, 18].
Aracı ve düzenleyici değişkenlerin yapısı kolayca karıştırılabilmekte olup Şekil-1'de görülmektedir [19].



Şekil 3 Aracı ve Düzenleyici Etkili Yapısal Modeller

ırak aşağıdaki şekilde yazılmaktadır [20,21].

$$DE = \sum \left[E\left(Y|x+\Delta x, Z\right) - E\left(Y|x, Z\right) \right] P\left(Z|x\right) \quad (3)$$

$$IE = \sum E\left(Y|x, Z\right) \left[P\left(Z|x+\Delta x\right) - P\left(Z|x\right) \right] \quad (4)$$

Aracılık formülleri (3) ve (4) herhangi bir dağılımda ve her türlü değişkene uygulanabilmektedir. Böylece parametrik ve parametrik olmayan regresyon modelleri ile doğrudan ve dolaylı etkilerin belirlenmesi kolaylıkla mümkün olmaktadır [22, 23]. Baron ve Kenny (1986) aracılık etkisinin varlığının sınanması için dört aşamalı bir prosedür önermişlerdir [13].

1. $Y=a_0+a_1X+u_1$ modelinde istatistiksel anlamlılık sınamaları uygulanır, modelin açıklama oranı $R^2_{Y\bullet X}$ hesaplanır.
2. $Z=b_0+b_1X+u_2$ modelinde istatistiksel anlamlılık sınamaları uygulanır.
3. $Y=c_0+c_1X+c_2Z+u_3$ modelinde istatistiksel anlamlılık sınamaları uygulanır, modelin açıklama oranı $R^2_{Y\bullet XZ}$ hesaplanır.
4. Eğer c_1 istatistiksel olarak anlamlı değil ise Z'nin tam aracı olduğu söylenir, aksi taktirde kısmi aracılık söz konusudur.

Elbette bu aşamaların bazılarında istisnalar ortaya çıkmaktadır. Aracı değişken ve bağımsız değişken arasındaki çoklu doğrusal bağlılık olması durumunda bütün şartlar sağlansa bile c_2 bağlantısı anlamsız olacaktır. Diğer taraftan c_1'in işareti b_1c_2'den farklı olursa bu durumda tutarsız aracılıktan bahsedilmektedir ve aracı değişkenin varlığı XY ilişkisine ters yönde etkilemektedir [24]. Buna "baskıcı" (suppressor) değişken denmektedir. Aracılık etkisinin anlamlılığının sınanması için çıktı modellerinin açıklama oranlarındaki değişimin sınanması mümkündür.

$$F = \frac{\left(R^2_{Y\bullet XZ} - R^2_{Y\bullet X}\right)/\left(k_2 - k_1\right)}{\left(1 - R^2_{Y\bullet XZ}\right)/\left(n - k_2 - 1\right)} \quad (5)$$

Aracı değişkenin etkisinin anlamlılığının sınanması için birleştirilmiş katsayı testleri önerilmiştir [25]. Ancak bu testlerin α Tip-I hata oranını sabit tutmak üzere 0,0253 anlam düzeyinde sınanması uygundur.

- Sobel testi : $z = \dfrac{a_1 c_2}{\sqrt{c_2^2 S_{a_1}^2 + a_1^2 S_{c_2}^2}}$ (6)

- Aroian testi : $z = \frac{a_1 c_2}{\sqrt{c_2^2 S_{a_1}^2 + a_1^2 S_{c_2}^2 + S_{a_1}^2 S_{c_2}^2}}$ (7)

- Goodman testi: $z = \frac{a_1 c_2}{\sqrt{c_2^2 S_{a_1}^2 + a_1^2 S_{c_2}^2 - S_{a_1}^2 S_{c_2}^2}}$ (8)

Sobel ve Aroian testleri örnek hacminin 50 ve üzerinde olduğu Monte Carlo çalışmalarında daha başarılı sonuçlar verdiği belirtilmektedir. teorik olarak aracı etkinin ölçülmesinde kullanılan bir diğer katsayı da [1-$[a_1c_2/c_1)$] olmaktadır.

Düzenleyici (moderator) bir değişken bağımsız-bağımlı değişken arasındaki nedensel ilişkinin gücünü yenileyen ve hatta ilişkinin yönünü değiştirebilen bir özelliktir[27]. Bağımsız değişken X'in nedensel etkisini zayıflatan bir özelliği vardır ve bu etki sıfır olduğunda tam düzenleyicilik söz konusudur [28]. Doğrudan etki $Y=a_0+a_1X+u_1$ ve $Y=d_0+d_1X+d_2M+u_4$ modellerine ek olarak düzenleyici etki regresyon modeli kurulur.

$Y=g_0+g_1X+g_2M+g_3MX+u_5$ (9)

Düzenleyici etkinin ölçülmesi ve sınanması için çeşitli yöntem ve yaklaşımlar önerilmektedir [29].

1. Doğrudan etki modellerinde X'in katsayıları büyüklük ve işaret bakımından farklı değiller ve $g_2 \neq 0$ ve $g_3=0$ ise M düzenleyici değişken değildir.
2. Düzenleyici regresyon modeli doğrudan etkili çoklu regresyon modelinden anlamlı farklı Eşitlik(5), ayrıca $g_{2=}0$ ve $g_3 \neq 0$ ise M tam düzenleyici değişkendir.
3. Denklemler birbirlerinden anlamlı farklar gösteriyor ve katsayıların ikisi de sıfırdan anlamlı farklı ise kısmi-düzenleyici değişken söz konusudur.

Eğer düzenleyici değişkenin varlığından söz ediliyor ise bu durumda açıklama oranlarındaki değişim düzenleyici etkinin büyüklüğü hakkında bilgi verebilir.

Eğitimde Etkinlik Çalışması Skorlarının Sınanması

Süreç etkinliği girdi ile çıktı arasındaki yapıyı belirleyen bir özellik olup, bu ilişkiye aracı olmakta veya bu ilişkiyi düzenlemektedir. Bu çalışmanın amacı süreç etkinliğinin belirlenmesinde kullanılan parametrik olmayan VZA skorlarının sınanabilir olduğunu göstermek, aynı zamanda bu yapıyı belirleyerek etkinliğin girdi-çıktı süreci üzerindeki etkisini ölçmektir.

Eğitim kalitesi ve başarısı, sosyal devletlerde bunu düzenleyen devletin harcamalarının bir ürünüdür. Eğitimde etkinliğin ölçümü sıkça yapılan çalışmalar arasında olup, VZA ile ülkeler arası, kurumlar arası karşılaştırmalara literatürde sıklıkla rastlanmaktadır [30, 31, 32, 33, 34, 35, 36]. Bu çalışmalarda özellikle OECD ülkelerini kapsayan ve çıktıları PISA araştırması sonuçlarına bağlayan araştırmalar yaygınlaşmıştır [37, 38, 39, 40, 41]. PISA (Program for International Student Assessment- Uluslar arası Öğrenci Değerlendirme Programı) 2000 yılında 43 ülkenin katılımıyla başlamış 2009 yılında 68 ülkeye yayılmıştır. Araştırma öğrencilerin bilgi ve becerilerini doğrudan kendilerinden ölçmeye yönelik, okuma, matematik ve fen skorlarını belirlemektedir.

Çalışmada Koçak ve Çilingirtürk tarafından belirlenen VZA skorları kullanılmıştır [37, EK-1]. VZA ile faktör analizinin ortak kullanımı hem ölçüm hatalarının azaltılmasında hem de çok sayıda değişkenden daha az sayıda değişkene indirgeme yapılarak ortak önemli girdi veya çıktıyı belirlemede kullanılmaktadır [42]. Çıktı olan 3 daldaki PISA skorları (Cronbach α=0,9619; KMO=0,767; Bartlett χ^2=124,51) destekleyici faktör analizi ile tek faktöre düşürülmüş ve faktör skorları En Çok Benzerlikler yöntemi ile tahmin edilmişlerdir. Tahmin edilen PISA Ortak Faktörü (λ=2,713) üç daldaki skorların varyansının %90,43'ünü açıklamaktadır. Bileşen korelasyon matrisi Tablo-1'de yer almaktadır.

Tablo 13 Faktör Bileşen Korelasyon Matrisi

PISA Skorları	PISA Ortak Faktörü
PISA Reading	,922
PISA Mathematics	,953
PISA Science	,977

Aracı ve düzenleyici etkilerin belirlenmesi için 4 ayrı model kurulmuştur. Bu modellerde kamu eğitim harcamalarının GSYIH içindeki yüzdesi bağımsız değişken (X), PISA ortak faktörü bağımlı değişken ve VZA skorları aracı veya düzenleyici değişken (Z/M) olarak kullanılmıştır. Model katsayı tahminler ve ilgili istatistikler aşağıdaki Tablo-2'de sunulmuştur.

Tablo 14 Regresyon tahminleri ve istatistikler

Model	Sabit	X		M		XM			
	β	β	t/p	β	t/p	β	t/p	R^2	F/(p)
$Y=a_0+a_1X+u_1$	-1,21	0,35	1,45					0,058	2,10
	(0,85)	(0,24)	0,16						(0,16)
$Z=b_0+b_1X+u_2$	98,35	-1,33	-1,34					0,050	1,79

	(3,53)	(0,995)	0,19						(0,19)
$Y=m_0+m_1M+e$	-16,85			0,18	6,48			0,553	42,03
	(2,60)			(0,03)	0,00				(0,00)
$Y=c_0+c_1X+c_2M+u_3$	-21,18	0,62	4,61	0,20	9,01			0,711	44,13
	(2,26)	(0,13)	0,00	(0,02)	0,00				(0,00)
$Y=g_0+g_1X+g_2M+g_3MX+u_5$	33,29	-15,89	-5,62	-0,37	-3,73	0,175	5,84	0,856	70,28
	(9,47)	(2,83)	0,00	(0,10)	0,00	(0,03)	0,00		(0,00)

Aracı değişken etkisi incelendiğinde girdinin çıktı üzerinde doğrudan ve girdinin aracı üzerinde doğrudan nedensel etkisi gözlenmemiştir. Ancak aracı değişken modele eklendiğinde girdinin ve aracı değişkenin anlamlı etkileri ortaya çıkmıştır. Aracı değişkenin açıklama katkısının sınanması için Eşitlik (5) kullanılmış ve F=74,56 (p=0,00) test istatistiği anlamlı bir değişim olduğunu ortaya koymuştur. Ancak iki ayrı bağımsız değişkenli model yapısı ortaya çıkmış olabilir. Bu nedenle ortak etkinin anlamlılık sınamaları yapılmıştır.

Tablo 15 Ortak etki anlamlılık sınamaları

	z-test istatistiği	Standart hata	p-değeri
Sobel testi	-1,3236	0,2043	0,186
Aroian testi	-1,3153	0,2056	0,188
Goodman testi	-1,3319	0,2030	0,183

Modelin aracı etki modeli olmadığı ortaya çıkmaktadır. VZA ile hesaplanan etkinlik skorları girdi yerine doğrudan tek başlarına çıktıyı belirleme kapasitesi göstermektedirler.

Düzenleyici etki modeli olarak regresyon modelleri incelendiğinde etkileşim değişkeninin yer aldığı model, girdi ve düzenleyici değişkenin bağımsız olarak yer aldığı modele göre Eşitlik (5) ile incelenmiştir. Test istatistiği F=33,94 (p=0,00) hesaplanmış, düzenleyici etkileşimin modele dahil olmasının anlamlı bir katkı sağladığı ortaya çıkmıştır. Ancak bu son modelde bütün katsayıların anlamlı olmasına rağmen girdi ve düzenleyici değişken katsayılarının işaretleri ters dönmüş negatif çıkmışlardır. Etkinliğin sözde (quasi) düzenleyici değişken etkisine sahip olduğu söylenebilir. Ayrıca baskıcı bir etkisi olduğu işaretlerin değişiminden ortaya çıkmaktadır.

Sonuç

Etkinlik kavram olarak incelendiğinde girdi-çıktı arasındaki yapıyı tanımlayan ve tamamlayan bir özelliktir. Buna rağmen girdinin doğru seçilmediği durumlarda VZA ile yapay skorlar oluşmakta ve farklı çalışmalarda farklı etkinlik sıralamalarına ve kümelenmelerine sebep olmaktadır. Bu durumda basit doğrudan etki modelleri istatistiksel olarak anlamsız çıkmakta ancak etkinlik skorları modellerde doğrudan ve aracı/düzenleyici olarak istatistiksel anlamlı olarak yer almaktadırlar. Bu durumun en önemli sebebi girdi ve çıktı arasında nedensel ilişki olmasa bile VZA'nın yapay etkinlik skorları ile bu bağlantıyı sağlamasıdır.

Bu çalışma parametrik olmayan VZA'nin anlamlılık açısından sınanmasına alternatif bir yaklaşım getirmesi açısından dikkate alınmalıdır. Aynı çıktı üzerine ortaya çıkarılmış farklı modellerin girdi ve skorları kullanılarak uygun modelin belirlenmesi hedeflenmektedir. Ayrıca, bu şekilde bu yaklaşımın da sağlayacağı faydalar ortaya konulabilir.

KAYNAKÇA

[1] İ.M.Baş, A.Artar, İsletmelerde Verimlilik Denetimi Ölçme ve Degerlendirme Modelleri, MPM Yayınları, Ankara, 435:17 (1991).

[2] A.Charnes,W.W.Cooper,E.Rhodes, Measuring The Efficiency Of Decision Making Units, European Journal of Operational Research,2, 429-444,(1978).

[3] A.Boussofiane, R.G.Dyson, E.Thanassoulis, Applied Data Envelopment Analysis, European Journal of Operational Research, 52,1-15 (1991).

[4] L.M. Seiford, A cyber-bibliography for data envelopment analysis (1978-1999), Data Envelopment Analysis: A Comrehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Sover software. Ed. W.W.Cooper ve L.M.Seiford, Kluwer Academic Publishers, (1999).

[5] G.Tavares, A Bibliography of Data Envelopment Analysis. (1978-2001), Rutcor Research Report http://rutcor.rutgers.edu/pub/rrr/reports2002/1_2002.pdf (2002)

[6] A.Charnes,W.W. Cooper, E.Rhodes, Evaluating Program And Managerial Efficiency : An Application of Data Envelopment Analysis To Program Follow Through, Management Science, 27-6, 668 - 697. (1981)

[7] A.Tarım, Veri Zarflama Analizi : Matematiksel Programlama Tabanlı Göreli Etkinlik Ölçüm Yaklaşımı, Sayıştay Yayın İşleri Müdürlüğü, Araştırma / İnceleme / Çeviri Dizisi : 15, Ankara, (2001).

[8] Alwin, D. and Hauser, R. (1975). The decomposition of effects in path analysis. American Sociological Review 40 37–47.

[9] Graff, J. and Schmidt, P. (1982). A general model for decomposition of effects. In Systems Under Indirect Observation: Causality, Structure, Prediction (K. Joreskog and H. Wold, eds.). North-Holland, Amsterdam, 131–148.

[10] Sobel, M. (1987). Direct and indirect effects in linear structural equation models. Sociological Methods & Research 16 1155–176.

[11] Bollen, K. (1989). Structural Equations with Latent Variables. John Wiley, New York.

[12] Judd, C. and Kenny, D. (1981). Process analysis: Estimating mediation in treatment evaluations. Evaluation Review 5 602–619.

[13] Baron, R. and Kenny, D. (1986). The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations. Journal of Personality and Social Psychology 51 1173–1182.

[14] Muller, D., Judd, C. and Yzerbyt, V. (2005). When moderation is mediated and mediation is moderated. Journal of Personality and Social Psychology, 852–863.

[15] Shrout, P. and Bolger, N. (2002). Mediation in experimental and nonexperimental studies: New procedures and recommendations. Psychological Methods 7 422–445.

[16] MacKinnon, D., Fairchild, A. and Fritz, M. (2007a). Mediation analysis. Annual Review of Psychology 58 593–614.

[17] Holland, P. (1995). Some reflections on Freedman's critiques. Foundations of Science 1 50–57.

[18] Sobel, M. (2008). Identification of causal parameters in randomized studies with mediating variables. Journal of Educational and Behavioral Statistics 33 230–231.

[19] Pearl, J. (1998). Graphs, causality, and structural equation models. Sociological Methods and Research 27 226–284.

[20] Pearl, J. (2009b). Causal inference in statistics: An overview. Statistics Surveys 3 96–146, <http://ftp.cs.ucla.edu/pub/stat ser/r350.pdf>.

[21] MacKinnon, D. (2008). Introduction to Statistical Mediation Analysis. Lawrence Erlbaum Associates, New York.

[22] Pearl, J., (2010). The Mediation Formula: A guide to the assessment of causal pathways in non-linear models. UCLA Computer Science Department, Technical Report R-363, January 2011.

[23] Imai, K., Keele, L., and Yamamoto, T., (2010). Identification, inference, and sensitivity analysis for causal mediation effects. Statistical Science, 25(1):51–71, 2010.

[24] MacKinnon, D. P., Fairchild, A. J., & Fritz, M. S. (2007). Mediation analysis. Annual Review of Psychology, 58,, 593-614.

[25] MacKinnon, D. P., Warsi, G., & Dwyer, J. H. (1995). A simulation study of mediated effect measures. Multivariate Behavioral Research, 30, 41-62.

[27] Judd, C. M., & Kenny, D. A. (2010). Data analysis. In S. Fiske, D. Gilbert, G. Lindsay (Eds.), The handbook of social psychology, in press.

[28] Kraemer H. C., Wilson G. T., Fairburn C. G., & Agras W. S. (2002). Mediators and moderators of treatment effects in randomized clinical trials. Archives of General Psychiatry, 59, 877-883.

[29] Frazier, P. A., Tix, A. P. & Barron, K. E. (2004). Testing moderator and mediator effects in counseling psychology research. Journal of Counseling Psychology, 51, 115-134.

[30] Abu-Ghaida, D. (2007), 'Education', in: Gray, C., T. Lane and A. Varoudakis, eds. (2007), Fiscal policy and economic growth. Lessons for Eastern Europe and Central Asia, pp. 147-178 (Washington, D.C.: The World Bank).
[31] Gupta, Sanjeev, and Marijn Verhoeven (2001), "The efficiency of government expenditure – experiences from Africa", Journal of Policy Modelling 23: 433-467.
[32] Clements, Benedict (2002), "How efficient is education spending in Europe?", European Review of Economics and Finance 1: 3-26.
[33] St. Aubyn, Miguel (2003), "Evaluating efficiency in the Portuguese education sector", Economia 26: 25-51.
[34] Afonso, António, Ludger Schuknecht, and Vito Tanzi (2004), "Public sector efficiency: An international comparison", Public Choice,
[35] Bruno Eugène (2008), "The efficiency frontier as a method for gauging the performance of public expenditure : a Belgian case study", National Bank of Belgium Working Paper Research No. 138.
[36] Özden, Ünal H. (2010), "Veri zarflama analizi (VZA) ile Türkiye'deki vakıf üniversitelerinin etkinliğinin ölçülmesi", Istanbul University Journal of the School of Business Administration, 39, Sayı/No:1, 167-185.
[37] Koçak, Habib, Çilingirtürk, A.M. (2011), "Efficiency Analysis of OECD Public Education Spending", Annual International Conference on Operations Research and Statistics- ORS 2011 (7-8 April 2011), Malaysia, 83-88.
[38] Fakin, Barbara, and Alain de Crombrugghe (1997), "Fiscal adjustment in Transition Economies: Social transfers and the efficiency of public spending, a comparison with OECD countries", Policy Research Working Paper 1803, Washington, World Bank.
[39] Afonso, A., M. St. Aubyn, "Non-Parametric Approaches to Education and Health Efficiency in OECD Countries", Journal of Applied Economics. Vol VIII, No. 2 (Nov 2005), 227-246.
[40] Sutherland, D., R. Price, I. Joumard, and C. Nicq (2007), "Performance indicators for public spending efficiency in primary and secondary education", OECD Economics Department Working Paper No. 546.
[41] Bali, Bülent, Mustafa Çelen, "Kamu Eğitim Harcamalarında Etkinlik Ve Etkenlik Analizi: Oecd Ülkeleri Üzerine Bir Uygulama", 24. Türkiye Maliye Sempozyumu, Antalya/Turkey (19-23 Mayıs 2009). (Efficiency end effectiveness analyze of public education spending: OECD countries case, 24. Turkish Finance Symposium)
[42] Yıldırım, İ.Esen (2010), "Veri zarflama analizinde girdi ve çıktıların belirlenmesindeki kararsızlık problemi için temel bileşenler analizine dayalı bir çözüm önerisi", Istanbul University Journal of the School of Business Administration, 39, Sayı/No:1, 141-153.

EK-1 Model Verileri

OECD Countries	Public Education Expenditure % of GDP	PISA Reading	PISA Mathematics	PISA Science	DEA Scores*
Australia	3,40	515,00	514,00	527,00	96,68
Austria	3,60	470,00	496,00	494,00	91,07
Belgium	4,00	506,00	515,00	507,00	94,32
Canada	3,30	524,00	527,00	529,00	97,96
Croatia	2,80	476,00	460,00	486,00	90,71
Czech Republic	2,80	478,00	493,00	500,00	92,63
Denmark	4,80	495,00	503,00	499,00	92,27
Estonia	3,50	501,00	512,00	528,00	96,11
Finland	3,90	536,00	541,00	554,00	100,00
France	3,80	496,00	497,00	498,00	92,11
Germany	2,80	497,00	513,00	520,00	96,36
Greece	2,50	483,00	466,00	470,00	94,34
Hungary	3,40	494,00	490,00	503,00	92,52
Iceland	5,20	500,00	507,00	496,00	92,86
Ireland	3,70	496,00	487,00	508,00	92,54
Israel	4,10	474,00	447,00	455,00	87,94
Italy	3,40	486,00	483,00	489,00	90,51
Japan	2,60	520,00	529,00	539,00	100,00
Korea	3,40	539,00	546,00	538,00	100,00
Latvia	2,50	484,00	482,00	494,00	94,53
Lithuania	3,10	468,00	477,00	491,00	90,13
Luxembourg	3,40	472,00	489,00	484,00	89,75
Mexico	3,30	425,00	419,00	416,00	79,20
Netherlands	3,60	508,00	526,00	522,00	96,50
New Zealand	4,10	521,00	519,00	532,00	97,01
Norway	4,00	503,00	498,00	500,00	93,32
Poland	3,80	500,00	495,00	508,00	93,03
Portugal	3,70	489,00	487,00	493,00	90,87
Slovak Republic	2,40	477,00	497,00	490,00	98,42
Slovenia	4,00	483,00	501,00	512,00	92,56
Spain	2,80	481,00	483,00	488,00	91,66
Sweden	4,40	497,00	494,00	495,00	92,21
Switzerland	3,70	501,00	534,00	517,00	97,80
Turkey	1,90	464,00	445,00	454,00	100,00
United Kingdom	4,00	494,00	492,00	514,00	92,78
United States	3,70	500,00	487,00	502,00	92,85

Source: OECD PISA 2009 database. Education at a Glance 2009

*Koçak, Habib, Çilingirtürk, A.M. (2011), "Efficiency Analysis of OECD Public Education Spending", Annual Internationa Conference on Operations Research and Statistics- ORS 2011 (7-8 April 2011), Malaysia.

Araştırma Görevlisi Seçim Kriterlerinin Analitik Hiyerarşi Yöntemiyle Belirlenmesi: Türkiye ve Almanya Ülkeleri İçin Örnek Bir Uygulama

Naciye Tuba YILMAZ*

ÖZET

İşletmelerin gerek yeni kuruluş aşamasında gerekse faaliyetlerini sürdürdüğü dönemde, sürekli bir personel ihtiyacı bulunmaktadır. Faaliyetlerinin sağlıklı yürütülebilmesi için de doğru personelin seçimi gereklidir. Globalleşen dünya koşullarında, işletmelerin ilgili pozisyona en uygun işgücünü istihdam etmesi giderek önem kazanmaktadır.

Aynı mantığın üniversiteler için yürütülmesiyle, üniversitelerde istihdam edilecek araştırma görevlilerinin seçiminin, son derece önemli bir süreç olduğu söylenebilir. Bir araştırma görevlisinin alımı için çok fazla sayıda başvuru olduğunda öncelikle mülakat ya da başvuru kriterleri yoluyla adaylar elenmektedir. Yapılan eleme sonucunda kalan az sayıda aday arasından, üniversite için önemli kriterlere en uygun araştırma görevlisinin seçimi için matematiksel tekniklerden yararlanılmaktadır. Birden fazla aday arasından yapılacak seçimde, çok sayıda kriterin göz önünde bulundurulması durumunda, hedef programlama, analitik hiyerarşi yöntemi vb. çok amaçlı karar alma tekniklerinden yararlanılabilir. Seçim sürecinde öznel yargıların da önemli olması nedeniyle, kullanılabilecek yöntemin Analitik Hiyerarşi Yöntemi olacağı düşünülmüştür.

Bu çalışmada Almanya'da SRH Hochschule Berlin üniversitesi ile Türkiye'de Marmara Üniversitesi için araştırma görevlisi seçimi problemi ele alınarak, ayrı ayrı her iki ülke için araştırma görevlisi istihdamında önemli olan seçim kriterlerinin Analitik Hiyerarşi yöntemiyle belirlenmesi, analiz sonucunda elde edilecek bulguların karşılaştırılması amaçlanmaktadır. Böylelikle, bu seçim sürecinde önem kazanan benzer ve farklı noktalar ortaya çıkarılarak yorumlanabilecektir.

*Marmara Üniversitesi İ.İ.B.F.Ekonometri Bölümü Araştırma Görevlisi

1.GİRİŞ

Günlük hayatta her birey karar verme problemi ile karşı karşıya kalmaktadır. En basit gözüken kararlarda bile kararı etkileyen çok fazla kriter bulunmaktadır. Bu nedenle karar vermeye ilişkin teknikler geliştirilmiş ve bu teknikler yardımıyla problemlere çözüm getirilmeye çalışılmıştır. Şirketlerin faaliyetlerini aksatmadan devam ettirmeleri ve gelişebilmeleri için her pozisyona uygun personelin seçimini gerekir. Bu nedenle seçim işleminin belli bir sistem altında yapılması ve bu konuda geliştirilen tekniklerin kullanılması gerekmektedir.

Bu çalışmada üniversiteye araştırma görevlisi seçim probleminin Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) yardımıyla çözümlenmesi konusu ele alınmıştır. Almanya ve Türkiye ülkelerinde çalışma yapılmış, araştırma görevlisi seçim kriterlerinin önem düzeyleri iki ülke açısından karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

2.PERSONEL SEÇİMİ

İşletme için personel seçim süreci en önemli kararlar arasında yer almaktadır. İşletme yeni kuruluş aşamasında, tüm pozisyonlar için personele ihtiyaç duymaktadır. Faaliyet halindeki bir işletmenin ise yükselme, yeni pozisyonlara atanma, işten ayrılma, çıkarılma, ölüm, yeni açılan pozisyonlara eleman ihtiyacı gibi nedenlerle personel ihtiyacı doğmaktadır. İşletmenin faaliyetlerini sürdürebilmesi için de uygun pozisyona en iyi personelin seçimi sağlanmalıdır. İş yaşamında insan gücü büyük önem arz ettiğinden bu önemli süreç için aşamalar doğru belirlenmeli, subjektif değerlendirmeler yapılmalı ve geometrik programlamayı temel alan üstel programlama[17], analitik hiyerarşi yöntemi[18] gibi matematiksel tekniklerden yararlanılmalıdır.

Literatür taraması yapıldığında akademik personel seçimi için yapılmış olan bir çalışma uygun dekanın belirlenmesi için yapılan Taylor ve diğerlerinin (1998) çalışmadır. Araştırmada, bir fakülteye dekan olmak için başvuruda bulunan çok sayıda aday arasından belirli kriterlere göre en uygun aday belirlenmeye çalışılmaktadır. Seçim kriterleri, akreditasyon süreçlerindeki tecrübe, yayınlar ve fon aktarımı konusundaki ispatlanmış yetenek olarak belirlenmiştir.[19] Kaptanoğlu ve Özok (2006) yılı makalesinde[20] akademik performans değerlendirmesi

---

[17] Tuncay,Can.,"Üstel Programlama ile Personel Atama Probleminin Analizi", Marmara Üniversitesi,Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi,Öneri,Cilt:5,Yıl:10,Sayı:20,225-230,(Haziran 2003).

[18] Metin,Dağdeviren.,"Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Personel Seçimi ve Bir Uygulama", Gazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt:22,No:4, 791-799,2007.

[19] Taylor III,F.A., Ketchham,F.A., Hoffman,D., **Personnel Evaluation with AHY**, Management Decision,36 (10),1998, s.679-685. Aktaran: Kuruüzüm ve Atsan, s.101.

[20] Dilek, Kaptanoğlu,Özok, Ahmet Fahri, **Akademik Performans Değerlendirmesi İçin Bir Bulanık Model**, İTÜ Dergisi,Mühendislik,2006,Cilt:5, Sayı:1,Kısım:2, s.193-204.

konusuna bulanık AHY'ni uygulamışlardır. Akademik yükseltilme ve atanma ölçütlerinin ağırlıklandırılması amaçlandırılarak bir model kurulmuştur.
Alınmak istenen pozisyon için başvuran aday sayısının çok olması durumunda adayın seçilme olasılığı da o kadar artacaktır. Pozisyona en uygun adayın bulunma olasılığı yüksek olacaktır. Beklenmedik bir işten ayrılma durumunda boşalan pozisyonun doldurulması gerektiğinde ise işlerin aksamaması adına seçim için süre kısıtlı olduğundan başvurular beklenememekte ve az sayıda aday arasından seçim yapılmaktadır. Ayrıca özel sektörde personel alımı için daha esnek ve modern yöntemler kullanılmaktayken, kamu sektöründe daha biçimsel bir yapı izlenmekle birlikte temelde benzerlikler bulunmaktadır.
Devlet üniversitesi veya vakıf üniversitelerinde personel yerine genel anlamda öğretim elemanı olarak adlandırılan ve akademisyenliğin ilk adımı sayılan araştırma görevlisinin seçimi, ilgili üniversite ve daha geniş açıdan ilgili ülkeye kaliteli bir eleman kazandırılması, yani bilimsel anlamda olumlu bir gelişmenin sağlanması açısından son derece önemlidir. Ülkemizde son üç yıldan itibaren ilgili birime araştırma görevlisi olabilmek için başvuru aşamasında yükseköğretim kurulu tarafından getirilen ALES'in %30'unun, yabancı dil puanının minimum 50, lisans notunun %30'unun hesaplanması ve ilk dört adayın mülakata çağırılması gibi zorunlu şartların yerine getirilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, bu şartlar adayın belirli bir kalitesini göstermesine karşın, adayın meslek ile ilintili mülakatı belki de en önemli aşamalarından biridir. Bir başka açıdan akademik hayatın ilk aşaması olarak nitelendirilebilinilen araştırma görevlisi, aynı zamanda üniversiteyi temsil eden kişi olarak da düşünülürse sadece mesleki bilginin yanında toplum tarafından kabul gören normları da sağlaması aday seçiminde önemli bir etken olabilir. İşletmelerde personel seçiminde kullanılan aşamalar ve seçim teknikleri üniversiteyi ilgilendiren kısmı temel alındığında, araştırma görevlisi seçiminin mülakat kısmında uygulanabilir. İlgili birime araştırma görevlisi olmak için başvuran ve ülkemizde şu anki mevcut sisteme göre ilk dörde giren adayların gerek mülakat aşamasında gerekse de mülakat sonucu başarılı olan adaylar arasından seçim yapılabilmede en uygun adayın seçimi sayısal teknikler kullanılarakta yapılabilir. Analitik Hiyerarşi Yöntemi, personel seçim probleminde yaygın olarak kullanılan tekniklerden biridir.

2.1.PERSONEL SEÇİM SÜRECİNİN AŞAMALARI

İşletmeler tarafından personel seçim faaliyetlerine sistematik olarak yaklaşılması gerekmektedir. Bu nedenle seçim faaliyeti çeşitli yöntemlerin kullanıldığı aşamalardan oluşan bir süreç olarak karşımıza çıkmaktadır. Genel kurallar olmasına karşın uygulanacak yöntem işletmenin yapısına, pozisyonun türüne, işletmenin felsefesine göre farklılıklar gösterebilmektedir.
Seçim süreci aşamalarının ilkini belirlenen süre içerisinde belirtilen kriterler doğrultusunda pozisyona başvuranların kabul edilmesi oluşturur. Başvurular alındıktan sonra, gelen başvuruların içerisinden pozisyon için hiç uygun olmayanlar elenmekte ve uygun olabileceği düşünülen adaylarla bir sonraki aşamaya geçilmektedir. Adaylar ön görüşme için davet edilmekte, ön görüşme sonucunda iş için gerekli temel nitelikleri taşımadığı anlaşılan adaylar elenmektedir. Bu aşamayı geçen adaylar ise bir sonraki aşama olan personel seçim sınavları veya testlerine tabi tutulmaktadır. Personel seçim sınavları, adayların belli konulardaki bilgilerini ölçmeye yönelik olan klasik sınavlardır. Yabancı dil bilgisi ölçümü için şirket bünyesinde yapılan sınavlar bu tür sınavlara örnek gösterilebilir. Personel seçim testleri ise, belli amaçlara yönelik olarak kişilerin davranışsal özellik, yetenek ve kişiliklerini analiz etmek amacıyla gerçekleştirilen testlerdir. Bu testler yardımıyla adayın işin gerektirdiği nitelik ve yetkinliklere ne derece sahip olduğu saptanabilir. Yapılan testler sonucunda adayın iş analizleri ile elde edilmiş olan iş tanımları ile ne derece uyumlu olduğu saptanarak pozisyona uygunluğu tespit edilmektedir. Ölçülmek istenen yetiye göre çeşitli test türleri olmakla birlikte testlerin taşıması gereken en önemli özelliklerden ikisi objektiflik ve standardizasyondur. Yani testler adaylara aynı koşullarda uygulanmalı ve değerlendirmeler adil yapılmalıdır. Testlerin taşıması gereken diğer özellikler ise geçerlilik, güvenilirlik, nesnellik, homojenlik gibi teknik özellikler ve ekonomiklik, zaman tasarrufu gibi pratik özelliklerdir. Yapılan sınav ve testlerde başarısız olan adaylar elenirken, başarılı olan adaylar mülakata tabi tutulurlar. Personel seçim sürecinde belki de en önemli aşama mülakat sürecidir. Bilgisi test edilmiş ve bu aşamaları başarılı bir şekilde geçmiş olan adaylarla yüz yüze yapılan görüşmeler sonucunda adayların hal, hareket ve davranışları bu aşamada gözlemlenebilmektedir. Ayrıca sınav ve testler yardımıyla ölçülemeyen stres altında çalışma kapasitesi, organizasyona uyum gösterip gösteremeyeceği gibi özellikler mülakat ile ölçülebilmektedir. Mülakatın da çeşitli aşamaları olmak zorundadır. Görüşmeye hazırlık aşaması, görüşmenin gerçekleştirilmesi, görüşmenin sonlandırılması ve görüşme sürecinin değerlendirilmesi mülakatın aşamaları olarak sıralanabilir. Mülakat aşaması bazı işletmeler için personel seçiminin son aşaması olurken matematiksel tekniklerin gelişmesiyle birlikte mülakat sonrası bu teknikleri kullanan işletmeler de bulunmaktadır.

2.2.PERSONEL SEÇİM KRİTERLERİ

Personel seçimi yapılmadan önce iş analizleri ile pozisyonun özellikleri iyi tespit edilmeli ve bu işi yapacak olan kişilerde aranan özellikler iyi belirlenmelidir. Kriterler farklı alandaki ihtiyaca ve pozisyona göre farklılıklar göstermekle birlikte genel olarak aşağıdaki şekilde sıralanabilmektedir.

- Üniversitelerin ilgili bölümünden mezun olma
- İyi derecede yabancı dil bilgisine sahip olma
- Seyahat engelinin bulunmaması
- Esnek çalışma saatlerine uyum sağlayabilme
- Takım çalışmasına yatkın olma
- İletişim becerisine sahip ve sosyal olma
- Bilgisayar programlarını iyi derecede kullanabilme
- Geleneksel dil ve yapıyı devam ettirebilme
- Kendini ve işini geliştirmeyi hedefleyebilme
- Analitik yönü kuvvetli olma
- İş konusunda takipçi olma
- Temsil yeteneği güçlü olma
- Giyimine ve dış görünüşüne önem verme
- Öğrenmeye ve gelişime açık olma
- Algılama yeteneği güçlü

Yukarıdaki kriterlere ek olarak cinsiyet, medeni durum, yaş, din gibi kriterler de göz önüne alınabilmektedir. Mülakat sonucu başarılı olan az sayıda aday arasından pozisyon için işletmenin kriterlerine en uygun adayın tespiti için çok amaçlı karar alma yöntemleri kullanılabilmektedir.

3.ANALİTİK HİYERARŞİ YÖNTEMİ

Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) 1977 yılında Thomas Saaty tarafından geliştirilen, nitel ve nicel değişkenleri birarada kullanan çok amaçlı bir karar alma tekniğidir. Araştırmalar pek çok günlük kararın sezgisel olarak alınmasının yeterli olmasına rağmen, karmaşık ve hayati kararlar için bu yolun tek başına yeterli olmadığını göstermektedir.[21] Yöntem, mevcut problemin tamamını bütün olarak incelemek yerine hedefler, kriterler, alt kriterler ve alternatifler şeklinde parçalara ayırarak daha küçük karar mekanizmaları üzerinde çalışır. Sistem elemanlarının birbirleriyle fonksiyonel ilişkileri incelenir ve bunların ana hedef üzerindeki etkisine ulaşılır.[22] Hiyerarşinin her bir adımı birbiriyle etkileşim halindedir ancak aynı basamaktaki grupların birbirinden bağımsız olması gerekmektedir.[23]

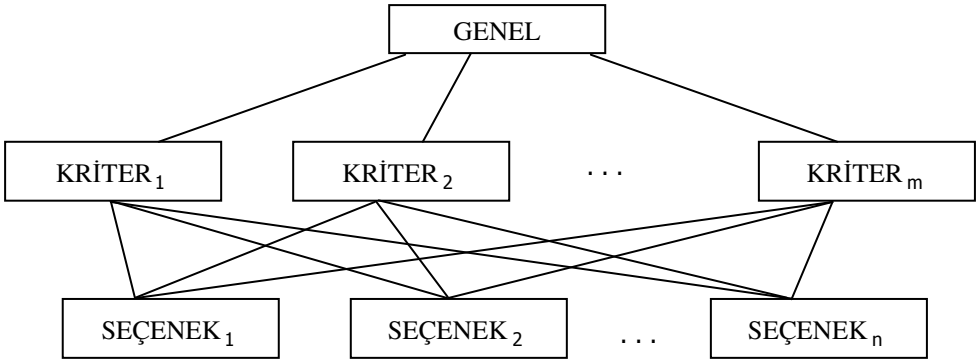
AHY'nin temelinde, bir sistemin çeşitli öğelerinin tüm sistem üzerindeki etkilerini değerlendirip onların göreli önemlerini bulmaya yönelik bir sistem yaklaşımı yer almaktadır. Sürecin kullandığı hiyerarşiler, sistemin yapısını oluşturan öğelerin birbirleriyle olan işlevsel ilişkilerini ve tüm sistem üzerindeki etkilerini saptamak amacıyla söz konusu yapıyı ortaya çıkarmak üzere oluşturulurlar. Yöntemin ilk aşaması hiyerarşik yapının oluşturulmasıdır. İkinci aşama ise hiyerarşideki öğelerin etkilerini saptamaya yönelik matematiksel işlemlerin yapılmasıdır.

Tablo:1 Hiyerarşik Yapı

[21] E. Forman abd M.A.Sally, **Decision By Objectives, Expert Choice Inc,** Pittsburgh,2000,s.1

[22] T.L. Saaty, **An Exposition of The AHP In Repley to the Paper to the Remarks on the Analytic Hierarchy Process**, Management Science, 1990, s.259-268.

[23] T.L. Saaty, **The Analytic Hierarchy Process**, Mcgraw-Hill,New York,1980, s.98



AHY, bir sistemin alt düzeylerdeki yapısı ve fonksiyonları hakkında detaylı bilgi verir ve üst düzeylerdeki öğeler ve amaçlar hakkında genel bir görüş sağlar. Yöntem beş aksiyomdan oluşur. Birinci aksiyom, karar alıcının A alternatif setindeki herhangi iki i ve j alternatifi için a_{ij} ikili karşılaştırmalarını $a_{ij}=1/ a_{ji}$ (tüm i,j∈ A için) olacak şekilde yapmasını gerektirmektedir. İkinci aksiyom karar alıcının A alternatif setine ait herhangi iki i ve j alternatifini karşılaştırırken herhangi bir C kriteri altında birini diğerine göre sonsuz iyi olarak değerlendiremeyeceğidir. (tüm i,j∈ A için $A_{ij} \neq \infty$). Üçüncü aksiyom karar probleminin bir hiyerarşi olarak ifade edilebilir olmasını gerektirmektedir. Dördüncü aksiyom; mevcut karar problemini etkileyen her bir kriterin ve alternatifin hiyerarşide gösterilmek zorunda olmasıdır. Son aksiyom ise; karar problemi için önem değeri olan her bir kriter veya alternatifin hiyerarşiye dahil edilmesi gerektiğidir.

AHY'de genellikle sonucun geçerliliğini irdelememizi olanaklı kılacak bir ölçeğin bulunmadığı durumlarda ikili karşılaştırmalar yapılır. Yapılan bu ikili karşılaştırmaların tutarlılığının incelenmesi, oluşacak tutarsızlığın problem açısından nasıl sonuçlar doğurabileceğini araştırmalıdır. Aslında incelenen tutarlılık, seçeneklerin karşılaştırılmasında tutarsız olunup olunmadığı değil, incelenen problem için tutarlılık varsayımından sayısal olarak sapma derecesini tespit etmektir. İkili karşılaştırmalar yapılabilmesi için gereken ölçüm skalası, söz konusu ölçeğin etkinliğinin hem çeşitli kişilerle çok sayıda uygulama yapılması ile hem de başka ölçekler ile teorik karşılaştırmalar sonucu belirlenebilmektedir. 1 ile 9 arasında derecelendirilebilen bu ölçüm skalası aşağıda yer almaktadır.[24]

Tablo:2 Kriterlerin Ölçüm Skalası

Önem Derecesi	**Tanım**	**Açıklama**
1	Eşit Önem	İki faaliyet eşit düzeyde katkıda bulunmaktadır.
3	Birinin diğerine göre orta derecede daha önemli olması	Tecrübe ve yargı faaliyeti diğerine orta derecede tercih ettirmektedir.
5	Kuvvetli düzeyde önem	Tecrübe ve yargı faaliyeti diğerine kuvvetli bir şekilde tercih ettirmektedir.
7	Çok kuvvetli düzeyde önem	Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih edilmekte ve baskınlığı uygulamada rahatça görülmektedir.
9	Aşırı düzeyde önem	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar büyük bir güvenliğe sahiptir.
2,4,6,8	Ortalama değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasında düşen değerdir.

İkili karşılaştırmalar için kullanılacak ölçeğin saptanmasından sonra, ikili karşılaştırmalar matrisindeki verilerin yardımıyla alternatiflerin genel sıralaması gerçekleştirilir. İkili karşılaştırmalar matrisinden öncelikler vektörünün oluşturulabilmesi için bilgisayar programlarının kullanılamadığı ve tutarlılık durumunda aynı sonucu veren dört yöntem geliştirilmiştir. En basit ve en sapmalı yöntem olarak adlandırılan birinci yöntemde ikili karşılaştırmalar matrisinin her bir satırı kendi arasında toplanır ve her satıra ait toplam, satır toplamlarının birbirine eklenmesiyle elde edilen değere bölünerek normalize edilir.

[24] Saaty,"**The Analytic Hierarchy Process: Scenarios, Priorities and Cost-Benefits fort he Sudan Transport Plans**, s.161-175.

Her bir satır için bulunan sayıların toplamı bire eşit olacaktır. İkinci yöntem en iyi yöntem olarak adlandırlır ve matrisin her bir sütunundaki elemanların kendi aralarında toplamı alınarak bu yöntemlerin çarpmaya göre tersleri elde edilir ve her bir sütun için bulunan bu değerler toplanır. Bu sayıları normalize edebilmek için her bir eleman sırasıyla çarpmaya göre tersi alınmış sütun toplamlarının birbirine eklenmesiyle elde edilen sayıya bölünür. Üçüncü ve dördüncü yöntemlerin her ikisi de iyi yöntem olarak adlandırılmıştır. Üçüncü yöntemde matrisin her bir sütunundaki eleman o sütunun toplamına bölünür. Bu şekilde sütun normalize edilir. Elde edilen satırlardaki her bir eleman toplanır ve bu toplam o satırdaki eleman sayısına bölünür. Son yöntemde ise matrisin her bir satırındaki n tane eleman birbiriyle çarpılır ve n. kökleri alınır ve diğer yöntemlerde olduğu şekilde normalize etme işlemi uygulanır.

Yöntemlerin uygulanmasından sonra matrislerin en büyük özdeğere sahip vektörü tespit edilir. Söz konusu öz vektör öncelik sıralarının belirlenmesinde, öz değer ise tutarlılığın ölçülmesinde kullanılmaktadır.[25] Bir matrisin tutarlı olabilmesi için gerekli ve yeter şartın A'nın en büyük öz değerinin n'ye eşitlenmesi olduğu söylenebilir. En büyük öz değer λ_{max} olarak ifade edilirse, λ_{max} = n söz konusu olmaktadır. Tutarlılık durumunda sapma derecesini gösterecek bir tutarlılık göstergesi (λ_{max} -n)/(n-1) olarak ifade edilebilir. Bu gösterge ortalama gösterge değeri ile karşılaştırılır. Tutarlılık oranı 0,10 veya daha küçük bir değere sahip ise göreli önem vektörünün tahmin değerleri kabul edilir. Tesadüfilik göstergeleri tablosu aşağıda gösterildiği şekildedir.

Tablo:3 Tesadüfilik Göstergeleri Tablosu[26]

Tutarlılık tespiti yapıldıktan ve her bir kriter için göreli önem vektörleri hesaplandıktan sonra, toplam göreli

TMB (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
TR (RI)	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

katkılarının tespit edilebilmesi için, toplam göreli önemler matrisi kurulur ve karar verme işlemi sonlandırılır.[27]

4.UYGULAMA

Uygulamada bir karar problemi olarak AHY ile üniversiteye araştırma görevlisi seçimi ele alınmıştır. Uygulama Türkiye ve Almanya ülkelerinin araştırma görevlisi (AG) seçerken aradığı kritrlerin benzerlik ve farklılıklarını incelemek amacıyla her iki ülkedeki birer üniversite için ayrı ayrı uygulanmıştır. Seçilen kriterler bu konuyla ilgili yapılmış olan önceki çalışmalar dikkate alınarak ve konuyla ilgili kişilerin görüşleri sonucunda oluşturulmuştur. Yetkili kişilerden bu kriterlerin önem derecesine göre AHY ölçeğini kullanarak değerlendirmeleri istenmiş ve kriterlerin ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturulmuştur.

Kriterler eğitim (E), işin gerektirdiği teorik bilgiye sahip olup olmadığını mezun olunan bölüm ve üniversite dikkate alınarak, fiziksel görünüş (FG), adayın karar vericide bıraktığı ilk izlenim,kıyafet ve sorulara verdiği cevaplar dikkate alınarak, yabancı dil kriteri (YD), seviye tespit sınavlarından almış olduğu puan dikkate alınarak, bilgisayar bilgisi (B), işle ilgili gerekli olan program bilgisine sahip olup olmadığı, temel bilgilere hakimiyeti dikkate alınarak, deneyim (D), adayın lisans, yüksek lisans veya doktora aşamasında olması dikkate alınarak, sosyal ve kültürel yetkinlikler (SKY), işin gerektirdiği kişilik özelliklerine sahip olunup olmadığı ve sosyal aktivitelerde bulunma, katılma dikkate alınarak, referans (R), adayın çalışmaları esnasında bıraktığı intiba,referansları, analitik düşünme (AD), adayın analitik bir zekaya sahip olup olmadığı, mülakat esnasında sorulan sorulara verdiği yanıtlara bakılarak, insiyatif alma kriteri (IA), adayın belirli bir olay karşısında insiyatifini kullanıp kullanmadığı örnek bir soru sorularak cevabı, kendine güven (KG), soruları cevaplama esnasında kendinden emin duruşu ve algılama (A) ise verilen işleri çabuk algılayıp, doğru bir şekilde yerine getirebilme becerisi dikkate alınarak belirlenmiştir.

Hiyerarşinin ilk basamağını ana hedef olan araştırma görevlisi seçim problemi, ikinci basamağını kriterler ve son basamağını ise adaylar oluşturmaktadır. Almanya'da yapılan çalışmada kriterlere ait ikili karşılaştırmalar matrisi aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

---

[25] Erdal Dinçer, **Yatırım Projelerinin Değerlendirilmesinde Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile Diğer Yötemlerin Karşılaştırılması ve Bir Uygulama**,Doktora Tezi,M.Ü.S.B.E.,İstanbul,s.187

[26] Evren, Ramazan. Füsun Ülengin, **Yönetimde Karar Verme**, 1.Baskı, İstanbul: Teknik Üniversite Matbaası, Gümuşsuyu 1992,s.60

[27] Saaty, **An Exposition Of The AHP In Repley to the Paper Remarks on the Analytic Hierarchy Process**, s.259-268.

Tablo:4 Almanya'daki Üniversite İçin Kriterlerin İkili Karşılaştırmalar Tablosu

	E	**FG**	**YD**	**B**	**D**	**SKY**	**R**	**AD**	**IA**	**KG**	**A**
E	1	6	1	4	5	3	5	3	3	3	3
FG	0.166	1	0.2	0.333	0.5	0.2	1	0.5	0.333	0.5	0.25
YD	1	5	1	5	3	3	4	1	3	2	0.5
B	0.25	3	0.2	1	1	3	3	0.333	0.5	0.25	0.2
D	0.2	2	0.333	1	1	0.333	2	0.2	0.333	0.25	0.2
SKY	0.333	5	0.333	0.333	3	1	5	1	3	1	0.333
R	0.2	1	0.25	0.333	0.5	0.2	1	0.2	0.25	0.2	0.142
AD	0.333	2	1	3	5	1	5	1	3	2	0.5
IA	0.333	3	0.333	2	3	0.333	4	0.333	1	2	0.333
KG	0.333	2	0.5	4	4	1	5	0.5	0.5	1	0.2
A	0.333	4	2	5	5	3	7	2	3	5	1

Birinci düzey ikili karşılaştırmalar matrisi elde edildikten sonra bu verilerden hareketle kriterlerin ana hedefi gerçekleştirmedeki göreli önemleri belirlenmelidir. Göreli önemlerin belirlenebilmesi için üçüncü yöntem kullanılmıştır. Sütun vektörü şeklinde bulunan göreli önem vektörü satır şeklinde [0.204 0.026 0.139 0.055 0.033 0.084 0.021 0.108 0.068 0.075 0.180] şeklinde gösterilebilir. Tutarlılık anailizi sonrasında matrisin tutarlı olduğu bulunmuştur. Yapılan analiz sonucunda AG seçimi ana hedefini en çok etkileyen kriterin %20.4 ile eğitim kriteri olduğu ve bu kriteri %18 ile algılama ve % 13,9 ile yabancı dil kriteri izlemektedir. Her bir kritere göre adayların karşılaştırmasını veren ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturulmuş, örnek alması açısından yalnızca bir tablo verilmekle birlikte her ikili karşılaştırma matrisinden elde edilen göreli önemler vektörü λ_{max} değeri, tutarlılık göstergesi ve tutarlılık oranları değerleri yazılmıştır.

Tablo:5 Eğitim Kriterine Göre Personellerin İkili Karşılaştırılması

	AG-A	**AG-B**	**AG-C**	**AG-D**	**AG-E**	**AG-F**
AG-A	1	0.333	0.25	0.5	0.25	0.142
AG-B	3	1	0.2	2	0.5	0.166
AG-C	4	5	1	4	2	0.333
AG-D	2	0.5	0.25	1	0.333	0.2
AG-E	4	2	0.5	5	1	0.25
AG-F	7	6	3	0.2	4	1

Eğitim Kriterine Göre;
Göreli Önemler Vektörü: [0.042 0.091 0.240 0.065 0.176 0.383]
λ_{max}: 6.325 CI:0.065 CR:0.052

Fiziksel Görünüm Kriterine Göre;
Göreli Önemler Vektörü: [0.232 0.054 0.039 0.087 0.323 0.263]
λ_{max}: 6.656 CI:0.131 CR:0.105

Yabancı Dil Kriterine Göre;
Göreli Önemler Vektörü: [0.439 0.238 0.025 0.071 0.071 0.139]

λ_{max}: 6.510 CI:0.102 CR:0.082

Bilgisayar Kriterine Göre
Göreli Önemler Vektörü:[0.254 0.388 0.035 0.125 0.166 0.027]
λ_{max}: 6.457 CI:0.091 CR:0.073
Deneyim Kriterine Göre
Göreli Önemler Vektörü:[0.507 0.161 0.129 0.096 0.063 0.041]
λ_{max}: 6.460 CI:0.092 CR:0.074

Sosyal ve Kültürel Yetkinlik Kriterine Göre;
Göreli Önemler Vektörü:[0.093 0.073 0.195 0.297 0.293 0.046]
λ_{max}: 6.517 CI:0.103 CR:0.083

Referans Kriterine Göre;
Göreli Önemler Vektörü:[0.213 0.036 0.103 0.062 0.431 0.153]
λ_{max}: 6.382 CI:0.076 CR:0.061

Analitik Düşünme Kriterine Göre;
Göreli Önemler Vektörü:[0.030 0.043 0.487 0.214 0.140 0.082]
λ_{max}: 6.468 CI:0.093 CR:0.075

İnsiyatif Alma Kriterine Göre
Göreli Önemler Vektörü:[0.395 0.078 0.188 0.237 0.058 0.039]
λ_{max}: 6.613 CI:0.122 CR:0.098

Kendine Güven Kriterine Göre
Göreli Önemler Vektörü:[0.033 0.081 0.453 0.257 0.122 0.051]
λ_{max}: 6.414 CI:0.082 CR:0.066

Algılama Kriterine Göre
Göreli Önemler Vektörü:[0.066 0.048 0.507 0.217 0.126 0.033]
λ_{max}: 6.485 CI:0.097 CR:0.078

Her bir kriter için personellerin ikili karşılaştırmalar matrisleri oluşturulduktan sonra kriterlerin ikili karşılaştırmalar matrisi ile birlikte bileşik göreli önemler matrisinin kurularak karar verilmesi gerekmektedir.

Tablo 6: Almanya'daki Üniversite İçin Bileşik Göreli Önemler Matrisi

Kriterler Göreli Önemleri	E	FG	YD	B	D	SKY	R	AD	IA	KG	A	Bileşik Göreli Önemler
	0.204	0.026	0.139	0.055	0.033	0.084	0.021	0.108	0.068	0.075	0.18	
AG-A	0.042	0.232	0.439	0.254	0.507	0.093	0.213	0.03	0.395	0.033	0.066	0.163
AG-B	0.091	0.054	0.238	0.388	0.161	0.073	0.036	0.043	0.078	0.081	0.048	0.111
AG-C	0.24	0.039	0.025	0.035	0.129	0.195	0.103	0.487	0.188	0.453	0.507	0.268
AG-D	0.065	0.087	0.071	0.125	0.096	0.297	0.062	0.214	0.237	0.257	0.217	0.159
AG-E	0.176	0.323	0.071	0.166	0.063	0.293	0.431	0.14	0.058	0.122	0.126	0.149
AG-F	0.383	0.263	0.139	0.027	0.041	0.046	0.153	0.082	0.039	0.051	0.033	0.135

Bileşik göreli önemler sütun vektöründen anlaşılacağı gibi AG- C'nin ana hedefi gerçekleştirme açısından en yüksek göreli öneme sahip olduğu söylenebilir. Çünkü karşılaştırmalar sonucunda AG-C'nin göreli önemi %26.8 bulunmuştur. Bu adayı %16.3 ile AG-A ve %15.9 ile de AG-D izlemektedir.
Türkiye için yapılmış olan çalışmada kriterler, Almanya için yapılan çalışmada olduğu gibi kullanılmıştır. Kriterlerin ikili karşılaştırmasına ait bulunan matris aşağıda verildiği gibi bulunmuştur.

Tablo 7: Türkiye'deki Üniversite İçin Kriterlerin İkili Karşılaştırmalar Tablosu

	E	FG	YD	B	D	SKY	R	AD	IA	KG	A
E	1	5,916	2,645	7,483	3	0,923	2,645	0,158	2,236	2,449	2,645
FG	0,168	1	0,577	0,447	0,192	0,376	0,407	0,192	0,447	0,217	0,182
YD	0,376	1,732	1	2,6457	0,376	0,816	1,581	0,353	1,224	1,154	1,154
B	0,133	2,236	0,376	1	0,288	0,316	1,414	0,217	0,266	0,217	0,188
D	0,333	5,196	2,645	3,464	1	1,290	1,732	0,204	0,894	1	0,258
SKY	1,077	2,645	1,224	3,162	0,774	1	0,632	0,353	0,447	0,707	0,705
R	0,376	2,449	0,632	0,707	0,576	1,581	1	0,148	0,258	0,223	0,158
AD	6,324	5,196	2,828	4,582	4,898	2,828	6,708	1	2,828	2,645	1
IA	0,447	2,236	0,816	3,741	1,118	2,236	3,872	0,353	1	1	0,407
KG	0,407	4,582	0,866	4,582	1	1,414	4,472	0,376	1	1	0,376
A	0,376	5,477	0,866	5,291	3,872	1,413	6,324	1	2,449	2,645	1

Üçüncü yönteme göre hesaplanan sütun şeklinde ki göreli önemler vektörü satır şeklinde verildiğinde [0,152 0,023 0,068 0,028 0,079 0,066 0,038 0,227 0,080 0,084 0,0150] şeklinde bulunmuştur. Bu durumda kriterler önem derecelerine göre sıralandığında %22,7 ile analitik düşünme kriterinin ilk sırada yer aldığı görülmektedir. Bu kriteri %15,2 ile eğitim kriteri izlemektedir. %15 ile algılama kriterinin üçüncü sırada yer aldığı sonucuna varılmıştır. Kriterlerin ikili karşılaştırmalar sıralamasında ilk üç sırayı her iki ülke için de aynı kriterler oluştururken, önem derecelerinin yerlerinde farklılıklar olduğu görülmüştür.

Araştırma görevlilerinin her bir kritere göre ikili karşılaştırmalar matrisleri aynı olarak kullanılmıştır. Bu durumda elde edilen bileşik göreli önemler vektörü de aşağıda verildiği gibidir.

Tablo 8: Türkiye'deki Üniversite İçin Bileşik Göreli Önemler Matrisi

Kriterler	E	FG	YD	B	D	SKY	R	AD	IA	KG	A	Bileşik Göreli Önemler
Göreli Önemleri	0,152	0,023	0,068	0,028	0,079	0,066	0,038	0,227	0,08	0,084	0,150	
AG-A	0,042	0,232	0,439	0,254	0,507	0,093	0,213	0,03	0,395	0,033	0,066	0,154051
AG-B	0,091	0,054	0,238	0,388	0,161	0,073	0,036	0,043	0,078	0,081	0,048	0,091032
AG-C	0,24	0,039	0,025	0,035	0,129	0,195	0,103	0,487	0,188	0,453	0,507	0,306723
AG-D	0,065	0,087	0,071	0,125	0,096	0,297	0,062	0,214	0,237	0,257	0,217	0,171427
AG-E	0,176	0,323	0,071	0,166	0,063	0,293	0,431	0,14	0,058	0,122	0,126	0,149918
AG-F	0,383	0,263	0,139	0,027	0,041	0,046	0,153	0,082	0,039	0,051	0,033	0,11753

Oluşturulan bileşik göreli önemler matrisine bakıldığında Türkiye'deki üniversite için en uygun araştırma görevlisinin C olduğu görülmektedir. Bu adayı, AG-D ve AG-E izlemektedir.

5.SONUÇ

Akademik hayatın ilk adımı olarak görülen Araştırma Görevlisi seçimi her üniversite için önemli bir yer teşkil etmektedir. Bu nedenle bu çalışmada personel seçim problemi olarak üniversiteye araştırma görevlisi seçim probleminin analitik Hiyerarşi Yöntemi kullanılarak tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Almanya'da ve Türkiye'de bulunan birer üniversiteye araştırma görevlisi olmak için başvuran adaylar arasından seçim işlemini gerçekleştirecek koordinatörlere aradıkları kriterler sorulmuş bunları ikili olarak karşılaştırmaları istenmiş ve teknik yardımıyla uygun adayın seçimi gerçekleştirilmiştir. Her iki ülkede de farklı bir yapılanma olmasına karşın, kriterler karşılaştırıldığında Almanya'daki üniversite için ilk üç kriterin sıralaması Eğitim, Algılama ve Yabancı Dil bilgisi şeklinde olurken, Türkiye'deki üniversite için Analitik Düşünme, Eğitim ve Algılama kriterlerinin öne çıktığı görülmektedir. Her iki üniversitede küçük farklılıklarla birlikte önem verdikleri kriterlerin karşılaştırılmasında benzer bir tablo çizmektedir. Adayların ikili karşılaştırmaları sonucunda ise AG-C her iki üniversitede araştırma görevlisi olmak için başvursa kabul edilecek aday olarak belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

Bayram Servet, Personel Seçiminde Psikoteknik Testlerin Kullanımı,Psikoteknik Ölçüm Uygulamaları, Ülkü Uzunçarşılı,(ed.), İstanbul: Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Döner Sermaye İşletme Matbaası, 1999

Can, Tuncay.,"Üstel Programlama ile Personel Atama Probleminin Analizi", Marmara Üniversitesi,Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi,Öneri,Cilt:5,Yıl:10,Sayı:20,225-230,Haziran 2003.

Dağdeviren, Metin., Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Personel Seçimi ve Bir Uygulama, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 22, No 4, 791-799, 2007.

Dinçer Erdal, ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi'nin İşletmelere Adaptasyonunda Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemiyle Çözüm Yaklaşımı, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Sayı 25, Yıl 12, Cilt 7, Ocak 2006.

Dyer , J.S. Remarks On The Analytic Hierarchy Process, Management Science, Vol.36,No:3 March 1990

Erdoğan, İlhan. İşletmelerde Personel Seçimi ve Başarı Değerlendirme Teknikleri, İstanbul : İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Yayınları,Küre Ajans,1991.

Evren, Ramazan ve Füsun Ülengin, Yönetimde Karar Verme, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayını,Sayı:1478, İstanbul: 1992

Forman , E. abd M.A.Sally, Decision By Objectives, Expert Choice Inc, Pittsburgh,2000

Gürer, Canan Çetin. Personel Seçiminde Görüşme İlke ve Teknikleri, 1.Basım, İstanbul: Çağlayan Kitabevi, 1990.

Kaptanoğlu,Dilek, Özok, Ahmet Fahri, Akademik Performans Değerlendirmesi İçin Bir Bulanık Model, İTÜ Dergisi,Mühendislik, Cilt:5, Sayı:1,Kısım:2,2006

Kuruüzüm, Ayşe. ve Nuray Atsan. Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları, Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi, Sayı. 1., 2001.

Saaty T.L ve L.G. Vargas, Uncertainty and Rank Order In The Analytic Hierarchy Process",European Journal of Operational Research, Vol.32,1987

Saaty T.L., How to Make A Decision: The Analytic Hierarchy Process, European Journal of Operational Research 48, 1990.

Saaty T.L, An Exposition of The AHP In Repley to the Paper to the Remarks on the Analytic Hierarchy Process, Management Science, Vol 36, No 3 March 1990

Saaty, T.L. Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with Analytic Hierarchy Process, AHP Series, Vol. VI, RWS Publications ,2000.

Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process, Mcgraw-Hill,New York,1980.

Saaty T.L The Analytic Hierarchy Process: Secenarios, Priorities and Cost-Benefits fort he Sudan Transport Plan, J.P.Brans,Operational Research'81,North Holland, Amsterdam, 1981

Saaty T.L. Multi Criteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process, RWS Publications, 4922, Elsworth Ave.Pitsburg, PA 15213,1989

Taylor III,F.A., Ketchham,F.A., Hoffman,D., Personnel Evaluation with AHY, Management Decision,36 (10),1998, s.679-685. Aktaran: Kuruüzüm ve Atsan.

BİR FİRMADA MÜŞTERİ ÖNCELİKLERİNİN TOPSİS YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

Nevra YAMAN[1], Ediz ATMACA [2]

[1] Devlet Hava Meydanları İşletmesi Esenboğa Hava Limanı, Ankara
e-posta: nevrayaman@yahoo.com

[2] Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06570 Maltepe ANKARA
e-posta: hediz@gazi.edu.tr

ÖZET

İşletmelerin birbirleriyle değil, tedarik zincirlerinin rekabet ettiği günümüz koşullarında lojistik faaliyetler tedarik zincirleri için kilit noktaları olarak karşımıza çıkmakta ve nakliye planlaması da temel lojistik fonksiyonlardan birini oluşturmaktadır. Nakliye planlaması ile dağıtım rotaları ve dağıtım büyüklükleri eşzamanlı olarak belirlenebilmektedir. Yapılan çalışmada, firma ile müşterileri arasındaki bitmiş ürünlerin taşınmasını içeren bir nakliye planlaması problemi ele alınmıştır. Bununla birlikte, müşterilerin öncelik derecelerinin bilinmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Firmanın üretim kapasitesinin, müşteri öncelikleri bilindiğinde farklı şekillerde kullanılabileceği ve böylece nakliye yönetiminde bu sonuçlardan yararlanılabileceği düşünülmüştür. Bilindiği gibi çok ölçütlü karar verme yöntemleri alternatiflerin sıralanması, derecelendirilmesi, seçilmesi, elenmesi, karşılaştırılması gibi konularda seçeneklerin değerlendirilmesi için kullanılmaktadır. TOPSIS yöntemi de, pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme ise en uzak olan en uygun çözümün belirlenmesi olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca, TOPSIS yöntemi ile alternatif seçeneklerin belirli kriterler doğrultusunda ve kriterlerin alabileceği maksimum ve minimum değerler arasında ideal duruma göre karşılaştırılması gerçekleştirilmektedir. Burada ele alınan problemde de bir alternatifin seçilmesi değil, alternatiflerin sıralanması amacı olduğundan TOPSIS yöntemi sıralama amacı ile kullanılmış ve müşterilerin öncelikleri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: TOPSIS, nakliye planlaması, müşteri öncelikleri

1. GİRİŞ

Nakliye planlaması yapılması için kurulan matematiksel modelde, müşteri önceliklerinin bilinmesine ihtiyaç duyulmuş ancak firmada bu bilgiye ulaşılamadığı için müşteri önceliklerinin olmadığı varsayımı kabul edilmiştir. Burada ise, müşteri önceliklerinin bilinmesi ihtiyacı olduğu düşünülerek TOPSIS yöntemi ile bu öncelikler belirlenmeye çalışılmıştır.

İncelenen çalışmada firma ile müşterileri arasındaki bitmiş ürünlerin taşınmasını içeren bir nakliye planlaması problemi ele alınmış ve burada ise, firma için müşterilerin öncelik dereceleri TOPSIS yöntemi ile belirlenmiştir.

Ele alınan problemde tıbbi alet üreten bir firmanın müşteri ve tedarikçileriyle olan taşıma maliyetinin azaltılması için kurulan matematiksel modelin varsayımlarında müşteri önceliklerinin olmadığı kabul edilmişti.

Bu çalışmada ise; sipariş sıklığı, satış miktarı, uyumluluk&esneklik, bağlılık&güven kriterleri temelinde firmanın 13 yurtdışı müşterisi için TOPSIS yöntemi ile karşılaştırma yapılmış ve müşteri öncelikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Günümüzde, müşteri öncelikleri planlama fonksiyonunun tüm aşamalarında önemli bir bilgi haline gelmiştir. Farklı alanlarda müşteri önceliklerinin bilinmesine ihtiyaç duyulmuş ve yapılan çalışmalarda kullanılmıştır. Literatürde de birçok örneğe rastlanmaktadır.

Kher (2000), atölye ortamında müşteri önceliklerinin yönetilebilmesi için atama ve dağıtım kuralları önermiştir. Atölye ortamında işlerin atanması da müşteri önceliklerine bğlı olduğu için, müşteri önceliklerinin önemli olduğu belirtilmiştir [1].

Jayamohan ve Rajendran (2004), atölye çizelgeleme probleminde maliyet tabanlı dağıtım kurallarının geliştirilmesi ve analizi için kurulan matematiksel modelde geciken işlerle ilgili olarak müşteri önceliğini kullanmıştır [2].

Guenzi ve Troilo (2006), pazarlama ve satış entegrasyonunda müşteri değerlerinin oluşturulmasının için şirketin pazarlama yeteneklerine bağle olduğunu söylemiştir [3].

Ai ve Kachitvichyanukul (2009), kapasiteli araç rotalama probleminin çözümünde kullandıkları kuş sürüsü optimizasyonunda müşteri önceliklerini kullanmıştır [4].

Nakliye planlamasına gelindiğinde ise; Coxhead (1994) ile Chandra ve Fisher (1995)'te üretim planlama ve nakliye planlaması entegrasyonunun ele alındığı görülmüştür [5].

Persson ve Göthe-Lundgren (2005), nakliye planlaması problemi için bir optimizasyon modeli ve çözüm metodu önermiştir. Bu problem, araç filolarının rotasının nasıl olacağı ve araçlarda hangi ürünlerin taşınacağının planlanmasıyla eş zamanlı olarak ilgilenmiştir [5].
Lodree Jr ve diğerleri (2010), üretici için üretim ve nakliye çizelgelerini koordine etmeye çalışmıştır. Üretim nakliye kararlarını koordine etmeye çalışan iki aşamalı bir tedarik zinciri ele alınmıştır [6].
TOPSIS yöntemi Chen ve Hwang (1992) tarafından Hwang ve Yoon'un (1981) çalışmaları referans gösterilerek ortaya konulmuştur. TOPSIS yöntemi çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. Yöntem kullanılarak alternatif seçeneklerin belirli kriterler doğrultusunda ve kriterlerin alabileceği maksimum ve minimum değerler arasında ideal duruma göre karşılaştırılması gerekmektedir (Yurdakul, İç: 2003;11). Alternatifi n sayıda, kriterleri m tane olan çok kriterli karar verme problemi m boyutlu uzayda n noktaları ile gösterilebilir (Eleren, Karagül, 2008: 6). Hwang ve Yoon (1981) TOPSIS yöntemini çözüm alternatifinin, pozitif ideal çözüm noktasına en kısa mesafe ve negatif- ideal çözüm noktasına en uzak mesafede olacağı varsayımına göre oluşturmuşlardır. TOPSIS yönteminin aşamaları aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (Ustasüleyman, 2003: 37; Opricovic, Tzeng, 2004: 448; Eleren, Karagül, 2008: 7; Akkaya, 2004: 25) [7].

3. İNCELENEN ÇALIŞMA

İncelenen çalışmada, firma için nakliye planlaması ile üretim kısıtları, satış ve satın alma talepleri dikkate alınarak, tedarikçilerden gelecek malzeme ya da müşterilere gidecek ürün miktarı ve buna göre ilgili dönemde yapılacak taşıma sayısı belirlenmektedir. Böylece siparişler istenilen zamanda müşterilerin elinde olabilecek ve siparişler birleştirilerek sevkiyat sayılarının azaltılmasıyla da, taşıma maliyetlerinde azalma sağlanacağı düşünülmüştür. İncelenen sistemin ilk olarak matematiksel modeli kurulmuştur. Aşağıda müşteri önceliklerinin belirlenmesinin neden önemli olduğunun anlaşılabilmesi için ele alınan bu matematiksel modele yer verilmiştir.
Bu sistem için düşünülen model, yapının ortadaki halkası yani üretici firma için kurulmuştur. Kısıtlar, karar değişkenleri ve veriler incelenen firmaya aittir.
Geliştirilen doğrusal programlama modelinde kullanılan varsayımlar:

1. Cerrahi alet ve konteynır olmak üzere satış miktarı en fazla ve en önemli iki ürün grubu ele alınmıştır.
2. Hammadde çeşitliliği çok fazla olduğundan, sayının artması karmaşıklığı artıracağından dikkate alınan en önemli iki ürün grubu için gerekli en önemli malzemeler göz önüne alınmıştır.
3. Tedarikçi sayısı çok fazla olduğu için ana malzemeler ve yurtiçi ya da yurtdışı oluşuna göre gruplandırılmıştır.
4. Yurtiçinde satışların çoğu bayiler aracılığıyla yapıldığı için direkt müşteriler göz ardı edilmiştir.
5. Her ay üretim kapasitesi sabit kabul edilmiştir.
6. Müşterilerin öncelik derecelerinin farklı olması göz ardı edilmiştir.
7. Yurtiçinde Güneydoğu Bölge Müdürlüğü yeni açıldığından satış miktarı göz ardı edilecek kadar azdır ve dikkate alınmamıştır.
8. Yurtiçi müşterilere satılan konteynır miktarı ve yurtdışı müşterilere satılan cerrahi alet miktarı, satış rakamları içerisinde çok küçük değerlere sahip olduğu için ihmal edilmiştir. Böylece yurtiçine sadece cerrahi alet, yurtdışına ise konteynır satışı yapıldığı kabul edilmiştir.

Matematiksel modelde kullanılan notasyonlar aşağıdaki gibidir:
X_i = i.tedarikçiden tüm dönemler boyunca yapılan toplam taşıma sayısı
Y_{it}= t. dönemde i.tedarikçiden yapılan taşıma sayısı
Q_j = j.müşteri/bayiye tüm dönemler boyunca yapılan toplam taşıma sayısı
Z_{jt} = t.dönemde j.müşteri/bayiye yapılan taşıma sayısı
a_{it} = sevkiyat başına ai.tedarikçiden t.dönemde gelen miktar
b_{jt} = sevkiyat başına fabrikadan j.müşteriye t.dönemde gönderilen miktar
C_i = i.tedarikçiden yapılan birim taşıma maliyeti
C_j = j.müşteri/bayiye yapılan birim taşıma maliyeti
S_t = t.dönemde konteynır için toplam üretim miktarı
V_t = t.dönemde cerrahi alet için toplam üretim miktarı
m_t = t.dönemde j.konteynır müşterisi için yapılan konteynır üretim miktarı
n_t = t.dönemde j.cerrahi alet müşterisi için yapılan cerrahi alet üretim miktarı
Belli bir tedarikçiden belli bir malzeme grubu alınacağı ve belli müşterilere belli ürünler gönderileceği için ürün çeşidi notasyonlarda farklı bir dijitle gösterilmemiştir.
Model aşağıdaki gibidir:
Min $Z = C_i . X_i + C_j . Q_j$
Subject to

$$\sum_{t=1}^{12} a_{it}.Y_{it} \geq D_i \qquad \forall i \text{ için} \qquad (1)$$

$$\sum_{t=1}^{12} b_{jt}.Z_{jt} \geq P_j \qquad \forall j \text{ için} \qquad (2)$$

$$\sum_{t=1}^{12} Y_{it} - X_i = 0 \qquad \forall i \text{ için} \qquad (3)$$

$$\sum_{t=1}^{12} Z_{jt} - Q_j = 0 \qquad \forall j \text{ için} \qquad (4)$$

$$\sum_{t=1}^{12} Y_{it} \geq 1 \qquad \forall i \text{ için} \qquad (5)$$

$$\sum_{t=1}^{12} Z_{jt} \geq 1 \qquad \forall \text{ j için} \qquad (6)$$

$$\sum_{j=1}^{13} mt.Z_{jt} \leq St \qquad \forall \text{ t için} \qquad (7)$$

$$\sum_{j=14}^{18} nt.Z_{jt} \leq Vt \qquad \forall \text{ t için} \qquad (8)$$

$X_i \geq 0$ ve tamsayı $\qquad \forall$ i için $\qquad (9)$

$Q_j \geq 0$ ve tamsayı $\qquad \forall$ j için $\qquad (10)$

$Y_{it} \geq 0$ ve tamsayı $\qquad \forall$ i ve t için $\qquad (11)$

$Z_{jt} \geq 0$ ve tamsayı $\qquad \forall$ j ve t için $\qquad (12)$

(1) nolu kısıt grubu, ele alınan bu üç aşamalı sistemin ilk aşamasında ilgili tedarikçiden fabrikaya gönderilen malzeme miktarının sağlanması ile ilgilidir.

(2) nolu kısıt grubu, müşterilerin yaptığı talebin karşılanması ile ilgilidir. Herhangi bir müşteri tarafından ilgili dönemde yapılan talep, fabrikada üretilen ürün miktarına eşit ya da bu miktardan büyük olmalıdır.

Y_{it} değişkenleri, yukarıda bahsedildiği gibi t.dönemde i.tedarikçiden yapılan sevkiyat sayısını göstermektedir. Amaç fonksiyonunda ise toplam taşıma maliyeti minimize edileceğinden (3) nolu kısıt grubu ile X_i, ilgili tedarikçiden yapılan toplam sevkiyat sayısı, bulunmaya çalışılmaktadır.

Aynı şekilde (4) nolu kısıt grubu ile de herhangi bir müşteriye yapılan yıllık toplam sevkiyat sayısı belirlenmektedir..

(5) ve (6) nolı kısıt grupları da, her tedarikçiden ya da her müşteriye yıl boyunca en az bir sevkiyat yapılmasını sağlamaktadır. Böylece hiçbir tedarikçi ya da müşteri en az bir sevkiyat ataması yapılmadan geçilmeyecektir. Çünkü mevcut sistem bu tedarikçi ve müşterilerle işlemektedir.

(7) ve (8) nolu kısıt grupları kapasite kısıtlarıdır. Burada, 8 nolu varsayım dikkate alınmıştır. Ayrıca cerrahi alet ve konteynır için üretim kapasiteleri de farklı olduğundan kapasite kısıtı yurtiçi ve yurtdışı olmak üzere iki ayrı müşteri grubu için iki farklı şekilde ifade edilmiştir.

(7) nolu kısıt grubunda, ilk 13 müşteri yurtdışı müşterilerdir ve bu müşterilere sadece konteynır satışı yapıldığından buradaki kapasite, konteynır için üretim miktarı ile sınırlıdır.

(8) nolu kısıt grubu ise, yurtiçi müşteriler için oluşturulmuş ve buradaki kapasite sınırı cerrahi aletler için üretim miktarıdır.

(9), (10), (11) ve (12) nolu kısıt grupları, oluşturulan modelin pozitif kısıtlama bölümünü oluşturur. Söz konusu tüm değişkenler sevkiyat sayılarını ifade ettiği için de tamsayı değerleridir.

Bu modelde oluşturulan kısıtlar aşağıdaki gibi gruplanabilmektedir:

1. Arz-Talep Kısıtları
2. Üretim Kapasitesi Kısıtları
3. Sevkiyat Sayısı ile İlgili Kısıtlar

TOPSIS yöntemi ile müşteri önceliklerinin belirlenmesi için yapılan bu çalışmada etkili ve önemli olan varsayımlar ise aşağıdaki gibidir:

1. Firmanın müşteri sayısı çok fazla olduğu için en büyük müşteriler dikkate alınmış ve,
2. Müşterilerin öncelik dereceleri göz ardı edilmiştir.

Bu çalışmada, yalnızca satış miktarlarının müşterilerin önem derecelerinin bir ölçütü olduğu fikri kabul edilmemiştir. Çünkü satış miktarları "talep kısıtlarında" zaten kullanılmaktadır ve müşteri önceliğini etkileyebilecek başka kriterler de mevcuttur. Eğer müşteri öncelikleri biliniyor olsaydı matematiksel modelde

'Üretim Kapasitesi' kısıtlarında 'm' ve 'n' katsayıları farklılık göstereceği için daha farklı sonuçların elde edilebileceği düşünülmüştür.

4. TOPSIS YÖNTEMİ

TOPSIS yöntemi, pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme ise en uzak olan en uygun çözümün belirlenmesidir. Bu mesafelerin iki yönlü olması ile ele alınan konu bakımından sadece maksimize edilecek şeyler değil aynı zamanda da minimize edilmesi gereken durumlar da göz önünde bulundurularak en uygun seçim yapılır.

TOPSIS yöntemi ile alternatif seçeneklerin belirli kriterler doğrultusunda ve kriterlerin alabileceği maksimum ve minimum değerler arasında ideal duruma göre karşılaştırılması gerçekleştirilmektedir.

TOPSIS yöntemi derecelendirme konusunda öncelikli olarak kullanılmaktadır. Burada da, TOPSIS yönteminin kullanılmasının nedeni, ele alınan problemde bir alternatifin seçilmesi değil, alternatiflerin derecelendirilmesi amacının olmasıdır.

4.1. Müşteri Önceliklerinin Belirlenmesi için TOPSIS Yönteminin Uygulanması

Firma ile müşterileri arasında taşıma maliyetlerinin azaltılması için kurulan modelde müşteri öncelikleri ihmal edilmiştir. Burada ise, müşterilerin öncelikleri;

- sipariş sıklığı,
- satış miktarı,
- uyumluluk&esneklik,
- bağlılık&güven

kriterleri temelinde belirlenerek dikkate alınabilecektir.

Sipariş sıklığı kriteri, ele alınan planlama dönemi boyunca müşterilerden gelen siparişlere göre müşterilere yapılan sevkiyat sayısı ile ilgilidir

Satış miktarı kriteri, . planlama dönemi boyunca müşterilere yapılan satışların toplamını ifade etmektedir.

Uyumluluk&Esneklik kriteri ile ifade edilmek istenen, firma ve müşterileri arasındaki uyum ve anlayış ile bunların sonucu oluşan esnekliktir.

Bağlılık&Güven kriteri ise, koşullar değişse bile müşterilerin yine de bu firmayı tercih etmesini göstermektedir.

Adım 1: Karar Matrisinin Oluşturulması: A Matrisi

Firmanın dikkate alınan 13 müşterisi sipariş sıklığı, satış miktarı, uyumluluk&esneklik, bağlılık&güven kriterleri temelinde incelenmiştir. Yani, alternatif sayısı 13 ve kriter sayısı 4 olduğu için 13x4 lük bir matris oluşturulacaktır.

	Satış Miktarı	**Sipariş Sıklığı**	**Uyumluluk& Esneklik**	**Bağlılık& Güven**
Almanya	16990	14	7	8
Fransa	5480	12	8	5
İtalya	14335	8	9	8
ABD	1592	1	8	6
5	3185	3	6	6
6	2654	2	2	6
7	2123	2	3	7
8	1594	2	4	6
9	1061	1	3	7
10	530	1	2	3
11	530	1	3	3
12	530	1	2	3
13	2023	4	5	4

Tablo 1. Karar Matrisi

Yukarıda iki kriter temelinde oluşturulmuş olan karar matrisinde satış miktarları çok büyük olduğu için 1/100 ölçeğinde küçültülerek kullanılmıştır. Ayrıca, 10, 11 ve 12. müşterilerin satış yüzdeleri aynı olduğu için satış miktarları da aynı kabul edilmiştir. Uyumluluk&esneklik ve Bağlılık&güven kriterleri için müşteriler 1-10 arasındaki değerlere göre değerlendirilmiştir. Ancak müşteri önceliklerinin belirlenmesinde bu 2 kriter tek başına yeterli olamamaktadır.

Adım 2: Standart Karar Matrisinin Oluşturulması: R Matrisi

$r_{ij} = a_{ij} \Big/ \sqrt{\sum a_{kj}^2}$ A matrisindeki her hücre değeri, o sütundaki değerlerin kareleri toplamının kareköküne bölünerek R matrisi oluşturulmuştur.

	Satış Miktarı	**Sipariş Sıklığı**	**Uyumluluk& Esneklik**	**Bağlılık& Güven**
Almanya	0,720	0,666	0,36	0,38
Fransa	0,245	0,571	0,42	0,23
İtalya	0,605	0,380	0,47	0,38
ABD	0,067	0,047	0,42	0,28
5	0,135	0,142	0,31	0,28
6	0,114	0,095	0,10	0,28
7	0,088	0,095	0,15	0,33
8	0,067	0,095	0,21	0,28
9	0,046	0,047	0,15	0,33
10	0,021	0,047	0,10	0,14
11	0,021	0,047	0,15	0,14
12	0,021	0,047	0,10	0,14
13	0,084	0,190	0,26	0,19

Tablo 2. Standart Karar Matrisi

Adım 3: Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin Oluşturulması: V Matrisi

Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin oluşturulabilmesi için öncelikle AHP yöntemine göre kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Kriterlere ait ikili karşılaştırma matrisi aşağıdaki gibidir:

Tablo 3. Kriterlerin İkili Karşılaştırma Matrisi

	Satış Miktarı	**Sipariş Sıklığı**	**Uyumluluk& Esneklik**	**Bağlılık& Güven**
Satış Miktarı	1	3	7	5
Sipariş Sıklığı	1/3	1	5	5
Uyumluluk& Esneklik	1/7	1/5	1	1
Bağlılık& Güven	1/5	1/5	1	1

Burada satış tutarları dikkate alınarak, satış miktarının sipariş sıklığına göre daha önemli olduğu düşünülmüş ve satış miktarının sipariş sıklığına göre önem derecesi "3" olarak belirlenmiştir. Uyumluluk&esneklik ve bağlılık&güven kriterlerinin ise değişken olduğu düşünülerek satış miktarı ve sipariş sıklığı kriterlerinin bu kriterlerden daha önemli olduğuna karar verilmiştir. Bu iki kriter arasındaki ilişkide ise, bağlılık&güven kriteri ile uyumluluk&esneklik kriterinin aynı önemde olduğu düşünülmüştür.

Tablo 4. Normalleştirilmiş İkili Karşılaştırma Matrisi (Kriterler) ve Kriter Ağırlıkları

	Satış Miktarı	**Sipariş Sıklığı**	**Uyumluluk& Esneklik**	**Bağlılık& Güven**	**Ağırlık**
Satış Miktarı	0.59659	0.68182	0.50000	0.41667	**0.54877**
Sipariş Sıklığı	0.19886	0.22727	0.35714	0.41667	**0.29999**
Uyumluluk& Esneklik	0.08523	0.04545	0.07143	0.08333	**0.07136**
Bağlılık& Güven	0.11932	0.04545	0.07143	0.08333	**0.07988**

$V_{ij} = wj \times r_{ij}$ Buradan V_{ij} matrisi aşağıdaki bulunur:

	Satış Miktarı	**Sipariş Sıklığı**	**Uyumluluk& Esneklik**	**Bağlılık& Güven**

Almanya	0.54877	0.89996	0.49953	0.39942
Fransa	0.18292	0.29999	0.35680	0.39942
İtalya	0.07840	0.06000	0.07136	0.07988
ABD	0.10975	0.06000	0.07136	0.07988
5	0.54877	0.89996	0.49953	0.39942
6	0.18292	0.29999	0.35680	0.39942
7	0.07840	0.06000	0.07136	0.07988
8	0.10975	0.06000	0.07136	0.07988
9	0.54877	0.89996	0.49953	0.39942
10	0.18292	0.29999	0.35680	0.39942
11	0.07840	0.06000	0.07136	0.07988
12	0.10975	0.06000	0.07136	0.07988
13	0.54877	0.89996	0.49953	0.39942

Tablo 5. Ağırlıklı Standart Karar Matrisi

Kriterler için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılığı ölçülmüş ve matrisin tutarlılık oranı 0.044978 olarak bulunmuş ve bu değer 0.1'den küçük olduğu için kriterlere ait ikili karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğuna karar verilmiştir.

Adım 4: Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlerin Belirlenmesi: A*, A$^-$

$A^* = \{0.432, 0.159, 0.024, 0.036\}$

$A^- = \{0.012, 0.011, 0.005, 0.013\}$

Adım 5: Ayırım Ölçülerinin ve İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması Hesaplanması: S_i^*, S_i^-, C_i^*

	S_i^*	S_i^-	C_i^*	Öncelik
Almanya	0.00785	0.42701	**0.98195**	**1**
Fransa	0.26252	0.20098	**0.43362**	**3**
İtalya	0.10651	0.33727	**0.76000**	**2**
ABD	0.40370	0.03583	**0.08152**	**8**
5	0.35772	0.07124	**0.16608**	**4**
6	0.37509	0.05419	**0.12624**	**6**
7	0.38751	0.04245	**0.09874**	**7**
8	0.39769	0.03211	**0.07472**	**9**
9	0.41452	0.02077	**0.04771**	**10**
10	0.42742	0.00000	**0.00000**	**12**
11	0.42721	0.00357	**0.00828**	**11**
12	0.42742	0.00000	**0.00000**	**12**
13	0.37770	0.05641	**0.12994**	**5**

Tablo 6. Ayırım Ölçüleri, İdeal çözüme Göreli Yakınlık ve Öncelikler

4. SONUÇ

(7) nolu kısıtta görüldüğü gibi 'm_t' notasyonu ile tüm müşteriler için belli bir dönemde eşit derecede üretim yapılacağı varsayılmıştır. Yani tüm müşteriler için üretim kapasitesine göre sabit bir katsayı kullanılmıştır. Bu önceliklerin bilinmesiyle, üretim kapasitesi bu önceliklere göre kullanılabilecektir.

TOPSIS yöntemi ile elde edilen sonuçlara bakıldığında, "Almanya" müşterisinin 1 noktasına en yakın, hemen hemen bu noktanın üzerinde olduğu yani firmanın en önemli müşteri olduğu görülmektedir. Fransa örneğine bakıldığında, satış miktarı çok yüksek olmamasına rağmen firma için 3. önemli müşteri olmuştur. "10 ve 12." müşteriler ise negatif ideal çözüm üzerinde bulunmaktadır. Yani, diğer müşterilere göre önem dereceleri en düşüktür. "13." müşteriye bakıldığında ise, satış miktarının diğerlerine göre daha az olmasına rağmen sipariş sıklığı, uyumluluk&esneklik ve bağlılık&güven kriterlerinin etkisi nedeniyle önem derecesinin beklenenden farklı olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada, nakliye planlaması için kurulan matematiksel model ele alınmış ve bu modelde yer alan bir varsayımdan kurtularak üretim kapasitesi kısıtlarında müşteriler için farklı katsayılar kullanabilmek için TOPSIS yöntemi ile firmanın müşterileri önceliklerine göre sıralanmıştır.

KAYNAKLAR

1. **Kher, H. V., "Examination of worker assignment and dispatching rules for managing vital customer priorities in dual resource constrained job shop environments",** Computers&Operations Research, **27: 525-537 (2000).**
2. **Jayamohan, M.S., Rajendran, C., "Development and analysis of cost-based dispatching rules for job shop scheduling",** European Journal of Operational Research**, 157: 307–321 (2004).**
3. **Guenzi, P., Troilo, G., "Developing marketing capabilities for customer value creation through Marketing–Sales integration",** Industrial Marketing Management**, 35: 974–988 (2006).**
4. **Ai, T.J., Kachitvichyanukul, V., "Particle swarm optimization and two solution representations for solving the capacitated vehicle routing problem",** Computers & Industrial Engineering. **56: 380–387 (2009).**
5. **Yaman, N., Lojistik Yönetiminde Nakliye Planlaması İçin Bir Uygulama Çalışması, Yüksek Lisans Tezi,** Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 82-95, (2009).**
6. **Lodree, J. E., Geiger, C.D., Ballard, K.N., "Coordinating Production And Shipment Decisions in a Two-Stage Supply Chain With Time-Sensitive Demand",** Mathematical and Computer Modelling**, 51(5-6): 632-648 (2010).**
7. **Demireli, E., "Topsıs Çok Kriterli Karar Verme Sistemi: Türkiye'deki Kamu Bankaları Üzerine Bir Uygulama,** Girişimcilik ve Kalkınma Dergisi, **5:1 (2010).**

İŞLETMELERDE ETKİNLİK VE PERFORMANS DEĞERLENDİRMEDE AHP VE TOPSIS ANALİZLERİNİN KULLANIMI: ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

Nezih TAYYAR
Uşak Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi
İşletme Bölümü
nezih.tayyar@usak.edu.tr

Fatma ŞİMŞEK
Uşak Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
İşletme Anabilim dalı Yüksek Lisans Öğrencisi
104005011@usak.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada çimento şirketlerinin performansları finansal oranlardan yararlanılarak değerlendirilmiştir. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) ve TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. AHP ve BAHP ile kriterlerin ağırlıkları elde edilmiştir. Ardından TOPSIS yöntemi ile çimento firmaları performanslarına göre sıralanmıştır. AHP ve BAHP ile elde edilen kriter ağırlıklarının birbirinden farklı olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: AHP, Bulanık AHP, TOPSIS, Çimento Sektörü, Performans.

EVALUATING EFFICIENCY AND PERFORMANCE OF COMPANIES WITH AHP AND TOPSIS METHODS: AN APPLICATION ON CEMENT SECTOR

ABSTRACT

In this study performance of cement firms were evaluated by using financial ratios. Analytic Hierarchy Process (AHP), fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) and TOPSIS methods were used. The weights of the criteria were obtained by AHP and FAHP. Then TOPSIS was used to find rankings of the cement firms. It has been found that there are differences between the criteria weights obtained by AHP and BAHP.

Keywords: AHP, fuzzy AHP, TOPSIS, Cement Sector, Performance.

1.GİRİŞ

Küreselleşmenin beraberinde getirdiği rekabet ortamı, işletmeleri performanslarını en üst seviyede tutmak zorunda bırakmıştır. İşletmelerin bu performansları yöneticiler ve potansiyel ya da mevcut yatırımcılar adına büyük önem teşkil etmektedir.

Bu çerçevede işletmelerin performanslarını değerlendirmek adına birçok analiz tekniği kullanılmaktadır. Bunlardan finansal analiz kullanılan yöntemlerin başında gelir. Bunun yanında Çok Kriterli Kriterli Karar Verme Yöntemleri (TOPSIS, ELECTRE, AHP vb.) gibi matematiksel yöntemler de kullanılmaktadır. Bu yöntemleri son yıllarda kullanımı hızla artan ve geliştirilen Bulanık Mantık (BM), Yapay Zekâ ve Genetik Algoritma gibi yöntemler takip etmektedir (Eleren,2007:143).

Çalışmada, 1970'lerde Prof. Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen AHP analizinden faydalanılmıştır. AHP, belirlilik ve belirsizlik altında çok sayıda alternatif arasından seçim yaparken çok sayıda karar vericinin bulunduğu çok kriterli, çok amaçlı karar verme durumunda kullanılır. Çok kriterli karar verme yöntemlerinden bir diğeri olan TOPSIS metodu da çalışmada kullanılmıştır. Hwang ve Yoon tarafından geliştirilen pozitif ideal çözümden en kısa mesafe ve negatif ideal çözümden en uzak mesafe alternatiflerinin seçilmesine dayanan TOPSIS yöntemi, AHP yöntemi ve bulanık AHP çalışmada beraber kullanılmıştır.

Türk Çimento sektörü, teknolojik alt yapısıyla ve 39'u entegre 18'i öğütme ve paketleme olmak üzere 57 tesisiyle Avrupa'da ilk, dünyada ilk on üretici olma durumundadır. Sektörde faaliyet gösteren şirket sayısının yüksek oluşu, sektör içinde kıyasıya bir rekabetin yaşanmasına neden olmaktadır. Çimento fabrikalarının böyle bir ortamda varlıklarını sürdürebilmek için kalite, fiyat ve zamanında teslimat gibi hususlarda rekabet avantajına sahip olmaları gerekmektedir (Gül ve Elevli, 2006:230).

Literatürde çok kriterli karar verme yöntemleri Çimento sektöründe sıkça karşımıza çıkmaktadır. Uyanık (2005) çimento sektöründe yaptığı örnek uygulamada AHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanmıştır. Çalışmada Çimento tedarikçisi seçiminde göz önünde bulundurulması gereken kriterler tanımlanmış, AHP yöntemiyle kriterlerin ağırlıkları belirlenmiş ve bu ağırlıklar kullanılarak, hem AHP, hem de TOPSIS yöntemleriyle, çimento tedarikçisi firmalar, en iyiden en kötüye doğru sıralanmıştır. Her iki yöntemle elde edilen sonuçlar aynı olup, herhangi bir tutarsızlık gerçekleşmemiştir. Ecer vd. (2009), "Bulanık bir modelle firmalar değerlendirme ve optimal portföy oluşturma: çimento sektöründe bir uygulama" adlı çalışmalarında bulanık TOPSIS modelinin optimal portföy oluşturmada kullanılabileceğini kanıtlamışlardır. Kula ve Özdemir (2007) çimento sektöründe göreceli etkinsizlik alanlarının VZA yöntemi ile tespitini yapmışlardır. Çalışmada 17 işletmeden 7 tanesinin göreceli olarak tam etkin olduğu belirlenmiştir. Eleren (2007) İMKB'ye kayıtlı çimento işletmelerinin finansal tablolarını bulanık mantık yaklaşımı ile değerlendirdiği çalışmasında; bulanık mantık yaklaşımı ile elde edilen tahmini verileri gerçek verilerle karşılaştırılmış ve iyi bir korelasyonla sonuçların yakın olduğu göstermiştir. Kayalıdere ve Kargın (2004) VZA ile çimento ve tekstil sektörlerinde etkinlik çalışması yapmışlardır. Bu çalışma etkin olmayan şirketlerin etkin ve verimli konuma geçebilmeleri için kullandıkları girdi-çıktı miktarlarını, ait oldukları sektörde etkin konumda olan şirketlere göre ne oranda iyileşmeleri gerektiğinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Ertuğrul ve Karakaşoğlu (2007) Türkiye'deki çimento firmalarının performanslarını bulanık AHP ve TOPSIS metotlarıyla değerlendirmesini yapmışlarıdır. Çalışmada İMKB'ye kayıtlı 15 çimento firmasının mali verilerden yararlanarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Yılmaz ve Çıracı (2004) yaptıkları incelemede, İMKB'de işlem gören 15 çimento firmasının 1998/12-2003/06 dönemleri arasındaki verileri kullanılarak VZA yöntemi kullanılmıştır. Üstündağ (2009) VZA ile verimliliğin değerlendirmesini çimento sektöründe uygulamıştır. Çalışmada etkin olmayan firmalar, etkin olabilmek için hangi girdi ve çıktılarında iyileştirmeye gidileceğini tespit edebilmesi amaçlanmıştır.

2. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

Bir karar alma probleminde karar vericilere destek sağlama amaçlı olarak dört farklı analiz yapılabilir. Bu analizler (Uyanık, 2005):

- Alternatiflerin, en iyiden en kötüye sıralanması
- En iyi alternatifi belirlemek veya sınırlı sayıda en iyi alternatifler serisi seçmek
- Alternatiflerin, temel ayırıcı özelliklerinin belirlenmesi ve bu özelliklere göre tanımlanmaları
- Alternatifleri, önceden belirlenmiş homojen gruplara ayırmak

Bu çalışmanın amacı, finansal oranları kullanarak İMKB'de işlem gören beş çimento şirketinin finansal performanslarını değerlendirmek, bu performansları en iyiden en kötüye sıralamak, ayrıca performans değerlendirmede kullanacağımız klasik AHP ve bulanık AHP yöntemlerinden çıkan sonuçları karşılaştırmaktır.

Çalışmada yer alan şirketler İMKB'de yer alan, İstanbul Sanayi Odası'nın (İSO) açıkladığı 2009 yılının verilerine göre Türkiye'nin 500 büyük sanayi kuruluşunun arasına giren ve verilerine eksiksiz olarak ulaştığımız şirketlerden oluşmaktadır. Bu çalışmada şu şirketlerin finansal verileriyle çalışılmıştır: Çimsa Çimento Sanayii ve Ticaret A.Ş (CIMSA), Adana Çimento Sanayii Türk A.Ş. (ADANA), Konya Çimento Sanayii A.Ş. (KONYA), Ünye Çimento Sanayii ve Ticaret A.Ş. (UNYE) ve Bolu Çimento Sanayii A.Ş (BOLU).

Kullanılan ana oranlar (ana kriterler) Likitide Oranları (LO), Mali Yapı Oranları (MYO), Karlılık Oranları (KO), Faaliyet Oranları (FO) ve Piyasa Değeri Oranları (PDO) olarak 5 grupta toplanmıştır. Bu kriterlerin yanında

Tablo 1'de gösterilen alt kriterler kullanılmıştır. Çalışmada klasik AHP, bulanık AHP ve TOPSIS yöntemleri bir arada kullanılmış, bu bağlamda firmaların mali verilerinden hareketle finansal oranlar kullanılmıştır. Finansal oranlar işletmelerin performans ve finansal varlık durumunun ölçülmesinde önemli rol oynamaktadır. Yıllardan beri yapılan birçok araştırma finansal oranların faydalarını ortaya koymuştur (Korkmaz vd., 2008:567). Tablo 1'de çalışmada yer alan oranlara yer verilmiştir:

Tablo1:Çalışmada kullanılan ana ve alt kriterler

LO	Likitide oranları	LO1	Cari Oran
		LO2	Asit-test Oranı
		LO3	Hazır Değerler Oranı
MYO	Mali yapı oranları	MYO1	Toplam Borç Oranı
		MYO2	Özkaynaklar/Aktif Oranı
		MYO3	Finansman Oranı
KO	Karlılık oranları	KO1	Aktif Karlılık Oranı
		KO2	Özkaynaklar Karlılığı Oranı
		KO3	Satışların Karlılığı Oranı
FO	Faaliyet oranları	FO1	Stok Devir Hızı
		FO2	Alacak Devir Hızı
		FO3	Aktif Devir Hızı
		FO4	Net İşletme Sermayesi Devir Hızı
		FO5	Özkaynaklar Devir Hızı
PDO	Piyasa değeri oranları	PDO1	Fiyat/Kazanç Oranı
		PDO2	Piyasa Değeri/Defter Değeri Oranı
		PDO3	Hisse Başına Kar Oranı

3. YÖNTEM

Bu çalışmada çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan klasik AHP, bulanık AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. Ana ve alt kriterlerin ikili karşılaştırılmasında klasik ve bulanık AHP yöntemlerinden yararlanılmış ve kriterlerin ağırlıkları elde edilmiştir. Elde edilen kriter ağırlıkları TOPSIS yönteminde kullanılmış ve firmaların finansal oranlara dayanan 2009 yılı performansları bulunmuştur.

3.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), ilk olarak 1968 yılında Myers ve Alpert ikilisi tarafından ortaya atılmış ve 1977'de ise Saaty tarafından bir model olarak geliştirilerek karar verme problemlerinin çözümünde kullanılabilir hale getirilmiştir (Tuğçe ve Serhan, 2006:238). AHP yöntemi, karışık problemleri, hiyerarşiler sistemine dönüştürerek çözümleyen analitik bir süreçtir (Uyanık, 2005).

AHP günümüzde sıkça kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Dünya çapında yaygın bir makale veritabanı olan Science Direct'te "AHP" kelimesi arandığında 9669 , "TOPSIS" kelimesi arandığında ise 877 sonuç karşımıza çıkmaktadır. Bu da bize AHP'nin kullanılan karar verme yöntemlerinden en yaygınlarından biri olduğunu göstermektedir.

Literatüre 1980 yılında Thomas L. Saaty tarafından giren AHP yöntemi 1980'den günümüze ülkemizde ve dünyada birçok uygulama alanı bulmuştur. Sekreter, Akyüz ve İpekçi Çetin (2004), gıda sektöründe faaliyet gösteren ve hisse senetleri İMKB'de işlem gören şirketlerin finansal tablolarından elde edilen oranları kullanarak, AHP yöntemi ile şirketlerin derecelendirilmesine yönelik bir model geliştirmişlerdir. Albayrak ve Erkut (2005) AHP yöntemi ile banka sektöründe, sadece finansal ölçütlerle yapılan performans değerlendirme çalışmalarının, sosyal kriterler göz önüne alınmadan sadece ekonomik ölçütlerle yapılmasının yanlış ve eksik sonuçlar vereceği kanıtlanmaya çalışılmıştır.

AHP yönteminde a_{ij} i. Kriter ile j. kriterin ikili karşılaştırma değerini; a_{ji} j. kriter ile i. kriterin karşılaştırma değerini göstermektedir. AHP'de a_{ji} değeri, $a_{ji}=1/ a_{ij}$ eşitliğinden elde edilir (Saaty, 1980; Yüksel ve Akın, 2006:257).

AHP 4 adımdan oluşmaktadır (Soner ve Önüt, 2006:113-114):

Adım 1:İkili karşılaştırmaların yapılacağı karşılaştırma matrisi oluşturulur. İki karşılaştırma yapılırken Saaty tarafından oluşturulan aşağıdaki tabloda yer alan ölçek kullanılmaktadır

Tablo 2: AHP yönteminde kullanılan ölçek

Önem derecesi	**Tamın**	**Açıklama**
1	Eşit önemde	İki aktivite hedefe eşit olarak katkıda bulunur
3	Biri ile diğeri kısmen aynı	Tecrübe ve yargı ufak bir şekilde bir aktiviteyi diğerinden daha çok favori tutar**.**
5	Temel veya güçlü önem	Tecrübe ve yargı güçlü bir şekilde bir aktiviteyi diğerinden daha çok favori tutar.
7	Çok güçlü veya ispatlanmış önem	Bir aktivite diğerine göre çok güçlü tercih edilir ve üstünlüğü pratikte ispatlanmıştır.
9	Kesin önemlilik	Bir aktiviteyi diğerine göre seçimin en yüksek şekilde olduğu durumdur
2,4,6,8	Komşu ölçü değerlerine bitişik ara değerler	Uzlaştırmaya ihtiyaç olunduğu zaman

Adım 2: Oluşturulan karşılaştırma matrisi normalize edilir. Bunun için sütun toplamları alınır ve her değer kendi sütun toplamına bölünür. Böylece normalize edilmiş matris elde edilir.
Adım 3: Ağırlıkların elde edilmesi için satır ortalaması alınır.
Adım 4: Ağırlıklar elde edildikten sonra karşılaştırma matrisinin tutarlığına bakılması gerekmektedir. Eğer karşılaştırma matrisi tutarlı değilse, elde edilen ağırlıklar kullanılamaz. A* w = λ_{max}* w eşitliğini sağlayan λ_{max} vektörü öncelikle elde edilmelidir. Burada A karşılaştırma matrisi, w elde edilen ağırlık matrisidir. Eşitlik 1'de λ_{max} kullanılarak hesaplamalar yapılır ve tutarlılığa yakınlık göstergesi olarak nitelendirilen "tutarlılık indeksi (CI)" elde edilir.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \qquad (1)$$

CI değeri hesaplandıktan sonra, elde edilmesi gereken başka bir değer de "Rassallık İndeksi (RI)" dır. Bu değer farklı matris boyutları için çizelge haline getirilmiştir. Farklı matris boyutları için RI değerleri Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 3: Rassallık indeksleri

N	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41
N	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	
RI	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59	

Son olarak CI'nın RI'ya oranıyla "tutarlılık oranı (CR)" elde edilir. AHP uygulamalarında, CR'nin 0,1'den daha az olması, yapılan uygulamanın tutarlı olduğunu gösterir. Eğer bu değer aşılırsa yapılan yargılar tekrar gözden geçirilmelidir.

3. 2. Bulanık AHP Yöntemi

Bulanık kümeler kuramı, 1965 yılında Zadeh'in, klasik sistem kuramının matematiksel yöntemlerinin gerçek dünyadaki pek çok sistemle, özellikle insanları içeren kısmen karmaşık sistemlerle uğraşırken yetersiz kalmasından hoşnut olmayışından doğmuştur. Bulanık kümeler kuramı, muğlâk ve belirsiz olan problemlerin çözülmesi için geliştirilmiştir. Zadeh'ten bu yana bulanık mantık ve bulanık kümeler kuramı pek çok alanda uygulama bulmuş ve hızla gelişmiştir (Kaptanoğlu ve Özok (2006:197)). Bu nedenle AHP'yi bulanık sayılarla kullanan yöntemler geliştirilmiştir (van Laarhoven ve Pedrycz (1983), Buckley (1985), Chang (1996)).

Yaygın olarak kullanıldığından ve uygulaması diğer yöntemlere göre daha az işlem gerektirdiğinden dolayı çalışmada Chang'in (1996) mertebe analizi yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin uygulanmasındaki adımlar aşağıda verilmiştir (Seçme ve Özdemir (2008:180-182), Kahraman vd. (2004:176-177)). Elemanların kümesinin $X = \{x_1, x_2, ..., x_n\}$ olduğunu ve amaç kümesinin de $U = \{u_1, u_2, ..., u_m\}$ olduğunu kabul edelim. Chang'ın (1996) mertebe analizi yöntemine göre her bir eleman ele alınarak, her biri için sırası ile g_i amacı için derece analizi gösterilir. Bu nedenle her bir eleman için aşağıda gösterildiği gibi m derece analizi değeri elde edilir:

$$M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, ...M_{g_i}^m \quad i = 1, 2, ..., n \qquad (2)$$

burada tüm $M_{g_i}^{j}(j=1,2,...,m)$'ler üçgensel bulanık sayılardır. Derece analizi yöntemine göre ikili karşılaştırma matrislerinin ağırlıklarının hesaplanması için gerekli matematiksel işlemler aşağıda adım adım anlatılmıştır.

ADIM 1: i. eleman bakımından bulanık sentetik derecenin değeri aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j} \right]^{-1} \tag{3}$$

$\sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j}$ ifadesini elde etmek için m dereceden analiz değerlerinin bulanık ilave matrisinde özel bir matris kullanılır. Bu matrisin matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$\sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j} = \left(\sum_{j=1}^{m} l_j, \sum_{j=1}^{m} m_j, \sum_{j=1}^{m} u_j \right) \tag{4}$$

burada çarpımın ikinci kısmı olan $\left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j} \right]^{-1}$ matematiksel ifadesini elde etmek için $M_{g_i}^{j}(j=1,2,...,m)$ değerlerinin bulanık ilave işlemi aşağıdaki gibi gösterilir:

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j} = \left(\sum_{i=1}^{n} l_i, \sum_{i=1}^{n} m_i, \sum_{i=1}^{n} u_i \right) \tag{5}$$

Eşitlik 4'deki vektörün tersi ise aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j} \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} l_i} \right) \tag{6}$$

ADIM 2: Karşılaştırılması yapılacak M_1 ve M_2 olmak üzere iki küme olsun. $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ eşitliğinin olabilirlik derecesi aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} \left[\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y)) \right] \tag{7}$$

ve bu ifade eşitlik 7'ye eşittir:

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d)$$

$$= \begin{cases} 1, & \text{eğer } m_2 \geq m_1, \\ 0, & \text{eğer } l_1 \geq u_2, \\ \dfrac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{diğer durumlarda,} \end{cases} \tag{8}$$

burada d değeri, μ_{M_1} ve μ_{M_2} arasındaki en yüksek kesişim değeri olan noktanın ordinatıdır. M_1 ve M_2'nin karşılaştırılabilmesi için $V(M_1 \geq M_2)$ ve $V(M_2 \geq M_1)$ değerlerine ihtiyaç vardır.

ADIM 3: Konveks bulanık bir sayının, k tane konveks bulanık sayı M_i (i=1,2,…,k)'dan büyük olmasının olası derecesi aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$V(M \geq M_1, M_2, ..., M_k)$$
$$= V\left[(M \geq M_1) \text{ ve } (M \geq M_2) \text{ ve ... ve } (M \geq M_k) \right] \tag{9}$$
$$= \min V(M \geq M_i), \ i = 1, 2, 3, ..., k.$$

Varsayalım ki k=1,2,…,n; $k \neq i$ için:

$$d'(A_i) = \min \ V(S_i \geq S_k). \tag{10}$$

Bu durumda ağırlık vektörü aşağıdaki gibi olur:

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), ..., d'(A_n))^T \quad (11)$$

burada A_i (i=1,2,…,n) n elemanlıdır.

ADIM 4: Normalizasyon işlemi ile normalize edilen ağırlık vektörü:

$$W = (d(A_1), d(A_2), ..., d(A_n))^T \quad (12)$$

burada W bulanık olmayan bir sayıdır.

3.3.TOPSIS

TOPSIS yöntemi çok özellikli karar verme yöntemlerinden bir tanesidir. Yöntem kullanılarak alternatif seçeneklerin belirli kriterler doğrultusunda ve kriterlerin alabileceği maksimum ve minimum değerler arasında ideal duruma göre karşılaştırılması gerçekleştirilmektedir (Yurdakul ve İç, 2003:11).

TOPSIS yöntemi Zeleny (1982) ve Hall (1989) tarafından da uygulanmış ve Yoon ve Hwang (1987), Lai ve Liu (1993) tarafından geliştirilmiştir (Ötkür, 2008:55). Literatürde TOPSIS yöntemi diğer çok kriterli karar verme yöntemleriyle beraber kullanımı sıkça karşımıza çıkmaktadır. Dağdeviren vd. (2008) bulanık ortamda AHP ve TOPSIS yöntemlerini silah seçiminde kullanmışlardır. Bülbül ve Köse (2011) Türk gıda şirketlerinin finansal performansının çok amaçlı karar verme yöntemleriyle değerlendirilmesi adlı çalışmalarında ELECTRE ve TOPSIS bir arada kullanılmıştır. Özer vd. (2010) "İşletmelerde Etkinlik ve Performans Ölçmede VZA, Kümeleme ve TOPSIS Analizlerinin Kullanımı: İMKB İşletmeleri Üzerine Bir Uygulama" adlı çalışmalarında 3 yöntemi birden kullanmışlardır. Wu vd. (2008) bankacılık varlık yönetiminde finansal hizmetleri araştırdıkları çalışmalarında AHP ve TOPSIS'i beraber kullanmışlardır. Tsai vd. (2008) sigorta şirketleri üzerinde yapılan çalışmada ANP ve TOPSIS beraber uygulanmıştır. TOPSIS işlemi, aşağıda kısaca açıklanan uygulama aşamalarından oluşmaktadır (Özer vd., 2010:252).

Adım 1: Karar Matrisi Oluşturularak Normalize Edilmiş Değerlerin Hesaplanması

Önce satırlarında üstünlükleri sıralanmak istenen karar noktaları, sütunlarında ise karar vermede kullanılacak değerlendirme faktörlerinin yer aldığı A başlangıç matrisi oluşturulur.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad i = 1,\dots,m \quad j = 1,\dots,n \qquad (13)$$

A_{ij} matrisinde m alternatif sayısını, n kriter sayısını göstermektedir. A matrisinin elemanlarından yararlanılarak ve aşağıdaki formül kullanılarak normalize edilmiş değerler hesaplanır ve R_{ij} matrisi elde edilir.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} a_{ij}^2}} \qquad (14)$$

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \qquad (15)$$

Adım 2: Ağırlıklandırılmış Normalize Edilmiş Karar Matrisinin Hesaplanması

Önce değerlendirme faktörlerine ilişkin ağırlık dereceleri W_j belirlenir. Daha sonra bir önceki aşamada hesaplanan normalize edilmiş değerler W_j değerleri ile çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize edilmiş değerler bulunur.

$$V_{ij} = W_j r_{ij} \qquad (16)$$

Burada W_j, j'ninci kriterin ağırlığıdır.

Adım 3: Pozitif-ideal Çözümün ve Negatif-ideal Çözümün Belirlenmesi

Ağırlıklı normal değere göre pozitif ideal çözüm (A^*) ve negatif ideal çözüm (A^-) değerleri bulunur. A^* ve A^- ağırlıklandırılmış normalize edilmiş değerler cinsinden tanımlanır.

$$A^* = \left\{V_1^*, V_2^*, ..., V_n^*\right\} \qquad (17)$$

$$A^- = \left\{V_1^-, V_2^-, ..., V_n^-\right\} \qquad (18)$$

Gerek ideal gerekse negatif ideal çözüm seti, değerleme faktörü sayısından yani m elemandan oluşmaktadır. Ulaşılabilir bütün en iyi ölçüt değerlerinin bileşimi pozitif ideal çözümdür. Negatif ideal çözüm ise ulaşılabilir en kötü ölçüt değerlerinden oluşur. Burada V_j^*, bütün mümkün alternatifler arasında j' ninci değer için en iyi değer, V_j^- ise bütün alternatifler arasında j' ninci ölçüt için en kötü değerdir.

Adım 4: Alternatifler Arasındaki Mesafe Ölçülerinin Hesaplanması
Alternatif arasındaki mesafe, n boyutlu Öklit (Euclidean) Uzaklık Yaklaşımından yararlanılarak bulunmaktadır. Her alternatifin pozitif ideal çözümden olan mesafesi (S_i^*) ve negatif ideal çözümden olan mesafesi (S_i^-) aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (V_{ij} - V_j^*)^2} \qquad (19)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (V_{ij} - V_j^-)^2} \qquad (20)$$

Burada hesaplanacak S_i^* ve S_i^- sayısı, karar noktası sayısı kadar olacaktır.

Adım 5: Pozitif-ideal Çözüme Olan Benzerliğin Hesaplanması(İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması)
Her bir karar noktasının ideal çözüme göreli yakınlığı (C_i^*) ya da diğer bir ifadeyle pozitif ideal çözüme olan benzerlikler; aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \qquad (21)$$

Burada C_i^* değeri $0 \le C_i^* \le 1$ aralığında değer alır. $A_i = A^*$ olduğu zaman $C_i^* = 1$ olur ve ilgili karar noktasının ideal çözüme, $A_i = A^-$ olduğu zaman $C_i^+ = 0$ dır ve ilgili karar noktasının negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını gösterir.

Adım 6: Her Bir Alternatifin Göreceli Sıralamasının Ve Puanının Bulunması
Alternatifler C_i^* ye göre azalan sırada sıraya dizilerek tercih sırası belirlenir. Maksimum C_i^* ye sahip, diğer bir değişle ideale en yakın alternatif seçilir.

5. UYGULAMA

Bu çalışmada ana ve alt kriterlerin ikili karşılaştırılmasında klasik ve bulanık AHP yöntemlerinden yararlanılmış ve kriterlerin ağırlıkları elde edilmiştir. Elde edilen kriter ağırlıkları TOPSIS yönteminde kullanılmış ve firmaların finansal oranlara dayanan 2009 yılı performansları bulunmuştur. Finansal oranlar FINNET veri tabanından elde edilmiştir. Çimento şirketlerinin hesaplanan finansal oranları Tablo 4'ten görülebilir.

Tablo 4: Çimento şirketlerinin 2009 yılına ait finansal oranları

	KONYA	ADANA	BOLU	ÜNYE	ÇİMSA
LO					
LO1	8.50	5.93	7.58	5.57	1.23
LO2	6.91	4.20	5.35	4.48	0.67
LO3	5.57	1.85	0.99	2.94	0.22
MYO					
MYO1	9.84	15.72	14.10	6.78	4.48
MYO2	0.90	0.94	0.93	0.85	0.78
MYO3	8.84	14.71	13.11	5.78	3.48
FO					
FO1	4.26	15.21	5.29	8.88	8.22
FO2	5.76	10.62	2.99	5.73	7.51
FO3	0.47	0.94	0.57	0.56	0.51
FO4	1.03	8.55	1.70	1.44	11.49
FO5	0.54	0.53	0.59	0.32	0.72
KO					
KO1	0.06	0.15	0.10	0.21	0.11
KO2	0.07	0.16	0.11	0.24	0.14
KO3	0.13	0.32	0.18	0.37	0.22
PDO					

PDO1	15.58	10.58	13.20	8.47	9.43
PDO2	1.04	2.87	1.20	1.65	1.09
PDO3	4.69	0.48	0.12	0.40	0.80

Bu çalışmada ana ve alt kriterlerin ikili karşılaştırılmasında Saaty'nin Tablo 2'de verilen ölçeği kullanılmıştır. Oranları birbiriyle karşılaştırmak için anketler kullanılmıştır. Anketler her biri farklı alanda uzman olan (akademisyen, banka müdürü ve portföy yöneticisi) üç kişiye uygulanmıştır. Tablo 5'te üç karar vericinin ana kriterleri ikili karşılaştırmasının sonuçları verilmiştir. Çalışmada yalnızca ana kriterlerin sonuçları verilmiş ancak benzer işlemler her seferinde alt kriterlere de aynı şekilde uygulanmıştır. Ana ve alt kriterlerin her karar verici için tutarlılık oranları hesaplanmış ve tümünün 0.10'dan küçük olduğu görülmüştür.

Tablo 5: Ana kriterlerin ikili karşılaştırılmaları

Karar Verici 1					
	LO	MYO	FO	KO	PDO
LO	1	1/7	1/3	1/9	1/9
MYO	7	1	3	1/7	1/5
FO	3	1/3	1	1/7	1/7
KO	9	7	7	1	1
PDO	9	5	7	1	1
Karar Verici 2					
LO	1	1/5	1	1	1
MYO	5	1	9	9	3
FO	1	1/9	1	1	3
KO	1	1/9	1	1	1
PDO	1	1/3	1/3	1	1
Karar Verici 3					
LO	1	5	3	3	5
MYO	1/5	1	1	1/3	3
FO	1/3	1	1	1/5	5
KO	1/3	3	5	1	9
PDO	1/5	1/3	1/5	1/9	1

Çalışmada üç karar verici olduğundan, karar vericilerin değerlendirmelerini birleştirebilmek için iki farklı yaklaşım uygulanmıştır. Bunlardan ilki klasik AHP'de kullanılan geometrik ortalama yaklaşımıdır. Üç karar vericinin değerlendirmelerinin geometrik ortalamaları ana ve alt kriterler için hesaplanarak birleşik değerlendirmeler elde edilmiştir. Tablo 6'da ana kriterler için hesaplanmış geometrik ortalamalar verilmiştir. Aynı tablodan normalize edilmiş değerler, kriter ağırlıkları ve tutarlılık oranı da görülebilir. Benzer hesaplamalar alt kriterler içinde yapılmış sonuçta Tablo 8'de verilen ana ve alt kriterlerin ağırlıkları elde edilmiştir

Tablo 6: Ana kriterler için hesaplanmış geometrik ortalama, kriter ağırlığı değerleri ve tutarlılık oranı

Geometrik Ortalama ile Birleşik Karşılaştırmalar							
	LO	MYO	FO	KO	PDO		
LO	1.00	0.52	1.00	0.69	0.82		
MYO	1.91	1.00	3.00	0.75	1.22		
FO	1.00	0.33	1.00	0.31	1.29		
KO	1.44	1.33	3.27	1.00	2.08		
PDO	1.22	0.82	0.78	0.48	1.00		
Normalize Edilmiş Birleşik Karşılaştırmalar						Kriter	Tutarlılık
	LO	MYO	FO	KO	PDO	Ağırlığı	Ölçütü
LO	0.15	0.13	0.11	0.21	0.13	0.15	5.12
MYO	0.29	0.25	0.33	0.23	0.19	0.26	5.21
FO	0.15	0.08	0.11	0.09	0.20	0.13	5.13
KO	0.22	0.33	0.36	0.31	0.32	0.31	5.21
PDO	0.19	0.21	0.09	0.15	0.16	0.16	5.10
						Tutarlılık Oranı	0.03

Karar vericilerin değerlendirmelerini birleştirmek için kullanılan ikinci yaklaşım ise bulanık AHP'de kullanılan bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımda eşitlik 22 yardımıyla bulanık değerlendirmeler elde edilir (Chen vd. 2006; Ertuğrul ve Karakaşoğlu, 2009). Böylece karar vericilerin ikili karşılaştırma değerleri üçgensel bulanık sayılara dönüştürülür.

$$(\tilde{x}_{ij}) = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$$

$$l_{ij} = \min_k \{a_{ijk}\}, \quad m_{ij} = \frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K} b_{ijk}, \quad u_{ij} = \max_k \{c_{ijk}\} \tag{22}$$

Örneğin LO'nun MYO ile karşılaştırılmasında birinci karar verici 1/7, ikinci karar verici 1/5 ve üçüncü karar verici 5 değerini vermiştir. Bu durumda elde edilen üçgensel bulanık sayının olası en küçük değeri bu değerlendirmelerin en küçük değeri olan 1/7, olası en büyük değeri bu değerlendirmelerin en büyük değeri olan 5 ve olası değeri de bu değerlendirmelerin aritmetik ortalaması olan 1.78 olarak bulunmuştur. Tablo 7'de ana kriterler için hesaplanmış birleşik üçgensel bulanık değerler verilmiştir.

Tablo 7: Ana kriterler için hesaplanmış birleşik üçgensel bulanık değerler

	LO	MYO	FO	KO	PDO	TOPLAM
LO	(1,1,1)	(0.14,1.78,5)	(0.33,1.44,3)	(0.11,1.37,3)	(0.11,2.04,5)	(1.70,7.63,17)
MYO	(0.20,4.07,7)	(1,1,1)	(1,4.33,9)	(0.14,3.16,9)	(0.20,2.07,3)	(2.54,14.63,29)
FO	(0.33,1.44,3)	(0.11,0.48,1)	(1,1,1)	(0.14,0.45,1)	(0.14,2.71,5)	(1.73,6.09,11)
KO	(0.33,3.44,9)	(0.11,3.37,7)	(1,4.33,7)	(1,1,1)	(1,3.67,9)	(3.44,15.81,33)
PDO	(0.20,3.40,9)	(0.33,1.89,5)	(0.20,2.51,7)	(0.11,0.70,1)	(1,1,1)	(1.84,9.50,23)
					TOPLAM	(11.26,53.66,113)

Ana ve alt kriterler için birleşik üçgensel bulanık değerler elde edildikten sonra, bu değerlere bulanık AHP uygulanmıştır. Ana kriterler için bulanık AHP'nin uygulanışı aşağıda verilmiştir. Önce eşitlik 3 yardımıyla sentetik değerler hesaplanmıştır.

$S_{LO} = (1.70, 7.63, 17) \otimes (1/113, 1/53.66, 1/11.26) = (0.02, 0.14, 1.51)$

$S_{MYO} = (2.54, 14.63, 29) \otimes (1/113, 1/53.66, 1/11.26) = (0.02, 0.27, 2.58)$

$S_{FO} = (1.73, 6.09, 11) \otimes (1/113, 1/53.66, 1/11.26) = (0.02, 0.11, 0.98)$

$S_{KO} = (3.44, 15.81, 33) \otimes (1/113, 1/53.66, 1/11.26) = (0.03, 0.29, 2.93)$

$S_{PDO} = (1.84, 9.50, 23) \otimes (1/113, 1/53.66, 1/11.26) = (0.02, 0.18, 2.04)$

Bu vektörleri kullanarak, kriterlerin olası dereceleri eşitlik 9 yardımıyla hesaplanmıştır.

$V(S_{LO} \geq S_{MYO})=0.92$, $V(S_{LO} \geq S_{FO})=1$, $V(S_{LO} \geq S_{KO})=0,907$, $V(S_{LO} \geq S_{PDO})=0,977$

$V(S_{MYO} \geq S_{LO})=1$, $V(S_{MYO} \geq S_{FO})=1$, $V(S_{MYO} \geq S_{KO})=0.991$, $V(S_{MYO} \geq S_{PDO})=1$

$V(S_{FO} \geq S_{LO})=0.97$, $V(S_{FO} \geq S_{MYO})=0.857$, $V(S_{FO} \geq S_{KO})=0.839$, $V(S_{SYO} \geq S_{PDO})=0,938$

$V(S_{KO} \geq S_{LO})=1$, $V(S_{KO} \geq S_{MYO})=1$, $V(S_{KO} \geq S_{FO})=1$, $V(S_{KO} \geq S_{PDO})=1$

$V(S_{PDO} \geq S_{LO})=1$, $V(S_{PDO} \geq S_{MYO})=0.955$, $V(S_{PDO} \geq S_{FO})=1$, $V(S_{PDO} \geq S_{KO})=0,945$

Sonuçta ana kriterlerin ağırlık vektörü eşitlik 10 ve 11 kullanılarak $W_{Amaç}=(0.91,0.99,0.84,1,0.94)^T$ olarak elde edilmiş ve bu vektör eşitlik 12 kullanılarak normalleştirildiğinde $W_{Amaç}=(0.193,0.212,0.179,0.213,0.202)^T$ olarak bulunmuştur. Ana kriterler için yapılan bu hesaplamalar, benzer şekilde tüm alt kriterler için de yapılmış ve Tablo 8'de verilen ağırlıklar elde edilmiştir.

Tablo 8 incelendiğinde klasik AHP ile elde edilen ana kriter ağırlıklarında en önemli oranın %31 ile karlılık oranı (KO) olduğu, bunu %26 ile mali yapı(MYO), %16 ile .piyasa değeri (PDO), %15 ile likidite (LO) ve %13 ile faaliyet oranının (FO) takip ettiği görülür. En küçük ağırlık %13 ve en büyük ağırlık %31 olarak bulunmuştur. Ana kriterler için bulanık AHP'de ise ağırlıklar %18 ile %21 arasında olup birbirine bir hayli yakındırlar. Bulanık AHP ile elde edilen ana kriter ağırlıklarında %21 ile mali yapı oranı (MYO) ve karlılık oranı (KO) ilk sırada yer almaktadır. Bunları takip eden diğer ana kriter ağırlıkları sırasıyla; %20 ile piyasa değeri oranı (PDO), %19 ile likitide oranı (LO) ve %18 ile faaliyet oranıdır (FO). Benzer şekilde alt kriterler klasik AHP ile incelendiğinde özkaynaklar/aktif oranının (MYO2) %15 ile ilk sırada yer alarak en önemli alt kriter olduğu görülmektedir. İkinci sırada %14 ile özkaynaklar karlılığı oranı (KO2) yer almaktadır. Tüm alt kriter ağırlıkları %2 ile %15 arasında dağılım göstermektedir. Bulanık AHP'de de benzer sonuçla karşılaşılmış, özkaynaklar/aktif oranı (MYO2) % 15 ile ilk sırada yer almıştır. Klasik AHP ikinci sırada yer alan özkaynaklar karlılığı oranı (KO2) bulanık AHP de %12 ile benzer şekilde ikinci sırada yer almıştır. Bulanık AHP de alt kriter ağırlıkları %1 ile %15 arasında dağılım göstermektedir. Bulanık AHP'de ana kriterler arasındaki dağılım %19 ile %21 arasında klasik AHP'ye göre birbirine oldukça yakın bulunmuş, ancak bu durum alt kriterler için incelendiğinde dikkat çeken bir fark gözlenmemiştir.

Tablo 8: Kriterlerin klasik ve bulanık AHP için hesaplanmış ağırlıkları

Klasik			Bulanık		
Kriter	Ağırlık	Genel Ağırlık	Kriter	Ağırlık	Genel Ağırlık
LO	0.15		**LO**	0.19	
LO1	0.17	0.03	LO1	0.30	0.04
LO2	0.41	0.06	LO2	0.35	0.05
LO3	0.42	0.06	LO3	0.36	0.05
MYO	0.26		**MYO**	0.21	
MYO1	0.25	0.06	MYO1	0.39	0.10
MYO2	0.58	0.15	MYO2	0.58	0.15
MYO3	0.17	0.04	MYO3	0.03	0.01
FO	0.13		**FO**	0.18	
FO1	0.15	0.02	FO1	0.19	0.02
FO2	0.23	0.03	FO2	0.21	0.03
FO3	0.18	0.02	FO3	0.20	0.03
FO4	0.16	0.02	FO4	0.20	0.03
FO5	0.28	0.04	FO5	0.21	0.03
KO	0.31		**KO**	0.21	
KO1	0.26	0.08	KO1	0.31	0.10
KO2	0.45	0.14	KO2	0.37	0.12
KO3	0.29	0.09	KO3	0.32	0.10
PDO	0.16		**PDO**	0.20	
PDO1	0.24	0.04	PDO1	0.32	0.05
PDO2	0.15	0.02	PDO2	0.26	0.04
PDO3	0.62	0.10	PDO3	0.42	0.07

Klasik ve bulanık AHP yöntemleriyle kriterlerin ağırlıkları bulunduktan sonra, bu ağırlıklar kullanılarak Tablo 4'te verilen oranlara TOPSIS yöntemi uygulanmıştır. Önce eşitlik 14 kullanılarak başlangıç matrisi A_{ij} normalleştirilmiş ve R_{ij} matrisi elde edilmiştir. Bu matris eşitlik 16 kullanılarak her iki yöntemle elde edilen ağırlıklarla çarpılarak ağırlıklı normalize matrisler bulunmuştur. Ardından eşitlik 17 ve eşitlik 18 kullanılarak pozitif ve negatif ideal çözümler belirlenmiş, eşitlik 19 ve eşitlik 20 kullanılarak pozitif S_i^* ve negatif S_i^- ideal çözümden olan mesafeler hesaplanmıştır. Son olarak ideal çözüme göreli yakınlık C_i^* değerleri eşitlik 21 kullanılarak hesaplanmış ve bu değerler normalleştirilerek çimento şirketleri bu değerlere göre sıralanmıştır. Tablo 9'da klasik AHP ağırlıkları ile elde edilen TOPSIS sonuçları verilmiştir. Buna göre performansı en iyi olan şirketin Adana Çimento (%29) olduğu, bunu Konya Çimento (%28) ve Bolu Çimentonun (%25) takip ettiği görülebilir, bu üç şirketin sıralama yüzdeleri birbirine yakınken, kalan iki şirketin sıralaması %9 olarak bulunmuştur. Tablo 10'dan bulanık AHP ağırlıkları ile elde edilen TOPSIS sonuçları görülebilir. Burada da en iyi performansı gösteren şirket yine Adana Çimento'dur (%32), ancak diğer şirketlerin sıralamasında farklılık söz konudur. Bolu Çimento (%27) ikinci, Konya Çimento (%23) üçüncü, Çimsa Çimento (%9) dördüncü ve Ünye Çimento (%8) son sıradadır.

Tablo 9: Klasik AHP ağırlıkları ile elde edilen TOPSIS sonuçları

	KONYA	ADANA	BOLU	ÜNYE	ÇİMSA
S_i^*	0.57	0.58	0.65	0.89	0.97
S_i^-	0.69	0.78	0.61	0.18	0.22
C_i	0.55	0.58	0.48	0.17	0.18
Normalleştirilmiş C_i	0.28	0.29	0.25	0.09	0.09

Tablo 10: Bulanık AHP ağırlıkları ile elde edilen TOPSIS sonuçları

	KONYA	ADANA	BOLU	ÜNYE	ÇİMSA
S_i^*	0.72	0.49	0.60	1.02	1.11

S_i^-	0.67	1.00	0.79	0.20	0.25
C_i	0.48	0.67	0.57	0.17	0.18
Normalleştirilmiş C_i	0.23	0.32	0.27	0.08	0.09

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Türkiye'deki çimento sektörü Avrupa'da ve dünyada önemli bir yer teşkil etmektedir. Çimento sektöründeki bu büyüme şirketler arasındaki rekabeti beraberinde getirmiş, şirketlerin performansları yöneticiler ve potansiyel ve mevcut yatırımcılar adına büyük önem teşkil eder duruma gelmiştir. Bu nedenle çimento sektöründeki şirketler üzerinde yapılan çalışmalar ülkemizde bir hayli fazladır. Özellikle son yıllarda performans ve değerlendirme gibi özelikler ön plana çıkmış, be nedenle de yapılan çalışmalar finansal veriler ve matematiksel yöntemler üzerinde yoğunlaşmıştır. Finansal oranları tek tek hesaplamak ve şirketleri bu şekilde değerlendirmek, şirketlerin finansal performansı hakkında genel bir yargıya ulaşmayı güçleştirmektedir. Çok kriterli karar verme yöntemleri bu sorunu ortadan kaldırarak genel tablo hakkında daha belirgin yargılara ulaşılmasını sağlar.

Bu amaçla çalışmada performans değerlendirmesinde genel bir yargıya ulaşmamızı sağlayacağını düşünülen kriterleri klasik AHP ve bulanık AHP ile karşılaştırıp ağırlıkları elde ettikten sonra TOPSIS ile sıralaması yapılmıştır. Çalışmada İMKB'ye kayıtlı 5 çimento firması için (Adana, Konya, Ünye, Çimsa, Bolu) performans değerlendirilmeleri için 5 ana kriter ve 17 alt kriter kullanılmıştır.

Uygulama sonucundaki bulgulara göre; klasik AHP ile elde edilen ana kriter ağırlıklarının en önemli oranının %31 ile karlılık oranı (KO) olduğu bunu %26 ile mali yapı (MYO), %16 ile piyasa değeri (PDO), %15 ile likidite (LO) ve %13 ile faaliyet oranının (FO) takip ettiği görülür. Bulanık AHP ile elde edilen ağırlıklar incelendiğinde %21 ile mali yapı oranı (MYO) ve karlılık oranı (KO) ilk sırada yer almakta, bu ağırlıkları %20 ile piyasa değeri oranı (PDO), %19 ile likitide (LO) ve %18 ile faaliyet oranı (FO) takip etmektedir. Ana kriterler için klasik AHP ve bulanık AHP ağırlıklarının dağılımı arasındaki fark dikkat çekmektedir. Karlılık oranlarının işletme ile ilgili tüm taraflar açısından en önemli, mali yapı oranları da işletmeye kredi sağlayanlar açısından çok önemli olduğu bilinmektedir. Çalışmada da bu iki ana kriterin her iki yöntemle elde edilen ağırlıklarının yüksek çıkması bu kriterlerin önemine bir kere daha vurgu yapmaktadır.

Tablo 9 incelendiğinde klasik AHP ağırlıkları ile elde edilen TOPSIS sıralamasına göre en başarılı şirket Adana çimento (%29) olarak belirlenmiştir. Adana çimentoyu sırasıyla, Konya çimento (%28), Bolu çimento (%25), Ünye çimento(%9) ve Çimsa çimento (%9) takip etmektedir.

Tablo 10'da bulanık AHP ağırlıkları ile elde edilen TOPSIS sonuçları verilmiştir, bu sonuçlar incelendiğinde benzer şekilde ilk sırada Adana çimentonun (%32) olduğu görülmektedir. Ancak Bolu çimento (%27) bulanık AHP ağırlıkları ile elde edilen TOPSIS sonuçlarında en başarılı ikinci şirket olarak karşımıza çıkmaktadır. Bolu çimentoyu sırasıyla; Konya çimento (%23), Çimsa çimento (%9), Ünye çimento (%8) takip etmektedir. Görüldüğü gibi klasik AHP ile bulanık AHP ağırlıkları ile elde edilen TOPSIS sonuçları farklılık göstermektedir. Ancak her iki yöntemle elde edilen TOPSIS sonuçlarında en başarılı şirket Adana çimentodur.

İSO'nun 2009 yılında açıkladığı 500 büyük sanayi kuruluşu sıralamasına göre çalışmada yer alan şirketler sırasıyla; Çimsa çimento (74), Adana çimento (169), Konya çimento (303), Ünye çimento (316) ve Bolu çimento (440) olarak karşımıza çıkmaktadır. Çimsa çimento Türkiye'nin 500 büyük sanayi kuruluşu sıralamasında 74. sırada yer alarak çalışmada geçen şirketler arasında birinci sıraya oturmuştur, ancak her iki yöntem ile elde edilen ağırlıkların TOPSIS sonuçlarında Çimsa çimento son sırada yer almaktadır. Bu farklılık dikkat çekmektedir.

Ertuğrul ve Karakaşoğlu'nun çimento sektöründe yer alan 15 şirket üzerinde yaptıkları benzer çalışmada periyot belirtilmemiş olsa da Adana çimento birinci sırada, Bolu çimento 2. , Ünye çimento ise 6. , Konya çimento 7. , Çimsa çimento 13. sırada yer almaktadır. Bu farklılığın sebebi olarak; kullanılan kriterler ve bunun yanında farklı karar vericilerin önceliklerinin işletmelerin finansal performans sıralamasını etkilediği şeklinde bir sonuca ulaşılabilir.

KAYNAKÇA

Albayrak, E.Y. ve H. Erkut (2005), "Banka Performans Değerlendirmede Analitik Hiyerarşi Süreç Yaklaşımı", **İTÜ dergisi/D Mühendislik,** 4(6), 47-58.

Buckley, J. J. (1985). "Fuzzy hierarchical analysis", **Fuzzy Sets and Systems**, 17(3), 233-247.

Bülbül, S. ve A. Köse (2011), "Türk Gıda Şirketlerinin Finansal Performansının Çok Amaçlı Karar Verme Yöntemleriyle Değerlendirilmesi", **Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 10. Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı,** 25, 71-97.

Chang, D.Y. (1996), "Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP", **European Journal of Operational Research**, 95(3), 649-655.
Chen, C. T., C.T. Lin, ve S.F. Huang (2006) "A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management", **International Journal of Production Economics,** 102, 289–301.
Dağdeviren, M., S. Yavuz ve N. Kılınç (2009), "Weapon Selection Using The AHP And TOPSIS Methods Under Fuzzy Environment", **Expert Systems with Applications**, 36, 8143–8151.
Ecer, F., S. Vurur, ve L. Özdemir (2009), "Bulanık Bir Modelle Firmaları Değerlendirme Ve Optimal Portföy Oluşturma: Çimento Sektöründe Bir Uygulama", **Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, 6(11), 478-502.
Eleren, A. (2007), "İMKB'ye Kayıtlı Çimento İşletmelerinin Finansal Tablolarının Bulanık Mantık Yaklaşımı İle Değerlendirilmesi", **Afyon Kocatepe Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi**, 9(1),141-453.
Ertuğrul, İ. ve N. Karakaşoğlu (2009), "Performance Evaluation Of Turkish Cement Firms With Fuzzy Analytic Hierarchy Process And TOPSIS Methods", **Expert Systems with Applications**, 36, 702–715.
Gül, M. N. ve S. Elevli (2006), "Tamsayılı Doğrusal Programlama ile Bir Çimento Fabrikasının Nakliye Probleminin Çözümü", **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 22(1-2), 229-241.
Kahraman, C., U. Cebeci ve D. Ruan (2004), "Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: The case of Turkey" **International Journal of Production Economics**, 87(2), 171-184.
Kaptanoğlu, D. ve A.F. Özok (2006), "Akademik performans değerlendirmesi için bir bulanık model", **itüdergisi/d mühendislik**, 5(1), 193-204.
Kayalıdere, K. ve S. Kargın (2004), "Çimento ve Tekstil Sektöründe Etkinlik Çalışması ve Veri Zarflama Analizi", **Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, 6(1), 196-219.
Korkmaz, T., H. Uygurtürk, R.İ. Gökbulut ve G. Göğer (2008), "IMKB'de İşlem Gören Çimento İşletmelerinin Varlık Performansına Etki Eden Finansal Faktörlerin Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma", **Marmara Üniversitesi, İİBF Dergisi**, 25(2), 565-587.
Kula, V. ve L. Özdemir (2007), "Çimento Sektöründe Göreceli Etkinsizlik Alanlarının Veri Zarflama Analizi Yöntemi İle Tespiti", **Afyon Kocatepe Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi**, 9(1), 55-70.
Ötkür, F. (2008), "Yeni Ürün Geliştirme Sürecinde Tedarikçi Bütünleşmesinin TOPSIS Yöntemi İle Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
Özer, A., M. Öztürk ve A. Kaya (2010), "İşletmelerde Etkinlik Ve Performans Ölçmede VZA, Kümeleme Ve TOPSIS Analizlerinin Kullanımı: İMKB İşletmeleri Üzerine Bir Uygulama", **Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, 14 (1), 233-260.
Seçme, N.Y. ve A.İ. Özdemir (2008) "Bulanık Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile Çok Kriterli Stratejik Tedarikçi Seçimi: Türkiye Örneği", **İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi**, 22(2), 175-191.
Sekreter, S., G. Akyüz ve E. İpekçi Çetin (2004), "Şirketlerin Derecelendirilmesine İlişkin Bir Model Önerisi: Gıda Sektörüne Yönelik Bir Uygulama", **Akdeniz Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi**, 8, 139-155.
Serhan, S. ve S. Tuğçe (2006), "Kentsel Sismik Risklerin Belirlenmesi Türkiye Büyükşehirlerinde Risk Oluşturan Etkenlerin Karşılaştırılması", **TMMOB Afet Sempozyumu**, 231-239.
Soner, S. ve S. Önüt (2006), "Çok Kriterli Tedarikçi Seçimi: Bir Electre-Ahp Uygulaması", **Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi**, 4, 110-120.
Tsai, H.Y., B.H. Huang ve S. Wang (2008), "Combining ANP and TOPSIS Concepts for Evaluation the Performance of Property-Liability Insurance Companies", **Journal of Social Sciences**, **4 (1**), 56-61.
Uyanık, E.E. (2005), "Çok Kriterli Karar Alma Yöntemlerinin Tedarikçi Seçimi Problemlerine Uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, Galatasaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
Üstündağ, E. (2009), "Veri Zarflama Analizi İle Verimliliğin Değerlendirilmesi: Çimento Sektörü Üzerine Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
Wu, C.R., C.T. Lin ve P.H. Tsai (2008), "Financial Service of Wealth Management Banking:Balanced Scorecard Approach", **Journal of Social Sciences**, 4 (4), 255-263.
van Laarhoven, P.J.M. ve W. Pedrycz (1983) "A fuzzy extension of Saaty's priority theory", **Fuzzy Sets and Systems**, 11(1-3), 199-227.
Yılmaz, M. ve D. Çıracı (2004), "Hisse Senetleri İMKB'de İşlem Gören Çimento Şirketleri'nin Likidite ve Karlılık Açısından Veri Zarflama Yöntemi ile Etkinlik Analizi", **Muhasebe Bilim Düyası Dergisi**, 6(3), 129-148.
Yurdakul, M. ve Y.T. İç (2003), "Türk Otomotiv Firmalarının Performans Ölçümü ve Analizine Yönelik Topsıs Yöntemini Kullanan Bir Örnek Çalışma", **Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi**, 18(1), 1-18.
Yüksel, İ. ve A. Akın (2006), "Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemiyle İşletmelerde Strateji Belirleme", **Doğuş Üniversitesi Dergisi**, 7(2), 254-268.
Zadeh, L. A. (1965) "Fuzzy sets", **Information and Control**, 8(3), 338-353.

İMKB'YE KOTE EDİLMİŞ SİGORTA ŞİRKETLERİNİN MALİ ANALİZİNİN AHP VE TOPSIS YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Nezih TAYYAR
Uşak Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi
İşletme Bölümü
nezih.tayyar@usak.edu.tr

Selin TEKİN
Uşak Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
İşletme Anabilim dalı Yüksek Lisans Öğrencisi
104005005@usak.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, İMKB'ye kote edilmiş hayat branşı dışındaki sigorta şirketlerinin 2009 yılı performanslarını finansal oranlar kullanarak değerlendirmektir. Altı sigorta şirketi seçilmiştir. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) ve TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. AHP ve BAHP ile kriterlerin ağırlıkları elde edilmiştir. Ardından TOPSIS yöntemi ile sigorta firmaları performanslarına göre sıralanmıştır. Kriterlerin ağırlıkların belirlenmesinde AHP'nin BAHP'den daha iyi sonuç verdiği bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: **Sigorta Şirketlerinin Mali Analizi, AHP, bulanık AHP, TOPSIS.**

EVALUATING PERFORMANCE OF INSURANCE FIRMS IN ISTANBUL STOCK EXCHANGE WITH AHP AND TOPSIS METHODS

ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate the performance of the insurance firms (excluding life insurance firms) in the Istanbul Stock Exchange by using financial ratios in the period of 2009. Six insurance firms were selected. Analytic Hierarchy Process (AHP), fuzzy Analytic Hierarchy Process (BAHP) and TOPSIS methods were used. The weights of the criteria were obtained by AHP and FAHP. Then TOPSIS was used to find rankings of the insurance firms. It has been found that AHP is more convenient than BAHP for weighting criteria.

Keywords: **Financial analysis of Insurance Firms, AHP, fuzzy AHP, TOPSIS.**

1.GİRİŞ

Sigorta; aynı riske maruz kalan insanların ve işletmelerin bir araya gelerek, sigorta şirketi ile yaptıkları sözleşme kapsamında doğacak zararın giderilmesini, sigorta şirketine önceden yaptıkları ödemeler karşılığında güvence altına almalarıdır (Şenel, 2006:298). Günümüz insan yaşamındaki risklerin artması ile beraber insanlar değer verdiği varlıklarını koruma ihtiyacı hissetmişlerdir. Bu riskleri güvence altına alma ve muhafaza etme fonksiyonu sigorta şirketleri tarafından yerine getirilmektedir. Sigortacılık faaliyeti belirsizlikler üzerine kurulmuş olup, fiyatlandırma, maliyetlerinin kontrolü, rekabet, karlılık, pazardaki hedefler gibi konuların çok önceden planlaması oldukça güçtür. Sigorta şirketlerinin sektörde orta ve uzun vadede ayakta kalabilmeleri için mali yapılarının güçlü olması gerekir ki bu da yapılacak mali analizler ile mümkündür. Bu nedenle sektörde faaliyet gösteren şirketler, önceki dönem verilerinden hareketle, gelecek dönem için işletmelerine yön vermeye çalışırlar. Mali analiz sonuçları şirketlerin, geçmiş dönemdeki sermaye yeterlilikleri, aktif kalitesi ve likidite durumu, faaliyet etkinliği ve karlılık durumu gibi verileri ortaya koyarak gelecek dönemi öngörmeyi sağlar.

Bu çalışmada, İMKB' ye kote edilmiş hayat branşı dışındaki sigorta şirketlerinin 2009 yılına ait finansal verilerinden hareketle, söz konusu şirketlerin sermaye yeterlilikleri, aktif kalitesi ve likidite durumu, faaliyet etkinliği ve karlılık durumu ile ilgili finansal oranlara AHP, bulanık AHP ve TOPSIS yöntemleri uygulanmış ve bu sayede söz konusu şirketlerin mali yapı performansları belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca klasik AHP ile bulanık AHP'nin sonuçları da karşılaştırılmıştır.

Yapılan bu çalışmanın diğer çalışmalardan iki farkı bulunmaktadır: Birincisi, bugüne kadar yapılmış çalışmalar genel olarak birden fazla dönemi ele almış, tek dönemi ele alan çalışmalarda ise İMKB' ye kayıtlı hayat branşı dışındaki sigorta şirketlerinin 2009 yılı için herhangi bir değerlendirmesi yapılmamıştır. Diğer fark ise; sigorta şirketlerinin mali performansını araştıran diğer çalışmalarda, sigorta şirketlerinin mali performans değerlendirmesine yönelik AHP, bulanık AHP ve TOPSIS' in birlikte kullanıldığı herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu anlamda yapacağımız çalışma ilk olma özelliği taşımaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Yapılan literatür incelemesi sonucunda, çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan AHP, bulanık AHP ve TOPSIS' in gerek ulusal alanda gerekse uluslar arası bir çok farklı alanda, hem ayrı ayrı hem de birlikte kullanıldığı pek çok çalışmaya rastlanmıştır. Ancak sigorta şirketlerinin mali performansının değerlendirilmesine yönelik olarak yapılan çalışmalarda genel olarak Veri Zarflama Analizi (VZA) kullanılarak etkinliğin ölçüldüğü gözlenmiştir. Sigorta şirketlerinin mali performanslarının değerlendirilmesine yönelik AHP ve TOPSIS' in birlikte kullanıldığı herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Sigorta sektörünün etkinlik analizi ile ilgili literatürde bulunan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Köse ve Şimşek (1999), çalışmalarında 1990-1996 döneminde faaliyet gösteren sigorta şirketlerinin likidite, karlılık ve kapasitelerini Dupont analizi kullanarak değerlendirmiştir. Çiftçi (2004), hayat ve hayat dışı sigorta şirketlerinin 1998-2002 dönemi için teknik etkinliklerini VZA kullanarak belirlemiştir. Çiftçinin yaptığı bu çalışmada, dört girdi ve iki çıktı, 1998-2002 dönemi ortalaması alınarak analize dahil edilmiştir. Sonuçlara göre, hayat dışı branşlarda faaliyet gösteren 41 şirketten 11'i etkin bulunurken, hayat branşında faaliyet gösteren şirketlerin 12' sinin etkin, 9'unun etkin olmadığını saptamıştır. Özcan (2011), Türkiye' de faaliyette bulunan hayat dışı sigorta sektörünün 2002-2009 dönemindeki teknik etkinliklerini VZA kullanarak değerlendirdiği çalışmasında, girdi olarak; acente sayısı, çalışan sayısı, ve sabit varlıklar, çıktı olarak ise, toplanan primler, bilanço karı ve teknik karı kullanmış ve çalışma sonunda, 2003, 2005, 2006 yıllarında sigorta sektörünün etkin çalışmadığını tespit etmiştir. Turgutlu vd. (2007), 1990-2004 dönemleri için hayat dışı alanlarda faaliyet gösteren Türk sigortacılık şirketlerinin teknik etkinliğini geleneksel VZA ve son dönemde geliştirilen şans kısıtlı VZA kullanarak belirlemeye çalışmışlardır. Çalışma sonucunda ele alınan dönemlerde, Türk sigortacılık sektöründe hayat dışı alanlarda belirgin bir etkinsizlik sorunu olduğunu ortaya koymuşlardır. Her iki yöntemin sonuçlarının tutarlılığının ölçülmesi için, Spearman sıra korelasyonu ve Mann-Whitney-Wilcoxon testi uygulanmış ve farklı yöntemlerden elde edilen bulguların etkinlik düzeylerinin sıralamaları bakımından oldukça tutarlı olduğu ancak ortalama etkinlik düzeyleri ele alındığında belirgin farklılıkların meydana geldiği sonucunu elde etmişlerdir. Kayalı (2007), yapmış olduğu bir çalışmasında, 2000-2006 dönemi için Türkiye' de faaliyet gösteren sigorta şirketlerinin sektörel bazda teknik, saf ve ölçek etkinliklerini belirlemek için, etkinlik değerlerini VZA ile hesaplamış, etkinlik değerlerinin dönem içindeki değişimini ise Malmquist Toplam Faktör Verimliliği Endeksini kullanarak ölçmüştür ve incelenen dönemde sigorta şirketlerinin teknik etkinliğinde artış gözlemlenmiştir. Altan (2010), çalışmasında Türkiye sigortacılık sektöründe hayat dışı branşta faaliyet gösteren 25 sigorta şirketinin birbirlerine göre etkinliklerini 2005-2007 dönemi için VZA kullanarak değerlendirmiştir. Literatürde AHP, bulanık AHP ve TOPSIS' in farklı sektörlerde birlikte kullanıldığı çalışmalardan bazıları şöyle özetlenebilir. Ustasüleyman (2009), ticari bankalarda

hizmet kalitesi kriterlerini belirlemek ve bu kriterlere göre üç ayrı ticari bankanın hizmet performansını değerlendirilmeye yönelik yaptığı çalışmasında, hizmet kalitesinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan hizmet kalitesi boyutlarının önem derecesini AHP ile belirlemiş daha sonra TOPSIS yöntemi kullanarak üç ticari bankanın hizmet performansını değerlendirmiştir. Tekindal ve Erümit (2007), yüksek lisans öğrenci seçimi problemine yönelik yaptıkları çalışmalarında, AHP ve bulanık AHP yöntemini kullanmış ve bu yöntemlerin birbiriyle karşılaştırılmasını değerlendirmiştir. Karğın (2010), hisse senetleri İMKB' de işlem gören 26 tekstil firmasının 2006-2008 finansal performanslarını ölçmek ve karşılaştırmak için, bulanık AHP ve TOPSIS analizinden yararlanmıştır.

3. KAPSAM VE VERİLER

Çalışmanın kapsamını İMKB'ye kote edilmiş hayat branşı dışındaki sigorta şirketleri oluşturmaktadır. Bu çalışmada sermaye yeterlilikleri, aktif kalitesi ve likidite durumu, faaliyet etkinliği ve karlılık durumunun analizini yapılacak ve bu sayede 2009 yılında göstermiş oldukları mali performansa göre değerlendirilecek 6 sigorta şirketi; Aksigorta A.Ş. (AKGRT), Anadolu Anonim Türk Sigorta Şirketi (ANSGR), Aviva Sigorta A.Ş. (AVIVA), Güneş Sigorta A.Ş. (GUSGR), Ray Sigorta A.Ş. (RAYSG), Yapı Kredi Sigorta A.Ş. (YKSGR) bulunmaktadır. 2009 yılı mali performanslarını değerlendirmek için seçilen hayat branşı dışındaki bu şirketler, Türkiye Sigorta ve Reasürans Birliği'ne üye olan ve İMKB'ye kote edilmiş şirketlerdir. Çalışmada sigorta şirketlerinin, mali performanslarının değerlendirilmesinde kullanılmak üzere, sigorta şirketlerinin mali analizinde kullanılan 4 ana oran (kriter) ve alt oranlar (kriterler) (Başpınar, 2005:14-16), söz konusu şirketlerin 2009 yılı temel mali tablolarından hareketle belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan finansal oranlar ve bu oranların nasıl hesaplandığı Tablo 1'de verilmiştir. Sigorta şirketlerinin performanslarının değerlendirilmesinde kullanılacak dört ana kriter ve 17 alt kriter söz konusudur. Ana kriterler sermaye yeterliliğine ilişkin oranlar (SYO), faaliyet oranları (FO), aktif kalitesi ve likiditeye ilişkin oranlar (ALO) ve karlılık oranlarıdır (KO). Tablo 1'den görüldüğü gibi SYO'nun üç, FO'nun iki, ALO'nun beş ve KO'nun yedi alt kriteri vardır.

Tablo 1. **Sigorta Şirketlerinin Mali Bünyelerinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Finansal Oranlar***

Sermaye Yeterliliğine İlişkin Oranlar (SYO)	Faaliyet Oranları (FO)
SYO1**: Alınan Primler (Brüt) / Özkaynaklar** SYO2**: Özkaynaklar / Aktif toplamı** SYO3**: Özkaynaklar / Teknik Karşılıklar (net)**	FO1**: Konservasyon Oranı = Alınan Primler (net) / Alınan Primler (Brüt)** FO2**: Tazminat Tediye Oranı = Ödenen Hasarlar / [Ödenen Hasarlar+ Muallak Hasar Karşılıkları]**
Aktif Kalitesi ve Likiditeye İlişkin Oranlar(ALO)	
ALO1**: Likit Aktifler / Aktif Toplamı** ALO2**: Likidite Oranı = [Nakit Değerler + Menkul Değerler Cüzdanı] / [Teknik Karşılıklar – Hayat Matematik Karşılıkları – Deprem Hasar Karşılıkları + Sigorta ve Reasürans Şirketi Cari Hesabı + Reasürörlerin Depoları + Ödenecek Vergi ve Diğer Yükümlülükler + Zorunlu Deprem Sigortasından Alacaklı Acenteler + Katılımcılar + Emeklilik Gözetim Sistemine Borçlar + Bonus ve İndirimler Karşılığı + Katılımcılar Geçici Hesabı + Alış Emirleri Hesabı + Bireysel Emeklilik Aracılarına Borçlar + Saklayıcı Şirkete Borçlar + Portföy Yönetim Şirketine Borçlar + Katılımcılara Borçlar +Diğer]** ALO5**:Acente Alacakları / Özkaynaklar**	ALO3**: Cari Oran = [Nakit Değerler + Menkul Değerler Cüzdanı + Alacaklar] / [Teknik Karşılıklar – Hayat Matematik Karşılıkları – Deprem Hasar Karşılıkları + Sigorta ve Reasürans Şirketi Cari Hesabı + Reasürörlerin Depoları + Ödenecek Vergi ve Diğer Yükümlülükler + Zorunlu Deprem Sigortasından Alacaklı Acenteler + Katılımcılar + Emeklilik Gözetim Sistemine Borçlar + Bonus ve İndirimler Karşılığı + Katılımcılar Geçici Hesabı + Alış Emirleri Hesabı + Bireysel Emeklilik Aracılarına Borçlar + Saklayıcı Şirkete Borçlar + Portföy Yönetim Şirketine Borçlar + Katılımcılara Borçlar +Diğer]** ALO4**:Prim ve Reasürans Alacakları / Aktif Toplamı**
Karlılık Oranları (KO)	
KO1**: Hasar Prim Oranı = [Ödenen Hasarlar+Muallak H.Krş.-Devreden Muallak H.Krş] / [Cari Yıl Alınan Primler+Devreden Cari Riz. Krş.- Cari Riz. Krş]** KO2**: Hasar Prim Oranı(net) = [Ödenen Hasarlar (net)+Muallak H.Krş.(net)- Devreden Muallak H.Krş (net)] / [Cari Yıl Alınan Primler (net)+Devreden Cari Riz. Krş. (net) - Cari Riz. Krş (net)]**	KO3**: Masraf Oranı = [Komisyonlar (net)+Toplam Giderler] / Alınan Primler** KO4**: Bileşik Rasyo = (Hasar Prim Oranı + Masraf Oranı)** KO5**: VÖK / Alınan Primler** KO6**: Mali Kar (Brüt) / Alınan Primler** KO7**: Teknik Kar / Alınan Primler**

***Çalışmada bulunan oranlar aşağıdaki kalemler göz önüne alınarak hesaplanmıştır:**

Alacaklar **= Prim Alacakları + Sigorta ve Reasürans Şirketleri Cari Hesabı + Sedan ve Retrosedanlar Nezdindeki Depolar + Dask Cari Hesabı + Bireysel Emeklilik Sistemi Alacakları + Diğer Borçlu Hesaplar**

Bireysel Emeklilik Sistemi Alacakları **= Katılımcılardan Alacaklar + Giriş Aidatı Hesabı + Diğer + Satış Emirleri Hesabı + Fonlardan Fon İşletim Kesintilerinden Alacaklar + Saklayıcı Şirketten Alacaklar + Emeklilik Yatırım Fonu Sermaye Avansı Tahsisi + Diğer Alacaklar**

Prim ve Reasürans Alacakları **= [Prim Alacakları (net) + Sigorta ve Reasürans Şirketleri Cari Hesabı + Sedan ve Retrosedanlar Nezdinde Depolar]**

Komisyonlar **(net)= Verilen Komisyonlar – Alınan Komisyonlar**

Toplam Gider**= Personel Giderleri+Yönetim Giderleri**

4. YÖNTEM

Bu çalışmada, İMKB'ye kote edilmiş hayat branşı dışındaki altı sigorta şirketinin mali performansını değerlendirmek için, çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan klasik AHP, bulanık AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. Ana ve alt kriterlerin ikili karşılaştırılmasında klasik ve bulanık AHP yöntemlerinden yararlanılmış ve kriterlerin ağırlıkları elde edilmiştir. Elde edilen kriter ağırlıkları TOPSIS yönteminde kullanılmış ve firmaların finansal oranlara dayanan 2009 yılı performansları bulunmuştur.

4.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), 1977 yılında Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen çok ölçütlü karar verme tekniklerinden biridir. AHP karar almada, grup veya bireyin önceliklerini de dikkate alan, nitel ve nicel değişkenleri bir arada değerlendiren matematiksel bir yöntemdir (Dağdeviren vd., 2004:132). AHP, alternatifler arasında seçim yaparken belirlenen kriterler çerçevesinde karar almaya dayanır (Özden, 2008:299). Diğer yöntemlerden farklı olarak AHP, karşılaştırmalı yargılar yardımı ile oransal olarak

ifade edilen karşılaştırmalı önem düzeylerine ulaşılmasını, karşılaştırmalı önem düzeyleri yardımı ile de değişkenler hakkında daha çok bilgiye sahip olunmasını sağlamaktadır. AHP yaklaşımının uygulama aşamaları aşağıdaki gibi özetlenmektedir (Saaty, 1994; Bayraktaroğlu ve Özgen, 2008:326):

1.Adım: Ana ve Alt Kriterlerin Belirlenip, Hiyerarşik Yapının Oluşturulması: **AHP'de karar vericinin amacı doğrultusunda faktörlerin ve faktörlere ait olan alt faktörlerin belirlenmesi ilk adımdır. AHP'de öncelikle amaç belirlenir ve bu amaç doğrultusunda amacı etkileyen faktörler saptanmaya çalışılır, bu aşamada karar sürecini etkileyen tüm faktörlerin belirlenebilmesi için anket çalışmasına veya bu konuda uzman kişilerin görüşlerine başvurulabilir (Dağdeviren vd., 2004:132).**

2.Adım: İkili Karşılaştırmaların Yapılması: **Hiyerarşik yapıda yer alan kriterlerin, ikili olarak birbiriyle karşılaştırılmasını içerir. Bu karşılaştırmalarda, Saaty tarafından önerilen önem ölçeği Tablo 2'de verilmiştir (Saaty, 1980; Akdeniz ve Turgutlu, 2007:6).**

Tablo 2**: Önem Ölçeği**

Önem Derecesi (a_{ij})	Yorum
1	**i ve j kriterleri eşit önemlidir.**
3	**i kriteri, j'den önemlidir.**
5	**i kriteri, j'den daha önemlidir**
7	**i kriteri, j'den çok daha önemlidir**
9	**i kriteri, j'den kesinlikle daha önemlidir**
2, 4, 6, 8	**Karar vericinin kesin bir yargıya varamadığı durumlarda kullanılabilecek ara değerledir.**

İkili karşılaştırmalar, AHP'nin en önemli aşamasıdır. İkili karşılaştırmaları elde etmek için göreceli veya mutlak ölçümler kullanılır. Bunlardan elde edilen bilgilere göre AHP'de yargılar bir matrise dönüştürülür. (Saaty, 1980; Dağdeviren ve Eren, 2001:43). AHP yönteminde a_{ij}, i. kriter ile j. kriterin ikili karşılaştırma değerini; a_{ji} ise j. kriter ile i. kriterin karşılaştırma değerini göstermektedir. AHP' de, a_{ji} değeri, $a_{ji}=1/a_{ij}$ eşitliğinden elde edilir (Saaty, 1980; Yüksel ve Akın, 2006:257).

3. Adım: Ağırlıkların Hesaplanması: **Bu adımda, ikili karşılaştırmalar sonucunda elde edilen karşılaştırma matrisleri normalleştirilerek, her matris için bir önem vektörü hesaplanır. Normalleştirme işlemi, karşılaştırma matrisindeki sütunlara ait sayıların, ilgili sütun toplamına bölünmesiyle gerçekleştirilir. Normalleştirilen matrisin her satırının ortalaması alınarak, ilgili kriter için ağırlıklar (önem vektörleri) elde edilir (Akdeniz ve Turgutlu, 2007:6).**

4. Adım: Sonuçların Geçerliliği İçin Tutarlılık Oranının Hesaplanması: **Karar vericinin faktörler arasında karşılaştırma yaparken tutarlı davranıp davranmadığını ölçmek için, oluşturulan her bir karşılaştırma matrisi için Tutarlılık Oranı'nın (T.O.) hesaplanması gerekir. Bu hesaplamada n alternatif sayısına bağlı olarak rastgele indeks (R.İ.) sayıları kullanılır. Hesaplamalar sonucunda bulunan değer 0.10' un altında çıkmışsa oluşturulan karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğu sonucuna varılır. Aksi durumda karşılaştırma matrisi tutarsızdır ve tekrar düzenlenmesi gerekir (Saaty, 1980; Dağdeviren vd., 2004:133).**

5. Adım: Her bir Alternatif İçin Öncelik Değerinin Bulunması: **AHP'nin son adımı kriterlerin önem ağırlıkları ile alternatiflerin önem ağırlıklarının çarpımı ve her bir alternatife ait öncelik değerinin bulunmasıdır. Bu değerlerin toplamı 1'e eşittir. En yüksek değeri alan alternatif, karar problemi için en iyi alternatiftir (Dağdeviren ve Eren, 2001:44).**

AHP'nin tüm parçaları birbirleri ile ilgilidir ve bir faktördeki değişimin diğer faktörleri nasıl etkilediği kolayca görülebilir. AHP yapısındaki bu esneklik ve etkinlik ile karar vericiye karar sürecinde çok yardımcı olur. Kararları bu yapıda kurarak; bir çok veri türü biraraya getirilebilir, performans seviyelerindeki farklılıklar birbirine uygun hale getirilebilir ve farklı gözüken nesneler arasında karşılaştırma yapılabilir (Tekindal ve Erümit, 2007:16).

4.2. Bulanık AHP Yöntemi

Bulanık kümeler kuramı, 1965 yılında Zadeh'in, klasik sistem kuramının matematiksel yöntemlerinin gerçek dünyadaki pek çok sistemle, özellikle insanları içeren kısmen karmaşık sistemlerle uğraşırken yetersiz kalmasından hoşnut olmayışından doğmuştur. Bulanık kümeler kuramı, muğlak ve belirsiz olan problemlerin çözülmesi için geliştirilmiştir. Zadeh'ten bu yana bulanık mantık ve bulanık kümeler kuramı pek çok alanda uygulama bulmuş ve hızla gelişmiştir (Kaptanoğlu ve Özok (2006:197)). Bu nedenle AHP'yi bulanık sayılarla kullanan yöntemler geliştirilmiştir (van Laarhoven ve Pedrycz (1983), Buckley (1985), Chang (1996)).

Yaygın olarak kullanıldığından ve uygulaması diğer yöntemlere göre daha az işlem gerektirdiğinden dolayı çalışmada Chang' in (1996) mertebe analizi yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin uygulanmasındaki adımlar aşağıda verilmiştir (Seçme ve Özdemir (2008:180-182), Kahraman vd. (2004:176-177)). Elemanların kümesinin $X=\{x_1,x_2,...,x_n\}$ olduğunu ve amaç kümesinin de $U=\{u_1,u_2,...,u_m\}$ olduğunu kabul edelim. Chang' in mertebe analizi yöntemine göre her bir eleman ele alınarak, her biri için sırası ile g_i amacı için derece analizi gösterilir. Bu nedenle her bir eleman için aşağıda gösterildiği gibi m derece analizi değeri elde edilir:

$$M_{g_i}^{1}, M_{g_i}^{2}, ...M_{g_i}^{m} \quad i=1,2,...,n \qquad \textbf{(1)}$$

burada tüm $M_{g_i}^{j}(j=1,2,...,m)$'ler üçgensel bulanık sayılardır. Derece analizi yöntemine göre ikili karşılaştırma matrislerinin ağırlıklarının hesaplanması için gerekli matematiksel işlemler aşağıda adım adım anlatılmıştır.

1. Adım: **i. eleman bakımından bulanık sentetik derecenin değeri aşağıdaki gibi tanımlanır:**

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j} \right]^{-1} \quad \textbf{(2)}$$

$\sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j}$ **ifadesini elde etmek için m dereceden analiz değerlerinin bulanık ilave matrisinde özel bir matris kullanılır. Bu matrisin matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir:**

$$\sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j} = \left(\sum_{j=1}^{m} l_j, \sum_{j=1}^{m} m_j, \sum_{j=1}^{m} u_j \right) \quad \textbf{(3)}$$

burada çarpımın ikinci kısmı olan $\left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j} \right]^{-1}$ **matematiksel ifadesini elde etmek için** $M_{g_i}^{j} (j = 1, 2, ..., m)$ **değerlerinin bulanık ilave işlemi aşağıdaki gibi gösterilir:**

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j} = \left(\sum_{i=1}^{n} l_i, \sum_{i=1}^{n} m_i, \sum_{i=1}^{n} u_i \right) \quad \textbf{(4)}$$

Eşitlik 4'deki vektörün tersi ise aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j} \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} l_i} \right) \quad \textbf{(5)}$$

2. Adım: **Karşılaştırılması yapılacak M_1 ve M_2 olmak üzere iki küme olsun.** $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ **eşitliğinin olabilirlik derecesi aşağıdaki gibi tanımlanır:**

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} \left[\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y)) \right] \quad \textbf{(6)}$$

ve bu ifade eşitlik 7'ye eşittir:

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d)$$

$$= \begin{cases} 1, & \text{eğer } m_2 \geq m_1, \\ 0, & \text{eğer } l_1 \geq u_2, \\ \dfrac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{diğer durumlarda,} \end{cases} \quad \textbf{(7)}$$

burada d değeri, μ_{M_1} **ve** μ_{M_2} **arasındaki en yüksek kesişim değeri olan noktanın ordinatıdır. M_1 ve M_2'nin karşılaştırılabilmesi için $V(M_1 \geq M_2)$ ve $V(M_2 \geq M_1)$ değerlerine ihtiyaç vardır.**

3. Adım: **Konveks bulanık bir sayının, k tane konveks bulanık sayı M_i (i=1,2,…,k)'dan büyük olmasının olası derecesi aşağıdaki gibi tanımlanabilir:**

$$V(M \geq M_1, M_2, ..., M_k)$$
$$= V\left[(M \geq M_1) \text{ ve } (M \geq M_2) \text{ ve ... ve } (M \geq M_k) \right] \quad \textbf{(8)}$$
$$= \min V(M \geq M_i), \ i = 1, 2, 3, ..., k.$$

Varsayalım ki k=1,2,…,n; k ≠ i için:

$$d'(A_i) = \min \ V(S_i \geq S_k). \quad \textbf{(9)}$$

Bu durumda ağırlık vektörü aşağıdaki gibi olur:

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), ..., d'(A_n))^T \quad \textbf{(10)}$$

burada A_i (i=1,2,…,n) n elemanlıdır.

4. Adım: **Normalizasyon işlemi ile normalize edilen ağırlık vektörü:**

$$W = (d(A_1), d(A_2), ..., d(A_n))^T \quad \textbf{(11)}$$

burada W bulanık olmayan bir sayıdır.

4.3. TOPSIS Yöntemi

Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen bu teknik, pozitif ideal çözümden en kısa mesafe ve negatif ideal çözümden en uzak mesafe alternatiflerinin seçilmesine dayanmaktadır. Pozitif-ideal çözüm; ulaşılabilir bütün en iyi kriterlerin bileşimidir. Negatif-ideal çözüm ise ulaşılabilir en kötü ölçüt değerlerinden oluşur. TOPSIS yöntemi aşağıda açıklanan uygulama aşamalarından oluşmaktadır (Bülbül ve Köse, 2011:78-80):

1. Adım: Karar Matrisi Oluşturularak Normalize Edilmiş Değerlerin Hesaplanması:**Önce satırlarında üstünlükleri sıralanmak istenen karar noktaları, sütunlarında ise karar vermede kullanılacak değerlendirme faktörlerinin yer aldığı A başlangıç matrisi oluşturulur.**

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad i = 1,\dots,m \quad j = 1,\dots,n \qquad \textbf{(12)}$$

A_{ij} matrisinde m alternatif sayısını, n kriter sayısını verir. A matrisinin elemanlarından yararlanarak ve aşağıdaki formül kullanılarak normalize edilmiş değerler hesaplanarak R_{ij} matrisi elde edilir.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} a_{ij}^2}} \qquad \textbf{(13)}$$

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \qquad \textbf{(14)}$$

2. Adım: Ağırlıklandırılmış Normalize Edilmiş Karar Matrisinin Hesaplanması: **Öncelikle değerlendirme faktörlerine ilişkin ağırlık değerleri W_j belirlenir. Daha sonra bir önceki aşamada hesaplanan normalize edilmiş değerler W_j değerleri ile çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize edilmiş değerler matrisi V_{ij} bulunur**.

$$V_{ij} = W_j r_{ij} \qquad \textbf{(15)}$$

Burada W_j, j'ninci kriterin ağırlığıdır.

3. Adım : Pozitif -İdeal Çözümün ve Negatif-İdeal Çözümün Belirlenmesi: **Ağırlıklı normal değere göre pozitif ideal çözüm (A^*) ve negatif ideal çözüm (A^-) değerleri bulunur. A^* ve A^- ağırlıklandırılmış normalize edilmiş değerler cinsinden tanımlanır.**

$$A^* = \left\{V_1^*, V_2^*, ..., V_n^*\right\} \qquad \textbf{(16)}$$

$$A^- = \left\{V_1^-, V_2^-, ..., V_n^-\right\} \qquad \textbf{(17)}$$

Gerek ideal gerekse negatif ideal çözüm seti, değerleme faktörü sayısından yani m elemandan oluşmaktadır. Ulaşılabilir bütün en iyi ölçüt değerlerinin bileşimi pozitif ideal çözümdür. Negatif ideal çözüm ise ulaşılabilir en kötü ölçüt değerlerinden oluşur. Burada V_j^*, bütün mümkün alternatifler arasında j' ninci değer için en iyi değer, V_j^- ise bütün alternatifler arasında j' ninci ölçüt için en kötü değerdir.

4. Adım**:** Alternatifler Arasındaki Mesafe Ölçütlerinin Hesaplanması: **Alternatif arasındaki mesafe, n boyutlu Öklit (Euclidean) Uzaklık Yaklaşımından yararlanılarak bulunmaktadır. Her alternatifin pozitif ideal çözümden olan mesafesi (S_i^*) ve negatif ideal çözümden olan mesafesi (S_i^-) aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanır.**

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (V_{ij} - V_j^*)^2} \qquad \textbf{(18)}$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (V_{ij} - V_j^-)^2} \qquad \textbf{(19)}$$

Burada hesaplanacak S_i^* ve S_i^- sayısı, karar noktası sayısı kadar olacaktır.

5. Adım: Pozitif - ideal Çözüme Olan Benzerliğin Hesaplanması (İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması): **Her bir karar noktasının ideal çözüme göreli yakınlığı (C_i^*) ya da diğer bir ifadeyle pozitif ideal çözüme olan benzerlikler; aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.**

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \qquad \textbf{(20)}$$

Burada C_i^* değeri $0 \le C_i^* \le 1$ aralığında değer alır. $A_i = A^*$ olduğu zaman $C_i^* = 1$ olur ve ilgili karar noktasının ideal çözüme, $A_i = A^-$ olduğu zaman $C_i^+ = 0$ dır ve ilgili karar noktasının negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını gösterir.

6. Adım: Her Bir Alternatifin Göreli Sıralanmasının ve Puanının Bulunması: **Alternatifler C_i^* ye göre azalan sırada sıraya dizilerek tercih sırası belirlenir. Maksimum C_i^* ye sahip, diğer bir değişle ideale en yakın alternatif seçilir.**

5. UYGULAMA

Bu çalışmada ana ve alt kriterlerin ikili karşılaştırılmasında klasik ve bulanık AHP yöntemlerinden yararlanılmış ve kriterlerin ağırlıkları elde edilmiştir. Elde edilen kriter ağırlıkları TOPSIS yönteminde kullanılmış ve firmaların finansal oranlara dayanan 2009 yılı performansları bulunmuştur. Finansal oranlar sigorta şirketlerinin 2009 yılı temel mali tablolarında (bilanço ve gelir tablosu) yer alan verilerden yararlanılarak Tablo 1'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Hesaplanan finansal oranlar; şirketlerin resmi sitelerinde yer alan 2009 yılı faaliyet raporları, Türkiye Sigorta ve Reasürans Şirketleri Birliği ve Kamuyu Aydınlatma Platformu resmi sitesinde yayınlanan mali tablo verilerinden derlenerek bulunmuştur. Sigorta şirketlerinin hesaplanan finansal oranları Tablo 3'den görülebilir. Güneş Sigortanın 2009 yılında acentelerden alacağı olmamasından dolayı, buna bağlı olarak hesaplanan Acente Alacakları/Özkaynaklar (ALO5) oranı sıfır olarak bulunmuştur. Bu değerin sıfır olması TOPSIS yönteminde pozitif ve negatif ideal çözüm değerlerine çok büyük etki yapmaktadır. Bu nedenle sözkonusu oran değerlendirme dışı bırakılmıştır.

Tablo 3: Sigorta şirketlerinin 2009 yılına ait finansal oranları

	AKGRT	ANSGR	AVIVA	GUSGR	RAYSG	YKSGR
SYO						
SYO1	**0.319**	**1.542**	**2.663**	**3.650**	**6.374**	**2.097**
SYO2	**0.814**	**0.464**	**0.293**	**0.284**	**0.166**	**0.385**
SYO3	**5.620**	**1.044**	**0.454**	**0.549**	**0.266**	**0.836**
ALO						
ALO1	**0.710**	**0.480**	**0.536**	**0.192**	**0.333**	**0.420**
ALO2	**4.262**	**1.092**	**0.925**	**0.479**	**0.475**	**0.925**
ALO3	**4.804**	**1.608**	**1.312**	**1.148**	**1.192**	**1.408**
ALO4	**0.091**	**0.250**	**0.263**	**0.367**	**0.504**	**0.241**
ALO5	**0.044**	**0.376**	**0.758**	**0.000**	**2.060**	**0.311**
FO						
FO1	**0.643**	**0.745**	**0.808**	**0.543**	**0.477**	**0.767**
FO2	**0.655**	**0.688**	**0.588**	**0.608**	**0.550**	**0.766**
KO						
KO1	**0.739**	**0.731**	**0.725**	**0.668**	**0.778**	**0.748**
KO2	**0.795**	**0.794**	**0.658**	**0.774**	**0.855**	**0.843**
KO3	**0.251**	**0.269**	**0.283**	**0.305**	**0.304**	**0.275**
KO4	**1.046**	**1.063**	**0.941**	**1.079**	**1.159**	**1.119**
KO5	**0.041**	**0.048**	**-0.005**	**-0.023**	**-0.168**	**-0.017**
KO6	**0.022**	**0.007**	**-0.006**	**-0.006**	**-0.037**	**0.021**
KO7	**0.019**	**0.040**	**0.001**	**-0.017**	**-0.131**	**-0.037**

Çalışmada ana ve alt kriterlerin ikili karşılaştırılmasında Saaty'nin Tablo 2'de verilen ölçeği kullanılmıştır. Oranları birbiriyle karşılaştırmak için anketler kullanılmıştır. Anketler her biri farklı alanda uzman olan (akademisyen, banka müdürü ve portföy yöneticisi) üç kişiye uygulanmıştır. Tablo 4'de üç karar vericinin ana kriterleri ikili karşılaştırmasının sonuçları verilmiştir. Alt kriterlerde benzer şekilde karşılaştırılmıştır. Ana ve alt kriterlerin her karar verici için tutarlılık oranları hesaplanmış ve tümünün 0.10'dan küçük olduğu görülmüştür.

Tablo 4: Ana kriterlerin ikili karşılaştırılmaları

Karar Verici 1				
	SYO	**ALO**	**FO**	**KO**
SYO	**1**	**1/3**	**1**	**1/3**
ALO	**3**	**1**	**3**	**1**
FO	**1**	**1/3**	**1**	**1/5**
KO	**3**	**1**	**5**	**1**
Karar Verici 2				
SYO	**1**	**3**	**7**	**1**
ALO	**1/3**	**1**	**1**	**1/3**
FO	**1/7**	**1**	**1**	**1/5**
KO	**1**	**3**	**5**	**1**
Karar Verici 3				
SYO	**1**	**3**	**5**	**1/3**
ALO	**1/3**	**1**	**3**	**1/9**
FO	**1/5**	**1/3**	**1**	**1/7**
KO	**3**	**9**	**7**	**1**

Çalışmada üç karar verici olduğundan, karar vericilerin değerlendirmelerini birleştirebilmek için iki farklı yaklaşım uygulanmıştır. Bunlardan ilki klasik AHP 'de kullanılan geometrik ortalama yaklaşımıdır. Üç karar vericinin değerlendirmelerinin geometrik ortalamaları ana ve alt kriterler için hesaplanarak birleşik değerlendirmeler elde edilmiştir. Tablo 5'de ana kriterler için hesaplanmış geometrik ortalamalar verilmiştir. Aynı tablodan normalize edilmiş değerler, kriter ağırlıkları ve tutarlılık oranı da görülebilir. Benzer hesaplamalar alt kriterler içinde yapılmış sonuçta Tablo 7'de verilen ana ve alt kriterlerin ağırlıkları elde edilmiştir.

Tablo 5: Ana kriterler için hesaplanmış geometrik ortalama, kriter ağırlığı değerleri ve tutarlılık oranı

Geometrik Ortalama ile Birleşik Karşılaştırmalar

	SYO	ALO	FO	KO
SYO	**1**	**1.44**	**3.27**	**0.48**
ALO	**0.69**	**1**	**2.08**	**0.33**
FO	**0.31**	**0.48**	**1**	**0.18**
KO	**2.08**	**3.00**	**5.59**	**1**

Normalize Edilmiş BirleşikKarşılaştırmalar					**Kriter**	**Tutarlılık**
	SYO	**ALO**	**FO**	**KO**	**Ağırlığı**	**Ölçütü**
SYO	**0.25**	**0.24**	**0.27**	**0.24**	**0.25**	**4.0028**
ALO	**0.17**	**0.17**	**0.17**	**0.17**	**0.17**	**4.0043**
FO	**0.07**	**0.08**	**0.08**	**0.09**	**0.08**	**4.0012**
KO	**0.51**	**0.51**	**0.47**	**0.50**	**0.50**	**4.0062**
					Tutarlılık Oranı	**0.0013**

Karar vericilerin değerlendirmelerini birleştirmek için kullanılan ikinci yaklaşım ise bulanık AHP'de kullanılan bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımda eşitlik 21 yardımıyla bulanık değerlendirmeler elde edilir (Chen vd. 2006; Ertuğrul ve Karakaşoğlu, 2009). Böylece karar vericilerin ikili karşılaştırma değerleri üçgensel bulanık sayılara dönüştürülür.

$$(\tilde{x}_{ij}) = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) \quad l_{ij} = \min_k \{a_{ijk}\}, \quad m_{ij} = \frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K} b_{ijk}, \quad u_{ij} = \max_k \{c_{ijk}\} \qquad \textbf{(21)}$$

Örneğin SYO'nun ALO ile karşılaştırılmasında birinci karar verici 1/3, ikinci ve üçüncü karar vericiler 3 değerini vermiştir. Bu durumda elde edilen üçgensel bulanık sayının olası en küçük değeri bu değerlendirmelerin en küçük değeri olan 1/3, olası en büyük değeri bu değerlendirmelerin en büyük değeri olan 3 ve olası değeri de bu değerlendirmelerin aritmetik ortalaması olan 2.11 olarak bulunmuştur. Tablo 6'da ana kriterler için hesaplanmış birleşik üçgensel bulanık değerler verilmiştir. Aynı hesaplamalar alt kriterler için de yapılmıştır.

Tablo 6: Ana kriterler için hesaplanmış birleşik üçgensel bulanık değerler

	SYO	**ALO**	**FO**	**KO**	**TOPLAM**
SYO	**(1,1,1)**	**(0.33,2.11,3)**	**(1,4.33,7)**	**(0.33,0.56,1)**	**(2.67,8,12)**
ALO	**(0.33,1.22,3)**	**(1,1,1)**	**(1,2.33,3)**	**(0.11,0.48,1)**	**(2.44,5.04,8)**
FO	**(0.14,0.45,1)**	**(0.33,0.56,1)**	**(1,1,1)**	**(0.14,0.18,0.20)**	**(1.62,2.18,3.20)**
KO	**(1,2.33,3)**	**(1,4.33,9)**	**(5,5.67,7)**	**(1,1,1)**	**(8,13.33,20)**
				TOPLAM	**(14.73,28.55,43.20)**

Ana ve alt kriterler için birleşik üçgensel bulanık değerler elde edildikten sonra, bu değerlere bulanık AHP uygulanmıştır. Ana kriterler için bulanık AHP'nin uygulanışı aşağıda verilmiştir. Önce eşitlik 2 yardımıyla sentetik değerler hesaplanmıştır.

S_{SYO} = (2.67, 8,12) ⊗ (1/43.20, 1/28.55, 1/14.73) = (0.06, 0.28, 0.81)

S_{ALO} = (2.44,5.04,8) ⊗ (1/43.20, 1/28.55, 1/14.73) = (0.06, 0.18, 0.54)

S_{FO} = (1.62,2.18,3.20) ⊗ (1/43.20, 1/28.55, 1/14.73) = (0.04, 0.08, 0.22)

S_{KO} = (8, 13.33,20) ⊗ (1/43.20, 1/28.55, 1/14.73) = (0.19, 0.47, 1.36)

Bu vektörleri kullanarak, kriterlerin olası dereceleri eşitlik 8 yardımıyla hesaplanmıştır.

$V(S_{SYO} \geq S_{ALO})=1$, $V(S_{SYO} \geq S_{FO})=1$, $V(S_{SYO} \geq S_{KO})=0{,}771$

$V(S_{ALO} \geq S_{SYO})=0.82$, $V(S_{ALO} \geq S_{FO})=1$, $V(S_{ALO} \geq S_{KO})=0.552$

$V(S_{FO} \geq S_{SYO})=0.43$, $V(S_{FO} \geq S_{ALO})=0.617$, $V(S_{FO} \geq S_{KO})=0.076$

$V(S_{KO} \geq S_{SYO})=1$, $V(S_{KO} \geq S_{ALO})=1$, $V(S_{KO} \geq S_{FO})=1$

Sonuçta ana kriterlerin ağırlık vektörü eşitlik 9 ve 10 kullanılarak $W_{Amaç}=(0.771,0.552,0.076,1)^T$ olarak elde edilmiş ve bu vektör eşitlik 11 kullanılarak normalleştirildiğinde $W_{Amaç}=(0.321,0.230,0.031,0.417)^T$ olarak bulunmuştur. Ana kriterler için yapılan bu hesaplamalar, benzer şekilde tüm alt kriterler için de yapılmış ve Tablo 7'de verilen ağırlıklar elde edilmiştir.

Tablo 7 incelendiğinde klasik AHP ile elde edilen ana kriter ağırlıklarında en önemli oranın %50 ile Karlılık Oranı (KO) olduğu, bunu %25 ile Sermaye Yeterlilik Oranı (SYO), %17 ile Aktif Kalitesi ve Likidite Oranı (ALO) ve %8 ile Faaliyet Oranının (FO) takip ettiği görülür. Ana kriterler için bulanık AHP'de aynı sırada sonuçlar vermiştir. Önem derecesi belirlenen alt kriterler incelendiğinde ise, klasik yöntem % 14 ile Hasar Prim Oranı (KO2)'yi en önemli alt kriter belirlerken, bulanık yöntem, en önemli alt kriteri %19 ile Likidite Oranı (ALO2) bulmuştur.

Tablo 7: Kriterlerin klasik ve bulanık AHP için hesaplanmış ağırlıkları

Klasik Kriter	Ağırlık	Genel Ağırlık	Bulanık Kriter	Ağırlık	Genel Ağırlık
SYO	0.25		SYO	0.32	
SYO1	0.41	0.10	SYO1	0.36	0.12
SYO2	0.43	0.11	SYO2	0.39	0.13
SYO3	0.16	0.04	SYO3	0.25	0.08
ALO	0.17		ALO	0.23	
ALO1	0.19	0.03	ALO1	0.16	0.04
ALO2	0.58	0.10	ALO2	0.84	0.19
ALO3	0.16	0.03	ALO3	0.00	0.00
ALO4	0.07	0.01	ALO4	0.00	0.00
FO	0.08		FO	0.03	
FO1	0.68	0.06	FO1	0.70	0.02
FO2	0.32	0.03	FO2	0.30	0.01
KO	0.50		KO	0.42	
KO1	0.11	0.06	KO1	0.15	0.06
KO2	0.28	0.14	KO2	0.19	0.08
KO3	0.06	0.03	KO3	0.09	0.04
KO4	0.07	0.03	KO4	0.09	0.04
KO5	0.10	0.05	KO5	0.14	0.06
KO6	0.20	0.10	KO6	0.17	0.07
KO7	0.18	0.09	KO7	0.17	0.07

Klasik ve bulanık AHP yöntemleriyle kriterlerin ağırlıkları bulunduktan sonra, bu ağırlıklar kullanılarak Tablo 3'de verilen oranlara TOPSIS yöntemi uygulanmıştır. Yöntem uygulanmadan önce küçük olması tercih edilen oranların tersleri alınmıştır. Önce eşitlik 13 kullanılarak başlangıç matrisi A_{ij} normalleştirilmiş ve R_{ij} matrisi elde edilmiştir. Bu matris eşitlik 15 kullanılarak her iki yöntemle elde edilen ağırlıklarla çarpılarak ağırlıklı normalize matrisler bulunmuştur. Ardından eşitlik 16 ve eşitlik 17 kullanılarak pozitif ve negatif ideal çözümler belirlenmiş, eşitlik 18 ve eşitlik 19 kullanılarak pozitif S_i^* ve negatif S_i^- ideal çözümden olan mesafeler hesaplanmıştır. Son olarak ideal çözüme göreli yakınlık C_i^* değerleri eşitlik 20 kullanılarak hesaplanmış ve bu değerler normalleştirilerek sigorta şirketleri bu değerlere göre sıralanmıştır. Tablo 8'de Klasik AHP ağırlıkları ile elde edilen TOPSIS sonuçları verilmiştir. Buna göre performansı en iyi olan şirketin Ak Sigorta (%79) olduğu görülebilir, diğer şirketlerin normalleştirilmiş oranları %10'un altındadır. Tablo 9'dan görülebileceği gibi bulanık AHP ağırlıkları ile elde edilen TOPSIS sonuçları için de benzer bir durum sözkonusudur.

Tablo 8: Klasik AHP ağırlıkları ile elde edilen TOPSIS sonuçları

	AKGRT	ANSGR	AVIVA	GUSGR	RAYSG	YKSGR
S_i^*	0.036	0.532	0.545	0.558	0.561	0.543
S_i^-	0.559	0.038	0.049	0.018	0.014	0.028
C_i	0.939	0.067	0.082	0.031	0.024	0.049
Normalleştirilmiş C_i	0.788	0.056	0.069	0.026	0.020	0.041

Tablo 9: Bulanık AHP ağırlıkları ile elde edilen TOPSIS sonuçları

	AKGRT	ANSGR	AVIVA	GUSGR	RAYSG	YKSGR
S_i^*	0.024	0.886	0.907	0.928	0.931	0.902
S_i^-	0.931	0.052	0.039	0.015	0.013	0.034
C_i	0.975	0.056	0.041	0.016	0.013	0.036
Normalleştirilmiş C_i	0.857	0.049	0.036	0.014	0.012	0.032

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Sigorta şirketleri için yapılan analizlerin ortak amacı, şirketlerin mali yapısının sağlamlığını saptamaktır. Mali yapıdaki sapmanın zamanında saptanarak, kötüye gidişi durdurabilmek için gerekli önlemlerin uygulamaya konulması sigortacılıktaki mali analizin gerçek amacıdır (Başpınar, 2005:7). Mali analiz sonuçları şirketlerin, geçmiş dönemdeki sermaye yeterlilikleri, aktif kalitesi ve likidite durumu, faaliyet

etkinliği ve karlılık durumu gibi verileri ortaya koyarak gelecek dönemi öngörmeyi sağlar. Bu da sektörde yer alan şirketlere mali yapılarındaki gücü koruyabilme ya da mali yapılarını güçlü kılabilme imkanı sağlar.

Bu çalışmada hayat branşı dışındaki şirketlerin 2009 yılı mali performanslarını değerlendirme amacı doğrultusunda ilk olarak, sigorta şirketlerinin mali performanslarının değerlendirmesinde kullanılan dört ana kriter ve on yedi alt kriter, şirketlerin 2009 yılı bilanço ve gelir tablosundan hareketle belirlenmiştir. Ardından, çalışmada kullanılan kriterleri birbirleri ile karşılaştırılmak ve söz konusu kriterlerin önem derecelerini belirleyebilmek için, her biri farklı alanda uzman olan (akademisyen, banka müdürü, portföy yöneticisi) üç karar vericiye anket uygulaması yapılmıştır. Bu sayede, sigorta şirketlerinin mali performans değerlendirmesinde kullanılan ana ve alt kriterlerin yönetici, yatırımcı ve akademisyen gözüyle değerlendirilmesi sağlanmıştır. Ana ve alt kriterlerin tutarlılık oranları hesaplanmış ve hepsinin tutarlı olduğu tespit edilmiştir. Bu üç farklı karar vericinin değerlendirmelerini birleştirebilmek için iki farklı yaklaşım kullanılmıştır. İlk olarak, bu üç karar vericinin ana ve alt kriterler için yaptıkları değerlendirmelerin geometrik ortalamaları hesaplanmıştır. Daha sonra bulanık AHP yönteminden yararlanılarak, ikili karşılaştırma değerleri üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Uygulama sonucunda elde edilen bulgulara göre, klasik yöntemde sigorta şirketlerinin mali performanslarının değerlendirilmesinde kullanılacak ana kriterler arasında, en önemli kriter karlılık oranı (%50) olarak belirlenmiş, bu kriteri sermaye yeterlilik oranı (%25) izlemiş ve önem derecelerine göre belirlenen diğer kriterler sırasıyla; aktif kalitesi ve likidite oranı (%17), faaliyet oranı (%8) olarak bulunmuştur. Benzer şekilde bulanık AHP'de ana kriterlerin önem derecesi için aynı sırada sonuçlar vermiştir. Her iki yöntemde de en önemli kriter olarak bulunan karlılık düzeyinin yüksek oluşu; diğer sektörlerde olduğu gibi sigortacılık sektöründe de şirketlerin yükümlülüklerini yerine getirebilme ve sektörde orta ve uzun vadede ayakta kalabilmelerini sağlayan mali gücünü temsil eder. Klasik ve bulanık yöntemle belirlenen alt kriter ağırlıkları incelendiğinde, bulanık AHP'nin, Cari Oran (ALO3) ve Prim ve Reasürans Alacakları/Aktif Toplamının (ALO4) ağırlıklarını sıfır verdiği görülmüştür. Bu durum, Chang'in (1996) mertebe analizi yönteminin kullanılmasından kaynaklanmıştır. Bu nedenle mali performans değerlendirmesinin yapıldığı çalışmalarda hem kolay olması hem de ağırlığı düşük olan kriteri sıfır belirlememesi açısından geometrik ortalama ile klasik AHP yönteminin tercih edilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Klasik AHP ve bulanık AHP ağırlıklarından elde edilen TOPSIS analizi sonuçlarını gösteren Tablo 8 ve Tablo 9 değerlendirildiğinde ise; klasik AHP ağırlıklarından elde edilmiş TOPSIS sonuçları 2009 yılı mali performanslarına göre yapılan sıralamada en başarılı şirketi Ak Sigorta (%79) olarak belirlemiştir. Benzer şekilde bulanık AHP ağırlıklarından elde edilen TOPSIS sonuçları da Ak Sigortayı (%86) 2009 yılındaki en başarılı şirket olarak belirlemiştir. Klasik AHP ağırlıklarından elde edilmiş TOPSIS sonuçları, 2009 yılının mali performansı en iyi ikinci şirket olarak Aviva sigortayı (%7) belirlerken, bulanık AHP ikinci sırada Anadolu sigortayı (%5) başarılı bulmuştur. Diğer üç şirket her iki yöntemde de Güneş, Yapı Kredi ve Ray sigortayı sırasıyla dördüncü, beşinci ve altıncı sırada değerlendirmiştir.

Çalışmada bazı kısıtlar söz konusudur; bunlardan ilki tek dönem verilerinden hareketle mali performansın değerlendirilmesidir. Sigorta sektörü konjonktürel dalgalanmalardan çabuk etkilenen bir sektör olduğu için mali performans değerlendirmesinde birden fazla dönemin kıyaslanması şirketlerin sektördeki mali performans güçlerini daha net ortaya koyacaktır. İkinci olarak çok sayıda finansal oranının kullanılması, bu oranları değerlendirmesi için seçilen üç karar vericinin yaptığı değerlendirmelerde güçlük yaratmıştır. Diğer bir kısıt ise, Güneş sigortanın 2009 yılı bilanço ve gelir tablosundan hareketle hesaplanan Acente Alacakları/Özkaynaklar (ALO5) oranının sıfır olması ve bu durumun TOPSIS yönteminde çok büyük etki yapmasından dolayı değerlendirme dışı bırakılmış olmasıdır.

Bu çalışmada, sigorta şirketlerinin etkinliğini VZA ile değerlendirildiği diğer çalışmalardan farklı olarak, çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP, Bulanık AHP ve TOPSIS yöntemlerinin kullanılmış olması, bundan sonra sigorta şirketlerinin mali performans değerlendirmelerine yönelik yapılacak çalışmalarda, farklı çok kriterli karar verme yöntemlerinin de kullanılabileceği konusunda katkı sağlamıştır.

KAYNAKÇA

Akdeniz, A. H. ve Turgutlu, T. (2007), "Türkiye' de Perakende Sektöründe Analitik Hiyerarşik Süreç Yaklaşımıyla Tedarikçi Performans Değerlendirmesi", Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, 9(1), ss. 1-17.**

Altan, S. M., (2010), "Türk Sigortacılık Sektöründe Etkinlik: Veri Zarflama Yöntemi İle Bir Uygulama", Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, 12(1), ss. 185-204.**

Başpınar, A. (2005), "Finansal Analiz Tekniklerinin Sigorta Şirketi Mali Tablolarına Uygulanması", Maliye Dergisi**, 149, ss. 5-35.**

Bayraktaroğlu, G. ve Özgen, Ö. (2008), "Sosyal Sorumluluk Konusunda Tüketicilerin Beklentileri: Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi İle Önceliklerin Belirlenmesi", Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, **22(1), ss.321-341.**

Buckley, J. J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. Fuzzy Sets and Systems**, 17(3), pp. 233-247.**

Bülbül, S. ve Köse, A. (2011), "Türk Gıda Şirketlerinin Finansal Performansının Çok Amaçlı Karar Verme Yöntemleriyle Değerlendirilmesi", Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi**, 10. Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı, 25, ss. 71-97.**

Chang, D.Y. (1996). "Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP", European Journal of Operational Research**, 95(3), pp. 649-655.**

Çiftçi, H. (2004), "Türk Sigorta Sektörünün Sorunları: DEA Analizi ile Türk Sigorta Şirketlerinin Etkinlik Düzeylerinin Belirlenmesi", Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, 13(1), ss.121-143.**

Chen, C. T., Lin, C. T., ve Huang, S. F. (2006). "A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management", International Journal of Production Economics**, 102, pp. 289–301.**

Dağdeviren, M. ve Eren, T. (2001), "Tedarikçi Firma Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve 0-1 Hedef Programlama Yöntemlerinin Kullanılması", Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 16(2), ss. 42-52.**

Dağdeviren, M. Akay, D. ve Kurt, M. (2004), "İş Değerlendirme Sürecinde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Uygulaması", Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 19(2), ss. 131-138.**

Ertuğrul, İ. ve Karakaşoğlu, N. (2009), "Performance Evaluation of Turkish Cement Firms With Fuzzy Analytic Hierarchy Process and TOPSIS Methods", Expert Systems with Applications**, 36, pp. 702–715.**

Kahraman, C., Cebeci, U., & Ruan, D. (2004). Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: The case of Turkey. International Journal of Production Economics**, 87(2), pp. 171-184.**

Kaptanoğlu, D. ve Özok, A. F. (2006), "Akademik Performans Değerlendirmesi İçin Bir Bulanık Model" itüdergisi/d mühendislik**, 5(1), ss. 193-204.**

Karğın, M. (2010), "Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ve İdeal Çözüme Yakınlığa Göre Sıralama Yapma Yöntemleri ile Tekstil Sektöründe Finansal Performan Ölçümü", Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi**, 8(1), ss. 195-216.**

Kayalı, A. C. (2007), "2000-2006 Döneminde Türkiye' de Faaliyet Gösteren Sigorta Şirketlerinin Etkinlik Değerlendirmesi", Celal Bayar Üniversitesi, İİBF, Yönetim ve Ekonomi Dergisi**, 14(2), ss. 103-115.**

Köse, A. ve Şimşek, N. (1999), "Türk Sigorta Sektörünün Mali Performansı: 1990-1996 Dönemine İlişkin Bir Değerlendirme", Reasürans Dergisi**, 31, ss. 6-33.**

Özden, Ü. H. (2008), "Analitik Hiyerarşi Yöntemi İle İlkokul Seçimi", Marmara Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi**, 24(1), ss. 299-320.**

Özcan, İ. A. (2011), "Türkiye' de Hayat Dışı Sigorta Sektörünün 2002-2009 Dönemi İtibariyle Etkinlik Analizi", Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi**, 9(1), ss. 61-78.**

Seçme, N. Y. ve Özdemir, A. İ. (2008), "Bulanık Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile Çok Kriterli Stratejik Tedarikçi Seçimi: Türkiye Örneği", İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi**, 22(2), ss. 175-191.**

Şenel, A. S. (2006), "Sigorta Şirketlerinde Mali Yeterlilik)", Afyon Kocatepe Üniversitesi, İ.İ.B.F. Dergisi**, 8(2), ss. 297-313.**

Tekindal, B. ve Erümit, K. A. (2007), "Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ve Bulanık AHS (AHS) Yöntemlerinin Yüksek Lisans Öğrenci Seçimi Problemi Üzerinde Karşılaştırılması", Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi**, 21, ss. 14-37.**

Turgutlu, E. Kök, R. ve Kasman, A. (2007), "Türk Sigortacılık Şirketlerinde Etkinlik: Deterministik ve Şans Kısıtlı Veri Zarflama Analizi", İktisat İşletme ve Finans Dergisi**, 251, ss. 85-102.**

van Laarhoven, P. J. M., & Pedrycz, W. (1983). A fuzzy extension of Saaty's priority theory. Fuzzy Sets and Systems**, 11(1-3), pp. 199-227.**

Ustasüleyman, T. (2009), "Bankacılık Sektöründe Hizmet Kalitesinin Değerlendirilmesi: Ahs-Topsis Yöntemi", Bankacılar Dergisi**, 69, ss. 33-43.**

Yüksel, İ. ve Akın, A. (2006), "Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemiyle İşletmelerde Strateji Belirleme", Doğuş Üniversitesi Dergisi**, 7(2), ss. 254-268.**

Zadeh, L. A. (1965), Fuzzy sets, Information and Control**, 8(3), pp. 338-353.**

PETRO-KİMYA ENDÜSTRİSİNE YÖNELİK ETKİNLİK ANALİZİ: DEA VE TOBİT MODEL UYGULAMASI

Oğuz KARA*

Özet

Petrokimya endüstrisi, Dünya ve Türkiye ekonomisi açısından büyük önem taşıyan endüstriler arası ileri bağlantısı yüksek olan sürükleyici bir endüstridir. Petrokimya endüstrisi, petrol aramacılığından başlayıp, taşımacılığı, işlenmesi, pazarlaması ve petrokimya sanayisini de içeren çok geniş bir yapıya sahiptir. Bu çalışmada Türkiye'de petrokimya alanında faaliyet gösteren POAŞ, PETKİM, TÜPRAŞ örneğinden hareketle endüstrinin etkinlik düzeyi Veri zarflama (DEA) analizi ve Malmquist Toplam Faktör Verimliliği (TFV) endeksi kullanarak hesaplanmıştır. Ayrıca etkinsizliğin kaynakları Tobit model analiziyle ortaya koyulmuştur. Elde edilen etkinlik sonuçlarına göre söz konusu endüstri de ölçeğe göre artan getiri (TFV endüstri ortalaması 1.018) olduğu görülmüştür. Teknik etkinlik düzeylerinden hareketle etkinsizliğin kaynakları tobit model ile analiz edildiğinde petrol fiyatlarındaki şokların ve 2008 küresel krizin endüstrinin etkinlik düzeyini olumsuz etkilediği görülmüştür. Etkinsizliğin kaynakları içersinde endüstriyi oluşturan firmaların monopol karakter taşımalarının da etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Petrokimya, Etkinlik, DEA, Tobit

1. Petrokimya Endüstrisine Yönelik Betimsel Analiz

Petrol, Latince "petra" ve "oleum" kelimelerinden oluşan ve kaya yağı anlamına gelen kompleks bir hidrokarbon bileşiğidir. Hidrokarbon bileşikleri, doğada katı, sıvı ve gaz halinde bulunmaktadır. Sıvı hidrokarbon bileşikleri, ham petrolü oluşturmaktadır. Petrol koyu renkli, yapışkan ve yanıcı bir sıvıdır. Metan, etan, propan, bütan gibi çeşitli hidrokarbonların bileşiminden oluşan petrolün yoğunluğu kimyasal bileşimine ve yapışkanlığına (viskosite) göre değişmektedir. Petrolün milyonlarca yıl önce deniz diplerine çöken hayvan ve bitkilerin üzerine, doğal olaylarla yer tabakalarının yığılması ve meydana gelen bu havasız ortamda, uygun ısı ve basınç altında bakterilerin de yardımı ile oluştuğu kabul edilmektedir(Bayraç, 1999; 85).

19. yüzyılın ortalarına kadar bez ve battaniyelere emdirilip daha sonra ısıtma ve süzme gibi ilkel yöntemlerle elde edilmiştir. 1745 yılında Fransa'da Pechelbronn'daki petrollü kumlarda ilk petrol kuyusu açılmış ve ilk petrol rafinerisi kurulmuştur. 1859 yılında ABD'li Pennsylvania Kaya Yağı şirketinde görevli Albay Drake'in başlattığı kuyu çalışmaları sonucunda, 69 feet derinlikte petrol bulunmuş ve kaya yağından elde edilen gaz yağının seri üretimine başlanmıştır(Petrol-İş, 2007, 22-24).

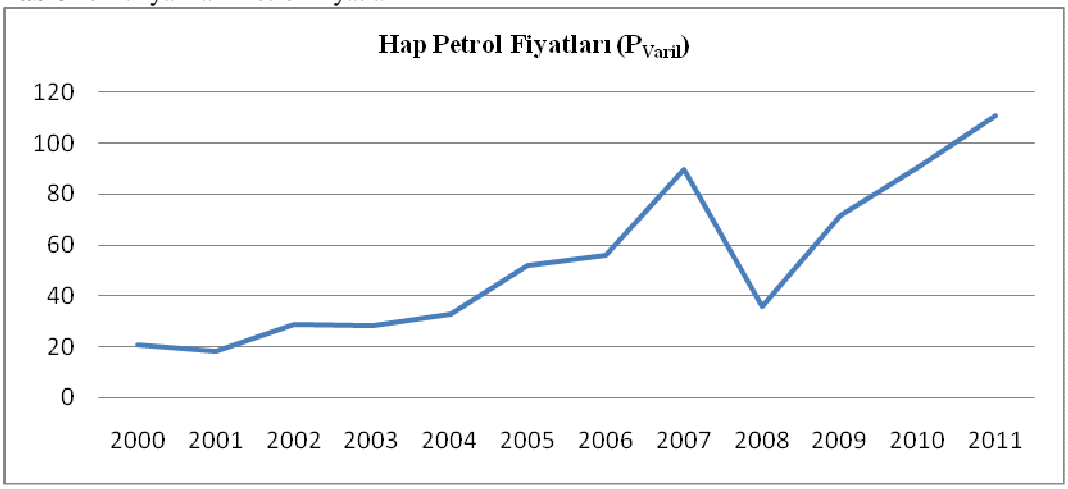
Petrokimya sanayii, nafta, LPG, gaz-yağ gibi petrol ürünleri veya doğal gaza dayalı temel girdileri kullanarak plastikler, lastik ve elyaf hammaddeleri ve diğer organik ara malları üreten ve ambalaj, elektronik, otomotiv, inşaat, tekstil ve tarım gibi birçok sektöre girdi sağlayan bir sanayi koludur. Petrokimya ürünleri az sayıda hammaddeden elde edilir ama nihai ürünler son derece çeşitlidir(Pigem, 2003; 53).

İlk kez 1929 yılında 75/25 oranında bütadien/stiren karışımları emülsiyon polimerizasyonu ile kopolimerleştirerek tabii kauçuğa benzer sentetik yapılar oluşturulmuştur. II. Dünya Savaşı sırasında kauçuğa olan talebin artması nedeniyle, kauçuk arzının, talebi karşılayamaması sonucu yapay sentetik üretimi çalışmaları hızlanmıştır. II. Dünya Savaşı sonrasında petrol rafineri ürünlerinin ucuz ve bol olması, ölçek ekonomilerinin üretim maliyetlerini önemli ölçüde düşürmesi, özellikle metallerin ve doğal kauçuk gibi doğal malzemelerin yerine petrokimya ürünlerinin kullanılabilmesi ve gelişmiş ülkelerdeki hızlı sanayileşme sonucu petrokimya ürünlerine talebi hızla artırmıştır. 1950-1960 döneminde petrokimya sanayi, % 20-30 oranlarında büyümüştür. 1950'li yıllarda sektöre giren ABD, petrokimya sanayinin gelişiminde öncü konumunda olmuştur. 1960-1970 dönemlerinde Batı Avrupa ile birlikte bu alana giren gelişmekte olan ülkelerde, kamu girişimciliğiyle sanayileşme politikalarında petrokimya sanayi önemli bir yere sahip olmuştur. 1970'lerden itibaren petrol şokları ve dünya ekonomik bunalımının etkisiyle petrokimya sanayinin büyüme hızı düşmüş ve firmalar da çeşitli stratejiler ile bunalımların etkisini azaltmaya çalışmışlardır.

2008 yılında yaşanan küresel ekonomik kriz nedeniyle, ham petrol fiyatlarında sert düşüşler ve talepte büyük ölçüde daralmalar yaşlanmıştır. Bu nedenle petrokimya sektöründe, bir dizi yeniden yapılanma önlemleri alınmıştır. Rekabet gücünü kaybeden tesisler kapanmış ve kapasite kullanım oranları %60'lar düzeyine düşmüştür. Devam eden yatırımlar durdurularak, yeni projeler ertelenmiştir. Sektörde satın alma ve birleşmeler hızlanmış ve uluslararası ticaret daralmıştır(PETKİM 2009; 23)

* Yrd.Doç.Dr., Düzce Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü, Öğretim Üyesi

Tablo 1: Dünya Ham Petrol Fiyatları



Kaynak: http://**www.eia.gov**/dnav/pet/pet_pri_wco_k_w.htm(Erişim, 11.03.2011)

Dünya ham petrol rezervlerinin bir trilyon varil civarında olduğu tahmin edilmekte ve bu rezervin % 75'inden daha fazlası OPEC'e üye ülkelerin elinde bulunmaktadır. OPEC üyeleri her gün yaklaşık 27-28 milyon varil petrol üretmekte, diğer bir ifade ile dünya toplam üretiminin % 40'ını sağlamaktadır.

Türkiye enerji hammaddesi açısından zengin bir ülke olmasına karşın, günümüze kadar yapılan araştırmalar petrol açısından yeterli rezerv kaynağına sahip olmadığını ortaya çıkarmıştır. Anadolu'nun tektonik evrimine bağlı olarak çok kıvrımlı ve kırıklı, engebeli, karmaşık bir jeolojik yapıya sahip olması, Türkiye'deki petrol arama çalışmalarını oldukça zorlaştırmakta ve arama yatırımları maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır.

Türkiye'de petrol arama çalışmaları 1942-1958 yılları arasında Maden Teknik Arama (MTA) ve Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığının (TPAO) kurulmasıyla birlikte giderek hızlanmış ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Raman ve Garzan sahaları keşfedilmiştir. Bu keşiflerden sonra 7 Mart 1954 tarihinde, 6326 sayılı Petrol Yasası çıkarılarak yerli ve yabancı firmaların da petrol arama ve üretim çalışmaları yapmalarına olanak sağlanmıştır(Dokuzuncu Kalkınma Planı, 2007; 8).

Türkiye'de 1990'lı yıllara kadar, özel kesimde faaliyet göstermekle birlikte, sayılan bu petrol faaliyetlerinin her biri bütüncül bir yapı içinde, birer kamu kuruluşu olan, TPAO ve bağlı ortaklıkları tarafından yürütülmüştür. Türkiye'de bu zincir, 1990'lı yıllara kadar, TPAO, Boru Hatları İle Petrol Taşıma A.Ş. (BOTAŞ), Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş. (TÜPRAŞ), Petrol Ofisi A.Ş. (POAŞ) ve Deniz İşletmeciliği ve Tankerciliği A.Ş. (DİTAŞ) tarafından yapılmaktayken, bu bütüncül yapı parçalanarak özelleştirme yolu ile sektördeki kamu ağırlığına son verilmeye çalışılmıştır.

Özelleştirme politikaları çerçevesinde sırası ile, TÜPRAŞ, POAŞ, DİTAŞ ve İGSAŞ özelleştirme kapsamına alınarak, BOTAŞ ise teşekkül haline getirilerek TPAO'nun bağlı ortaklıkları statüsünden çıkarılmışlardır. Türkiye'de, arama, üretim ve taşıma faaliyetleri, kamu elinde bulunan TPAO ve BOTAŞ tarafından yürütülürken, petrol ürünleri üretimi TÜPRAŞ ve ATAŞ, petrokimya ürünleri üretimi ise PETKİM tarafından gerçekleştirilmektedir. Dağıtım ve pazarlama faaliyetlerinde rekabetçi koşullar geçerli olmakla beraber geniş dağıtım ağı ve yüksek depolama kapasitesiyle POAŞ, bu alanda pazar lideri konumundadır.

Türkiye petrokimya sanayinin tek temsilcisi PETKİM olup, ürünlerinin kalitesi dünya standartlarında olan, büyük ölçekli tek petrokimyasal üreticisidir. Türkiye'de petrokimya sanayinin kurulması fikri Birinci Beş Yıllık Plan döneminin başlangıcı olan 1962 yılında benimsenmiş, yapılan etüt ve araştırmalar sonucunda PETKİM Petrokimya A.Ş. 03.04.1965 tarihinde TPAO (Türkiye Petrol Ananonim Ortaklığı) öncülüğünde kurulmuştur. Türkiye'de halen faaliyet gösteren Petkim dışındaki diğer başlıca üreticiler ise; SASA (240.000 t/y DMT), TÜPRAŞ (33.000 t/y SBR, 20.000 t/y CBR, 40.000 t/y KS, 33.000 t/y BDX, 27.000 t/y PS) ve Başer Petrokimya (40.000 t/y PS) şirketleridir. PETKİM Petrokimya Holding A.Ş.'nin sermayesindeki, % 51 oranındaki kamu hissesi, "blok satış" yöntemi ile özelleştirilmesine ilişkin ihale süreci sonucunda 30 Mayıs 2008 tarihinde 2.040.000.000-USD bedelle SOCAR&Turcas Petrokimya A.Ş.'ye geçmiştir.

Türkiye sınırları içinde petrol ürünlerinin depolanmasını, pazarlanmasını ve dağıtımını yapan kuruluşlardan biri olan POAŞ, 1941'de bir kamu kuruluşu olarak kurulmuştur. POAŞ 1981'de, 98 sayılı Kanun hükümlerine göre PETKUR'a devredilmiştir. 1983'te ise 233 sayılı Kanun Hükmünde Kararname gereğince Petrol Ofisi'nin hukuki yapısı Türk kanunlarına göre sınırlı sorumlu bir şirket statüsüne getirilerek, genellikle ham petrol üretimi faaliyetinde bulunan TPAO'ya devredilmiştir. POAŞ'ın mülkiyeti, Özelleştirme Programının bir parçası olarak 1990 yılında 3291 sayılı Kanun çerçevesinde sonradan Özelleştirme İdaresi adı verilen Kamu Ortaklığı İdaresi'ne devredilmiştir. Yapılan özelleştirme çalışmaları sonucunda ÖİB'nin açtığı ihaleyi, teklif sahiplerinden

Türkiye İş Bankası A.Ş. ve Doğan Holding A.Ş. Ortak Girişim Grubu 1.260.000.000 $ bedelle kazanmış ve POAŞ'ı devralmıştır(Soysal, 2003; 19).

TÜPRAŞ, kamuya ait rafinerilerin bir şirket çatısı altında toplanması amacıyla 16 Kasım 1983 tarihinde kurulmuştur. TÜPRAŞ'ın kurulması ile İPRAŞ ve TPAO'na bağlı İzmir, Batman ve o tarihte yapımı devam eden Kırıkkale Rafinerisi TÜPRAŞ'ı oluşturmuşlardır. Kuruluşunda TPAO'ya bağlı ortaklık olarak faaliyetlerini sürdüren TÜPRAŞ, 10 Temmuz 1990 tarih ve 9013 sayılı kararı ile özelleştirme kapsamına alınmış ve sermayesi ÖİB'ye devredilmiştir. 1991'de sermayesinin % 2,5'i oranında A grubu hisse senedinin halka arz edilmesi ile başlayan TÜPRAŞ'ın özelleştirme işlemleri aşamalı olarak sürdürülmüş, en son kamuya ait % 51 oranına tekabül eden TÜPRAŞ hisselerinin, ÖİB tarafından 12 Eylül 2005 tarihinde yapılan ihale neticesinde, KOÇ-SHELL Ortak Girişim Grubu'na satılmasıyla şirket tamamen özel sektöre devredilmiştir(Dokuzuncu Kalkınma Planı, 2007; 8).

2. Veri Seti ve Yöntem

Petro kimya endüstrisini temsilen TÜPRAŞ, POAŞ ve PETKİM firmaları seçilmiştir[28]. Petrokimya Endüstrisinde, kaynak kullanım etkinliğini ölçmeye yönelik olarak çıktı odaklı Veri Zarflama Analizi (DEA) kullanılmıştır. DEA analizinde ölçeğe göre sabit getiri (CRS), ve zaman içinde firmaların etkinliklerindeki değişmeleri takip etmek amacıyla Malmquist Toplam Faktör Verimliliği Endeksi (TFV) skorları kullanılmıştır. Bu ölçümlerde girdi olarak firmaların toplam işgücü sayısı ve toplam sermaye stoku, çıktı olarak da üretim düzeyi değişkenleri kullanılmıştır. Endüstriye ilişkin ölçümlerde kullanılan değişkenler Özelleştirme İdaresi Başkanlığından (ÖİB), firmaların faaliyet raporlarından ve firmaların bağımsız denetimden geçmiş bilanço, gelir tablosu gibi mali raporlarından hareketle elde edilmiştir. Analizlerde kullanılan veriler 2000-2009 dönemini kapsamaktadır. Sermaye stokunun hesaplanmasında kullanılan parasal büyüklükler, 1987 yılı bazlı GSYİH deflatörü kullanılarak reelleştirilmiştir. Endüstri temelli tüm etkinlik ve verimlilik hesaplamaları, DEA Solver Pro 4.1 bilgisyar programı yardımıyla yapılmıştır.

Çalışmanın analiz boyutu iki aşamayı içermektedir. İlk olarak, DEA ve Malmquist TFV endeksinden hareketle endüstrinin ve firmaların etkinlik düzeyleri hesaplanmıştır. Analizin ikinci aşamasında ise birinci aşamada elde edilen Teknik Etkinlik (TE) düzeyleri bağımlı değişken olarak alınarak etkinliğin/etkinsizliğin belirleyicileri Tobit model yardımıyla ortaya koyulmuştur.

Çalışma yönteminin ilk aşaması, etkinlik düzeyinin hesaplanmasını içermektedir. Etkinlik analizlerinde üretim sürecinin geçmişteki belli dönemlerini dikkate alarak, faktörlerden bir kısmının veya tamamının verimliliğindeki (zaman içindeki) değişmeler, TFV ölçme literatürden (Malmquist-CRS[29] endeksinden) yararlanılarak hesaplanmıştır.

Malmquist verimlilik endeksi ile TFV'ni ölçebilmek için en az iki dönemin olması gerekir. Her iki dönem için fark fonksiyonlarından çıkarılan sonuç, maksimum ortalama çıktıdan olan sapmaları açıklamaktadır. Bu endeks, her bir veri noktasının ortak teknolojiye göre nisbi uzaklık oranlarını hesaplayıp, iki veri noktası arasındaki TFV'deki (onu oluşturan teknik ilerleme ve teknolojik değişme) değişmeyi ölçmektedir ve aşağıdaki notasyonla ifade edilmektedir.

$$m_0(y^t, x^t, y^{t+1}, x^{t+1}) = \left[\left(\frac{d_0^t(y^{t+1}, x^{t+1})}{d_0^t(y^t, x^t)}\right) x \left(\frac{d_0^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})}{d_0^{t+1}(y^t, x^t)}\right)\right]^{\frac{1}{2}}$$

Bu endekste baz yıl t dönemiyle, bir sonraki yıl ise t+1 dönemiyle gösterilmektedir. Bu denklemde $d_0^t(y^{t+1}, x^{t+1})$ notasyonu, (t+1) gözlemlerinden (t) dönemi teknolojisine olan uzaklığı temsil etmektedir. Bu denklem aşağıdaki kalıpla gösterilebilir.

$$\frac{d_0^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})}{d_0^t(y^t, x^t)} \left[\left(\frac{d_0^t(y^{t+1}, x^{t+1})}{d_0^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})}\right) x \left(\frac{d_0^t(y^t, x^t)}{d_0^{t+1}(y^t, x^t)}\right)\right]^{\frac{1}{2}}$$

Yukarıdaki denklemde, köşeli parantezin dışında yer alan oransal kısım, (t) ve (t+1) yılları arasındaki çıkı eksenli teknik ilerlemedeki değişmeyi ölçen kısmıdır. Yani, etkinlik değişimi; Farrell'in (Farrell 1957) (t+1) dönemi için ele aldığı teknik etkinlik oranı, (t) döneminde belirlenen teknik etkinlik oranına eşittir. Köşeli parantez içinde yer alan kısım ise iki oranın geometrik ortalaması olup iki dönem arasındaki teknolojide (x^{t+1} ve x^t) meydana gelen değişmeyi açıklar.

---

[28] Söz konusu üç firmanın Endüstri içinde yaklaşık %70'lik bir piyasa payına sahip olması nedeniyle yapılan etkinlik analizlerinden elde edilecek skorlar endüstriyi açıklamada kullanılabilecektir.

[29] Söz konusu firmaların ölçek büyüklüklerinin birbirine yakın olması nedeniyle ölçeğe göre sabit getiri (CRS) varsayımı kullanılmıştır.

M0'nın değerinin 1'den büyük olması, TFV'nin (t) döneminde (t+1) dönemine arttığını; 1'den küçük olması da TFV'nin (t) döneminden (t+1) dönemine azaldığını gösterir.(Kök ve Deliktaş 2003; 241) TFV' deki değişme iki kısma ayrıldığında teknolojik değişme ve etkinlikteki değişme ayrı ayrı gösterilebilir.

$$Teknik\ Etkinlikteki\ Değişme = \frac{d_0^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})}{d_0^{t}(y^{t}, x^{t})}$$

$$Teknolojik\ Değişme = \left[\left(\frac{d_0^{t}(y^{t+1}, x^{t+1})}{d_0^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})}\right) x \left(\frac{d_0^{t+1}(y^{t}, x^{t})}{d_0^{t+1}(y^{t}, x^{t})}\right)\right]^{\frac{1}{2}}$$

Malmquist verimlilik endeksinin ayrıştırılması TFV'deki teknik etkinlikteki (TE) ilerlemenin ve teknolojik değişmenin (TD) katkılarını belirlememizi sağlamaktadır. Burada, TE üretim sınırını yakalama etkisi (catch-up effect) olarak ifade edilirken, TD üretim sınırı eğrisinin yer değiştirmesi (frontier-shift) olarak ifade edilmektedir. TE ve TD, TFV'ndeki değişmenin ana unsurlarını oluşturmaktadır. Diğer bir ifadeyle, TE ile TD'nin çarpımı TFV'ndeki değişmeyi vermektedir.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise etkinliğin/etkinsizliğin kaynakları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla ilk aşamada elde edilen TE düzeyleri Tobit modelde bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. Son yıllarda literatürde DEA ve Tobit modeller sıklıkla birlikte (Kirjavainen, T. ve Loikkanen, H.A. (1998), Jackson, P., M., ve Fethi, M. D. (2000), Susiluoto, I. - Loikkanen H. (2001), Serdar Kılıçkaplan, Gaye Karpat (2004), António Afonso ve Miguel St. Aubyn (2006)) kullanılmaktadır.

Probit modelinin bir uzantısı olan Tobit Modeli James Tobin tarafından geliştirilmiştir. Bağımlı değişkene ait bilginin sadece bazı gözlemler için söz konusu olduğu örneklem sansürlü örneklem olarak bilinir(Aydın, 2010; 437)

Bağımlı değişkenin değişim aralığının herhangi bir şekilde sınırlandırıldığı regresyon modellerinde eğer belirli bir aralığın dışındaki gözlemler tamamen kaybediliyorsa kesikli model, ancak en azından bağımsız değişkenler gözlenebiliyorsa sansürlü model söz konusu olur. Sansürlü regresyon modele Tobit model de denilmektedir (Gujarati, 1999: 570-572).

Bağımlı değişkenin değişim aralığının herhangi bir şekilde sınırlandırıldığı regresyon modellerinde eğer belirli bir aralığın dışındaki gözlemler tamamen kaybediliyorsa kesikli model, ancak en azından bağımsız değişkenler gözlenebiliyorsa sansürlü model söz konusu olur (Üçdoğruk vd, 2001: 14-17).

Tobit modelinde gözlenen bir kukla değişken ,

$$y_i = \begin{cases} 1, & y_i^* > 0 \quad ise \\ 0 & y_i^* \le 0 \quad ise \end{cases} \qquad (1)$$

şeklindedir. Burada $y_i^* = \beta x_i + u_i$ (i = 1,…T) 'dir ve $y_i^* > 0$ ise y_i^*'nin gözlendiği, $y_i^* \le 0$ ise y_i^*'nin gözlenemediği varsayılmaktadır. Böylece gözlenebilen y_i,

$$y_i = \begin{cases} y_i^* = \beta x_i + u_i & y_i^* > 0 \quad ise \\ 0 & y_i^* \le 0 \quad ise \end{cases} \qquad (2)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada $u_i \approx N(0, \sigma^2)$, x_i , açıklayıcı değişkenlerin bir vektörü, β ise bilinmeyen parametreleri göstermektedir (Maddala, 1989). y_i^*, latent değişken ve y_i ise VZA'dan elde edilen skorlardır

(2) nolu Tobit Modelinde $y_i^* \le 0$ olduğunda y_i^* üzerine bazı gözlemler sıfır değerini almaktadır. $y_i = \beta x_i + u_i$ modelinde negatif ya da sıfır değerini alan y_i gözlemleri ihmal edildiğinde, $u_i > -\beta x_i$ için gözlemlerin modele katılması ile u_i hata terimi sıfır ortalamaya sahip olamaz. Bu nedenle u_i, ortalaması sıfırdan farklı bir truncated normal dağılıma sahiptir (Maddala, 1989).

Veriler belirli bir limitin altında ya da üstünde sınırlandırıldığında örneklem verilerine uygulanan dağılım sürekli ve süreksiz dağılımların bir karması olur. Bağımlı değişken kesikli hale getirildiğinde belirli bir aralıktaki değerler tamamen tek bir değere dönüştürülmüş olur (Üçdoğruk, Akın ve Emeç, 2001).

Tobit Modelinin tahmininde ise genellikle Maksimum Olabilirlik (MO) yöntemi kullanılmaktadır.

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right)$$

t – sürekli tesadüfi değişkenin standart normal dağılımın yoğunluk fonksiyonunu ve

$$F(z) = \int_{-\infty}^{z} f(t)dt$$

standart normal dağılımın birikimli dağılım fonksiyonunu göstermek üzere, Tobit Modeli için olabilirlik fonksiyonu (L) ;

$$L = \prod_{y_i>0} \frac{1}{\sigma} f\left(\frac{y_i - \beta x_i}{\sigma}\right) \prod_{y_i \le 0} F\left(-\frac{\beta x_i}{\sigma}\right)$$

şeklinde yazılabilir (Maddala, 1989). Olabilirlik fonksiyonu (L), β ve σ'ya göre maksimize edildiğinde bu parametrelere ait maksimum olabilirlik (MO) tahminleri aşağıdaki gibi elde edilir:

$$L = \prod_{y_i=0} (1 - F_i) \prod_{y_i>0} \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{1/2}} e^{-[1/(2\sigma^2)](y_i - \beta x_i)^2} \quad (3)$$

$$F(i) = \int_{-\infty}^{\beta x_i / \sigma} \frac{1}{(2\pi)^{1/2}} e^{-t^2/2} dt$$

(3) no'lu ifadede ilk çarpım, %100 etkin olan (y = 0) firmalara ait gözlemleri, ikinci çarpım ise etkin olmayan (y > 0) firmalara ait gözlemleri göstermektedir (Jackson ve Fethi, 2000).

Tobit Modeller için hata terimlerinin normal dağıldığı ya da genel olarak parametrik biçimi belli olan dağılım fonksiyonuna sahip olduğu bilindiğinde maksimum olabilirlik ve diğer olabilirlik bazlı süreçler tutarlı ve asimptotik olarak normal dağılımlı tahmin ediciler verir. Bununla birlikte, olabilirlik fonksiyonunun varsayılan parametrik biçimi yanlış belirlendiğinde tahmin ediciler tutarsız olur.

3. Uygulama Sonuçları

Petrokimya Endüstrisine yönelik olarak 2000-2009 dönemi kaynak kullanım etkinliğini ölçmeye yönelik olarak DEA analizi ve firmaların etkinliklerindeki değişmeleri takip etmek amacıyla hesaplanan TFV sonuçları Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2: Malmquist Toplam Faktör Verimliliği (TFV) Sonuçları

Karar Birim.	Malmquist Toplam Faktör Verimliliği Endeksi (TFV)											
	00-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	Malmquist (TFV) Ortalama	TE Değişim Ort. (Catch-up)	Teknolojik Değişim Ort.(Frontier)
TUPRAS	1.015	1.009	1.005	1.014	1.007	1.014*	0.998	0.999	0.971	1.003	0.991	1.013
POAS	1.154*	1.178	1.005	0.999	0.993	1.002	0.993	0.999	0.977	1.033	0.998	1.037
PETKİM	1.007	1.01	1.013	1.014	0.982	1.042	1.008	1.036*	1.021	1.015	1.004	1.011
Ortalama	1.059	1.066	1.008	1.009	0.994	1.020	1.000	1.012	0.990	1.018	0.998	1.021
Masimum	1.154	1.179	1.014	1.014	1.007	1.043	1.009	1.036	1.022	1.034	1.004	1.037
Minimum	1.007	1.009	1.006	1.000	0.983	1.003	0.993	0.999	0.970	1.004	0.991	1.011
S. Sapma	0.083	0.098	0.005	0.008	0.012	0.020	0.008	0.021	0.028	0.015	0.007	0.015

* Firmaların özelleştirildikleri yılları göstermektedir.

Tablo 3: Malmquist Teknik Etkinlik (TE) Sonuçları

Karar Birimleri	Teknik Etkinlik Düzeyleri (TE)										
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Ortalama
Tüpraş	0.723	0.701	0.692	0.685	0.691	0.699	0.698*	0.694	0.666	0.638	0.6887
Poaş	0.909*	0.984	1	0.998	0.975	0.971	0.952	0.943	0.905	0.868	0.9505
Petkim	1	1	1	1	1	1	1	1	1*	1	1
Ortalama	0.877	0.895	0.897	0.894	0.888	0.89	0.883	0.879	0.857	0.835	0.8797

* Firmaların özelleştirildikleri yılları göstermektedir.

Yukarıdaki tablodan elde edilen etkinlik skorlarına bağlı olarak endüstriye ilişkin TFV'nin ele alınan dönemde ortalama 1,018 olduğu hesaplanmıştır. Buna göre endüstrinin tamamına ilişkin ölçeğe göre artan getirilerin geçerli olduğunu söylemek mümkündür. Endüstride yer alan her bir firmaya ilişkin TFV skorları inceliğinde ise 2006 yılında özelleştirilen TÜPRAŞ'ın 2000-2009 döneminde TFV skoru ortalama 1.003 düzeyindedir. Özelleştirme öncesi ve sonrası TFV düzeyi (1,010 ; 0,989) dır. TFV değişim düzeyi özelleştirme sonrasında, özelleştirme öncesine göre ortalama % 2 azalmıştır. Ayrıca 2008 küresel krize bağlı olarak 2008'den 2009'a TFV skoru 0.971 ile en düşük seviyesine düşmüştür. Ayrıca bir önceki döneme göre % 2.9 oranında azaldığı görülmektedir. Bu göstergeler, teknik etkinlik açısından ele alındığında, teknik etkinlik düzeyindeki değişim 2000-2009 dönemi boyunca ortalama 0.6887 düzeyindedir. Özelleştirme öncesi ve sonrası TE düzeyi (0.6985;0.674) olarak hesaplanmıştır. TE düzeyi özelleştirme sonrasında, özelleştirme öncesine göre ortalama % 3.6 azalmıştır. Yine kriz yılında TE düzeyi tüm döneme oranla en düşük seviyesini 0.638 göstermektedir. Dönem bir bütün olarak ele alındığında firmanın ortalama TFV düzeyi, ortalama endüstri düzeyinden % 1,8 daha küçüktür. TÜPRAŞ'ın TFV'deki özelleştirme öncesi ve sonrası değişimin etkili olduğu ve küresel krizin etkinlik düzeyi üzerinde olumsuz bir etki yarattığı söylenebilir.

2000 yılında özelleştirilen POAŞ'ın özelleştirme öncesi ve sonrası dönemi karşılaştırmak mümkün olmadığından, TFV düzeyi özelleştirme sonrası dönemi içermekte olup 1.033 düzeyindedir. Bu düzey ile endüstri içinde en yüksek ortalama düzeye sahiptir. 2000-2002 döneminde TFV düzeyi artarken 2003 yılında TFV %16 gibi çok ciddi bir düşüşle 0.864 düzeyine inmiştir. Sonraki yıllarda artan bir ivme olmasına rağmen küresel kriz 2009 yılında TFV düzeyindeki değişimi olumsuz etkilemiştir. Etkinsizliğin kaynakları incelendiğinde firmanın 2003 yılında üretim düzeyinde yaşanan nisbi azalmalara karşın istihdam edilen emek miktarında bir artış ortaya çıkmıştır. 2008 yılında yaşanan mortgage kriziyle sektörde bir daralma meydana gelmiştir. POAŞ'nin petrol dağıtım ağı açısından Türkiyede en gelişmiş ağa sahip olması (2007 yılında motorinde % 30, benzinde % 24, oto-LPG'de % 20, siyah ürünlerde % 60, jet yakıtında % 71 ve madeni yağlarda % 23 pazar payı) nedeniyle sektördeki dalgalanmalardan önemli ölçüde etkilendiği görülmektedir. Küresel krizin etkisiyle teknik etkinlik düzeyi 2009 yılında 0.868 ile dönem ortalaması itibariyle en düşük düzeyine inmiştir. Küresel krizin firma üzerindeki etkileri 2008 yılından itibaren gözlenebilmektedir. Dönem bir bütün olarak ele alındığında TFV ortalama düzeyi, ortalama endüstri düzeyinden % 3.3 daha büyüktür.

2008 yılında özelleştirilen PETKİM'in 2000-2009 döneminde TFV skoru ortalama 1.015 düzeyindedir. Özelleştirme öncesi ve sonrası TFV düzeyi (1,010 ; 1,028) dır. Özelleştirme sonrasında firmanın TFV düzeyinde %2.8 düzeyinde bir artış olduğu gözlenmiştir. 2008 küresel krizinden endüstrideki diğer firmalara nazaran daha az etkilenen firma olarak karşımıza çıkan PETKİM'in bu başarısında özelleştirme sonrası dönemde ortaya çıkan yeniden yapılanmanın etkili olduğu görülmektedir. Teknik etkinlik düzeyleri itibariyle de endüstrideki en etkin firma durumundadır.

Petrokimya endüstrisine ilişkin özelleştirme öncesi ve sonrasını kapsayan DEA analiz sonuçları topluca değerlendirildiğinde, firmaların ölçeğe göre artan getiriler ile çalıştıkları bunun nedeni olarak, her bir firmanın kendi alanlarında (dağıtım, üretim) monopol karakter taşımasının etkili olduğu görülmektedir. Ortadoğu da yaşanan siyasal çalkantıların ve OPEC ülkelerinin tutumunun bundan sonrakı yıllarda petrokimya endüstrisinin gelişiminde önemli rol oynayacağı öngörülmektedir.

Çalışmanın ikinci aşamasında petrokimya endüstrisinde etkinsizliğin kaynakları ortaya konulmuştur. Analizde firmanın TE skorları bağımlı değişken olarak yer alırken bağımsız değişken olarak firmaya özgü içsel değişkenler (Özkaynak karlılık oranı[30], piyasa payı, özelleştirme (kukla değişken özelleştirme öncesi 0 özelleştirme sonrası 1) ve endüstriye yönelik dışsal değişkenler (petrol fiyatları) kullanılmıştır. Oluşturulan Tobit model çalışmanın yönteminde de belirtildiği şekilde tanımlanmış ve elde edilen sonuçlar ekonometrik ve istatiksel ölçütler çerçevesinde aşağıdaki şekilde rapor edilmiştir.

Tablo 4: Tobit Model Sonuçları (Etkinliği Belirleyen İçsel değişkenler)

Bağımlı değişken: Teknik Etkinlik Düzeyi (TE)

Bağımsız Değişkenler	**Katsayı**	**Std. Hata**	**t istatistiği**	**P>t**	**Olasılık**
Sabit	1.2206	0.0584296	20.89	1.100718	1.340493
PPAY	-0.00486*	0.0013644	-3.57	-0.007666	-0.002067
OZKV	-0.00968*	0.0028203	-3.43	-0.015471	-0.003898
Sigma	0.102206	0.178607			0.0661405
Log likelihood	8.734967				

[30] Özkaynak karlılık oranı vergi öncesi net kar/özkaynak toplamı alınarak hesaplanmıştır.

Gözlem Saysı	30

Not: * , ** ve *** sırasıyla yüzde 1, yüzde 5 ve yüzde 10 düzeyinde istatistiksel anlamlılığı belirtmektedir.

Endüstriye ilişkin içsel değişkenlerin alındığı yukarıdaki model sonuçlarına göre endüstride piyasa payı arttıkça etkinliğin azaldığı görülmektedir. Firmaların kendi alanlarında tekel nitelikte olması piyasa payı arttıkça etkinliğin azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca özkaynak verimlilik oranındaki artışlarda etkinlik düzeyini azaltmaktadır. Bu durum petrol fiyatlarındaki artışın firmanın karlılığını arttırırken piyasa talebinde yaratacağı daralma ile açıklanabilir.

Endüstriye ilişkin kontrol(dışsal) değişkenler modele dahi edildiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Kontrol değişkenler endüstri dışında ortaya çıkan değişimleri ifade etmektedir. Nitekim petrol fiyatları (POİL) kartelci bir yapıda belirlenirken (OPEC tarafından) kukla değişken olarak kullanılan özelleştirme tarihi (Özel Tar.) politik tercihi ifade etmektedir.

Tablo 4: Tobit Model Sonuçları (Etkinliği Belirleyen İçsel ve Dışsal değişkenler)

Bağımlı değişken: Teknik Etkinlik Düzeyi (TE)

Bağımsız Değişkenler	**Katsayı**	**Std. Hata**	**t istatistiği**	**P>t**	**Olasılık**
Sabit	1.367131	0.093271	14.66	0	1.175034
PPAY	-0.00745*	0.001761	-4.23	0	-0.011078
OZKV	-0.00541*	0.003094	-1.75	0.093	-0.011778
POİL	-0.00124*	0.000975	-1.27	0.215	-0.003248
Özel. Tar	-0.07699	0.051981	-1.48	0.151	-0.184043
Sigma	0.089998	0.1207611			0.0592363
Log likelihood	14.23863				
Gözlem Saysı	30				

Not: * , ** ve *** sırasıyla yüzde 1, yüzde 5 ve yüzde 10 düzeyinde istatistiksel anlamlılığı belirtmektedir

Elde edilen sonuçlara göre petrol fiyatlarındaki artış beklenildiği üzere teknik etkinlik düzeyinde bir azalma ortaya çıkarmaktadır. Bunda artan petrol fiyatlarının yarattığı talep daralması ve belirli bir oranda (20 günlük stok) petrol bulundurmak zorunda olan firmaların maruz kaldığı fiyat riskleri neden olmaktadır. Özelleştirme tarihinin tobit model üzerindeki etkisi ise istatistiksel olarak anlamsız olup eğilim itibariyle etkinliği arttırıcı bir nitelik taşıdığı görülmektedir.

Sonuç

Petrokimya endüstrisi, Dünya ve Türkiye ekonomisi açısından büyük önem taşıyan endüstriler arası ileri bağlantısı yüksek olan sürükleyici bir endüstridir. Petrokimya sektörü, yirminci yüzyılın ikinci yarısından itibaren hızla gelişerek doğal ham madde yerine ikame edilebilen geniş üretim yelpazesi, ürünlerin kullanım, dayanıklılığı ve maliyet üstünlükleri sayesinde, 21. yüzyılın en önemli endüstrilerinden biri haline gelmiştir. Teknoloji ve sermaye yoğun petrokimya sektörünün diğer bir özelliği de rekabetin yoğun olduğu bir sektör olmasıdır. Sektördeki büyümenin temel dinamiğini, dünya genelinde ve özellikle gelişen ekonomilerde yüksek büyüme hızı, yeni yatırımlar, artan uluslar arası ticaret ve petrokimyasal ürünlerin kullanım alanlarının giderek genişlemesi oluşturmuştur.

Dünya kimya sanayinde son yıllarda küresel olaylar, artan çevre kısıtları, artan tüketici beklentileri gibi nedenlerle büyük değişimler yaşanmaktadır. 2008 yılında yaşanan küresel ekonomik kriz nedeniyle, ham petrol fiyatlarında sert iniş/çıkışlar, piyasa talebinde büyük ölçüde daralmalara neden olmuştur. Kriz döneminde petrokimya endüstrisinde, bir dizi yeniden yapılanma önlemleri alınmıştır. Rekabet gücünü kaybeden tesisler kapanmış ve kapasite kullanım oranları %60'lar düzeyine düşmüştür. Devam eden yatırımlar durdurularak, yeni projeler ertelenmiştir. Sektörde satın alma ve birleşmeler hızlanmış ve uluslararası ticaret daralmıştır.

Türk Petrokimya endüstrisi dışa bağımlı karakteristiği ile Petro kimya endüstrisinde yaşana şoklara daha duyarl olmasına neden olmuştur. Yukarıdaki analiz sonuçlarından da anlaşılacağı üzere 2008 küresel krizinin petrol endüstrisine olumsuz etkileri gözlenmiştir. Etkinlik analizi sonuçlarına bağlı olarak endüstrinin geneline ilişkin olarak ölçeğe göre artan getirilerin geçerli olduğu görülmektedir. Buna rağmen küresel krizin sektördeki verimliliği olumsuz etkilediği görülmektedir. Etkinsizliğin kaynaklarına ilişkin olarak kurulan Tobit model sonuçlarına göre ise petrol fiyatlarındaki artışın etkinliği olumsuz etkilediği, endüstride yer alan firmaların monopol karakterleri nedeniyle piyasa paylarındaki artışın kaynak kullanım etkinliğini olumsuz etkilediği sonuçlarına ulaşılmıştır.

Kaynaklar

Aydın Üzeyir (2010), "Finans Endüstrisinde Karşılaştırmalı Etkinlik Analizi:Türkiye Örneği (1989-2006)" DEU, Sosyal Bilimler Enstitisü, Yayımlanmamış Doktora Tezi, İzmir

Afonso, A. and St. Aubyn. (2006), "Relative Efficiency of Health Provision: a DEA Approach with Non-discretionary Inputs". ISEG-UTL,Department of Economics Working Paper, No: 33/2006/DE/UECE.

Bayraç H. N., (1999). Uluslararası Doğalgaz Piyasasının Ekonomik Analizi, Türkiye'deki Gelişimi ve Eskişehir Uygulaması, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Eskişehir

Farrell, M.J. (1957) The Measurement of Productive Efficiency, Journal of Royal Statisticai Society, Series A, General 120, Part 3: 253-281.

Gujarati, Damodar N. (1999). **"**Temel Ekonometri". (Çev:Ü. Senesen ve G.G. Senesen), Literatür Yayınları, 1.Baskı, Istanbul.

JACKSON, P., M., FETHİ, M. D. (2000), "Evalution the Technical Efficiency of Turkish Commercial Banks: An Application of DEA and Tobit Analysis", International DEA Symposium, University of Queensland, Brisbane, Australia, 2-4 July.

KılıçkaplanSerdar, Karpat Gaye (2004), "Türkiye Hayat Sigortası Sektöründe Etkinliğin İncelenmesi" D.E.Ü.İ.İ.B.F.Dergisi Cilt:19 Sayı:1, Yıl:2004

Kirjavainen, T. and Loikkanen, H.A. (1998), "Efficiency differences of Finnish senior secondary schools: an application of DEA and Tobit analysis, Economics of Education Review 17, 4, 377-394.

Kök, R., Deliktaş E., (2003). Endüstri İktisadında Verimlilik Ölçme ve Strateji Geliştirme Teknikleri, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, ISBN 975-288-592-6, Yay No: 25-8/1, İzmir

Maddala, G. S. (1989), **Introduction to Econometrics**, Macmillan Publishing Company, New York

PETKİM A.Ş., (2008) Faaliyet Raporu, http://www.petkim.com.tr /pdf/yillik_rapor/petkim_faaliyet_raporu_2009.pdf (13.04.2011)

PİGEM (2003). 2003 Yılı Petrol Faaliyetleri, Ankara: T.C. Petrol İşleri Genel Müdürlüğü, www.pigm.gov.tr

Soysal, C., (2003). Rekabet Perspektifinden Türkiye Akaryakıt Sektörü, Ankara: Rekabet Kurumu Uzmanlık Tezleri Serisi.

Susiluoto, I. - Loikkanen H. (2001): The Economic Efficiency of Finnish Regions 1988-1999, an Application of the DEA Method. Paper presented at the 41st Congress of the European Regional Science Association, Zagreb, Croatia

T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, (2007). Dokuzuncu Kalkınma Planı, (2007-2013), Ankara

TPAO, "Türkiye'de Petrol Faaliyetlerive TPAO, Petrol-İş Yayınları, No:106, Temmuz 2007, Ankara

Üçdoğruk, Şenay, Akın Fahamet ve Emeç Hamdi (2001), "Türkiye Hanehalkı Eğlence Kültür Harcamalarında Tobit Modelin Kullanımı", Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt: 3, Sayı: 3.

SINAVLARA GÖZETMEN ATAMASININ HEDEF PROGRAMLAMA METODU İLE OPTİMİZASYONU

Oğuzhan KIRILMAZ
Kara Harp Okulu
Sistem Yönetim Bilimleri Bölümü
Endüstri Müh. Bölümü

Yrd.Doç.Dr. Ümit TERZİ
Yeni Yüzyıl Üniversitesi
Mühendislik Mimarlık Fakültesi

ÖZET
Ankara'da faaliyet gösteren bir okulda iki ara sınav iki dönem sonu sınavı olmak üzere senede 4 kez toplu halde sınav yapılmaktadır. Bu sınavlar esnasında okulda görevli öğretim elemanlarından salon başkanı, gözetmen ve evrak sorumlusu olmak üzere üç farklı göreve görevlendirmeler yapılmaktadır.
Bir sınav döneminde ortalama 10 gün, bir günde dört oturum, bir oturumda 10 sınav merkezi (salonu) olduğu düşünülürse sınavlara gözetmen atanması işlemi çok karmaşık bir yapıya sahiptir.
Bu çalışmada, belirlenen kriterler doğrultusunda atama ve hedef programlama yöntemleri ile sınavlara personel görevlendirilmesi amaçlanmış ve çalışma neticesinde hedeflenen sonuçlar elde edilmiştir.
Anahtar Kelimeler: Çizelgeleme problemleri, hedef programlama, tamsayılı programlama

1. GİRİŞ

Çizelgeleme problemleri günlük hayatta birçok alanda rastlanan kombinatoryal eniyileme problemlerindendir. Eğitim alanında en sık rastlanan çizelgeleme problemleri ise sınav çizelgeleme, ders/kurs çizelgeleme ve sınıf/öğretmen çizelgelemedir. Her üç çizelgeleme problemi de esasen aynı modelleme mantığı üzerine kurulu olup ufak farklılıklar göstermektedir. Sınav çizelgeleme problemleri belirli bir zaman dilimi için, belirlenen kriterler çerçevesinde derslere sınav planı oluşturma işlemidir. Sınav çizelgeleme ilk olarak 1960'lı yıllarda çalışılmaya başlanmıştır. Bu çalışmalardan birçoğu graf teorisi ve tamsayılı doğrusal programlamaya dayanıyordu [Mehta 1981; Peck and Williams 1966; Tripathy 1984; Welsh and Powell 1967]. Bununla birlikte sınav çizelgeleme problemlerine hüristik algoritmalar geliştiren araştırmacılar da olmuştur [Broder 1964; Cole 1964; Desroches, Laporte ve Rousseau 1978; Hertz 1991; Johnson 1990; Kiaer and Yellen 1992; Laporte and Desroches 1984; White and Chan 1979; Wood 1968]. 1986 yılında Carter sınav çizelgeleme üzerine çok kapsamlı bir çalışma yayımlamıştır [Carter and Laporte 1996]. Ders çizelgeleme probleminde ise her öğrencinin alması gereken dersler belirlenmiş olup hangi zaman diliminde hangi derslerin işleneceği çizelgelenir. Bu tür planlara müfredat da denilmektedir [Dowsland 1990]. Sınıf/öğretmen çizelgeleme problemleri ise dersler kümesini birçok kısıtı göz önüne alarak uygun sınıflara/öğretmenlere haftalık zaman periyodunda planlama faaliyetidir [Carrasco and Pato 2004].

2. SINIF/ÖĞRETMEN ÇİZELGELEME

Bu çalışma, giriş bölümünde anlatılan çizelgeleme problemlerinden sınıf/öğretmen çizelgeleme problemine benzemektedir. Sınavlarda gözetmen olarak görev yapacak kişilerin sınav merkezlerine görevlendirilmesi yapılmıştır.
Bu tür çizelgeleme problemlerinde zorunlu kısıtlar (hard constraints) ve zorunlu olmayan, keyfi kısıtlar (soft constraints) olmak üzere iki tür kısıt vardır.

a. Zorunlu Kısıtlar;

Zorunlu kısıtlar, modelin hatalı olmaması için yazılması gereken kısıtlardır. Bunlar;
Sınıfın toplam ders saatine riayet edilmelidir. Örneğin günlük 6 saat dersi olan bir sınıfa 7 saat ders yazılamaz,
Bir ders saatinde bir öğretmene ve bir sınıfa sadece bir ders yazılabilir,
Dersler farklı olabilir fakat ders süreleri sabittir,
Eğer bazı dersler özel sınıf gerektiriyorsa (örn. bilgisayar) bu husus göz önünde bulundurulmalıdır,
Her sınıfın ve öğretmenin özel (uygun olmama) kısıtına riayet edilmelidir.
Zorunlu kısıtlar kurumun yapısına göre değişebilir.

b. Zorunlu Olmayan Kısıtlar

Zorunlu olmayan kısıtlar, modele, kişisel istekleri, dengeli görevlendirmeyi, özel durumları yansıtmak için kullanılan kısıtlardır.Bunlar;
Hem sınıf hem de öğretmenler için dersler arası zaman boşlukları az veya dengeli olmalıdır,
Sınıfın ve öğretmenin kişisel istekleri dikkate alınmalıdır,
Farklı öğretim yerleri, derslikler arasındaki sınıf ve öğretmen değişimi hareketi en aza indirilmelidir.
Zorunlu olmayan kısıtlar durumsal olarak artırılıp azaltılabilir.
Sınıf/öğretmen çizelgeleme problemleri zorunlu kısıtları sağlayan, zorunlu olmayan kısıtları mümkün olduğunca sağlamaya çalışan kombinatoryal eniyileme problemleridir. [Carrasco and Pato 2004]

3. UYGULAMA

Ankara'da faaliyet gösteren bir okulda bir yılda kredili derslerden ara sınav, dönem sonu sınavı, bütünleme, not/ek not yükseltme olmak üzere ortalama 7 kez sınav yapılmaktadır. Bu sınavlardan özellikle öğrencilerin

tamamının katıldığı ara sınavlar ve dönem sonu sınavları olmak üzere 4 sınavda çok detaylı planlama yapılmaktadır.
Bir sınav dönemi yaklaşık 2 hafta sürmekte ve bir sınav gününde ikisi sabah, ikisi öğleden sonra olmak üzere toplam 4 oturum yapılmaktadır. Yapılacak olan sınava bağlı olarak bu oturumlardan bazıları 60 dakika bazıları ise 90 dakikadır.
Sınavlar 100-150 kişi kapasiteli 5 adet büyük salonda ve 30-40 kişi kapasiteli 5 küçük salonda yapılmaktadır.
Her sınavda her salona bir salon başkanı ve bir evrak sorumlusu, sınava giren her 30 öğrenci için bir gözetmen görevlendirilmektedir.
Salon başkanı, gözetmen ve evrak sorumlulukları sınava giren öğrenci miktarına bağlı olarak statü esasına göre yapılmaktadır.
Sınavlar için gözetmen görevlendirmesi yapılmadan önce personele mazeretleri sorulmakta ve mümkün olduğunca belirtilen günlerde görevlendirme yapılmamaktadır.
Planlama yapılırken kullanılacak zorunlu kısıtlar şunlardır;
Tüm salon ve saatler için bir salon başkanı atanmalıdır,
Tüm salon ve saatler için istenen gözetmen sayısı kadar atama yapılmalıdır
Tüm salon ve saatler için evrak sorumlusu atanmalıdır
Bir kişi aynı anda (aynı gün ve saatte) sadece bir göreve atanmalıdır.
Planlama yapılırken kullanılacak zorunlu olmayan (keyfi) kısıtlar şunlardır;
Mazeretli gün ve saatlere atama yapılmamalıdır,
Salon başkanı, gözetmen ve evrak sorumluları arasında görev miktarları mümkün olduğu kadar dengeli (eşit sayıda) olmalıdır.
Personel arasında 60 ve 90 dakikalık sınavlardaki gözetmenlik sayısı miktarları dengeli olmalıdır. (Örn: bir kişiye 1 adet 60 dakikalık 6 adet 90 dakikalık, diğer bir kişiye 6 adet 60 dakikalık 1 adet 90 dakikalık gözetmenlik görevi verilmemelidir)
Bazı dönemlerde hafta sonları da sınav yapılmaktadır. Hafta sonu için yapılacak olan görevlendirmeler herkes için dengeli olmalıdır.
Karar değişkeni: X ijklm = i kişisinin, sınavların j gününde, k oturumunda, l salonuna, salon başkanı / gözetmen / evrak sorumlusu olarak görevlendirilip görevlendirilmeyeceği

X ijkl { 1 ise görevlendirme yapılacaktır
0 ise görevlendirme yapılmayacaktır.

İ= Kişi indeksi: Görevlendirilecek kişiler statü /makam esasına göre sıralanmış olup indeksler sıra numarasını göstermektedir. Kitle 3 gruba ayrılmıştır. Üst grup, salon başkanı olabilecek kişileri, orta grup gözetmen olabilecek kişileri, alt grup evrak sorumlusu olabilecek kişileri ifade etmektedir.

$1 \le i \le a$: üst grupdaki kişiler (1-45)

$a < i \le b$: orta grupdaki kişiler, (46-149)

$b < i \le c$: alt grupdaki kişiler (150-186)

Örnek: i=1 ise listenin 1'inci sırasındaki kişi, 1= 112 ise listenin 112'nci sırasındaki kişi vb.
j= Gün indeksi (e, gün sayısı): Sınav dönemi toplam e gün ise j=1,2,.....e olarak sınavın hangi gün olduğunu belirten indeks.
Örnek: j=1 ise 1'inci gün; j=2 ise 2'inci gün vb.
k: Sınav Saati (1., 2., 3., 4. oturum): Sınavın gün içinde kaçıncı oturum olduğunu belirten indeks. Uygulamaya göre 1 ve 3'üncü oturumlar 90 dakikalık sınavlar, 2 ve 4'üncü oturumlar 60 dakikalık sınavlardır.
Örnek: k=1 ise 1'inci oturum; k=2 ise 2'inci oturum vb.
l: Sınav salonu: Sınavın nerede olduğunu belirten indeks. (l=1;10)
Örneğin; l=1 ise A Blok,
l=2 ise B Blok,
Ortak Kısıtlar
1. Bütün salon ve saatler için bir salon başkanı atanmalıdır.

$$\sum_{i=1}^{a} x_{ijkl} = 1 \quad \forall j,k,l \text{ için}$$

2. Bütün salon ve saatler için istenen gözetmen sayısı kadar atama yapılmalıdır.

$$\sum_{i=a+1}^{b} x_{ijkl} = f_{jkl} \quad \forall j,k,l \text{ için}$$

(f_{jkl} : gün, salon, sınav saati için gözetmen ihtiyacıdır. Uygulamada bu değer her sınava ve salona göre farklılık göstermektedir)

3. Bütün salon ve saatler için bir evrak sorumlusu atanmalıdır.

$$\sum_{i=b+1}^{c} x_{ijkl} = 1 \quad \forall\, j,k,l \text{ için}$$

4. Mazeret nedeniyle atama yapılmaması gereken yerler (kişi, gün, saat) sıfıra eşitlenerek yasaklanmalıdır.

$$\sum_{l=1}^{10} x_{ijkl} = 0 \quad \text{Yasak olan } \forall i, j, k \text{ için}$$

5. Hiçbir görevliye ard arda 2 görev verilmesi istenmemektedir.

$$\sum_{l=1}^{e} (x_{ij1l} + x_{ij2l}) \le 1 \;\forall \text{ i ve j için}$$

$$\sum_{l=1}^{e} (x_{ij3l} + x_{ij4l}) \le 1 \qquad \forall i \text{ ve } j \text{ için}$$

Hedeflerdeki sapmalar her seviye ve öncelik içinde statü durumuna göre ağırlıklandırılacaktır.

$$MinZ = \left\{ \begin{array}{l} P_1\left(d_{1i}^{+} + d_{2i}^{+} + d_{3i}^{+} + d_{4i}^{+} + d_{5i}^{+} + d_{16ij}^{+}\right) + P_2\left(d_{6i}^{+} + d_{7i}^{+} + d_{8i}^{+} + d_{9i}^{+} + d_{10i}^{+}\right) + \\ P_3\left(d_{11i}^{+} + d_{12i}^{+} d_{13i}^{+} + d_{14i}^{+} + d_{15i}^{+}\right) \end{array} \right\}$$

Üst Grup Kısıtlar (Hedef programlama kısıtları 1. hedef)

1. Üst gruptaki her kişi için görev sayısı toplamı, belirlenen hedefi aşmamalıdır. (1. öncelik)

$$\sum_{j=1}^{e}\sum_{k=1}^{4}\sum_{l=1}^{10} x_{ijkl} - d_{1i}^{+} + d_{1i}^{-} = h_1 \quad \forall i \le a \text{ için}$$

(h_1 : üst grupdaki kişiler için belirlenen görev sayısının üst sınırı. Uygulamada bu değer 4 olarak belirlenmiştir)

2. Üst gruptaki her kişi için Cumartesi ve Pazar görev sayısı toplamı belirlenen hedefi aşmamalıdır.

$$\sum_{k=1}^{4}\sum_{l=1}^{10} x_{ijkl} - d_{2i}^{+} + d_{2i}^{-} = h_{1_c} \quad \forall i \le a, j = \text{cumartesi için}$$

(h_{1_c} :üst grupdaki kişiler için cumartesi görevi sayısı üst sınırı. Uygulamada bu değer 1 olarak belirlenmiştir)

$$\sum_{k=1}^{4}\sum_{l=1}^{10} x_{ijkl} - d_{3i}^{+} + d_{3i}^{-} = h_{1_p} \quad \forall i \le a, j = \text{pazar için}$$

(h_{1_p} :üst grupdaki kişiler için pazar görevi sayısı üst sınırı. Uygulamada bu değer 1 olarak belirlenmiştir)

3. 60 dakika ve 90 dakika sınav sayısı belirlenen grup için hedefi aşmamalıdır.

$$\sum_{j=1}^{e}\sum_{l=1}^{10}\left(x_{ij2l} + x_{ij4l}\right) - d_{4i}^{+} + d_{4i}^{-} = h_{1_60} \quad \forall i \le a \text{ için}$$

(h_{1_60} :üst grupdaki kişiler için 60 dakikalık sınav görevi sayısı üst sınırı. Uygulamada bu değer 2 olarak belirlenmiştir)

$$\sum_{j=1}^{e}\sum_{l=1}^{10}\left(x_{ij1l} + x_{ij3l}\right) - d_{5i}^{+} + d_{5i}^{-} = h_{1_90} \quad \forall i \le a \text{ için}$$

(h_{1_90} :üst grupdaki kişiler için 90 dakikalık sınav görevi sayısı üst sınırı. Uygulamada bu değer 2 olarak belirlenmiştir)

Orta Grup Kısıtlar

1. Orta gruptaki her kişi için görev sayısı toplamı belirlenen hedefi aşmamalıdır.

$$\sum_{j=1}^{e}\sum_{k=1}^{4}\sum_{l=1}^{10} x_{ijkl} - d_{6i}^{+} + d_{6i}^{-} = h_2 \quad a < \forall i \le b \text{ için}$$

(h_2 : orta grupdaki kişiler için belirlenen görev sayısının üst sınırı. Uygulamada bu değer 6 olarak belirlenmiştir)
2. Gruptaki her kişi için Cumartesi ve Pazar görev sayısı toplamı belirlenen hedefi aşmamalıdır.

$$\sum_{k=1}^{4}\sum_{l=1}^{10} x_{ijkl} - d_{7i}^{+} + d_{7i}^{-} = h_{2_c} \quad a < \forall i \le b, j = \text{cumartesi için}$$

(h_{2_c} : orta grupdaki kişiler için cumartesi görevi sayısı üst sınırı. Uygulamada bu değer 1 olarak belirlenmiştir)

$$\sum_{k=1}^{4}\sum_{l=1}^{10} x_{ijkl} - d_{8i}^{+} + d_{8i}^{-} = h_{2_p} \quad a < \forall i \le b, j = \text{pazar için}$$

(h_{2_p} :orta grupdaki kişiler için pazar görevi sayısı üst sınırı. Uygulamada bu değer 1 olarak belirlenmiştir)

3. 60 dakika ve 90 dakika sınav sayısı belirlenen grup için hedefi aşmamalıdır.

$$\sum_{j=1}^{e}\sum_{l=1}^{10}\left(x_{ij2l} + x_{ij4l}\right) - d_{9i}^{+} + d_{9i}^{-} = h_{2_60} \quad a < \forall i \le b \text{ için}$$

(h_{2_60} :orta grupdaki kişiler için 60 dakikalık sınav görevi sayısı üst sınırı. Uygulamada bu değer 3 olarak belirlenmiştir)

$$\sum_{j=1}^{e}\sum_{l=1}^{10}\left(x_{ij1l} + x_{ij3l}\right) - d_{10i}^{+} + d_{10i}^{-} = h_{2_90} \quad a < \forall i \le b \text{ için}$$

(h_{2_90} :orta grupdaki kişiler için 90 dakikalık sınav görevi sayısı üst sınırı. Uygulamada bu değer 3 olarak belirlenmiştir)

Alt Grup Kısıtlar

1. Alt gruptaki her kişi için görev sayısı toplamı belirlenen hedefi aşmamalıdır.

$$\sum_{j=1}^{e}\sum_{k=1}^{4}\sum_{l=1}^{10} x_{ijkl} - d_{11i}^{+} + d_{11i}^{-} = h_3 \quad b < \forall i \le c \text{ için}$$

(h_3 :alt grupdaki kişiler için belirlenen görev sayısının üst sınırı. Uygulamada bu değer 7 olarak belirlenmiştir)
2. Gruptaki her kişi için Cumartesi ve Pazar görev sayısı toplamı belirlenen hedefi aşmamalıdır.

$$\sum_{k=1}^{4}\sum_{l=1}^{10} x_{ijkl} - d_{12i}^{+} + d_{12i}^{-} = h_{3_c} \quad b < \forall i \le c, j = \text{cumartesi için}$$

(h_{3_c} :alt grupdaki kişiler için cumartesi görevi sayısı üst sınırı. Uygulamada bu değer 1 olarak belirlenmiştir)

$$\sum_{k=1}^{4}\sum_{l=1}^{10} x_{ijkl} - d_{13i}^{+} + d_{13i}^{-} = h_{3_p} \quad b < \forall i \le c, j = \text{pazar için}$$

(h_{3_p} :alt grupdaki kişiler için pazar görevi sayısı üst sınırı. Uygulamada bu değer 1 olarak belirlenmiştir)
3. 60 dakika ve 90 dakika sınav sayısı belirlenen grup için hedefi aşmamalıdır. (3. öncelik)

$$\sum_{j=1}^{e}\sum_{l=1}^{10}\left(x_{ij2l} + x_{ij4l}\right) - d_{14i}^{+} + d_{14i}^{-} = h_{3_60} \quad b < \forall i \le c \text{ için}$$

(h_{3_60} :alt grupdaki kişiler için 60 dakikalık sınav görevi sayısı üst sınırı. Uygulamada bu değer 4 olarak belirlenmiştir)

$$\sum_{j=1}^{e}\sum_{l=1}^{10}\left(x_{ij1l} + x_{ij3l}\right) - d_{15i}^{+} + d_{15i}^{-} = h_{3_90} \quad a < \forall i \le b \text{ için}$$

(h_{3_90} :alt grupdaki kişiler için 90 dakikalık sınav görevi sayısı üst sınırı. Uygulamada bu değer 3 olarak belirlenmiştir)

Ayrıca birinci öncelik olarak her grup için gün içinde bir kişiye mümkünse 1 görevden fazla görev verilmesi istenmemektedir. Buna göre;

$$\sum_{k=1}^{4}\sum_{l=1}^{e} x_{ijkl} + d_{16ij}^{-} - d_{16ij}^{+} = 1 \forall i \; vej \; için$$

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Model, GAMS paket programda kodlanarak CPLEX tabanlı dal ve sınır tekniği ile saniyeler mertebesinde çözülmüştür. Planlayıcılar tarafından oluşturulan çeşitli senaryolar kullanılarak elde edilen sonuçlar, modelin kullanılabilirliğini ortaya koymuştur.

Sonuçlar incelendiğinde atamaların istenilen şekilde olduğu görülmektedir. Her sınavda, her salona bir salon başkanı ve bir evrak sorumlusu, sınava giren her 30 öğrenci için bir gözetmen görevlendirilmiştir.

Personelin görev istemediği günlere sıfır ataması yapılarak istekleri gerçekleştirilmiştir.

Tüm salon ve saatler için 1 salon başkanı, istenen sayı kadar gözetmen ve eğer istenmişse evrak sorumlusu atanmıştır.

Bir kişi aynı anda (aynı gün ve saatte) sadece bir göreve atanmıştır,

Salon başkanı, gözetmen ve evrak sorumluları görevlendirmelerinde pozitif sapma değişkenlerinden değer alanlar olmuştur. Bu durum gruptaki kişi miktarının görev sayısından az olmasından kaynaklanmıştır.

Personel arasında 60 ve 90 dakikalık sınalardaki gözetmenlik sayısı miktarları mümkün olduğunca dengeli olmuştur

Hafta sonu için yapılacak olan görevlendirmeler herkes için mümkün olduğunca dengeli olmuştur.

Bir kişiye gün içinde mümkünse bir görev verilmesi kısıtında da pozitif sapma değişkenlerinden değer alanlar olmuştur. Ancak bu kişilere de en fazla 2 görev verildiği gözlemlenmiştir.

Yapılan planlamada hiçbir görevliye ard arda iki oturumda görev verilmediği gözlemlenmiştir.

KAYNAKÇA

Broder, S. 1964, "Final Examination Scheduling", Communications of The A.C.M., Vol. 7, No:6, pp. 494-498.

Carrasco, M.P. and Pato M.V. 2004, "A comparison of discrete and continuous neural network approaches to solve the class/teachertimetabling problem", European Journal Of Operational Research, Vol. 153, pp, 65-79.

Carter, M.W. and Laporte,G. "Recent Developments In Practical Examination Timetabling", in E. Burke, P. Ross(Eds.), The Practice and Theory of Automated Timetabling, LNCS vol 1153, Springer Verlag, Edinburgh, 1996, pp.3-21.

Carter, M. W. 1986, "A survey of practical applications of examination timetabling problems", Operations Research, Vol. 34, No. 2, pp.193-202.

Cole, A. J. 1964, The preparation of examination timetables using a small-store computer", The Computer Journal, Vol. 7, No:2, pp. 117-121.

Desroches, S.; Laporte, G.; and Rousseau, J.M. 1978, "HOREX: A computer program for the construction of examination schedules", INFOR, Vol. 16, No:3, pp. 294-298.

Dowsland,K.1990, "A timetabling problem in which clashes are inevitable", Journal Of The Operational Research Society Vol. 41No.10, pp. 907-908.

Hertz, A.1991, "Tabu search for large scale timetabling problems". European Journal Of Operational Research, Vol. 54, No. 1, pp.39-47.

Johnson, D. 1990, "Timetabling university examinations", Journal Of The Operational Research Society, Vol. 41, No.1, pp. 39-47.

Kiaer, L. and Yellen, J. 1992, "Weighted graphs and university course timetabling", Computers and Operations Research, Vol. 19, No. 1, pp. 59-67.

Laporte, G. and Desroches, S. 1984, "Examination timetabling by computer", Computers and Operations Research, Vol. 11, No.4, pp. 351-360.

Mehta, N.K. 1981, "The application of a graph coloring method to an examination scheduling problem" Interfaces, Vol. 11, No:5, pp. 57-64.

Peck, J.E.L. and Williams, R.L. 1966, "Algorithm 286-Examination Scheduling", Communications of The A.C.M., Vol 9, No:6, pp. 433-434.

Tripathy, A. 1984, "School timetabling-A case in large binary linear integer programming", Management Science, Vol 30, No:12, pp. 1473-1489.

Welsh, D.J.A. and Powell, M.B. 1967, "An upper bound for the chromatic number of a graph and its application to timetabling problems", The Computer Journal, Vol. 10, No. 1,pp. 85-86.

White, G.M. and Chan, P.W. 1979, "Towards the construction of optimal examination schedules", INFOR, Vol. 17, No. 3, pp. 219-229.

Wood, D.C. 1968, "A system for computing university examination schedules", Computing Journal, Vol.11, No.1, pp. 41-47.

A COST Effectiveness MALMQUIST PRODUCTIVITY INDEX

Khalil Paryab[a], Rashed Khanjani[a], Nikolaos Maniadakis[b] and Leila Jalalzadeh[c]
[a]School of Mathematics, Iran University of Science & Technology, Tehran, Iran
[b]**Patras General University Hospital, Rion Patras, TK 26504, Greece**
[c]**Department of Mathematics, Tarbiat Moalem University, Tabriz, Iran**

Efficiency and productivity are major sources of economic development and a thorough understanding of the factors affecting productivity is important for managers, economists and policy makers, especially in difficult times of economic crisis where better performance is paramount for sustainability and development.
This paper uses Data Envelopment Analysis (DEA) and Malmquist indices to develop measures for cost effectiveness Malmquist index. The index developed here is difined in terms of input cost rather than input quantity distance function. The cost-effectiveness measure can be multiplicatively decomposed into cost efficiency and output mix efficiency. Finally, cost efficiency can be multiplicatively decomposed into technical efficiency and input allocative efficiency. Hence, productivity change is decomposed into overall efficiency and cost effectiveness technical change.

Keywords: Data envelopment analysis; Malmquist index; Productivity change; Cost effectiveness

1. Introduction

Data Envelopment Analysis (DEA) is a well-known non-parametric technique that has been successfully used to assess the efficiency of Decision Making Units (DMUs) in many different sectors. This approach introduced by Charnes et al. (1978) and extended by Banker et al. (1984) for evaluating the technical efficiencies of a set of comparable DMUs. Technical efficiency (TE) evaluates the ability of DMUs to produce current outputs at minimal input or to produce maximal outputs at current inputs. Cost efficiency (CE) is other measure for performance assessment which evaluates the ability of DMUs to produce the current outputs at minimal cost, given its input prices. The traditional cost minimization models, based on the Farrell (1957) concept, search for the input levels that can minimize the costs of producing current outputs with the existing input prices. Camanho and Dyson (2005) model differs in that it enables simultaneous adjustments to input and output levels, provided that the total revenue generated by the DMU is not changed, reflecting the competitive nature of the market. The model, referred to as the cost-effectiveness model, is based on the Fare et al (1985) model.
The measurement and analysis of productive performance either at firm, or at industry or finally at economy level has for long been a popular research area in economics and the related literature. Two concepts that have attracted considerable attention are productivity and efficiency. One of the most popular approaches to measuring productivity changes is based on using Malmquist Productivity Indexes. The Malmquist index was first suggested by Malmquist (1953) as a quantity index for use in the analysis of consumption of inputs, Fare et al. (1992) combined ideas on the measurement of efficiency from Farrell (1957) and the measurement of productivity from Caves et al. (1982) to construct a Malmquist productivity index directly from input and output data using DEA. They decomposed productivity change into two components, one measuring change in efficiency and the other measuring technical change or equivalently change in the frontier technology. Thanassoulis and Manidakis (2004) provided cost Malmquist productivity index (CM) when producers are cost minimisers and input prices are known. They decomposed productivity index into overall efficiency and cost technical change. This paper uses Data Envelopment Analysis (DEA) and Malmquist indices to develop measures for cost effectiveness Malmquist index. The index developed here is difined in terms of input cost rather than input quantity distance function. The paper unfolds as follows: Section 2 lays out the basic concepts and illustrates the cost effectiveness measurement approach to be used. In Section 3, the Malmquist productivity index is presented. Section 4 a cost effectiveness Malmquist index illustrated. In Section 5, decompositions of the cost effectiveness Malmquist index are presented. Finally, conclusions are presented in Section 6.

2. Technical background

Consider that in time period t, producers are using inputs $x^t \in \Re_+^n$, to produce outputs $y^t \in \Re_+^m$. Define now the production technology of period t in terms of the input requirement set, which is:

$$L^t(y^t) = \{x^t: x^t \text{ can produce } y^t\}, \quad (1).$$

$L^t(y^t)$ contains all input vectors that can produce output y^t. Assume that $L^t(y^t)$ is non-empty, closed, convex, bounded and satisfies strong disposability of inputs and outputs. $L^t(y^t)$ is bounded from below by the input isoquant, that is:

$$IsoqL^t(y^t) = \{x^t: x^t \in L^t(y^t), \lambda x^t \notin L^t(y^t), \text{for } \lambda < 1\} \quad (2).$$

$IsoqL^t(y^t)$ defines a boundary (frontier) to the input requirement set and those input vectors that lie on it are efficient in the sense that any radial contraction of them within $L^t(y^t)$ is not possible. Alternatively, with reference to the input requirement set, define the technology of production in terms of the input distance function (Shephard (1953)) as:

$$D_i^t(y^t, x^t) = \sup_{\theta} \{\theta : (x^t/\theta) \in L^t(y^t)\}, \theta > 0\}, \quad (3).$$

where the subscript i denotes input orientation. $D_i^t(y^t, x^t)$ characterises the technology of production completely in the sense that $D_i^t(y^t, x^t) \geq 1$ is sufficient for $x^t \in L^t(y^t)$ and if $D_i^t(y^t, x^t) = 1 \Leftrightarrow x^t \in IsoqL^t(y^t)$. Also, $D_i^t(y^t, x^t)$ is reciprocal to Farrell's (1957) input oriented measure of technical efficiency (see Färe and Primont (1995)), which is:

$$TE_i^t(y^t, x^t) = \min_{\phi} \{\phi : (\phi x^t) \in L^t(y^t), \phi > 0\}, \quad (4).$$

2.1. Cost effectiveness

Assume that there are n DMUs to be evaluated, with m inputs and s outputs. We denote by x_{ij} $(i = 1, 2, ..., m)$ and y_{rj} $(r = 1, 2, ..., s)$ the inputs and outputs of DMUj, respectively, which are all known. Also, Pij denotes the cost of the ith input of DMUj. Camanho and Dyson (2005) provided the following LP model to obtain the cost effectiviness of DMU_{j_0} :

$$
\begin{aligned}
&Min \sum_{i=1}^{m} p_{ij_0} \bar{x}_i \\
&S.t: \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} \geq \bar{y}_r, r = 1,...,s \\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} \leq \bar{x}_i \quad , i = 1,...,m \qquad (5) \\
&\sum_{r=1}^{s} \rho_{rj_0} \bar{y}_r = \sum_{r=1}^{s} \rho_{rj_0} y_{rj_0} \\
&\lambda_j \geq 0 \ , \bar{x}_i \geq 0, \bar{y}_r \geq 0, \quad j = 1,...,n \\
&i = 1,...,m; r = 1,...,s
\end{aligned}
$$

The Cost effectiveness of DMUo is therefore the ratio of this minimum cost to the observed cost.

$$
Cost\ effectiveness\ j_o = \frac{\sum_{i=1}^{m} p_{ij_0} \bar{x}_i^*}{\sum_{i=1}^{m} p_{ij_0} x_{ij_0}} \qquad (6)
$$

3. Malmquist index

The Malmquist index has now become extremely popular and it has seen many applications and extensions (see Färe et al. (1998)). Specifically, Färe et al. (1994) extended the index so that technical efficiency can be decomposed into a scale and a pure technical component. Recently the Malmquist index was further adapted in order to be used in a single time period to compare the efficiency productivity in groups of common production units. In this context, the Malmquist index is can be multiplicatively decomposed into an index reflecting the efficiency spread among DMUs operating in similar conditions, and an index reflecting the productivity gap between the best-practice frontiers. A fundamental characteristic of this index is to focus on groups comparisons in a static setting, i.e., for a given moment in time. This approach makes comparisons relative to groups-specific frontiers only, without pooling the DMUs together to form a common frontier, assuming convex combinations of group specific frontiers to be feasible.
Caves et al. (1982) adapted to productivity measurement an index that was first proposed by Sten Malmquist (1953) in the context of consumer theory, but had been lying down unnoticed since then. In a framework of technical efficiency, the authors treated the index as a theoretical one and showed its relation to the Törnqvist (1936) quantity index, which under certain conditions is consistent with flexible representations of the technology. Färe et al. (1989) relaxed the assumption of technical efficiency and used the index for the first time in an empirical context. Since then the index has seen enough applications and extensions that justified the publication of a new book (Färe et al. (1998)) to summarise the related literature.

Assume two time periods t and t+1 respectively and define in each one of them technology and production as shown in the previous section. The input oriented Malmquist (IM) productivity index is as follows:

$$
IM = \left[\frac{D^t(y^{t+1}, x^{t+1})}{D^t(y^t, x^t)} \frac{D^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})}{D^{t+1}(y^t, x^t)} \right]^{1/2} \qquad (7).
$$

The distance functions in the index in (10) are defined as in (3) and with reference to the constant returns to scale (CRS) production boundary. Färe and Grosskopf (1994), Färe et al. (1997), Maniadakis and Read (1997) showed that the CRS - based index measures productivity accurately irrespective of whether the true form of the technology is CRS or VRS. The index in (10) is in effect the geometric mean of two indexes. The first,

$D_i^t(y^{t+1},x^{t+1})/D_i^t(y^t,x^t)$, compares ($y^{t+1}$,$x^{t+1}$) to ($y^t$,$x^t$) by measuring their distance from the CRS production boundary of period t. The second index, $D_i^{t+1}(y^{t+1},x^{t+1})/D_i^{t+1}(y^t,x^t)$, does the same but with reference to the CRS production boundary of period t+1. Thus the arbitrary choice of one of the two boundaries is avoided. When the productivity index computed by (10) is less than 1 it indicates progress, in the sense that lower input levels are needed to secure given output levels. An index score greater than 1 implies productivity regress and constant productivity is signalled by an index score of 1. Färe et al. (1989) showed how to decompose the index into technical efficiency change and technical change and Färe et al. (1994) showed how to decompose technical efficiency further into a scale and a pure technical efficiency component.

To compute the distance functions of the index above for period t respectively one may use the DEA models (Charnes et al. (1978)) presented below:

$$
\begin{aligned}
&D^t(y^t,x^t) = \text{Min } \theta \\
&\text{S.t}: \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y^t{}_{rj} \geq y^t_{ij_0}, r = 1,...,s \\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x^t{}_{ij} \leq \theta x^t_{ij_0}, i = 1,...,m \\
&\lambda_j \geq 0, j = 1,...,n
\end{aligned}
\qquad (8)
$$

$$
\begin{aligned}
&D^t(y^{t+1},x^{t+1}) = \text{Min } \theta \\
&\text{S.t}: \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y^t{}_{rj} \geq y^{t+1}_{ij_0}, r = 1,...,s \\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x^t{}_{ij} \leq \theta x^{t+1}_{ij_0}, i = 1,...,m \\
&\lambda_j \geq 0, j = 1,...,n
\end{aligned}
\qquad (9)
$$

$D^t(y^{t+1},x^{t+1})$ And $D^{t+1}(y^t,x^t)$ can be computed using models (8) and (9) respectively, after changing round time periods t and t+1.

4. A Cost effectiveness Malmquist Productivity index

Maniadakis and Thanassoulis [2004] proposed a cost Malmquist index, which is applicable when producers are cost, minimizes and input prices known. Specifically, the Cost Malmquist (CM) productivity index as follows:

$$
CM = \left[\frac{w^t x^{t+1}/C^t(y^{t+1},w^t)}{w^t x^t/C^t(y^t,w^t)} \; \frac{w^{t+1}x^{t+1}/C^{t+1}(y^{t+1},w^{t+1})}{w^{t+1}x^t/C^{t+1}(y^t,w^{t+1})} \right]^{1/2} \qquad (13),
$$

where $w^t x^t \equiv \sum_{n=1}^{N} w_n^t x_n^t$ and the cost functions, with reference to the CRS technology. The cost ratio $w^t x^t/C^t(y^t,w^t)$ measures the extent to which the aggregate production cost in period t can be reduced while still securing the output vector y^t under the input price vector w^t. This ratio measures the distance between the observed cost $w^t x^t$ and the cost boundary $C^t(y^t,w^t)$. DEA can be used to compute the CM index as follows. Let

us have in each time period j=1,2 ,…,n production units. In period t, the j_0th unit employs amount $x^t_{ij_0}$ (i=1, 2,…, m) available at prices $w^t_{ij_0}$ (i=1, 2,…, m). For unit j_0 the cost denoted $w^t x^t = \sum_{i=1}^{m} w^t_{ij_0} x^t_{ij_0}$. Similarly the costs denoted $w^{t+1} x^{t+1}$, $w^{t+1} x^t$ and $w^{t+1} x^t$ are respectively $\sum_{i=1}^{m} w^{t+1}_{ij_0} x^{t+1}_{ij_0}$ and $\sum_{i=1}^{m} w^t_{ij_0} x^{t+1}_{ij_0}$. For unit j_0, the term $C^t(y^t, w^t)$ can be computed using models such as the following:

$$
\begin{aligned}
&C^t(y^t, w^t) = \min \sum_{i=1}^{m} w^t_{ij_0} x_i \\
&\text{Subject to} \\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x^t_{ij} \le x^0_i \quad , i = 1, ..., m \\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y^t_{rj} \ge y^t_{rj_0}, r = 1, ..., s \\
&\lambda_j \ge 0 , x^0_i \ge 0, \quad j = 1, ..., n; i = 1, ..., m
\end{aligned}
\tag{14}
$$

And

$$
\begin{aligned}
&C^{t+1}(y^{t+1}, w^t) = \min \sum_{i=1}^{m} w^t_{ij_0} x_i \\
&\text{Subject to} \\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x^t_{ij} \le x^0_i \quad , i = 1, ..., m \\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y^t_{rj} \ge y^{t+1}_{rj_0}, r = 1, ..., s \\
&\lambda_j \ge 0 , x^0_i \ge 0, \quad j = 1, ..., n; i = 1, ..., m
\end{aligned}
\tag{15}
$$

The $C^{t+1}(y^{t+1}, w^{t+1})$ and $C^{t+1}(y^t, w^{t+1})$ can be computed using models (14) and (15) respectively, after changing round the time periods t and t+1.

The Cost effectiveness Malmquist (CEM) productivity index as follows:

$$
\text{COSTE M} = \left[\frac{p^t x^{t+1} / C^t(y^{t+1}, p^t, \rho^t)}{p^t x^t / C^t(y^t, p^t, \rho^t)} \frac{p^{t+1} x^{t+1} / C^{t+1}(y^{t+1}, p^{t+1}, \rho^{t+1})}{p^{t+1} x^t / C^{t+1}(y^t, p^{t+1}, \rho^{t+1})} \right]^{1/2} \tag{16}
$$

For unit j_0, the term $p^t x^t / C^t(y^t, p^t, \rho^t)$ can be computed using models such as the following:

$$\frac{C^t(y^t,p^t,\rho^t)}{p^t x^t}=CE^t(y^t,p^t,\rho^t)=Min\ \frac{\sum_{i=1}^{m}p_{ij_0}^t\bar{x}_i}{\sum_{i=1}^{m}p_{ij_0}^t x_{ij_0}^t}$$

$$S.t:\sum_{j=1}^{n}\lambda_j y_{rj}^t\geq\bar{y}_r,r=1,...,s$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j x_{ij}^t\leq\bar{x}_i\quad,i=1,...,m \qquad (17)$$

$$\sum_{r=1}^{s}\rho_{rj_0}^t\bar{y}_r=\sum_{r=1}^{s}\rho_{rj_0}^t y_{rj_0}^t$$

$$\lambda_j\geq 0\ ,\bar{x}_i\geq 0,\bar{y}_r\geq 0,\quad j=1,...,n$$

$$i=1,...,m;r=1,...,s$$

And

$$\frac{C^t(y^{t+1},p^t,\rho^t)}{p^t x^{t+1}}=CostE^t(y^{t+1},p^t,\rho^t)=Min\ \frac{\sum_{i=1}^{m}p_{ij_0}^t\bar{x}_i}{\sum_{i=1}^{m}p_{ij_0}^t x_{ij_0}^{t+1}}$$

$$S.t:\sum_{j=1}^{n}\lambda_j y_{rj}^t\geq\bar{y}_r,r=1,...,s$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j x_{ij}^t\leq\bar{x}_i\quad,i=1,...,m \qquad (18)$$

$$\sum_{r=1}^{s}\rho_{rj_0}^t\bar{y}_r=\sum_{r=1}^{s}\rho_{rj_0}^t y_{rj_0}^{t+1}$$

$$\lambda_j\geq 0\ ,\bar{x}_i\geq 0,\bar{y}_r\geq 0,\quad j=1,...,n$$

$$i=1,...,m;r=1,...,s$$

The $p^{t+1}x^{t+1}/C^{t+1}(y^{t+1},p^{t+1},\rho^{t+1})$ and $p^{t+1}x^t/C^{t+1}(y^t,p^{t+1},\rho^{t+1})$ can be computed using models (17) and (18) respectively, after changing round the time periods t and t+1.

5- Decompositions of the cost effectiveness Malmquist productivity index

The CEM index in (16) can be decomposed in a similar manner as the IM index in (7) (see [17]). Specifically, the CEM index can be decomposed into overall efficiency change (OEC) and cost-technical effectiveness change (CTEC). Moreover, both of these components can be further decomposed into input quantity, input price and output price components as is now elaborated.

5.1- First stage decomposition of the CEM index

The decomposition of productivity change: The CEM index can be decomposed into OEC and CTEC, as follows:

$$CEM = \frac{p^{t+1}x^{t+1} / C^{t+1}(y^{t+1}, p^{t+1}, \rho^{t+1})}{p^{t}x^{t} / C^{t}(y^{t}, p^{t}, \rho^{t})} \times$$

$$\left[\frac{p^{t}x^{t+1} / C^{t}(y^{t+1}, p^{t}, \rho^{t})}{p^{t+1}x^{t+1} / C^{t+1}(y^{t+1}, p^{t+1}, \rho^{t+1})} \frac{p^{t}x^{t} / C^{t}(y^{t}, p^{t}, \rho^{t})}{p^{t+1}x^{t} / C^{t+1}(y^{t}, p^{t+1}, \rho^{t+1})} \right]^{1/2} \quad (19)$$

This component captures input OEC between period t and t +1.

5.2. Second stage decomposition of the CEM index

The terms obtained in the first stage decomposition of the CEM index can themselves be decomposed as follows. The decomposition of OEC: The OEC component in (19) can be decomposed into technical (TEC) and allocative efficiency change (AEC) terms as follows:

$$OEC = \frac{D^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})}{D^{t}(y^{t}, x^{t})} \times \frac{p^{t+1}x^{t+1} / C^{t+1}(y^{t+1}, p^{t+1}, \rho^{t+1}) D^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})}{p^{t}x^{t} / C^{t}(y^{t}, p^{t}, \rho^{t}) D^{t}(y^{t}, x^{t})} \quad (20)$$

The decomposition of CTEC: The CTEC factor can be further decomposed as follows:

$$CTEC = \left[\frac{D^{t}(y^{t+1}, x^{t+1})}{D^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})} \frac{D^{t}(y^{t}, x^{t})}{D^{t+1}(y^{t}, x^{t})} \right]^{1/2} \times$$

$$\left[\frac{p^{t}x^{t+1} / C^{t}(y^{t+1}, p^{t}, \rho^{t}) D^{t}(y^{t+1}, x^{t+1})}{p^{t+1}x^{t+1} / C^{t+1}(y^{t+1}, p^{t+1}, \rho^{t+1}) D^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})} \frac{p^{t}x^{t} / C^{t}(y^{t}, p^{t}, \rho^{t}) D^{t}(y^{t}, x^{t})}{p^{t+1}x^{t} / C^{t+1}(y^{t}, p^{t+1}, \rho^{t+1}) D^{t+1}(y^{t}, x^{t})} \right]^{1/2}$$

$$CM = \left[\frac{w^{t}x^{t+1} / C^{t}(y^{t+1}, w^{t})}{w^{t}x^{t} / C^{t}(y^{t}, w^{t})} \frac{w^{t+1}x^{t+1} / C^{t+1}(y^{t+1}, w^{t+1})}{w^{t+1}x^{t} / C^{t+1}(y^{t}, w^{t+1})} \right]^{1/2}$$

Thus, overall the CEM index can be decomposed as follows:

CEM =overall efficiency change (OEC) × cost effectiveness technical change (CTEC) =
Technical efficiency change (TEC) allocative efficiency change (AEC) × Technical change (TC)
× Price effect
=IM ×allocative efficiency change (AEC) × Price effect (PE).

Conclusion

This paper uses Data Envelopment Analysis (DEA) and Malmquist indices to develop measures for cost effectiveness Malmquist index. The index developed here is difined in terms of input cost rather than input quantity distance function. The cost-effectiveness measure can be multiplicatively decomposed into cost efficiency and output mix efficiency. Finally, cost efficiency can be multiplicatively decomposed into technical efficiency and input allocative efficiency. This paper develops a productivity index that accounts not only for technical efficiency and technological changes but also for allocative efficiency and for the effects of input price

and output price changes. The index is applicable when producers can be assumed to be cost minimises and input–output quantity and input price and output price data are available.

References

1. Charnes, A., Cooper, W.W., and E. Rhodes (1978) Measuring the efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research, 3(4), 392-444.
2. Caves, D., Cristensen L. and W.E. Diewert (1982b) The economic theory of index numbers and the measurement of input, output and productivity. Econometrica, 50, 6, 1393-1414.
3. Camanho, AS; Dyson, RG, (2005). Cost efficiency, production and value-added models in the analysis of bank branch performance. Journal of operational Research society, 56, pp. 483-494.
4. Färe, R. and S. Grosskopf (1992) Malmquist productivity indexes and Fisher ideal indexes. Economic Journal, 102,4, 158-160

5. Färe, R., Grosskopf, S., and R. Russell (1998) eds. Index Numbers: Essays in Honour of Sten Malmquist, Kluwer Academic Publishers, Boston.

6. Färe, R., Grosskopf, S., Lindgren, B. and P. Roos (1989) Productivity developments in Swedish hospitals: A Malmquist output index approach. Discussion Paper No 89-3, Southern Illinois University, Illinois.

7. Färe, R., Grosskopf, S., Norris M. and Z. Zhang Z (1994) Productivity growth, technical progress and efficiency change in industrialized countries. American Economic Review, 84, 1, 66-83.
8. Farrell, M.J (1957) The measurement of productive efficiency. Journal of the Royal Statistical Society 120, (3), 153-281.
9. Grosskopf, S. (1993) Efficiency and Productivity in H.O. Fried, C.A.K. Lovell and S.S. Schmidt eds. The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications, Oxford University Press, New York, 160-194.

10. Maniadakis N & E Thanassoulis. A Cost Malmquist Productivity Index. Special Issue: DEA and its Uses in Different Countries, European Journal of Operations Research, 2004, 154:2, 396-409

11. Maniadakis N & E Thanassoulis. Assessing Productivity Changes in UK Hospitals Reflecting Technologies and Input Prices. Applied Economics, 2000, 32, 1575-1589

12. Malmquist, S. (1953) Index numbers and indifference surfaces. Trabajos de Estatistica, 4, 209 - 242.

YATIRIM KARARLARININ OPTİMİZASYONUNDA KARAR VERME YÖNTEMLERİNİN KULLANIMI İLE BETON KATKI MALZEMESİ ÜRETİMİNE YÖNELİK BİR YATIRIM MODELİ UYGULAMASI

Semih COŞKUN
Endüstri Mühendisliği Bölümü
Pamukkale Üniversitesi
09020, Denizli, TÜRKİYE
Tel: 0258 2963225
Faks: 0258 296 3262
E-posta: scoskun@pau.edu.tr

Selim BEKÇİOĞLU
İşletme Bölümü,
Adnan Menderes Üniversitesi
09800,
Aydın, TÜRKİYE
Tel: 0555 4929690
Faks: 0256 3477016
E-posta: sbekcioglu@adu.edu.tr

Durcan Özgün İŞLİ
Endüstri Mühendisliği Bölümü
Pamukkale Üniversitesi
09020, Denizli, TÜRKİYE
Tel: 0258 2962094
Faks: 0258 296 2325
E-posta: oisli@pau.edu.tr

Özet

Yeni yatırımlar ve bu yatırımların projelendirilmesi, ülkemiz gibi hızla büyüme eğilimi içerisine giren gelişmekte olan ülkelerde önemli karar süreçleridir. Ekonomik krizler sonrasında yaşanan sanayi üretimindeki ivmelenme doğru yatırım kararları ile sürdürülebilirse kalıcı değer yaratır hale gelebilecektir. Yatırım kararlarının analitik karar verme yöntemleri ile desteklenmesi, kaynakların kullanımında etkinliği artıracak, belirsizlikleri en aza indirecek, yatırım kararlarında yapılan hataları azaltacaktır. Kalkınmada önemli yer tutan öncü sektörlerden inşaat sektörü ve bu sektöre bağlı beton teknolojisi günümüzde hızla gelişmektedir. Bu gelişimin en büyük pay sahiplerinden biri beton üretiminde kullanılan akışkanlaştırıcılardır. Bu çalışmada Aydın ilinde beton katkı malzemesi üretimi üzerine yapılan yatırım fizibilite çalışmasının süreci ve bu süreçte uygulanan karar verme yöntemlerinin sonuçları değerlendirilmektedir. Yatırım kararlarında önemli yer tutan kapasite belirleme ve teknoloji seçimi aşamalarında, sözel yargıları sayısal ifadelere dönüştürerek karar verme süreçlerinin etkinliğini artıran Analitik Hiyerarşi Prosesi ve oluşturulan modelin çözümü ile karar parametrelerinin değerlerini tamsayılarla ortaya koyan Tam Sayılı Doğrusal Programlama yöntemlerinden yararlanılarak bir karar destek modeli oluşturulmuştur. Yatırım fizibilite çalışmasına entegre edilen bu karar modelleri, yatırım maliyeti yüksek olan hiper akışkanlaştırıcı sektöründe alınacak yeni yatırım kararlarına da kaynak sağlayacak niteliktedir.

1. Giriş

Yapılabilirlik (Fizibilite) Etüdü, bir projenin ekonomik potansiyelini ve pratik olarak uygulanabilirliğini belirlemek amacıyla, projenin teknik, finansal ve ekonomik verilerinin araştırılması yöntem ve tekniğidir [1]. Yatırımcının hangi ürünleri üreteceğini, hangi müşterilere satacağını, üretim yöntem ve teknolojisini nasıl seçeceğini, ne kapasitede bir yatırım yapacağını, yatırımı nereye yapacağını ve yatırımın finansal analizini gösteren bir rapordur.

Literatür incelendiğinde çok sayıda fizibilite çalışmasının var olduğu görülmektedir [15]. Bu çalışmalar içerisinde, fizibilite etüdünde finansman çalışmaları üzerine yoğunlaşan [16], büyüme ve kapasite artırımlarını esas alan [17], kuruluş yeri seçimi üzerine kurgulanan [18] çalışmalar yer almaktadır. Fizibilite etüdünde karar verme yöntemlerinin kullanılması ile ilgili ise yapılan çalışma sayısını ise sınırlı olduğu görülmektedir [19].

Aydın bölgesinde kurulması planlanan bir üretim tesisinde akışkanlaştırıcı üretimi yapılması düşüncesinin uygulamaya geçiş aşamalarının bir fizibilite yaklaşımı ile modellenmesi bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır. Böyle bir girişimin yatırımcısına getirileri ve Aydın iline etkilerini en iyi şekilde tahminleyebilmek için öncesinde yatırımın değerlendirilmesi çalışmasının yapılması gereği doğmaktadır. Bu doğrultuda beton katkı malzemeleri üretimi üzerine pazar araştırması ve hammadde etüdü yapılması, beton katkı malzemeleri üretimi tesisinin kurulacağı yerin değerlendirilmesi, tesis kapasitesinin tespit edilmesi, teknolojinin seçilmesi, insan kaynakları üzerine çalışılması gerekmektedir. Tüm bu araştırmalar sonunda maliyetlerin belirlenerek projenin ticari ve ulusal açıdan analizinin yapılması ile yatırımın değerlendirilmesi tamamlanmış olmaktadır. Çalışmada yer alan araştırma ve uygulamalar aşağıdaki gibidir:

- Pazar araştırması,
- Müşterilerin ve taleplerinin tespiti,
- Müşterilere ve akışkanlaştırıcı üreticisi firmalara fiyat ve sektör üzerine anket çalışmaları,
- Yatırım karlılığını arttırmak adına müşteri değerlemede kullanılan nitel değerlerin nicel değerlere dönüştürülmesi,
- Üretim hacmi ve kârlılık esasına göre müşterilerin belirlenmesi,
- Teknoloji ve işgücü gereksinimi çalışması,
- Sektördeki devlet teşviklerinin ve desteklerin araştırılması,

- Söz konusu ürünlerin meydana getirilmesinde kullanılacak olan hammaddelerin neler olduğu ve ne ölçüde kullanılacağının araştırılması,
- Tesis yerleşim planının oluşturulması ve mali hesaplar.

2. Çalışmada Yer Alan Karar Verme Yöntemleri

Yatırım kararlarının analitik karar verme yöntemleri ile desteklenmesi ana amacı doğrultusunda, çalışmasının yukarıda belirtilen sistematik akışı sırasında aşağıda açıklamaları yer alan, literatürde de yaygın kabul gören yöntemlerden faydalanılmaktadır.

2.1 Analitik Hiyerarşi Prosesi

Analitik Hiyerarşi Prosesi, karar hiyerarşisinin tanımlanabilmesi durumunda kullanılan, kararı etkileyen faktörler açısından karar noktalarının yüzde dağılımlarını veren bir karar verme ve tahminleme yöntemidir. Karar vericilerin sayısal olarak ifade edemedikleri konular üzerine etraflı araştırmaları ile oluşturdukları kriterleri sayısallaştırarak karar vermeyi sağlayan bir model kurmayı sağlamaktadır.

Literatürde özellikle tedarikçi seçiminde yapılmış çalışmalar bulunmaktadır [2,3,4] Nydick ve Hill [5] ,Partovi [6] ve Narasimhan [7] sayısal olan ve olmayan bilgilerin problem içerisinde varlığından dolayı AHP yönteminin kullanımını önermişler, belirledikleri kriterler ışığında en uygun tedarikçinin/tedarikçilerin AHP ile belirlenebileceğini göstermişlerdir. Kamal M. Al ve Subhi Al-Harbi AHP' yi en iyi tedarikçinin seçiminde, kriterlerini öncelik sıralamasına tabi tutmuşlar ve tedarikçileri azalan sırada listelemişlerdir. Çalışma neticesinde AHP kullanımı Expert Choice yazılımı ile de desteklenmiştir [8]. Tam ve Tummala ise telekom endüstrisinin tedarikçi seçimi problemine AHP'yi uygulamış, bu uygulamada maliyet ve kaliteyi tedarikçi seçimini etkileyen ana faktörler olarak belirlemiştir[9]. Ghodsypour ve Brien Tedarikçi seçiminde AHP ve lineer programlamayı birlikte ele almıştır[10]. Yurdakul, M. AHP ve ANP (Analytic Network Process) yi, makine takım alternatiflerinin imalat stratejilerine katkısının hesaplanmasında kullanmıştır. Sonuçları tatmin edici bulunmuş ve makine takım seçimi kararlarına AHP uygulanabilirliği desteklenmiştir. [11]. Yurdakul ve İç, kredi talep eden firmaların değerlendirme sürecine AHP'yi uygulamışlar ve kredi için başvuran firmaların pazar durumu, kuruluş yeri, yönetim unsurları, imalat unsurları ve firmanın hukuki yapısı temelinde değerlendirmişlerdir[12]. Dağdeviren ve Eren AHP ve hedef programlamayı kullanarak tedarikçi firma seçmişlerdir.[13] Özyörük ve Özcan Otomotiv sektöründe tedarikçi seçiminde AHP kullanmış, uygulamalarında AHP için bir program hazırlayarak tedarikçi seçim kararı vermişlerdir [14]. AHP yönteminin yaygın kullanımına neden olan ve bu çalışmada da tercih edilmesini sağlayan temel unsurlar aşağıda yer almaktadır.

- Nitel değerleri sayısal olarak ifade edebilmeyi sağlamaktadır.
- Bütünsel yaklaşımı benimseyen AHP, problemi anlamlı alt bileşenlere ayırarak kararın açıklanması için matematiksel mantık içeriğine sahiptir.
- Tüm olumlu ve olumsuz bileşenlerin eşit önemde varsayıldığı birçok karar verme tekniğine göre eşit önemde olmayan bileşenlerin ağırlıklandırılmasına fırsat veren bir tekniktir.
- AHP, grubu bir bütün olarak ele alarak, canlı bir tartışma ortamına, verilen yargıların yeniden gözden geçirilmesine, alternatiflerin çıkarılmasına ya da eklenmesine olanak vermektedir.
- AHP 'de, karar hiyerarşisinin oluşturulması, gözden geçirilmesi ve problemin analiz edilmesi grup tarafından yapılması ile etkin sonuç vermektedir.
- AHP 'nin diğer bir avantajı tutarlılık analizi yapmasıdır.
- Kullanması kolaydır, uzmanlık gerektirmemektedir.
- Hiyerarşi içinde düşünmeyi gerektirdiğinden amaca yönelik düşünmeyi sağlamaktadır.
- Çözümü için kullanılacak yazılımlar geliştirilmiştir. Expert Choice ve Super Decision programlarıyla desteklenmektedir.
- AHP 'nin de içinde bulunduğu pek çok karar verme tekniklerinden her birini iyi anlayıp farklı durumlarda hangi tekniğin etkin olduğunun belirlenmesi hususunda dikkatli olmak, doğru çözümlere ulaşmayı sağlamaktadır.

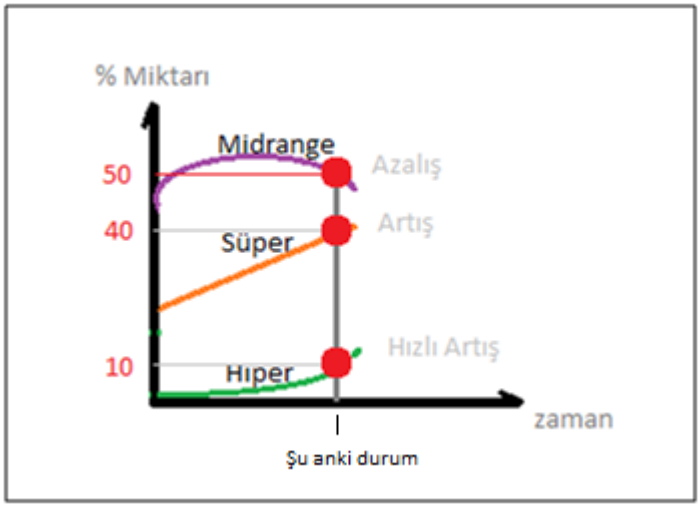
2.2 Tam Sayılı Doğrusal Programlama

Tamsayılı doğrusal programlama modelde kullanılan değişkenlerin bir ya da daha fazlasının tam sayı olduğu doğrusal programlama tekniğidir. Buradaki beklenti; işçi sayısı, makine gereksinimi, yap-yapma kararı vb gibi çoğu bölünemez ve tam sayı ile ifade edilmesi gereken durumların doğrusal programlamada meydana gelebilecek gerçekçi olmayan sonuçlarını ortadan kaldırmaktır. Çalışmada beton firmalarının taleplerinin tam olarak karşılanması gerekmektedir. Bu sebeple maksimum faydayı sağlayan firmaların tespitinde doğrusal programlama modeli tam sayılı olmalıdır.

3. Pazar Araştırması

Sektörde yapılan incelemelerde, beton üretiminde akışkanlaştırıcıların yaygın bir kullanım alanının olduğu görülmektedir. Akışkanlaştırıcıların hem beton firmaları için vazgeçilmezliği hem de yatırımcının sektöre ilgisi göz önünde bulundurulduğunda beton katkı malzemeleri üretiminde akışkanlaştırıcı üretimi üzerine yatırımların artacağı öngörülmektedir.

Üç çeşit akışkanlaştırıcı bulunmaktadır. Bunlar, midrange, süper ve hiper olarak adlandırılmaktadır. Türkiye'de bu ürünlerin kullanım oranlarını gösteren grafik şekil 1 de görülmektedir.



Şekil 1: Günümüzde Akışkanlaştırıcıların Türkiye Genelinde Kullanımları

Beton üretici ve tüketicilerine yapılan anketler sonucunda, Aydın ili ve civarında faaliyet gösteren 10 beton firmasının agrega ve çimentosunu bu yöreden temin ettiği tespit edilmiştir. Aydın ve civarından elde edilen agreganın ve yine Aydın ve çevresinde üretilen çimentoların yapısının, hiper akışkanlaştırıcı ile uyumu, istenen beton kalitesini ortaya çıkarmaktadır. Aydın ve çevresindeki beton laboratuarlarından ve beton firmalarından alınan bilgilere göre piyasada şu an midrange, süper ve hiper akışkanlaştırıcıların kullanım oranları sırasıyla %10, %20 ve %70 dolaylarındadır.

Türkiye'de hiper akışkanlaştırıcı kullanım oranlarının hızla artması, Aydın ve çevresinde hiper akışkanlaştırıcıya olan talep ve bu talebin artışı sebebi ile kurulacak kimyasal tesisinde hiper akışkanlaştırıcı beton katkı malzemesi üretimi yapılması uygun olarak öngörülmektedir.

Ülkemizde akışkanlaştırıcı üretimi yapan 20'ye yakın firma tespit edilmiştir. Bu firmaların üretim hacmi büyüklüğü açısından 4'ü üretilen akışkanların %80-85'e yakın bir kısmını üretmektedirler. Bu firmalar aylık ortalama 5000 ton akışkanlaştırıcı (midrange+süper+hiper) üretmektedirler. Türkiye'nin her bölgesindeki beton firmalarına hitap etmekte olup yabancı yatırımlardır. Türkiye'nin birçok yerinde bayileri, satıcıları bulunmaktadır. Faaliyette bulundukları yer İstanbul ve çevresidir. %15-20 lik dilim içerisinde üretim yapan firmalar da dolayısıyla çok daha küçük kapasitedeki firmalardır. Aylık ortalama 250 ile1000 ton arasında akışkanlaştırıcı üretim kapasiteleri mevcuttur. Yerli ve yabancı firmalardır ve genellikle bölgesel satış yapmaktadırlar.

Beton katkı malzemesi üreticilerinin üretim hacimleri ister büyük olsun ister küçük olsun, aynı bölgedeki firmaların birbirlerine çok yakın fiyatlarda satış yaptıkları görülmektedir. Burada temel strateji serbest piyasa ekonomisinin bir gereği olarak beton firmalarının istediği kalitede üretilen hiper akışkanlaştırıcının uygun fiyata sunulabilmesidir.

4. Hammadde Etüdü

Üretilecek ürün hiper akışkanlaştırıcı madde, çeşitli kimyasalların su ile birleşiminden meydana gelmektedir. Bu kimyasallar; polikarboksilat, lignosülfonat ve glukonattır. Hiper akışkanlaştırıcı; polikarboksilat esaslıdır ve tüm hiper akışkanlaştırıcı malzeme içerisinde polikarboksilat yer almaktadır. Lignosülfonat ve glukonat isteğe bağlı farklı özelliklerde hiper akışkanlaştırıcı malzeme üretimi için farklı oranlarda kullanılabilmektedir.

Tablo 1. Hammaddeler ve Genel Tedarik Bilgileri

Kimyasal	Genel Tedarik Bilgisi
Polikarboksilat	Laboratuvar ortamlarında özel olarak üretilir. Yurtdışı firmalardan ve Türkiye'de distribütör firmalardan temin edilebilir.
Lignosülfonat	Kağıt atık ürünüdür. Lignin maddesinin sülfat ile etkileşimidir. Türkiye'de kimyasal ürün satıcılarından, Yurtdışı firmalardan ve Türkiye'de distribütör firmalardan temin edilebilir.

Glukonat	Şeker bazlıdır. Türkiye'de kimyasal ürün satıcılarından, Yurtdışı firmalardan ve Türkiye'de distribütör firmalardan temin edilebilir.

Tablo 2. Hammaddelerin Çeşitli Firmalardaki Fiyatları

	Kimya Firmalarındaki Ton Fiyatı			
Kimyasal	**Firma 1**	**Firma 2**	**Firma 3**	**Firma 4**
Polikarboksilat	$1360	1000€	-yok-	1000€
Lignosülfonat	$450	$750	$750+KDV +NAKLİYE	$650
Glukonat	$810	$1000	$1100	$1000

5. Kuruluş Yeri ve Teknoloji Seçimi

İşletmelerin sürdürülebilirliği adına karşı karşıya kaldıkları birçok soruna ortak cevap verebilen organize sanayi bölgesinde bir üretim yeri, bölgelerin sağladığı altyapı ve destek hizmetlerden yararlanılabilecek olması nedeni ile öncelikli tercih sebebi olmaktadır. Aydın bölgesi özelinde kurgulanan bu çalışmaya konu olan yatırımın da Aydın'da var olan organize sanayi bölgesinde kurulması esas alınmıştır.

Üretim sisteminin karakteristik özelliklerini, kullanılan teknoloji ve üretim kapasitesinin belirlediği yapılan araştırmalarla tespit edilmiştir. Makine parkı toz besleme, tozsuzlaştırma, venturi, sıvı mikseri, elektronik tartım sistemi ve kontrolü makinelerini içermektedir. Türkiye'de bu üretim sistemini teknolojisi ile birlikte sağlayan iki firmanın var olduğu belirlenmiştir. Bu sistemler için fiyatlar üretim hacmine göre 50000€ ile 200000€ arasında değişebilmektedir.

6. Kapasitenin Belirlenmesi

Hiper akışkanlaştırıcı müşterilerini değerlendirmek üzere Aydın ve çevresindeki 10 beton firmasına anket uygulanmıştır. Beton firmalarına yapılan ankette talep, tedarik, fiyat ve varsa kullandıkları diğer ürünler üzerine sorular yöneltilmiştir. Anket cevaplarına göre, firmaların geçmiş yıldaki ve üretimin ilk yılındaki hiper akışkanlaştırıcı talep bilgileri ve geçen yıldaki hiper akışkanlaştırıcıyı aldıkları kg fiyatları Tablo 3 deki gibidir.

Tablo 3: Anketlerden Elde Edilen Bilgiler

Beton Firmaları	Aylık Talebi kg (geçmiş yıl)	Birim Fiyatı TL (geçmiş yıl)	Firmaların Bugünkü Kazancı (geçmiş yıl)	Gelecek Talep Tahmini kg (Üretimin 1. yılı)	Satılabilecek Fiyat TL (Üretimin 1. yılı)	Gelecek Kazanç (Üretimin 1. yılı)
1	200	1,0	200	1000	0,95	950
2	70000	1,2	84000	85000	1,15	97750
3	30000	0,9	27000	35000	0,85	29750
4	7000	1,0	7000	10000	0,95	9500
5	30000	0,9	27000	35000	0,85	29750
6	100	1,0	100	150	1	150
7	100000	1,2	115000	105000	1,15	120750
8	100	1,05	100	200	1	200
9	35000	1,35	45500	45000	1,3	58500
10	15000	1,0	15000	20000	0,95	19000
TOPLAM DEĞER	287400 kg		342025TL	336350 kg		366300TL

Yatırımcı ve sektördeki çeşitli uzmanlarla yapılan görüşmelerde müşterilerden beklentiler şu şekilde belirlenmiştir:

a. Satılan hiper akışkanlaştırıcıdan elde edilen birim kârın yüksek olması,
b. Hiper akışkanlaştırıcı satın alan beton firmasının talebinin yüksek olması, gelecekteki talep artışının yüksek olması,
c. Satış yapılacak beton firmasının ticari ilişkilerinin saygılı olması/hiper akışkanlaştırıcı tedarikçisine sadakati,
d. Ödemelerini zamanında ve firmaya uygun yapan bir beton firması olması,
e. Beton firmasının ulusal ve uluslar arası pazardaki imajının iyi olması,
f. Kalite standartları yüksek olan bir beton firması olması,
g. Beton firmasının çevreye duyarlı olmasıdır.

Bu 7 kriter, beton katkıları sektörüne yeni giren bir yatırımcı için, iyi bir imaj kazandırmasının yanında, yatırım maliyetini hızlı geri dönüşünü sağlayacak kriterlerdir.

Bu kriterlerin önem derecelerini belirlemek için AHP yöntemi kullanılmıştır. Sektördeki uzmanlara, benzer sektörlerdeki işverenlere, yatırımcılara ve akademisyenlere kriterleri ikili karşılaştırmaları ve birbirlerine üstünlüklerine göre 1-9 arasında önem dereceleri atamaları istenmiştir. Toplam 12 kişiye uygulatılan ikili karşılaştırmalar sonunda oluşturulan matrislerin Super Decision programı ile iç tutarlılık oranları hesaplanmıştır. Böylece yapılan puan atamalarının dengeli olup olmadığı test edilmiştir. Tablo 4'de yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen kişi bazlı ağırlıklar yer almaktadır.

Tablo 4: Kriterlerin AHP Sonucunda Ağırlıkları

Kriter-ler	1.kişi	2.kişi	3.kişi	4.kişi	5.kişi	6.kişi	7.kişi	8.kişi	9.kişi	10.kişi	11.kişi	12.kişi	ORT.
1	0,216	0,2717	0,061	0,044	0,19	0,42	0,06	0,232	0,21	0,099	0,3797	0,073	0,1876
2	0,2609	0,1063	0,156	0,146	0,28	0,229	0,17	0,162	0,22	0,196	0,0846	0,314	0,1941
3	0,1599	0,167	0,359	0,204	0,12	0,077	0,31	0,242	0,22	0,196	0,04	0,237	0,1944
4	0,2137	0,2617	0,109	0,249	0,27	0,299	0,14	0,239	0,22	0,391	0,2733	0,16	0,2359
5	0,0848	0,0962	0,155	0,166	0,07	0,152	0,15	0,044	0,05	0,047	0,1545	0,088	0,1050
6	0,0332	0,0761	0,134	0,166	0,05	0,063	0,12	0,056	0,04	0,047	0,0465	0,096	0,0778
7	0,0316	0,021	0,026	0,024	0,02	0,026	0,05	0,025	0,03	0,025	0,0213	0,032	0,0275

Kriter ağırlıklarının AHP ile belirlenmesinin ardından, Aydın ve çevresindeki müşteri niteliğindeki her bir firmanın bu kriterleri ne derece sağladığı ölçülmektedir. Puanlandırma yönteminde 10'luk skala kullanılması uygun görülmüştür.

1. ve 2. kriterlerin anketlerde elde edilen sayısal verileri mevcuttur. Bu sayısal verilerin 10'luk skalaya uyarlanması için normalizasyon yapılmıştır. Diğer kriterler ise ölçülemeyen soyut kavramlardır. Bu kriterlerin nicel değerler olarak ifade edilmesi sektörü tanıyan, tecrübeli uzmanlar tarafından gerçekleştirilmiş ve Tablo 5'de çizelgelenmiştir.

Tablo 5: Beton Firmalarının Puanlama Yöntemi ile Verilmiş Puanları

	Beton Firmaları(Müşteriler)									
Kriterler	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**	**J**	**K**
1	7	9	7	7	7	7	9	7	10	7
2	2	8	5	2	5	1	10	1	6	3
3	7	7	8	5	5	4	7	8	7	5
4	8	8	9	5	5	4	8	8	6	5
5	8	8	8	5	5	4	7	8	5	4
6	7	9	8	6	5	4	7	8	5	5

7	8	8	8	5	5	4	6	7	5	4

Tablo 5, tüm beton firmalarının kriterler bazında puanlarını göstermektedir. Örneğin, A müşterisinin tedarikçisine sadakati 7 iken, C müşterisininki 8, E müşterisininki 5'dir. AHP ile belirlenen kriter puanları (Tablo 4) ile Tablo 5'deki müşterilerin puanları çarpılarak, her bir müşteri firmanın fayda puanı elde edilmektedir. Tablo 6, bu çarpım sonrası tablonun son halini göstermektedir.

Tablo 6: Müşterilerin Fayda Puanları

Kriterler	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**	**I**	**J**
1	1,3130	1,6881	1,3130	1,3130	1,3130	1,3130	1,6881	1,3130	1,8757	1,3130
2	0,3881	1,5524	0,9703	0,3881	0,9703	0,1941	1,9405	0,1941	1,1643	0,5822
3	1,3605	1,3605	1,5548	0,9718	0,9718	0,7774	1,3605	1,5548	1,3605	0,9718
4	1,8875	1,8875	2,1235	1,1797	1,1797	0,9438	1,8875	1,8875	1,4156	1,1797
5	0,8398	0,8398	0,8398	0,5248	0,5248	0,4199	0,7348	0,8398	0,5248	0,4199
6	0,5444	0,7000	0,6222	0,4667	0,3889	0,3111	0,5444	0,6222	0,3889	0,3889
7	0,2202	0,2202	0,2202	0,1376	0,1376	0,1101	0,1652	0,1927	0,1376	0,1101
Toplam	**6,5535**	**8,2485**	**7,6437**	**4,9817**	**5,4861**	**4,0693**	**8,3210**	**6,6040**	**6,8675**	**4,9655**
Fayda Puanı=>	0,1028	0,1294	0,1199	0,0782	0,0861	0,0638	0,1305	0,1036	0,1077	0,0779

Tablo 6'da yer alan hesaplanma formül 2 ile ifade edilmektedir.

$$\sum_{i=1}^{7} \sum_{j=1}^{7} X_i * Y_j = S_t \qquad (2)$$

i=j ve t=1,2,…,10 firma için bu işlem tekrarlanmaktadır.

S_t =Firmanın fayda puanı

X_i= i. kriterin AHP sonrasında ortalamaların alınmasıyla bulunmuş puanını ifade etmektedir.

Y_j= t. firmanın puanlandırma yöntemi ile belirlenmiş j. değerini ifade etmektedir.

Örneğin; Kriter 1'in puanı 0,1880, A firmasının 1. Kriter puanı olan 7, B firmasının 1. Kriter puanı 9,…ve K firmasının 1. Kiriter puanı 7 ile çarpılmıştır. Çarpımlar toplanarak A firmasının puanını(fayda değerini) oluşturmuştur. Benzer işlemler tüm firmalar için yapılmıştır. Tüm çarpımların yapılmasının ardından Tablo 6 oluşturulmuştur.

Yatırımcı kazanç maksimizasyonunu yapmak isterken AHP ve puanlandırma yöntemi ile bulunmuş firmanın fayda değerine de önem vermektedir.

Pazar ve sektör incelendiğinde özellikle ulaşım maliyeti avantajının kullanılması gerektiği görülmektedir. Şekil 2; yıldız simgesi ile firmaların dağılımı, Tablo 7; firmalar, birim nakliye fiyatları ve faaliyette oldukları yer üzerine bilgi vermektedir.



Şekil 2. Müşteri Firmaların Harita Üzerinde Dağılımı

Tablo 7: Firmalar, Birim Nakliye Fiyatları Ve Faaliyette Oldukları Yer

Beton Firmaları	**Faaliyette Olduğu Yer**	**Kg Başı Ulaştırma Maliyeti (TL)**
A	İzmir	0,044
B	Denizli	0,06
C	Aydın	0,03
D	Söke	0,044
E	Aydın	0,03
F	Nazilli	0,044
G	Denizli	0,06
H	Aydın	0,03
J	Denizli	0,06
K	Didim	0,054

Aydın ve çevresindeki beton firmalarına satış yapan hiper akışkanlaştırıcı üreticisi firmaların tamamının Marmara Bölgesi'nde faaliyet gösterdiği bilinmektedir. Bu firmaların birim satış fiyatı üzerinden katlandığı birim ulaşım maliyetinin yüzdesel aralığı bilgisi tablodaki gibidir.

Tablo 8. Satış Fiyatı Üzerinden Ulaşım Fiyatının Ortalama Yüzdesel Aralıkları

Marmara Bölgesinde Faaliyet Gösteren Firmanın Satış Yaptığı Bölge	**Birim Ulaşım Fiyatının, Birim Satış fiyatı Üzerinden Yaklaşık Yüzdesel Değer Aralığı**

Marmara	%1 - %5
Ege	%5 - %10
Akdeniz	%10 - %15
Diğer	%5 - %25

Tablo 9. Hiper Akışkanlaştırıcı İçin Hesaplanan Ortalama Birim Satış Fiyatı

Beton Firmaları	**Aylık Talebi**	**Birim (kg) Fiyatı TL**	**Bugünkü Kazanç**
A	200	1	200
B	70000	1,2	84000
C	30000	0,9	27000
D	7000	1	7000
E	30000	0,9	27000
F	100	1	100
G	100000	1,2	120000
H	100	1,05	105
J	35000	1,35	47250
K	15000	1	15000
Toplam	**287400**		**327655**
Ağırlıklı Ortalamaya Göre Birim Satış Fiyatı	**=327655/287400 =1,14 TL**		

Tablo 8.8 de bulunan 1,14 TL, 10 beton üretici firmanın bulunduğu bölge içerisindeki ortalama satış fiyatını temsil etmektedir. Marmara Bölgesi'nde hiper akışkanlaştırıcı üreticilerinin satış fiyatının minimum %5 inin ulaşım maliyeti olduğu tablodan anlaşılmaktadır. Bu durumda 10 firmaya satış için katlanılan ortalama minimum birim ulaşım maliyeti;

1,14*0,05=0,057 TL dir.

Aydın ve çevresine satış yapan ve Marmara Bölgesi'nde faaliyet gösteren bir firma, minimum 0,057 TL lik birim ulaşım maliyetine katlanmaktadır. Bu sebeple Aydın'da faaliyet gösterecek bir hiper akışkanlaştırıcı üreticisinin ortalama birim ulaşım maliyeti 0,057 TL nin altında bir fiyat olmalıdır.

Yapılan üretici ve tüketici anketleri sonucunda üretim için belirlenen kapasitenin 200 ile 300 ton arasında olması uygun görülmektedir. Bu aralıktaki üretim için 3 çeşit teknoloji seçeneği vardır. 225 ton/ay, 250 ton/ay, 275 ton/ay dır.

Tablo 10 da TDP için gerekli olan firmaların talepleri, kg başına ulaşım maliyetleri ve firma puanları birlikte gösterilmektedir.

Tablo 1. TDP Çözümü İçin Gerekli Veriler

Beton Firmaları	1.Yıldaki Tahmini Talepler	Kg Başı Ulaştırma Maliyeti (TL)	Fayda Puanları*100
A	1000	0,044	1028
B	85000	0,06	1294
C	35000	0,03	1199
D	10000	0,044	782
E	35000	0,03	861
F	150	0,044	638
G	105000	0,06	1305
H	200	0,03	1036
J	45000	0,06	1077
K	20000	0,054	779

Bu doğrultuda belirlenen kapasite aralığında ve belirlenen ulaşım maliyeti kısıtında çalışılacak firmalar ve üretim miktarını belirlemek için tam sayılı programlama denklemi 3 teknoloji kapasitesi için (225,250,275ton/ay-tek vardiya) aşağıdaki gibidir:

Max z

$$M_A \times X_i + M_B \times X_i + M_C \times X_i + M_D \times X_i + M_E \times X_i + M_F \times X_i + M_G \times X_i + M_H \times X_i + M_J \times X_i + M_K \times X_i$$

Teknoloji Kısıtı;

$T_A \times X_i + T_B \times X_i + \ldots + T_K \times X_i <= TK$ (kg) (1)

Ulaşım Maliyeti Kısıtı;

$U_A \times X_i + U_B \times X_i + \ldots + U_K \times X_i <= UMB$ (TL)

Xi: Müşteri firmaya satış yapılması/yapılmaması

i=[1,0]

M_n = n. Firmanın Fayda Puanı

T_n = n. Firmanın Aylık Talebi

TK=Teknoloji Kapasitesi

$U_{n=}$ n. Firma İçin Katlanılacak Aylık Ulaşım Maliyeti

UMB=Aylık Ulaşım Maliyeti Bütçesi

n=[A,B,…,,K]

225ton/ay kapasiteli üretim tesisi için;

veriler yerine koyulduğunda modelin son hali;

Max z

$1028 X_i + 1294X_i + 1199X_i + 782 X_i + 861 X_i + 638 X_i + 1305X_i + 1036X_i + 1077 X_i + 779 X_i$

Teknoloji Kısıtı;

$1000 X_i + 85000 X_i + 35000 X_i + 10000 X_i + 35000 X_i + 150 X_i + 105000 X_i + 200 X_i + 45000 X_i + 20000 X_i <= 225000$ kg

Ulaşım Maliyeti Kısıtı;

$0,044 X_i + 0,06 X_i + 0,03 X_i + 0,044 X_i + 0,03 X_i + 0,044 X_i + 0,06 X_i + 0,03 X_i + 0,06 X_i + 0,054 X_i <= 0,03*10$ TL

Çözüm (225ton/ay):

Fayda değeri 7287 bulunmuştur. F, G ve K firmaları dışında diğer firmalar ile çalışılması uygun görülmektedir. 225000kg üretim kapasitesinin 211200 kg ı kullanılmaktadır Çalışılacak firmalar için ayrılan 0,3 TL lik ulaşım bütçesinin 0,298 TL si kullanılmaktadır. G firması en yüksek firma puanına sahiplerden biridir. Talebi oldukça yüksek olan G firması, teknoloji kapasitesinin yetersizliği sebebi ile üretime dahil edilememektedir.

250 ve 275 ton/ay kapasiteli teknoloji kullanımda çözümler sırasıyla şöyledir;

Çözüm (250ton/ay):
Fayda değeri 7297 bulunmuştur. B, F, K firmaları dışında diğer 7 firma ile çalışılması uygun görülmektedir. 250000kg üretim kapasitesinin 231200 kg ı kullanılmaktadır. 7 firma için ulaşım bütçesi 0,3 TL nin 0,298 TL si kullanılmaktadır. B firması en yüksek fayda puanına sahiplerden biridir. Talebi oldukça yüksek olan B firması, teknoloji kapasitesinin yetersizliği sebebi ile üretime dahil edilememektedir.
Çözüm (275ton/ay):
Fayda değeri 7528 olarak bulunmuştur. F, J, K firmaları dışında diğerleri ile çalışılması uygun görülmektedir. 275000kg üretim kapasitesinin 271200 kg ı kullanılmaktadır. 7 firma için ulaşım bütçesi 0,3 TL nin 0,298 TL si kullanılmaktadır. J yüksek fayda puanına sahiplerden biridir. Ulaşım bütçesi ve teknoloji kapasitesinin kısıtları varlığında üretime dahil edilmemektedir.
Teknolojiler için çözüm sonuçları Tablo 11deki gibidir.

Tablo 11: TDP Çözüm Sonuçları

Teknoloji Kapasitesi (kg)	Top. Fayda	Üretim Miktarı (kg)	Top. Birim Ulaşım Maliyeti (TL)
225000	7287	211200	0,297
250000	7297	231200	0,297
275000	7528	271200	0,297

Bu sonuçlara göre, aynı ulaşım maliyetinde maksimum faydayı sağlayan 275 ton kapasiteli teknolojinin kullanımı uygundur.

7. Sonuç

Yatırım kararlarının alınmasında gerçekleştirilen fizibilite etütlerinin farklı aşamalarında kullanılan sayısal hesaplama yöntemlerinin genişletilerek, nicel olmayan durumlarda da sayısal verilere dayanarak karar vermeyi sağlamayı hedefleyen bu çalışmada varılan sonuçlar aşağıda sırası ile yer almaktadır.

Bu çalışma ile, üretici ve tüketicilere uygulanan anketler ışığında yatırımcının üreteceği ürünü belirlemesine yardımcı olunmakta; yatırımcının piyasayı, rakiplerini ve müşterileri tanımasına olanak tanınmakta; ürüne olan talep ve satış fiyatları gibi önemli sayısal değerlere ulaşması sağlanmakta; yatırımcıya yönelik sektörde sürdürülebilirlik için gerekli kriterler ve bu kriterleri hangi müşterilerin ne derece sağladığı bilgisi verilmekte, müşterilere göre yaklaşık birim ulaşım maliyetleri konusunda yatırımcı aydınlatılmakta, kapasite belirlemedeki nitel yargılar AHP uygulaması ile güvenilir bir veri kaynağına dönüştürülmektedir.

Belirsizliklerin, öngörüde bulunma ve karar verme noktasında yatırımcıları ve yöneticileri zorladığı ve global piyasa şartlarından dolayı da önümüzdeki dönemlerde de zorlamaya devam edeceği kesin olan iş hayatında, bu çalışmada olduğu gibi, analitik karar vermenin önemi ve daha geniş alanlarda kullanımının yapılacak çalışmalarla araştırılması başarı için önemli bir etken olacaktır.

Kaynaklar

[1] Url-1 <http://www.cnd.com.tr/> alındığı tarih 06.12.2010

[2]ERASLAN, E., ALGÜN, O., İdeal Performans Değerlendirme Formu Tasarımında Analitik Hiyerarşi Yöntemi Yaklaşımı, Gazi Üniv.Müh.Mim. Fak.Der., 2005, Sayfa N. 95

[3] A Review Of Methods Supporting Supplier Selection", European Journal of Purchasing & Supply Management, 2001, Page N.75

[4]"An Evaluation Of Vendor Selection Models From A Total Cost Of Ownership Perspective", European Journal of Operational Research, 2000, Page N. 34

[5]NYDİCK R.L., HİLL R.P., "Using the Analytic Hierarchy Process to Structure the Supplier Selection Procedure", Journal of Purchasing and Management, 1992, Page N. 25

[6]PARTOVİ F.Y., BURTON J., BANERJEE A.. "Application of Analytic Hierarchy Process in Operations Management", International Journal of Operations and Production Management, 1989, Page N. 5

[7]NARASİMAHN R., "An Analytical Approach to Supplier Selection" Journal of Purchasing and Management, 1983, Page N. 27

[8]KAMAL, M. A., SUBHİ, A.H., "An Application of AHP in Project Management", International Journal of Project Management, 2001, Page N. 19

[9]TAM, M.C.Y., TUMMALA, V.M.R., "An Application of The AHP in Vendor Selection of a Telecommunications System", OMEGA, Vol. 29, No: 2, 171-182, 2001.

[10]GHODSYPOUR, S.H., BRİEN, C.O., "A Decision Support System for Supplier Selection Using an Integrated Analytic Hierarchy Process and Linear Programming", International Journal of Production Economics, 1998, Page N. 199

[11]YURDAKUL, M., "Makine Takım Seçimi için Analitik Hiyerarşi Prosesi Kullanımı", Journal of Materials Processing Technology, 2004, Sayfa N. 365

[12]YURDAKUL, M., İÇ Y.T., "AHP ve Hedef Programlama Yöntemlerinin Sağlayıcı Seçimi Probleminde Kullanılması", XXII. Ulusal YA/EM Kongresi, Gazi Üniversitesi, 2001

[13]DAĞDEVİREN, M., Eren, T., "Tedarikçi Firma Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve 0-1 Hedef Programlama Yöntemlerinin Kullanılması", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. , 2001, Sayfa N. 41

[14]ÖZYÖRÜK B. ve ÖZCAN E. "Analitik Hiyerarşi Sürecinin Tedarikçi Seçiminde Uygulanması: Otomotiv Sektöründen Bir Örnek" , Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, 2008, Sayfa N. 133

[15]ÖZLÜER, R. "Turizm ve Yat Yatırım Projeleri Fizibilite Etüdü " İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Bölümü, 1991
[16]BİLBAN, A.T. "Nazilli İlçesi Tarım İşletmelerinin Ekonomik Yapısı, Finansman Ve Yatırım Analizi" Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı
[17]ATMACA, A. "Yatırım Projelerinin Yapılabilirlik Etüdü Değerlendirilmesi ve Uygulama" Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Bölümü, 2006
[18] YARAN, A. "Marmara Bölgesinde Ro-Ro Taşımacılığı İçin Liman Yeri Seçimi Ve Bir Uygulama" İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı,2009
[19]ERTUĞ, B. "Bir Akaryakıt İstasyonunun Fizibilite Etüdünde TOPSIS Ve ELECTRE Yöntemlerinin Karşılaştırılması " Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 2009

ANALİTİK AĞ SÜRECİ İLE ÖĞRENCİ BİLGİ SİSTEMLERİ'NİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yrd. Doç. Dr. Semra ERPOLAT
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, serpolat@msgsu.edu.tr

ÖZET
E-dönüşüm sürecinin bir uygulaması olarak üniversitelerde kullanılan ve öğrenci bilgi sistemi olarak da bilinen otomasyon sistemlerinin önemi hiç kuşkusuz tartışılmazdır. Söz konusu sistemler genellikle öğrenciler, akademik personel ve öğrenci işleri çalışanları arasında bilgi alış-verişini sağlamak amacıyla kullanılan sistemler olup farklı tasarımlarda olabilmektedirler.
Bu çalışmada, belirlenen iki üniversitenin otomasyon işlemlerini gerçekleştirmek üzere tasarlanmış olan iki sistemin uzman kişilerce değerlendirilmesi Analitik Ağ Süreci (AAS) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla öncelikle, sistemlerin değerlendirilmesinde dikkate alınacak kriter kümeleri ile her bir kriter kümesine ilişkin faktörler belirlenmiştir. Daha sonra kriter kümelerine ait bütün faktörlerin ve dolayısıyla bütün kümelerin birbiriyle etkileşim içinde olabileceğine karar verilerek başlangıç ağı oluşturulmuş ve bu ağ yapısı temel alınarak AAS süreci gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgulardan ele alınan sistemleri değerlendirmede etkili kriterlerin neler olduğu belirlenerek tercih edilmesi gereken sistemin hangisi olması gerektiğine karar verilmiştir.
Anahtar Kelimeler: Analitik Ağ Süreci, Çok Kriterli Karar Alma, Öğrenci Bilgi Sistemi.

1. GİRİŞ

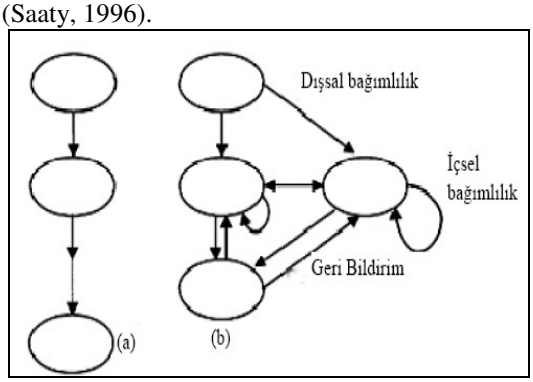
Dönüşüm, belirlenen bir amaca ulaşbilmek için yapılan kontrollü ve planlı değişikliklerdir. E- dönüşüm ise dönüşümün elektronik ortamda gerçekleştirilmesi olarak ifade edilebilir. E-dönüşümde amaç, kurumların veya işletmelerin kullanmakta oldukları bilgi sistemlerindeki işlemlerini bilgisayar ortamında on-line olarak gerçekleştirmek, saklamak ve kullanıcıları arasında paylaşımını sağlamaktır. Söz konusu sistemler kullanıldıkları ortam ve amaca göre değişik yapılarda ve özelliklerde olabilmektedirler. Bu ortam ve amaçlarından bir tanesi de eğitim kurumlarından olan üniversitelerde otomasyon işlemlerini gerçekleştirmektir.
Öğrenci bilgi sistemi, bilgi sistemi vb. değişik isimlerle de adlandırılabilen bu tür sistemlerin kullanıcıları genellikle öğrenciler, öğretim üyeleri ve öğrenci işleri personelleridir. Sistemlerin genel amacı; kullanıcılarının karşılıklı olarak birbirleriyle ilgili bilgilendirilmelerini sağlamaktır. Bu nedenle veri girişi, veri güncellemesi ve veri saklama gibi işlemler, sistemlerin en önemli işlevleri olup kullanıcılarına yetkileri dahilinde yüklemiş olduğu görevlerdir. Sistemlerin ortak özellikleri; öğrencilerin ders seçme işlemlerini gerçekleştirme, öğretim üyelerinin danışmanlık hizmeti kapsamında öğrencilerin aldıkları dersleri onaylama veya redetme, öğrenci işleri personellerinin ise kayıtlı tüm öğrenciler ile öğretim üyelerine ait bilgilerin, ders programlarının vb. genel bilgilerin sistemde yeralmasını sağlama olarak sıralanabilir. Bu özellikler dışında sistemin yapısına ve bağlı bulunduğu kurumun ihtiyaçlarına göre farklı özellikler içermesi de söz konusudur.
Kullanıcılarının bir otomasyon sisteminden beklentileri genellikle veri girişi, veri güncelleme, veri saklama, raporlama gibi işlemsel özellikleri eksiksiz ve en doğru biçimde gerçekleştirebiliyor olması iken kullanımının kolay, anlaşılabilir, geliştirilebilir, değiştirilebilir ve güvenilir olması gibi sistemin yapısal özelliklerinin de tatmin edici düzeyde olmasıdır. Otomasyon sistemlerinin sınanması ve değerlendirilmesi uzmanlarca farklı amaçlar için gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışmada ele alınan iki üniversiteye ait otomasyon sistemlerinin uzman görüşleri doğrultusunda genel olarak değerlendirilmeleri AAS yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla ilk olarak sistemlerin değerlendirmeye tabi tutulacağı genel kriterler (kümeler) belirlenmiş ve bu kriterlere ait alt kriterler (faktörler) oluşturulmuştur. Daha sonra belirlenen küme ve faktörlerin etkileşimlerine karar verilerek ikili karşılaştırmaları gerçekleştirilmiştir. Son olarak AAS yöntemi uygulanarak tercih edilmesi gereken sistem belirlenmiştir.
Literatürde AAS'nin farklı amaçlar için kullanımı söz konusudur. Örneğin; Lin vd. (2009), Tayvan'da bir seyahat şirketinde çalışan üç tür operatörün performansını AAS yöntemi ile ölçmüşlerdir. Meade ve Presley (2002), ar-ge projelerini seçmek için AAS yöntemini kullanmışlardır. Anand ve Kodali (2009), bir valf üreticisi için belirlenen yalın üretim, bilgisayar destekli üretim ve geleneksel üretim olmak üzere üç alternatif üretim sistemini AAS yöntemi ile değerlendirmişler ve yalın üretim sisteminin fabrika için en uygun sistem olduğuna karar vermişlerdir. Aragones-Beltran vd. (2008), bir organize sanayi bölgesindeki beş yerleşim yerinin fiyatını belirlemek için AAS yaklaşımını kullanmışlardır.
Bu çalışma dört bölümden oluşmuştur. Bunlar; genel bilgilerin ve literatür araştırmasının yeraldığı "Giriş" bölümü, AAS'nin ayrıntılı biçimde açıklandığı "Analitik Ağ Süreci" bölümü, çalışmada ele alınan karar problemi için AAS'nin uygulama aşamalarının anlatıldığı, elde edilen bulguların yorumlandığı "Uygulama" bölümü ve elde edilen sonuçların özetlendiği "Sonuç" bölümüdür.

2. ANALİTİK AĞ SÜRECİ

Çok kriterli karar alma yöntemlerinden bir tanesi de Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiş olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)'dir. Yöntemi diğer klasik yöntemlerden ayıran en önemli yanı sadece nicel değerleri değil aynı zamanda nitel değerleri de göz önüne alarak karar alma problemlerini hiyerarşik bir yapıda ve tek yönlü olarak modellemesidir (Saaty, 2001). Hiyerarşinin en üstünde bir amaç ve bu amacın altında sırasıyla

faktörler, alt faktörler ve en altında ise alternatifler bulunmaktadır. Oluşturulan hiyerarşik yapı içerisinde bulunan aynı seviyedeki faktörler birbirinden bağımsız olup karar alma sürecinde söz konusu faktörlerin birbirlerine olan etkileri göz önüne alınmamaktadır. Oysaki gerçek hayatta en doğru kararın alınabilmesi, karar problemine ait faktörler arasındaki ilişkilerin dikkate alınmasıyla mümkündür. İşte AHS'nin karar faktörleri arasındaki ilişkileri göz önüne almama ve karar problemlerini tek yönlü olarak modelleme olumsuzluklarını gidermek amacıyla geliştirilmiş olan yöntem, AAS'dir. AHS'nin genel bir biçimi olan AAS de Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiştir.

Hiyerarşik olarak modellenemeyen karmaşık karar problemlerinin modellenmesinde yaygın olarak kullanılan AAS'de ele alınan karar problemi, kümeler; faktörler ve bunlar arasındaki bağlantılar yardımıyla bir ağ yapısı haline dönüştürülür. Küme, ağ içerisinde yeralan faktörlerden aynı amacı belirtenlerin biraraya gelmesiyle oluşturulan yapıdır. AAS'de her bir kümenin kendi içinde geri bildirimi ve bağımlılığı söz konusudur. Şekil 1 (a)'da hiyerarşik yapı, Şekil 1 (b)'de ise ağ yapısı birlikte verilerek iki yapının karşılaştırılması sağlanmıştır (Saaty, 1996).



Şekil 1. Hiyerarşik ve ağ yapılarının karşılaştırılması.

Şekil 1(b)'de yeralan ağ yapısındaki okların yönü kümeler arasındaki veya kümelerdeki faktörler arasındaki bağımlılığı ifade etmektedir. Ağda, her bir kümenin kendi içindeki tüm etkileşim ve geri bildirimleri "içsel bağımlılık"; kümeler arasındaki etkileşim ve geri bildirimler ise "dışsal bağımlılık" olarak adlandırılmaktadır. İçsel ve dışsal bağımlılıklar, kümeler arasındaki veya belirli bir faktöre göre faktörler arasındaki etkileme ve etkilenme durumunu belirtmektedir. Şekil1(a)'da yeralan hiyerarşik yapının ise ağ yapısının basit bir formu olduğu kolaylıkla görülmektedir.

AAS (Saaty, 1996; Saaty ve Vargas, 2006) yaklaşımında, AHS (Saaty, 1990) yaklaşımında da olduğu gibi faktörlerin ikili olarak karşılaştırılması sonucunda sisteme olan etkilerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. AAS yaklaşımının AHS yaklaşımından en önemli farkı, kümeler, alternatifler ve faktörler arasında bağımlılığı dikkate almasıdır. Bu sebeple AAS yöntemi AHS yöntemini de kapsamaktadır. Söz konusu etkileşimlerin problemin ağ yapısında belirlenmesi gerekmektedir. Genel olarak AAS'nin gerçekleştirilmesi aşağıda sıralanan yedi aşama ile mümkündür (Saaty, 1980; Saaty, 1996; Saaty, 2005).

1. Aşama-Problemin yapılandırılması ve modelin oluşturulması: Bu aşamada karar problemi tanımlanır ve ağ yapısı oluşturulur. Problemin yapısını oluşturmak için kümeler arasındaki, her bir kümede yer alan faktörlerin kendi aralarındaki ve diğer kümelerde yer alan faktörler arasındaki tüm karşılıklı etkileşimler göz önüne alınmalıdır.

2. Aşama-İkili karşılaştırmalar ve ağırlık vektörlerinin oluşturulması: Faktörlerin ve kümelerin ağırlıklarını başka bir ifade ile önceliklerini veya öz değerlerini belirlenek üzere birinci aşamada oluşturulan ağ yapısına göre gerekli olan ikili karşılaştırmalar uzmanlar tarafından gerçekleştirilir. AAS'de ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması ve göreli önem ağırlıklarından (öz değerlerden) oluşan yerel ağırlık vektörlerinin hesaplanmasında ($Aw = \lambda_{max} * w$; A ikili karşılaştırma matrisi, w ağırlık vektörü, λ_{max} A'nın en büyük ağırlık değeri) AHS'de olduğu gibi Saaty tarafından önerilen 1–9 önem skalası kullanılmaktadır (Erpolat ve Cinemre, 2006). 1–9 önem skalasının değerleri ve tanımları Tablo 1'de verildiği gibidir (Saaty, 1980).

Tablo 1. Saaty önem derecesi tablosu.

Sayısal Yargı	**Sözel Yargı**
1	Eşitlik
3	Az önemli (az üstün olma hali)
5	Oldukça önemli (oldukça üstün olma hali)
7	Çok önemli (çok üstün olma hali)
9	Son derece önemli (kesin üstün olma hali)
2, 4, 6, 8	Ara değerler (uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasındaki değerler)

3. Aşama-Tutarlılıkların incelenmesi: Gerek AAS ve gerekse BAAS'de olsun karar verici tarafından yapılan değerlendirmelerin başka bir ifade ile ikili karşılaştırmaları yapılan matrislerin geçerliliklerinin sınanması için tutarlılığının ölçülmesi gereklidir. Eğer karar verici değerlendirmelerde tutarsız davranmışsa yaptığı değerlendirmeleri yeniden gözden geçirmek zorundadır. Matrislerin tutarlı olabilmesi ve işlemlerin gerçekleştirilebilmesi için tutarlılık oranlarının "0.1"den küçük olması gerekmektedir (Erpolat ve Cinemre, 2006).

4. Aşama-Süper matrisin oluşturulması: İkili karşılaştırmalar, daha önce birinci aşamada bağlantıları oluşturulan kümeler arasında, her bir kümede yeralan faktörlerin kendi aralarında ve diğer kümelerde yer alan faktörler arasında yapılmalıdır. Saaty bu karşılaştırmaları yapmayı sağlayan ve boyutu ağdaki tüm faktörlerin sayısına eşit olan bir kare matris geliştirmiştir (Saaty, 2001). "Süper matris" olarak adlandırılan bu kare matrisin genel yapısı markov zinciri sürecine benzemektedir. Karşılıklı etkileşimlerin bulunduğu bir ağda genel önceliklerin hesaplanabilmesi için ikinci aşamada elde edilen yerel öncelik vektörlerinin, süper matriste etkileyen faktörler sütunlarda ve bağımlı faktörler ise satırlarda olmak üzere yerleştirilmesi gerekir. Şekil 1b'de gösterilen ağ için süper matrisin genel yapısı Eşitlik (1)'deki gibidir.

$$W = \begin{array}{l} \\ \text{Amaç} \quad (A) \\ \text{Faktörler} \quad (F) \\ \text{Alternatifler} \quad (AL) \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} (A) & (F) & (AL) \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ w_{21} & 0 & 0 \\ 0 & w_{32} & I \end{bmatrix} \end{array} \qquad (1)$$

Matriste yeralan W_{21}, amacın faktörler üzerindeki etkisini gösteren bir vektör; W_{32}, faktörlerin her bir alternatif üzerindeki etkisini gösteren bir matris ve I ise birim matristir (Saaty ve Vargas, 1998). Süper matris gerçekte parçalı bir matristir ve buradaki her bir matris bölümü bir sistem içindeki iki faktör arasındaki ilişkiyi gösterir.

5. Aşama-Ağırlıklı süper matrisin oluşturulması: Elde edilen süper matriste, toplamı 1'den büyük olan sütunlar normalize edilerek "ağırlıklı süper matris" oluşturulur.

6. Aşama-Limit matrisin oluşturulması: Faktörlerin birbiri üzerindeki göreli etkilerini belirlemek için ağırlıklı süper matrisin, her satırı bir değere yakınsayıncaya kadar başka bir ifade ile bir noktada eşitleninceye kadar k rasgele seçilmiş büyük bir sayı olmak üzere (2k + 1)'inci kuvveti alınır. Elde edilen yeni matris "limit matris" olarak adlandırılır. Limit matris, karar probleminin alternatifleri ile faktörlerine ait önem ağırlıklarını gösteren matristir. Ağırlıklandırılmış süper matrisle aynı formda olan matrisin tek farkı, her bir satır için bütün kolon değerlerinin aynı olmasıdır.

7. Aşama-En iyi alternatifin seçilmesi: Limit matrisin elde edilmesiyle ağda yeralan faktörler ve alternatiflere ilişkin önem ağırlıkları da elde edilmiş olur. Matriste en yüksek önem ağırlığına sahip olan alternatif en iyi alternatif iken en yüksek önem ağırlığına sahip olan faktör ise karar sürecini etkileyen en önemli faktör olarak belirlenir (Chung vd. 2005). Faktörlerin bulundukları küme içindeki önem ağırlıklarını bulmak için ise ele alınan kümede yeralan faktörlerin önem ağırlıklarının normalize edilmesi gerekmektedir.

3. UYGULAMA

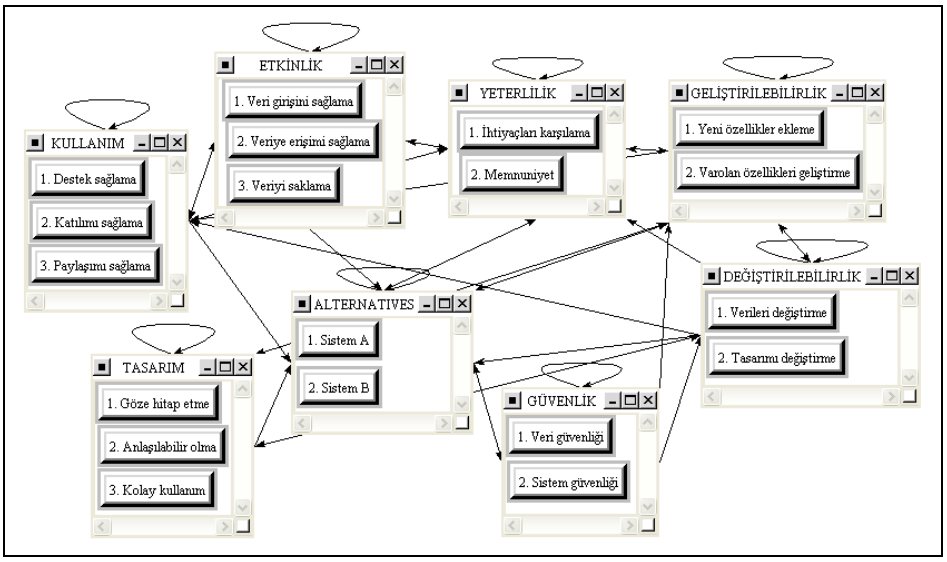
3.1. Ağın Oluşturulması

Çalışmada, belirlenen iki otomasyon sisteminin uzman kişilerce değerlendirilmesi AAS yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla öncelikle, sistemlerin değerlendirilmesinde dikkate alınacak kümeler ile her bir kümeye ilişkin faktörler belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen küme ve faktörlerin hangilerinin birbiriyle etkileşimde bulunabileceğine karar verilmiştir. Sistemlerin değerlendirilmesi için oluşturulan ağda, uzman kişilerce belirlenen kümeler ve her bir kümede yer alan faktörler Tablo 3'teki gibi olup etkileşimlerini gösteren ağın "Super Decisions" programında oluşturulmuş yapısı ise Şekil 2'de gösterildiği gibidir. Oluşturulan ağda ALTERNATİF kümesinin faktörlerinin (Sistem A, Sistem B) birbiriyle etkileşimli olmadığı buna karşın söz konusu kümenin diğer kümeler ve kümelerdeki faktöelerle etkileşimli olduğu varsayılmıştır. Ayrıca, ALTERNATİF kümesi dışında kalan diğer kümelere ilişkin faktörlerin dolayısıyla bütün kümelerin birbiriyle etkileşim içinde olabileceğine karar verilmiştir.

Tablo 3. Kümeler ve faktörleri.

Kümeler	Faktörler	Kümeler	Faktörler
TASARIM (T)	1. Göze hitap etme (T1)	YETERLİLİK (Y)	1. İhtiyaçları karşılama (Y1)
	2. Anlaşılabilir olma (T2)		2. Memnuniyet (Y2)
	3. Kolay kullanım (T3)	GELİŞTİRİLEBİLİRLİK (G)	1. Yeni özellikler ekleme (G1)
KULLANIM (K)	1. Destek sağlama (K1)		2. Varolan özellikleri geliştirme (G2)
	2. Katılımı sağlama (K2)	DEĞİŞTİRİLEBİLİRLİK (D)	1. Verileri değiştirme (D1)
	3. Paylaşımı sağlama (K3)		2. Tasarımı değiştirme (D2)
ETKİNLİK	1. Veri girişini sağlama (E1)	GÜVENLİK	1. Veri güvenliği (GV1)

(E)	2. Veriye erişimi sağlama (E2)	(GV)	2. Sistem güvenliği (GV2)
	3. Veriyi saklama (E3)	ALTERNATİFLER (A)	1. Sistem A (A1)
			2. Sistem B (A2)



Şekil 2. Küme ve faktörler arasındaki etkileşimleri gösteren ağ yapısı.

İkili Karşılaştırmaların Gerçekleştirilmesi: Ağın oluşturulmasından sonra belirlenen etkileşimlere göre ikili karşılaştırmalar gerçekleştirilir. Örnek olması açısından, "TASARIM" kümesi ele alındığında ağdaki etkileşimlere göre oluşturulabilecek tüm ikili karşılaştırmalar aşağıdaki matrislerde verildiği gibidir. Diğer küme ve faktörlere ilişkin ikili karşılaştırmalar da benzer şekilde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4. "TASARIM" kümesi ele alındığında kümelere ilişkin ikili karşılaştırmalar.

TASARIM	ikili karşılaştırmalar							
	T	K	E	Y	G	D	GV	A
T	1	7	9	4	1	2	9	3
K	1/7	1	2	1/2	1/5	1/4	5	1/2
E	1/9	1/2	1	1/3	1/9	1/7	3	1/5
Y	1/4	2	3	1	1/3	1/2	8	1/2
G	1	5	9	3	1	1	9	2
D	1/2	4	7	2	1	1	9	2
GV	1/9	1/5	1/3	1/8	1/9	1/9	1	1/9
A	1/3	2	5	2	1/2	1/2	9	1

AAS İçin Tutarlılık İncelemesi: Bulanık olmayan ikili karşılaştırmaların oluşturulmasından sonra tutarlılık incelemesi gerçekleştirilmiştir. Tutarlılık incelemesi, her bir kümenin diğer kümelerle ilişkilerini gösteren bulanık olmayan ikili karşılaştırmalar matrisi ile ele alınan kümenin her bir faktörünün etkileşimde bulunduğu diğer kümelerin faktörleriyle ilişkilerini gösteren bulanık olmayan ikili karşılaştırmalar matrisi üzerinden yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan, ağda yer alan bütün küme ve kümelerdeki faktörlerin tutarlılık oranlarının 0.1'in altında değer aldığı ve dolayısıyla tutarlı oldukları görülmektedir.

Süper Matrisin Oluşturulması: AAS yönteminde sistemlerin değerlendirilmesine yönelik model oluşturulup ikili karşılaştırmalar gerçekleştirildikten sonra "Super Decisions" programının hesapladığı ağırlık vektörleri yardımıyla bulunan "süper matris" Tablo 6'da verildiği gibidir.

Tablo 6. AAS için süper matris.

	T1	T2	T3	K1	K2	K3	E1	E2	E3	Y1	Y2	G1	G2	D1	D1	GV1	GV2	A1	A2
T1	0.105	0.063	0.088	0.077	0.583	0.241	0.241	0.265	0.088	0.077	0.071	0.063	0.063	0.692	0.077	0.077	0.077	0.692	0.078
T2	0.258	0.672	0.243	0.231	0.111	0.087	0.087	0.063	0.243	0.231	0.177	0.269	0.672	0.077	0.692	0.692	0.692	0.231	0.693
T3	0.637	0.265	0.669	0.692	0.307	0.672	0.672	0.672	0.669	0.692	0.752	0.668	0.265	0.231	0.231	0.231	0.231	0.077	0.229
K1	0.637	0.637	0.692	0.751	0.637	0.669	0.672	0.672	0.672	0.689	0.751	0.692	0.692	0.692	0.752	0.692	0.692	0.692	0.693
K2	0.258	0.258	0.231	0.070	0.105	0.088	0.063	0.063	0.063	0.075	0.070	0.231	0.231	0.231	0.071	0.077	0.077	0.077	0.078
K3	0.105	0.105	0.077	0.178	0.258	0.243	0.265	0.265	0.265	0.236	0.178	0.077	0.077	0.077	0.177	0.231	0.231	0.231	0.229
E1	0.672	0.672	0.672	0.672	0.672	0.077	0.600	0.200	0.200	0.751	0.751	0.692	0.692	0.692	0.692	0.231	0.231	0.692	0.234
E2	0.265	0.265	0.265	0.265	0.265	0.231	0.200	0.600	0.200	0.178	0.178	0.231	0.231	0.231	0.231	0.077	0.077	0.231	0.077
E3	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.692	0.200	0.200	0.600	0.070	0.070	0.077	0.077	0.077	0.077	0.692	0.692	0.077	0.689
Y1	0.875	0.875	0.875	0.875	0.875	0.833	0.875	0.875	0.875	0.750	0.250	0.125	0.125	0.125	0.875	0.125	0.125	0.875	0.875
Y2	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.167	0.125	0.125	0.125	0.250	0.750	0.875	0.875	0.875	0.125	0.875	0.875	0.125	0.125
G1	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.125	0.125	0.750	0.250	0.875	0.167	0.833	0.833	0.167	0.833
G2	0.833	0.833	0.833	0.833	0.833	0.833	0.833	0.833	0.833	0.875	0.875	0.250	0.750	0.125	0.833	0.167	0.167	0.833	0.167
D1	0.875	0.875	0.875	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.875	0.875	0.875	0.750	0.250	0.125	0.875	0.167	0.125
D2	0.125	0.125	0.125	0.875	0.875	0.875	0.875	0.875	0.875	0.875	0.125	0.125	0.125	0.250	0.750	0.875	0.125	0.833	0.875
GV1	0.875	0.875	0.875	0.875	0.875	0.875	0.875	0.875	0.875	0.125	0.125	0.167	0.125	0.125	0.875	0.750	0.250	0.833	0.833
GV2	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.875	0.875	0.833	0.875	0.875	0.125	0.250	0.750	0.167	0.167
A1	0.875	0.875	0.875	0.167	0.750	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.250	0.167	0.250	0.167	0.167	0.167	0.167	1.000	0.000
A2	0.125	0.125	0.125	0.833	0.250	0.833	0.833	0.833	0.833	0.833	0.750	0.833	0.750	0.833	0.833	0.833	0.833	0.000	1.000

Kümelere İlişkin Ağırlıkların Hesaplanması: Kümelere ilişkin ağırlıkları gösteren matris Tablo 8'de verildiği gibidir. Tabloya göre her bir kümenin kendi kümesindeki ağırlığı diğer kümelere göre en yüksektir. Örneğin "TASARIM" kümesinin en yüksek ağırlığa sahip olduğu küme %28.56 oranıyla yine kendisidir. Daha sonra sırasıyla %21.11 oranıyla "GELİŞTİRİLEBİLİRLİK", %19.45 oranıyla "DEĞİŞTİREBİLİRLİK", %5.99 oranıyla "KULLANIM", %5.13 oranıyla "YETERLİLİK", %5.07 oranıyla "ALTERNATİFLER", %3.96 oranıyla "ETKİNLİK" ve %2.11 oranıyla "GÜVENLİK" kümesinde en yüksek ağırlığa sahiptir.

Tablo 8. AAS için kümelere ilişkin ağırlık değerleri.

KÜMELER	T	K	E	Y	G	D	GV	A
T	0.2856	0.0599	0.0396	0.0513	0.2111	0.1945	0.0211	0.0507
K	0.0519	0.2868	0.2606	0.2611	0.0818	0.1034	0.0311	0.0748
E	0.0292	0.2066	0.2966	0.1395	0.0161	0.0160	0.0211	0.0811
Y	0.0859	0.2469	0.1334	0.2758	0.0818	0.0882	0.0311	0.1568
G	0.2258	0.0348	0.0798	0.0830	0.2172	0.2116	0.2423	0.0460
D	0.1848	0.0243	0.0488	0.0513	0.2172	0.2179	0.2423	0.0460
GV	0.0167	0.0181	0.0167	0.0165	0.0505	0.0514	0.2607	0.1938
A	0.1201	0.1226	0.1245	0.1215	0.1243	0.1169	0.1504	0.3507

Kümelere Göre Faktörlerin Göreli Önemlerinin Hesaplanması: AAS için kümelere göre faktörlerin göreli önem değerleri Tablo 10'da verildiği gibidir.

Tablo 10. AAS için kümelere göre faktörlerin göreli önem değerleri.

Kümeler	Faktörler	AAS	
		Kümelere Göre Normalleştirilmiş Değerler	Kümelere Göre Önemli Bulunan Faktör
T	T1	0.1711	T3
	T2	0.3892	
	T3	**0.4398**	
K	K1	**0.7024**	K1
	K2	0.0974	
	K3	0.2002	
E	E1	**0.5317**	E1
	E2	0.2324	
	E3	0.2359	
Y	Y1	**0.7053**	Y1
	Y2	0.2947	
G	G1	0.4221	G2
	G2	**0.5779**	
D	D1	**0.5892**	D1
	D2	0.4108	
GV	GV1	**0.6479**	GV1
	GV2	0.3521	
A	A1	0.2806	A2
	A2	**0.7194**	

Elde edilen sonuçlardan "TASARIM" kümesinin "kolay kullanım" faktörü %43.98 oranıyla, "KULLANIM" kümesinin "destek sağlama" faktörü %70.24 oranıyla, "ETKİNLİK" kümesinin "veri girişini sağlama" faktörü %53.17 oranıyla, "YETERLİLİK" kümesinin "ihtiyaçları karşılama" faktörü %70.53 oranıyla, "GELİŞTİRİLEBİLİRLİK" kümesinin "varolan özellikleri geliştirme" faktörü %57.79 oranıyla, "DEĞİŞTİRİLEBİLİRLİK" kümesinin "verileri değiştirme" faktörü %58.92 oranıyla, "GÜVENLİK" kümesinin "veri güvenliği" faktörü %64.79 oranıyla önemli bulunan faktörleri olmuştur. Tablodan alternatiflerden ise %71.94 oranı ile "Sistem B"nin tercih edildiği görülmektedir.

Faktörlerin Göreli Önemlerinin Hesaplanması: Küme ayırımı gözetmeksizin tüm faktörlerin göreli önem değerleri Tablo 11'de verildiği gibidir.

Tablo 11. AAS için faktörlerin göreli önem değerleri.

Kümeler	Faktörler	AAS		
		Sınırlandırılmış Öncelikler	Önem Sırası	Önemli Bulunan İlk Beş Faktör
T	T1	0.0193	17	1. K1 (**0.1081**)

	T2	0.0438	12	
	T3	0.0495	7	2. Y1 (**0.1071**)
K	K1	0.1081	**1**	
	K2	0.0150	18	3. G2 (**0.0744**)
	K3	0.0308	13	
E	E1	0.0565	**5**	4. D1 (**0.0679**)
	E2	0.0247	16	
	E3	0.0251	14	5. E1 (**0.0565**)
Y	Y1	0.1071	**2**	
	Y2	0.0447	11	
G	G1	0.0544	6	
	G2	0.0744	**3**	
D	D1	0.0679	**4**	
	D2	0.0473	8	
GV	GV1	0.0460	9	
	GV2	0.0250	15	
A	A1	0.0450	2	Sistem B (**0.1155**)
	A2	0.1155	1	
TOPLAM	**1.0000**			

Tablo 11'e göre AAS sonucunda elde edilen bulgulardan önemli bulunan ilk beş faktörün sırasıyla %10.81 oranıyla "destek sağlama", %10.71 oranıyla "ihtiyaçları karşılama", %7.44 oranıyla "varolan özellikleri geliştirme", %6.79 oranıyla "verileri değiştirme", %5.65 oranıyla "veri girişini sağlama" olduğu, ayrıca alternatiflerden ise %11.55 oranı ile "Sistem B"nin tercih edildiği görülmektedir.

Alternatiflerin Değerlendirilmesi: Limit matrisi yardımıyla sistemlerin değerlendirilmesine ilişkin AAS için elde edilen sonuçlar Tablo 12'deki gibidir. Tablodan ikinci alternatif olan Sistem B'nin birinci alternatif olan Sistem A'dan daha yüksek göreli öneme sahip olduğu görülmektedir. Buna göre otomasyon işlemini gerçekleştiren iki farklı sistemin uzman görüşlerine göre AAS analizi yardımıyla değerlendirilmesi sonucunda ele alınan sistemlerden ikinci alternatifte yer alan Sistem B'nin birinci alternatifteki Sistem A'dan normal değerlere göre %71.94 oranıyla daha iyi bir sistem olduğu söylenebilir.

Tablo 12. AAS için alternatiflere ilişkin ideal, normal ve ham veriler.

Alternatifler	AAS			
	İdeal Değerler	Normal Değerler	Ham Değerler	Önemli Bulunan Alternatif
1. Sistem A	0.3901	0.2806	0.0450	Sistem B
2. Sistem B	**1.0000**	**0.7194**	**0.1155**	

4. SONUÇLAR

Çalışmada sistemleri değerlendirmek üzere uzmanlar tarafından toplam 7 kriter kümesi ve 17 faktör belirlenmiştir. Söz konusu kümeler ve faktörlerin kümelere dağılımı daha önce Tablo 3'te verildiği gibidir.

Her bir küme için önemli bulunan faktörün AAS için sırasıyla "TASARIM" kümesi için "kolay kullanım"(%43.97), "KULLANIM" kümesi için "destek sağlama" (%70.24), "ETKİNLİK" kümesi için "veri girişini sağlama" (%53.17), "YETERLİLİK" kümesi için "ihtiyaçları karşılama" (%70.53), "GELİŞTİRİLEBİLİRLİK" kümesi için "varolan özellikleri geliştirme" (%57.79), "DEĞİŞTİRİLEBİLİRLİK" kümesi için "tasarımı değiştirme" (%58.92) ve "GÜVENLİK" kümesi için ise "veri güvenliği" (%64.79) faktörü olduğu görülmüştür.

Tüm faktörler birlikte değerlendirildiğinde ise sistemleri değerlendirmede en önemli ilk beş faktörün AAS için sırasıyla "destek sağlama" (%10.81), "ihtiyaçları karşılama" (%10.71), "varolan özellikleri geliştirme" (%6.79), "verileri değiştirme" (%6.79) ve "veri girişini sağlama" (%5.65) olduğu belirlenmiştir.

Değerlendirmeye tabi tutulan sistemlerden "Sistem B"' olarak adlandırılan sistemin daha kullanışlı ve etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

Anand G. and Kodali R., Selection of lean manufacturing systems using the analytic network process-a case study. Journal of Manufacturing Technology Management, 20 (2), 258-289, 2009.

Aragonés-Beltran P., Aznar J., Ferris-Onate J. ve Garcia-Melon M., Valuation of urban industrial land: An analytic network process approach. European Journal of Operational Research, 185, 322-339, 2008.

Chang, D.Y. (1996). Applications of the extent analysis method of fuzzy AHP, European Journal of Operational Research, 95, 649-655.
Chung S.H., Lee A.H.I., Pearn W.L., "Analytic Network Process Approach For Product Mix Planning in Semiconductor Fabricator", International Journal of Production Economics," 96,15-36, 2005.
Erpolat S., Cinemre N., "Analitik Hiyerarşi Yöntemi'yle İş Sektörü Seçimi", Öneri dergisi Marmara Ünv., S:25, Yıl: 12, Cilt: 7 Ocak 2006.
Lin C.T., Lee C. and Chen W.Y., An expert system approach to assess service performance of travel intermediary. Expert Systems with Applications, 36, 2987-2996, 2009.

Meade M.L. and Presley A., R&D project selection using the Analytic Network Process. IEEE Transactions on Engineering Management, 49(1), 59-66, 2002.

Saaty T.L., "The analytic hierarchical process", McGraw-Hill, New York, 1980.

Saaty T.L., How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. European Journal of Operational Research, 48, 9-26, 1990.

Saaty T.L., Decision making with dependence and feedback: The Analytic Network Process. RWS Publications, Pittsburgh, A.B.D., 1996.

Saaty, T.L. Decision Making with Dependence and Feedback the Analytic Network Process, RWS Publications: Pittsburgh, PA, 2001.

Saaty T.L., "Theory and applications of the analytic network process: Decision making with benefits, opportunities, costs, and risks", RWS Publications, PA, USA, 2005.

Saaty, T.L. and Vargas, L.G. Diagnosis with dependent symptoms: Bayes Theorem and the Analytic Hierarchy Process, Operations Research, Vol 46, No 4, 491–502, 1998.

Saaty T.L. and Vargas L.G., Decision making with the Analytic Network Process: Economic, political, social and technological applications with Benefits, Opportunities, Costs and Risks. Sipringer, Pittsburgh, A.B.D., 2006.

Wu C.R, Chang C.W, Lin H.L, A Fuzzy ANP-based Approach to Evaluate Medical Organizational Performance, Information and Management Sciences, V.19, N. 1, pp. 53-74, 2008.

BİLGİ ÖNERİ SİSTEMİ: GRUP HALİNDE KARAR ALMAYA YARDIMCI OLACAK OLASILIKSAL ÇOK KRİTERLİ BİR YAKLAŞIM

Yrd. Doç. Dr. Semra ERPOLAT
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, serpolat@msgsu.edu.tr

ÖZET
İletişim alanındaki hızlı gelişme ile birlikte herhangi bir konu ile ilgili bilgiye erişim oldukça kolaylaşmıştır. Bu durum gerek işlerin hızlanmasına gerekse yaşam kalitesinin yükselmesine katkıda bulunmuştur. Özellikle internet ve internet erişim araçlarının gelişmesiyle birlikte insanlar istedikleri herhangi bir konuda kolaylıkla bilgi sahibi olabilmekte ve bu sayede ihtiyaçlarını daha kolay biçimde karşılayabilmektedirler. Hiç kuşkusuz bu yolla karar almayı etkileyen en önemli faktör, edinilebilecek alternatif sayısının çok fazla olabileceğidir. Alternatif sayısının fazla olması ise her durum ve olay için çok da istenen bir şey değildir. Şöyle ki: yapılması düşünülen faaliyetin bireysel olarak değil de en az iki kişiden oluşan bir grup ile birlikte gerçekleştirilecek olması, çok sayıda alternatife sahip olması ve bütün bunlara ilaveten bir de zaman kısıtının olması durumunda karar vermenin çok da kolay bir şey olduğunu söylemek mümkün olmayacaktır. Bu sorunu çözmek amacıyla "Bilgi Öneri Sistemi (BÖS)" olarak adlandırılan ve insanlara yapacakları faaliyetler konusunda ortak bir karar almalarını sağlayacak sistemler geliştirilmiştir.
Bu çalışmada birlikte sinemaya gitmek isteyen bir grup insana tercih ve beğenileri doğrultusunda öneride bulunacak bir BÖS geliştirilmiştir. Sistemde içeriklerine göre filmler kategorilendirilmiş olup sistemi kullanan grubun hangi kategoride film tercih etmesi gerektiği öncelikle her bireye göre ayrı ayrı sorgulanmış daha sonra bireylerden elde edilen bilgiler doğrultusunda grup halinde memnuniyeti en yüksek düzeyde tutacak tercihin belirlenmesi yoluna gidilmiştir. Sistem bireysel tercihleri belirlemede Bayesian Ağ (BA) Modeli'nden, grup olarak ortak kararın verilmesinde ise Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY)'nden yararlanmaktadır. Yapılan denemelerden BÖS'nin oldukça iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.
Anahtar Kelimeler: Bayesian Ağ Modeli, Analitik Hiyerarşi Yöntemi, çok kriterli karar alma, bilgi öneri sistemi.

INFORMATION RECOMMENDATION SYSTEM: A PROBABILISTIC MULTI CRITERIA APPROACH FOR HELPING DECISION MAKING AS A GROUP

ABSTRACT
Access to information about any subject is rather easier with the rapid development at the field of communication. This situation has contributed both to the acceleration of the works and to the increase in the quality of life. Especially with the development of internet and internet access tools people can easily get knowledge about any subject and thus they can satisfy their needs more easily. Without a doubt the most important factor affecting the decision making from this way is that the number of available alternatives can be too much. Having greater number of alternatives is not a very desirable thing for each case and event. That is: the planned activity to be held with a group consisting of at least two people rather than as an individual, having a large number of alternatives and in addition to all this also having a time constraint in this case it will not be possible to say that decision making is an easy thing. In order to solve this problem, the systems called "Information Recommendation System (IRS)" that ensure people to make a joint decision in activities they will perform have been developed.
In this study, an IRS is developed for giving recommendation, according to their preferences and admirations, to a group of people who want to go to the movies together. At the system movies are categorized according to their contents, the movie in which category should be chosen by the group that uses the system is first questioned separately by each individual, and then according to the information obtained from individuals, the preference which hold the highest level of satisfaction as a group is determined. The system benefits from Bayesian Network (BN) for determining the individual preferences, Analytic Hierarchy Process (AHP) for issuing a joint decision as a group. From the trials it is observed that IRS is giving quite good results.
Keywords: Bayesian Network Model, Analytical Hierarchy Process, multi criteria decision making, information recommendation system.

1. GİRİŞ

Grup halinde yapılacak faaliyetlerde alınacak kararın grup üyelerinin hepsini en fazla memnun edecek derecede bir kararın olması çoğu zaman oldukça güçtür. Özellikle alınacak kararla ilgili oldukça çok sayıda kriter ve alternatif varsa. Bu amaçla "Bilgi Öneri Sistemi (BÖS)" olarak adlandırılan ve insanlara yapacakları faaliyetler konusunda ortak bir karar almalarını sağlayacak sistemler geliştirilmiştir. Söz konusu sistemlerde farklı karar alma yöntemlerinden yararlanılabilmektedir. Bu yöntemlerden bazılarında önsel bilgilere gereksinim duyulurken bazılarında ise karar alacak kişilerin yargıları ön plana çıkmaktadır.

Bu çalışmada birlikte sinemaya gitmek isteyen bir grup insana tercih ve beğenileri doğrultusunda öneride bulunacak bir BÖS geliştirilmiştir. Bu amaçla öncelikle sinemada izlenebilecek filmler içeriklerine göre kategorilere ayrılmış, izlenmek istenecek film türünü etkileyeceği düşünülen nitelikler ve düzeyleri belirlenmiş, hangi bireylerin bir araya gelmesiyle grup oluşacağı kararı verilmiştir. Daha sonra oluşturulan gruplardan her birinde belli sayıda grup olacak şekilde eğitim kümesi oluşturulmuş ve BÖS'nin BA kısmı bu küme ile eğitilmiştir. Sistemin sınanması için ise belirlenen her bir gruptan bir tane olacak şekilde bir test kümesi oluşturulmuştur. Test kümesinde yer alan grupların bireylerinin tercih edecekleri film tercihleri eğitilen BA ile tahmin edilmiştir. Son olarak da ortak kararın ne olması gerektiği AHY ile belirlenmiştir. İzleyen bölümlerde BA ve AHY açıklanmış, ardından BÖS'nin yapısı üzerinde durularak işleyişi açıklanmıştır.

2. BAYESIAN AĞ MODELİ

BA Modeli, değişkenler arasındaki istatistiksel ilişkiyi kodlayan yönlü dönüşsüz grafiksel modellerdir (Heckerman, 1996). Literatürde inanç ağı (blief network) olarak da geçen ağların özelliği istatistiksel ağlar olmaları ve düğümler (nodes) arası geçiş yapan kollarının (edges) istatistiksel kararlara göre seçilmesidir. Ağda her bir düğüm bir rassal değişkene, kenarlar ise değişkenler arasındaki korelasyonlara karşılık gelir (Friedman, 1997). Bu değişkenler arasındaki sıralama, başka bir ifade ile bir düğümden diğer düğüme geçiş sırası da BA'lar ile gösterilebilir. Ağda oklar bir ana (parent) düğümden (A) başlar ve çocuk (child) düğümde son bulur (B). Çocuk düğüm okun başladığı ana düğüme bağlıdır. Şekil 1'de beş düğümden oluşan bir BA ağı yer almaktadır. BA modeli Eşitlik 1'de verilen Bayes teoremine göre gerçekleştirilmektedir (Berger, 1985).

$$P(A_i / B) = \frac{P(B / A_i) P(A_i)}{P(B_i)} = \frac{P(B / A_i) P(A_i)}{P(B / A_1) + \cdots + P(B / A_n)} \qquad (1)$$

Bayes felsefesi, şüphe altında karar almayı "karar teorisi" olarak bilinen bir disiplin çerçevesinde gerçekleştirir. Bu disiplinde karar, "insan ne yapabilir (alternatifleri)", neler bilir (inançları) ve "ne ister (tercihleri)" olmak üzere genelde üç bileşene sahiptir. Buna göre alternatifler karar değişkenleri, inançlar Bayesiyan olasılıklar ve tercihler ise durumlar ile temsil edilir.

3. ANALİTİK HİYERARŞİ YÖNTEMİ

1970 yıllarında, Thomas Saaty tarafından bir model olarak geliştirilen AHY, belirlilik durumunda çok ölçütlü karar problemlerinin çözümü için geliştirilen karar verme araçlarından bir tanesidir. Çok sayıda ölçütün söz konusu olduğu bir konuda karar verirken karşılaşılan önemli sorunlardan bir tanesi sistemdeki alternatifler için ağırlık, önem veya üstünlük belirlemektir. İşte AHY; bir hiyerarşideki bu tür tercihlerin belirlenmesini sağlayan bir yöntemdir (Erpolat, 2010).

AHY'nin, yalnızca alternatiflerin kendi aralarında iyi tanımlanmış matematiksel fonksiyonlarla (genellikle doğrusal) ilişkilendirildiği diğer karar destek araçlarından farkı; fikirlerin, duygu ve heyecanların, karar alternatiflerinin sayısal bir ölçekle sıralanmasını sağlayacak şekilde ölçüldüğü durumlara farklı bir yaklaşım getirmesidir. Bir başka değişle AHY, hem somut hem de soyut faktörlerle çalışılmasına imkan verir (Turban vd., 1994).

3.1. Analitik Hiyerarşi Yöntemi'nin Aşamaları

AHY modelini oluşturma sürecinin ilk adımı problemin hiyerarşisini; "amaç", "kriter", "olası alt kriter seviyeleri" ve "alternatifler" şeklinde belirlemektir. Daha sonra belirlenen yapıya göre sırasıyla hiyerarşilerin oluşturulması, önceliklerin belirlenmesi, mantıksal ve sayısal tutarlılığın incelenmesi aşamaları gerçekleştirilir. Söz konusu aşamaların kısa açıklmamaları aşağıdaki gibidir (Saaty, 1991).

Hiyerarşilerin Oluşturulması (Ayrıştırma) Aşaması: Bu aşama, problemin temel bileşenlerinin belirlenebilmesi için hiyerarşinin yapılandırılmasını içerir. Hiyerarşik yapı oluşturulurken öncelikle amaç, bunları takip eden kriterler, alt kriterler ve karar alternatifleri belirlenir. Yapıyı kurmanın en etkin yolu üst düzeydeki kriterden ona bağlı olan alt düzeydeki kriterlere doğru yol alınmasıdır. Bu aşama sonrasında varsa üçüncü düzeydeki alt kriterlere gidilir ve süreç böylece sürer. Hiyerarşinin kademe sayısı, problemin karmaşıklığına ve ayrıntı derecesine bağlıdır.

Önceliklerin Belirlenmesi (İkili Karşılaştırma) Aşaması: Sentezleştirme olarak da adlandırılan bu aşamada ikinci düzeydeki öğelerin, birinci düzeydeki amaç karşısındaki göreli önemlerinin ikili karşılaştırılması yapılır. Bu amaçla genel yapısı aşağıda verilen ve "ikili karşılaştırma matrisi" olarak adlandırılan bir matris oluşturulur.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ & \vdots & & \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ & \vdots & & \\ \frac{1}{a_{n1}} & \frac{1}{a_{n2}} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

İkili karşılaştırma matrisi, soruna ilişkin yargıların ikili karşılaştırılmalarını içeren bir kare matris olup gerçekleştirilecek amaca bağlı olarak kaç kriterden oluşuyorsa o kadar satır ve sütundan oluşur. Matristeki sayılar sütundaki kriterin satırdaki kriter üzerindeki üstünlük yoğunluğunu ifade etmektedir. Köşegenine göre bu matristeki elemanlar birbirlerinin tersidir ($a_{ij} = 1/a_{ji}$). A_{ij}, i özelliği ile j özelliğinin ikili karşılaştırma değerini göstermektedir (Erpolat, 2010). İkili karşılaştırma terimi iki kriterin birbiriyle göreceli olarak karşılaştırılması anlamına gelir ve karar vericinin yargısına dayanır. Hiyerarşideki elemanlar bir üst kademedeki elemana göre göreli önemlerin belirlenmesi için ikili olarak karşılaştırılır (Wind vd., 1980; Rangone, 1996). AHY'deki ikili karşılaştırmalarda bir çift oluşturan birimlerden birinin diğerinden ne kadar önemli olduğunu açıklamada Saaty tarafından önerilen ve ayrıntıları Tablo 1'de verilen "dokuz nokta ölçeği" kullanır (Saaty, 1980).

Tablo 1. Dokuz nokta ölçeği tablosu.

Sayısal Yargı (a_{ij})	Sözel Yargı	Açıklama
1	Eşit önem	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunur
3	Biri diğerine göre orta derecede daha önemli	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine çok az derecede tercih ettirir
5	Kuvvetli düzeyde önem	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine kuvvetli bir şekilde tercih ettirir
7	Çok kuvvetli düzeyde önem	Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih edilir ve baskınlığı uygulamada rahatlıkla görülür
9	Aşırı düzeyde önem	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar çok büyük bir güvenirliğe sahiptir
2, 4, 6, 8	Uzlaşma gerektiğinde kullanılan önem dereceleri	Uzlaşma gerektiğinde kullanmak üzere yukarıda listelenen yargılar arasına düşen değerler

A matrisinin tüm öğelerinin ilgili öğenin bulunduğu sütunların eleman toplamlarına bölünmesiyle oluşturulan N normalleştirilmiş matrisinin i-inci sütun elemanları w_i'ye bölünerek W^* matrisi elde edilir. N matrisinin satır elemanlarının ortalaması alınarak da göreceli ağırlıklar elde edilir. Söz konusu matris aşağıdaki gibidir.

$$N = \begin{bmatrix} w_1 & w_1 & \cdots & w_1 \\ w_2 & w_2 & \cdots & w_2 \\ & \vdots & & \\ w_n & w_n & \cdots & w_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

İkili karşılaştırma matrisinin çözümünden elde edilen göreli önem vektörü $W = (w_1, w_2, \cdots, w_n)$ şeklinde gösterilir. Buradaki w_j değerleri öncelik ya da özvektör olarak tanımlanır. Göreli önem vektörlerinden göreli önem matrisine ulaşılabilir. Göreli önem matrisi W^* ile gösterilip aşağıdaki gibidir.

$$W^* = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \cdots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \cdots & \frac{w_2}{w_n} \\ & \vdots & & \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \cdots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Mantıksal ve Sayısal Tutarlılık: Tutarsızlık, hiyerarşinin yanlış yapılandırılması, bilgi eksikliği ya da mantığa aykırı durumlarda ortaya çıkan bir durumdur. Genellikle çözümlerde beklenen mutlak tutarlılıktan ziyade kabul edilebilir sınırlar içerisinde olan bir tutarlılıktır. Bu amaçla Saaty tarafından önerilen ve hiyerarşide yer alan ikili karşılaştırmaların her biri için hesaplanan bir tutarlılık oranı kullanılmaktadır (Saaty, 1980,). Söz konusu oranda üst limit 0,1'dir ($CR < 0,1$). Buna göre tutarlılık oranın 0,1'in altında ise yargıların yeterli derecede tutarlı olduğu varsayılır ve değerlendirmeye devam edilir aksi durumda ise yargıların tutarsız olduğu anlaşılır. Bu durumda yargıların yeniden gözden geçirilip iyileştirilmesi yoluna gidilir. Aşağıda sırasıyla W^* matrisinin

tutarlılık indeksi (CI), W^* matrisinin rasgele tutarlılık indeksi (RI) ve tutarlılık oranı (CR) eşitlikleri yer almaktadır.

$$\mathrm{CI} = \frac{\mathrm{n}_{\mathrm{maks}} - \mathrm{n}}{\mathrm{n}-1},\ \mathrm{RI} = \frac{1.98(\mathrm{n}-2)}{\mathrm{n}},\ CR = \frac{CI}{RI} \qquad (5)$$

4. BİLGİ ÖNERİ SİSTEMİ

BÖS, grup halinde karar almaya yardımcı olmak üzere geliştirilmiş olasıksal bir sistem olup, sistemde gruba dahil olan her bir bireyin kişisel görüşleri belirlendikten sonra grubun ortak kararını yansıtan en uygun tercihin hangi bireyin tercihi olduğu belirlenir. Sistemde bireysel kararlar BA ile ortak grup kararı ise AHY ile belirlenmektedir. BA kısmının işletilmesi için Netica programından, AHY kısmının işletilmesi için ise Super Decisions programından yararlanılmıştır.

4.1. Veri Kümesinin Oluşturulması

Çalışmada ele alınan veri kümesi "yaş, iş durumu, eğitim düzeyi, kişilik, zaman, ruh hali, katılım, film türü" girdi niteliklerinden ve "tercih edilen film" çıktı ya da hedef niteliğinden oluşmaktadır. Söz konusu nitelikler ve düzeyleri Tablo 2'de verildiği gibidir.

Tablo 2. Nitelik ve düzeyleri.

Nitelik	Düzey ve Etiketleri	Türü	Nitelik	Düzey ve Etiketleri	Türü
Yaş (Y)	1: Çocuk (0-13 yaş) 2: Genç (13-35 yaş) 3: Orta (35-55 yaş) 4: Yaşlı (55 ve üzeri)	Girdi	Katılım (KA)	1: Eşi ile 2: Arkadaşı ile 3: Erkek/kız arkadaşı ile 4: Grup olarak 5: Ailesi ile	Girdi
İş Durumu (İD)	1: Çalışmıyor 2: Öğrenci 3: Çalışan 4: Emekli	Girdi	Ruh Hali (RH)	1: Romantik 2: Sinirli 3: Üzgün 4: Mutlu 5: Normal	Girdi
Eğitim Düzeyi (ED)	1: Yok 2: İlköğretim 3: Lise 4: Yüksek Okul 5: Üniversite 6: Lisans Üstü	Girdi	Tercih Edilen Film (TEF)	1: Aksiyon 2: Macera 3: Animasyon 4: Komedi 5: Belgesel 6: Dram 7: Tarihi 8: Müzikal 9: Romantik 10: Bilim Kurgu 11: Korku 12: Diğer	Çıktı
Kişilik (K)	1: Şakacı 2: Orta 3: Ciddi	Girdi			
Zaman (Z)	1: Birinci Seans (11:00-13:00) 2: İkinci Seans (14:00-17:00) 3: Üçüncü Seans (18:00-21:00) 4: Dördüncü Seans (22:00-24:00)	Girdi			
Film Türü (FT)	1: Yerli 2: Yabancı	Girdi			

Amacı grup halinde kara almaya yardımcı olmak olan BÖS'den yararlanmak üzere "katılım" niteliği göz önüne alınarak BÖS'yi eğitecek veri kümesi oluşturulmuştur. Bu amaçla öncelikle "katılım" niteliğine göre oluşturulabilecek grupların kaçar kişiden oluşacağı incelenmiştir. Tablo 3'de bu inceleme sonucunda elde edilen grupların özellikleri yer almaktadır.

Tablo 3. Katılım niteliğine göre eğitim veri kümesinde yer alabilecek grupların yapısı.

Grup	Katılım	Kişi sayısı
1. Grup	1: Eşi ile	2
2. Grup	2: Arkadaşı ile	2
3. Grup	3: Erkek/kız arkadaşı ile	2
4. Grup	4: Grup olarak	3, 4, 5, ...
5. Grup	5: Ailesi ile	3 (anne, baba, 1 çocuk), 4 (anne, baba, 2 çocuk), ... 2 (anne/baba,1 çocuk), 3 (anne/baba,2 çocuk), ...

Çalışmada Tablo 3'de verilen açıklamalar doğrultusunda "katılım" niteliği gözönüne alınmak süretiyle toplam 5 grup oluşturulmuştur. Söz konusu gruplardan "grup olarak" ve "ailesi ile" için kişi sayısı katılıma göre değişken yapıda olabilmektedir.

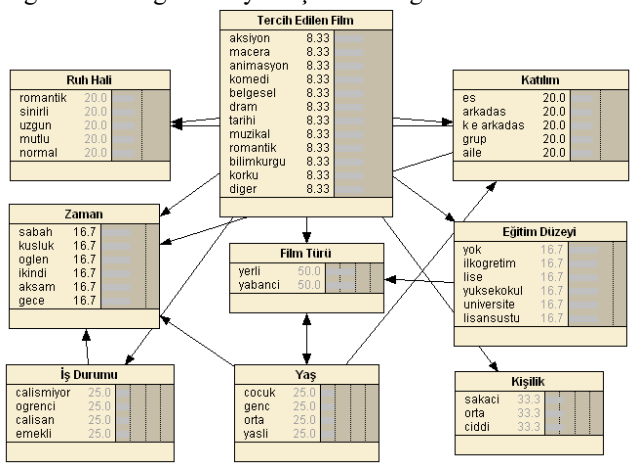
Grup yapıları belirlendikten sonra birinci gruptan 25 grup (50 kişi), ikinci gruptan 25 grup (50 kişi), üçüncü gruptan 25 grup (50 kişi), dördüncü gruptan 12 grup (50 kişi: 3 kişilik gruptan 3, 4 kişilik gruptan 4, 5 kişilik gruptan 5 grup) ve son olarak beşinci gruptan 17 grup (50 kişi: 2 kişilik grutan 5, 3 kişilik gruptan 8, 4 kişilik gruptan 4) olmak üzere toplam 104 grup ve 250 bireye ait veriler eğitim kümesi olarak, test kümesi için ise ayrıntıları Tablo 4'te verilen ("Tahmin" sütunu hariç) ve her bir gruptan birer tane olmak üzere toplam 5 grup ve 14 bireye ait veriler ele alınmıştır.
Tablodaki "Tahmin" sütunu BA kısmında elde edilen tahmin değerlerinden oluşturulmuştur.

Tablo 4. Test veri kümesinin yapısı.

Grup	Y	ID	ED	K	Z	RH	KA	FT	TEF	Tahmin
1	4	3	5	1	3	2	1	2	9	9
	3	2	5	2	3	4	1	2	5	5
2	4	4	3	2	3	5	2	1	5	5
	2	2	6	1	4	1	2	2	9	9
3	2	2	5	1	3	4	3	2	**6**	**10**
	2	2	5	2	2	5	3	1	4	4
4	1	2	2	1	3	4	4	2	3	3
	4	1	1	2	2	2	4	1	3	3
	1	2	2	2	2	1	4	1	3	3
	1	2	2	1	3	5	4	2	3	3
	1	2	2	1	2	5	4	2	3	3
5	4	4	3	2	1	1	5	1	6	6
	3	1	2	1	4	3	5	2	8	8
	2	3	2	2	3	3	5	1	5	5

4.2. BA Kısmının Oluşturulması

BÖS'de BA kısmı için ağın oluşturulmasında çıktı ya da hedef değişkeni olan "tercih edilen film" niteliğinin girdi niteliklerinin tümü ile bağlantılı olduğu, diğer taraftan "yaş" girdi niteliğinin "zaman", "film türü", "katılım" girdi nitelikleri ile; "katılım" girdi niteliğinin "ruh hali", "zaman" girdi nitelikleri ile; "eğitim düzeyi" girdi niteliğinin "film türü" girdi niteliği ile ve son olarak "iş durumu" girdi niteliğinin "zaman" girdi niteliği ile bağlantılı olduğu varsayılmıştır. Buna göre elde edilen BA'nın yapısı Şekil 1'de verildiği gibidir.



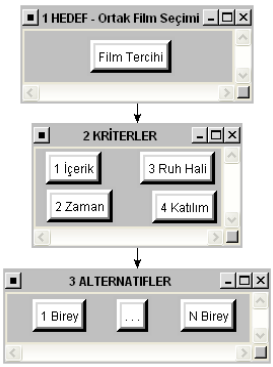
Şekil 1. BA yapısı.

BA, belirlenen eğitim veri kümesi ile eğitildikten sonra Tablo 4'te verilen test gruplarından hangisi ele alınmışsa o gruptaki kişilerin her birine ayrı ayrı uygulanmıştır. Böylelikle gruplardaki bireylerin kişisel film tercihleri tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan sadece üçüncü grupta yer alan birinci bireyin gerçekte tercih ettiği film türü "dram" iken BA ile tahmin edilen film türü "bilim kurgu" olarak belirlenmiştir. Bu durum, bireylerin film tercihlerini belirlemek amacıyla oluşturulan BA yapısının başka bir ifade ile nitelikler arasında kurulan bağların oldukça başarılı olduğunu göstermiştir.

Gruplarda yer alan her bir bireye ilişkin film tercihinin BA ile tahmin edilmesinin ardından, her bir grup için grupta yer alan bireylerden hangisinin tercihinin uygulanması halinde en uygun kararın alınmış olacağı sorusuna cevap aranır. Bunun için de BÖS'nin AHY kısmından yararlanılır.

4.3. AHY Kısmının Oluşturulması

BÖS'de AHY kısmı için hiyerarşinin oluşturulmasında hedef ya da çıktı nitelik olarak "tercih edilen film"; alternatifler ise hangi grup ele alınmışsa o grupta yer alan bireyler başka bir ifade ile grupta yer alan bireylerin film tercihleri oluşturmuştur. Kriter olarak ise "içerik", "zaman", "ruh hali" ve "katılım"ın olduğu varsayılmıştır. Hiyerarşinin genel yapısı Şekil 2'de verildiği gibidir.



Şekil 2. AHY'nin yapısı.

Oluşturulan hiyerarşiye göre ikili karşılaştırmalar; kriterler arasında ve her bir kriter için alternatifler arasında olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırmalar ele alınan gruptaki bireylerin her birinin kriterlere verdikleri 1'den 9'a kadar önem değeri üzerinden gerçekleştirilmektedir. Kriterler için puanlamanın gerçekleştirileceği Super Decisions programındaki görüntü Şekil 3'de verildiği gibidir.



Şekil 3. Kriterlerin ikili karşılaştırma görüntüsü.

Karşılaştırmalarda öncelikle grubu oluşturan her bireyden Şekil 3'de verilen düzende kriterleri değerlendirmeleri istenir. Daha sonra her bir bireyden elde edilen değerlerden aynı yönde olanlar toplanıp farklı yönde olanlar çıkartılarak ortalama alınır. Ortalama sonucu elde edilen değer gruptaki bireylerin ortak beğeni durumunu gösteren yeni değer olup bireylerin hangi kriter için verdikleri puanlama toplamı daha büyük ise o kriter için puanlandırılır.

Her bir kriter için alternatiflerin yani bireylerin karşılaştırılmasında ise ilk önce bireylerden kriterlere 1'den 9'a kadar puan vermeleri istenmiştir. Daha sonra bireylerin verdikleri puanların farkı alınarak hangi bireyin verdiği önem değeri diğerinkinden büyük ise o bireyin söz konusu kriteri diğer bireye göre alınan fark sonucu elde edilen değer büyüklüğünce daha fazla önemsediği varsayılmıştır. Şekil 4'te her bir kriter için benzer yapıda olmak üzere bireylerin karşılaştırma görüntüsü yer almaktadır.

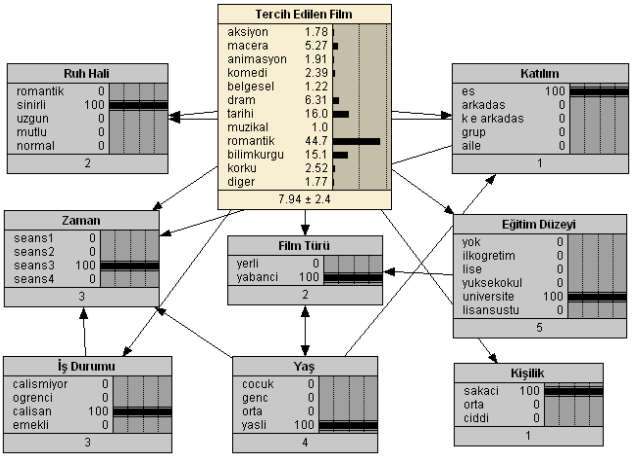


Şekil 4. Kriterler için bireylerin ikili karşılaştırma görüntüsü.

4.4. BÖS'nin Sınanması

BÖS'yi sınamak amacıyla test kümesi olarak belirlenen ve ayrıntıları Tablo 4'te verilen gruplar ele alınmıştır. BÖS'nin işleyişinin nasıl olduğunu göstermek amacıyla Tablo 4'te birinci grup olarak ele alınan veriler kullanırak elde edilen sonuçlar ve yorumları aşağıda ayrıntılı biçimde verilmiştir.

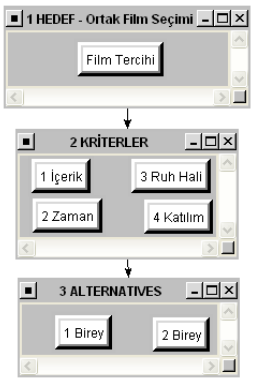
Tablo 4'te yer alan birinci grubun birinci bireyine ait verilerin eğitilmiş BA'ya uygulanması sonucunda söz konusu bireyin tercih ettiği film tercihinin Şekil 5'te elde edilen sonuca göre %44,7 oranıyla "romantik" olduğu görülmektedir.



Şekil 5. Test kümesinin birinci grubunda yer alan birinci birey için film tercihi tahmini.

Benzer işlemin birinci grupta yer alan ikinci bireye göre gerçekleştirilmesi sonucunda ikinci bireyin tercih ettiği film tercihinin ise %42,3 oranıyla "belgesel" olduğu belirlenmiştir.

Bireysel olarak tercih edilecek filmin tahmin edilmesinin ardından grupta yer alan iki bireyden hangisinin film tercihinin seçilmesi durumunda en iyi kararın alınmış olacağının cevabı ise uygulanan AHY ile belirlenecektir. Bu amaçla gerçekleştirilen AHY'nin hiyerarşisi Şekil 6'da, kesim 4.3'te açıklandığı şekildeki oluşturulan ikili karşılaşmalar ise sırasıyla Şekil 7, 8, 9, 10 ve 11'de verildiği gibidir.



Şekil 6. Test kümesinin birinci grubu için AHY'nin yapısı.



Şekil 7. "Kriterler" kümesinin ikili karşılaştırmaları.



Şekil 8. "İçerik" kriteri için alternatiflerin ikili karşılaştırmaları.



Şekil 9. "Zaman" kriteri için alternatiflerin ikili karşılaştırmaları.



Şekil 10. "Ruh hali" kriteri için alternatiflerin ikili karşılaştırmaları.



Şekil 11. "Katılım" kriteri için alternatiflerin ikili karşılaştırmaları.

Yukarıda verilen ikili karşılaştırmalara göre hiyerarşinin analiz edilmesinin ardından elde edilen sonuçlar Tablo 5'te verldiği gibidir.

Tablo 5. Test kümesinin birinci grubu için AHY sonuçları.

Alternatifler	İdeal	Normal	Ham

	Değerler	Değerler	Değerler
Birey 1	1,00000	0,7352337	0,36761
Birey 2	0,360113	0,264767	0,132383

Daha önce BA'nın uygulanması sonucunda birinci grupta yer alan iki bireyin film tercihlerinin sırasıyla "romantik" ve "belgesel" olduğu belirlenmişti. Şimdi ise Tablo 5'te verilen AHY sonuçlarına göre her iki birey için alınacak en iyi ortak kararın normal değerlere göre %73,52 oranıyla birinci bireyin film tercihi olan "romantik" filmin olduğu belirlenmiştir. Test kümesinde yer alan her bir grup için benzer işlemlerin gerçekleştirilmesinin ardından elde edilen sonuçlar Tablo 6'da özetlenmiştir.

Tablo 6. Test verisi için elde edilen sonuçlar.

Grup	Gerçek (TEF)	Tahmin (BA)	Ortak Karar (AHY)
1	Romantik	Romantik	Romantik
	Belgesel	Belgesel	
2	Belgesel	Belgesel	Belgesel
	Romantik	Romantik	
3	Dram	Bilim Kurgu	Komedi
	Komedi	Komedi	
4	Animasyon	Animasyon	Animasyon
	Animasyon	Animasyon	
	Animasyon	Animasyon	
	Animasyon	Animasyon	
	Animasyon	Animasyon	
5	Dram	Dram	Belgesel
	Müzikal	Müzikal	
	Belgesel	Belgesel	

Tablo 6'ya göre, test kümesinde yer alan birinci grup dışında kalan diğer gruplar için alınması gereken ortak film tercihlerinin grup iki için "belgesel", grup üç için "komedi", grup dört için "animasyon" ve grup beş için ise "belgesel" olması gerektiği yönündedir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada grup halinde karar almayı gerektiren durumlar için grubu oluşturan bireylere kolaylık sağlamak amacıyla karar almada kullanılan iki farklı yöntem olan BA ve AHY'nin birlikte kullanımı üzerinde durulmuştur. Bu amaçla birlikte sinemaya gitmek isteyen gruplar ele alınarak gidecekleri film için öneride bulunan ve BÖS olarak adlandırılan bir sistem önerilmiştir. Sistem, BA ve AHY olmak üzere iki temel yönteme göre işlemektedir. Sistemde BA yöntemi grupta yer alan bireylerin tercih edebilecekleri film türünü tahmin etmek amacıyla kullanılmıştır. AHY ise her bir bireyin izlemek isteyeceği film tercihleri tahmin edildikten sonra ele alınan kriterler doğrultusunda bu film tercihlerinden hangisinin izlenmesinin grubu oluşturan bütün bireyleri en fazla memnun edeceğini belirlemede kullanılmıştır. Oluşturulan sistemin sınanması için ele alınan test kümesi için ilk önce BA kısmı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlarda BA ile yapılan film tercihi tahminlerinin gerçek tercihlere oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu durum BA için oluşturulan ağ yapısının başka bir ifade ile nitelikler arasında kurulan bağlantıların geçerli olduğunu göstermiştir. Sınama amacıyla test verileri üzerinden AHY'nin işletilmesi sonucunda ise gruplar için alınması gereken ortak kararlar belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

Berger J.O., Statistical Decision Theory and Bayesian Analysis, Springer-Verlag, Berlin, 1985.

Erpolat S., Analitik Hiyerarşi Yöntemi İle Notebook Bilgisayar Seçimi, MSGSÜ, Sosyal Bilimler Dergisi, Sayı:2, ss.50-65, 2010.

Friedman N., Geiger D., and Goldszmidt M., Bayesian Network Classifiers, Machine Learning, 29:131–163, 1997.

Heckerman D., A Tutorial On Learning With Bayesian Networks, Technical report, Microsoft Research Advanced Technology Division Microsoft Corporation, 1996.

Rangone, A., An Analytic Hierarchy Process Framework For Comparing The Overall Performance of Manufacturing Departments, International Journal of Operation and Production Management, 16(8), 104-119, 1996.

Saaty T.L., The Analytic Hierarchy Process, New York: Mc Graw-Hill International Book Company, 1980.

Saaty T.L., Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process, RWS Publications, Pittsburgh, PA, 1991.

Turban E., Meredith J.R., Fudamentals of Management Science, 6th Ed. New York: The McGraw-Hill Companies, 1994.
Wind, Y. And Saaty T., Marketing Applications of The Analytic Hierarchy Process, Management Science, 26(7), 641-658, 1980.

Parallel Machine Scheduling with Sequence-Dependent Setups Times and Start-to-Start Dependency using GA

[1]Serol Bulkan [2]Başar Güçlü [3]Semih Özel
[1]Dept. Of Industrial Engineering, Engineering Faculty
Marmara University, Istanbul, Turkey (sbulkan@marmara.edu.tr)
[2] Dept. Of Industrial Engineering, Engineering Faculty
Marmara University, Istanbul, Turkey (basar.guclu@gmail.com)
[3]Dept. Of Industrial Engineering, Engineering Faculty
Marmara University, Istanbul, Turkey (semih.ozel@marmara.edu.tr)

Abstract
This paper presents a Genetic Algorithm (GA) solution for a real-world scheduling problem namely "Make & Pack" optimization which is an important scheduling issue in FMCG industry (Fast Moving Consumer Goods). Make & Pack process involves a mixer and connected packing lines. When there is only one mixer continuously connected to packing lines only one semi-finished good (mixer output) can be processed in the packing lines meaning that only different pack sizes/types of the same semi-finished good (SFG) can be processed in parallel. To start with a different SFG type on the packing lines the longest packing order of the previous SFG should be finished. Therefore, there is a hard start-to-start dependency between different packing lines. In between each packing order there are sequence-dependent setup times.
In this paper, a genetic algorithm (GA) approach is developed to minimize the "makespan" considering start-to-start dependency and sequence dependent setup times. The solution is tested with increasing number of orders, increasing number of iterations and changing the parameters given to the GA and the results are compared to a simple Heuristic that were developed for the same problem and a standard packing line based GA solution of SAP APO PP/DS optimizer which does not consider dependency constraints. Results show that GA algorithm outperforms earlier solutions with a promising performance.

Keywords: Genetic Algorithm, Scheduling, Setup Time, Start to Start Dependency

1. Introduction:

Production scheduling is an important aspect of process operations in FMCG (Fast-Moving Consumer Goods) industry. FMCG industries manufacture products for direct consumer end-use, for example household cleaning products, personal care products, toiletries etc. It is usually economical to manufacture several products in the same plant. The multiproduct nature and frequent portfolio changes with seasons or consumer preferences give rise to the need for high flexibility in these plants. There are many interrelated activities in the plant, each of which places demands on the available time and resources. In FMCG plants, most products have to be packaged and labeled prior to leaving the plant. A packaging line that packages several end products is a common example of a unit which has many changeover activities associated with it (K. L. Yee and N. Shah, 1997).
Specifically, in the FMCG industry, e.g. in the food and beverage industry, the number of packaging sizes, customized package prints and labels, composition of ingredients and flavors, as well as the number of new products has considerably increased. As a result, manufacturers changed their policy from producing large batches with only a small number of setups to a policy with short production cycles for product types (product families) and frequent changeovers between product variants within the same product family. Typically, production lines are set up for a specific family requiring a major setup or cleaning operation such that the changeover between the individual product variants can be accomplished with only a minor setup operation. (B. Bilgen and H.O. Günther, 2010)
There are many papers in the academic literature which address production scheduling problems arising in the fast moving consumer goods industry. For instance, Christou et al. (2007) and Ferreira et al. (2009) develop a practical production planning approach for a real application in the beverage industry. A similar application environment is considered by Clark (2005) who develops a rolling horizon based planning and setup scheduling scheme. For the case of a candy production plant, Mendéz and Cerdá (2002) present an operative planning model which co-ordinates the production of a large number of end product variants from a limited number of intermediates in a two-stage continuous manufacturing system. All the aforementioned planning approaches are based on mixed-integer linear optimization models.
Also, several comprehensive literature reviews have been published which focus on specific aspects of setup times and scheduling. For instance, Allahverdi et al. (2008) provide a comprehensive review of scheduling problems with sequence dependent setup times and costs. According to Zhu and Wilhelm (2006), models and

solution approaches are addressed for lot sizing with sequence-dependent setups. Another paper by Robinson et al. (2009) provides a state-of-the-art review of research on coordinated lot sizing.

Make and Pack Process

Scheduling in FMCG industry, regarding the setup times in both "make & pack" phases and the interdependency of "make & pack" processes. In this study, the process consist of mixing / blending and packing / filling phases is named shortly as "make & pack" as a two phase of manufacturing process. In the literature, make and pack process is proposed by the many researchers. One of them is Honkomp et al. (2000). They have considered a case study in their paper and examined the make and pack plant in different way. According to their paper, make and pack plant is a two-stage production plant where the two stages are linked by intermediate storage tanks with limited capacities. On the first stage (make stage), the production process takes place where as on the second stage (pack stage), the products are packed into consumer packages for shipping. To produce and to package products, different operations have to be performed for which a set of parallel processing units (mixing tanks and packing lines) is available on each stage. Several technological constraints have to be respected: After the production process products have to be stored at least for a given quality release time. Processing units as well as the intermediate storage tanks have to be cleaned between the processing of different operations where the cleaning time depends on the products involved.

In this study, manufacturing process does not use any storage tank due to product type and process. After the production process, semi-finished products must shift to packing / filling line on time.

In literature, several model and solutions have been presented for a large variety of scheduling problems (Brucker, 2004). There are numerous publications dealing explicitly with the scheduling of make and pack plants. Belarbi and Hindi (1992) develop a heuristic procedure for scheduling make and pack plants where intermediate storage capacity is limited. They illustrate their approach by solving two instances containing about 30 operations to be scheduled each. Ramudhin and Ratliff (1995) present a priority rule as well as a langrangian relaxation-based heuristic in order to solve a case study from food industries. Due to hygienic reasons no intermediate storage tanks have to be taken into account. Instances with up to 300 operations to be scheduled are solved to feasibility within at most 140 seconds. Mendez and Cerda (2002) has developed a mixed-integer linear optimization model for the scheduling of make and pack plants. In the model, storage tanks are assumed to have unlimited capacity. The largest instance that can be solved to feasibility within a few seconds of computing time contains 53 operations to be scheduled. Eventually, Gupta and Karimi (2003) have stated an alternative mixed-integer linear program. Due to the large number of binary variables 40 minutes of computing time are needed in order to solve an instance containing 90 operations to be scheduled.

In our study, storage tank is not considered as a part of production process. Process performs in two stages. These are basically mixing (make) and packing processes as it is mentioned above as well. In the mixing phase, semi product is produced according to a receipt and get ready to pack on lines. Since there are many different pack sizes/types for the same semi-finished product, some of the finished products are dedicated to specific packing lines in order to minimize the setup times. As a first step of the study, problem definition is provided. Then, a brief description is introduced on Genetic Algorithm method with the samples continued with our methodology to solve the problem. Afterwards, results have been presented with tables and some screen shots which is taken during work on program.

2. Problem Definition:

Make and Pack optimization is a real world problem in FMCG industry. When there is a common mixer connected to several Packing Lines, only one semi-finished product (mixer output) can be processed in the packing lines, meaning that only different pack sizes/types of the same semi-finished product can be processed in parallel on the packing lines. To start processing a different semi-finished product on the packing lines, the longest packing activity of the previous semi-finished product should be finished. Therefore, there is a hard start-to-start dependency between the activities on different packing lines. Additionally, in between each packing activity on a specific packing line, there are sequence-dependent setup times.

In "make" process, generally there are 3 mixing tanks. During the usage of one, the other can be cleaned and the other can be serving the packing line. Therefore, the setup times due to cleaning process in "make" process is minimized and can be ignored.

The duration of each packing activity and setup times between different packing activities for the finished products are the most important parameters to find the best semi-finished good sequencing in order to get the minimum makespan. The problem is represented as in Figure 1.

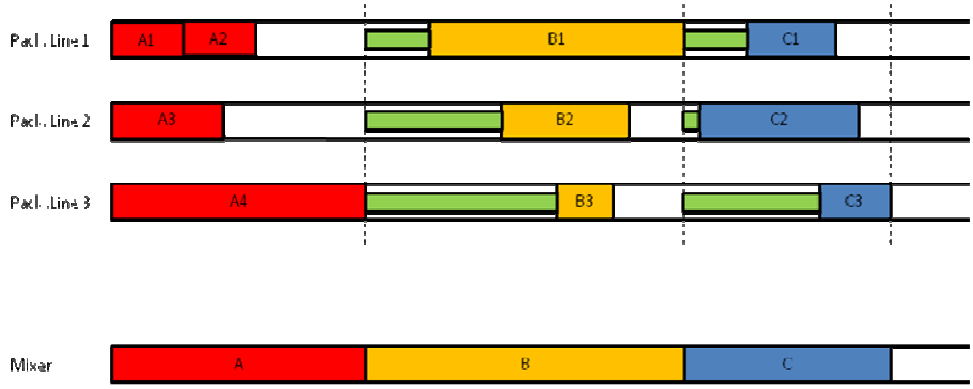


Figure 1. Representation of problem

As it is seen in Figure 1, the total capacity loss on packing lines between different semi-finished product transitions can only be minimized by finding the right sequence of the semi-finished products. Green boxes in previous figure represent the setup times.

3. Using the Genetic Algorithm Method to Solve the Problem

The theory of natural selection proposes that the plants and animals that exist today are the result of millions of years of adaptation to the demands of the environment. At any given time, a number of different organisms may co-exist and compete for the same resources in an ecosystem. The organisms that are most capable of acquiring resources and successfully procreating are the ones whose descendants will tend to be numerous in the future. Organisms that are less capable, for whatever reason, will tend to have few or no descendants in the future. The former are said to be more fit than the latter, and the distinguishing characteristics that caused the former to be fit are said to be selected for over the characteristics of the latter. Over time, the entire population of the ecosystem is said to evolve to contain organisms that, on average, are more fit than those of previous generations of the population because they exhibit more of those characteristics that tend to promote survival (Sivanandam and Deepa, 2008).

Genetic Algorithm (GA) is a search heuristic that mimics the process of natural selection and is routinely used to generate useful solutions to optimization and search problems.

In this study, in order to simplify the two-level scheduling issue in the problem, the semi-finished product information is attached to each packing activity on the packing line. Considering this information, different activities with the same semi-finished product information on different packing lines can be differentiated to be processed in parallel. Genetic Algorithm (GA) is used to generate different sequences of semi-finished products and each generation is used to create a feasible schedule on packing lines considering the sequence dependent setup times and start-to-start dependency of the activities with the same semi-finished product information. At the end of each generation and packing line scheduling the makespan is calculated as the objective of the GA.

i. Fitness

The fitness function refers to the optimality of the objective function. In this work, the objective is minimizing the makespan of the packing lines. The fitness value is calculated based on makespan. A sample calculation of the fitness value is shown in Table 1.

Table 1. Sample Fitness Calculation

C : Makespan FR : Fitness Ratio
FP : Fitness Percentage FV : Fitness Value

Formula		$\Sigma C / C_i$	$(FR_i / \Sigma FR) * 100$	Cumulative FP
	C	FR	FP	FV
Individual 1	10	44,50	26,85	26,85
Individual 2	15	29,67	17,90	44,75
Individual 3	20	22,25	13,43	58,18
Individual 4	25	17,80	10,74	68,92
Individual 5	30	14,83	8,95	77,87
Individual 6	40	11,13	6,71	84,58
Individual 7	50	8,90	5,37	89,95

Individual 8	65	6,85	4,13	94,08
Individual 9	75	5,93	3,58	97,67
Individual 10	115	3,87	2,33	100,00
Σ	445	165,72		

ii. Individuals

An individual is a single solution and a group of the individuals forms the population. The structure of the individual is composed of various formatted data elements and it is called as chromosome. In this work, each individual is giving a sequence of semi-finished products.

iii. Selection

After creation of the initial population, first step is selecting the individuals for reproduction. This selection is done randomly with a probability depending on the relative fitness of the individuals so that best ones are often chosen for reproduction than poor ones (Sivanandam and Deepa, 2008). In this work, Roulette Wheel approach is used with the help of random number generator of SAP ABAP programming language to generate random numbers between 0-100 in order to select the relevant individual.

iv. Reproduction

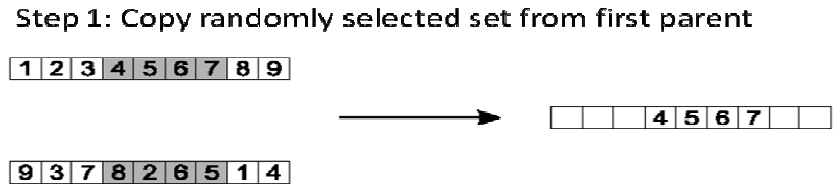
In this stage, offspring are bred by the selected individuals. For generating new chromosomes, the algorithm can use recombination (cross-over), mutation and disaster. Crossover (Recombination) is the process of taking two parent solutions and producing from them two children. After the selection (reproduction) process, the population is enriched with better individuals. Crossover operator is applied to the mating pool with the hope that it creates a better offspring (Sivanandam and Deepa, 2008).

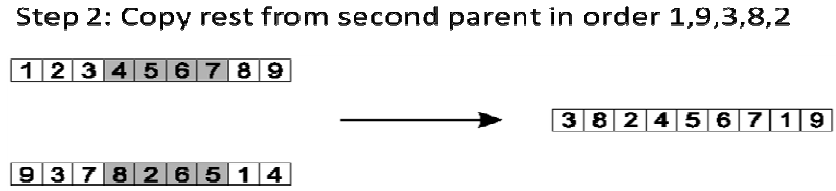
In this study, Order 1 crossover method which was mentioned in the study of Eiben and Smith (2003) is used.

Order 1 Crossover procedure:

1. Choose an arbitrary part from the first parent.
2. Copy this part to the first child.
3. Copy the numbers that are not in the first part, to the first child:
   - starting right from cut point of the copied part,
   - using the order of the second parent
   - and wrapping around at the end
4. Analogous for the second child, with parent roles reversed.

Order 1 Crosover;





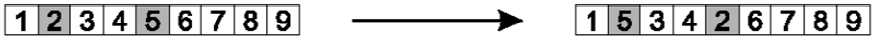
Mutation prevents the algorithm to be trapped in a local minimum. Mutation plays the role of recovering the lost genetic materials as well as for randomly disturbing genetic information. It is an insurance policy against the irreversible loss of genetic material. Mutation has traditionally considered as a simple search operator. If crossover is supposed to exploit the current solution to find better ones, mutation is supposed to help for the exploration of the whole search space. Mutation is viewed as a background operator to maintain genetic diversity in the population. It introduces new genetic structures in the population by randomly modifying some of its building blocks. Mutation helps escape from local minima's trap and maintains diversity in the population (Sivanandam and Deepa, 2008).

In this work, swap mutation which was also mentioned in the study of Eiben and Smith (2003) is used.

Swap Mutation procedure:

- Pick two alleles at random and swap their positions

Swap Mutation:



The values in the method selection probability section define selection probability of two methods. The method to be used is selected according to the Roulette Wheel approach before reproduction stage in each iteration.

i. Evaluation

After the reproduction, the objective of the new chromosomes is evaluated. All of the individuals including the new ones are sorted ascending by makespan value.

ii. Replacement

During the last step, the worst fitted individual/s is/are killed from the population. When cross-over is used 2 individuals are generated therefore two individuals are killed. When mutation is used 1 individual is generated therefore one individual is killed. The best fitted 10 individuals are kept in population.

iii. Stopping Criteria

Maximum number of iteration given in the selection screen of the optimization algorithm is determining the stopping criteria.

4. Results:

The solution is tested with increasing number of semi-finished products, increasing number of iterations and changing GA parameters and the results are compared to a simple Heuristic that were developed for the same problem and the standard - packing line based - GA solution of SAP APO PP/DS optimizer which does not consider dependency constraints. The results of the GA runs with different set of data and parameters are given in the Table 2 and Table 3. The results in Table 2 the results are obtained with Mutation percentage 10% and X-over percentage 90%. The results in Table 3 are obtained with Mutation percentage 20% and X-over percentage 80%.

In Table 4, the numerical comparison is only done between the new GA (Table 3) and the previous heuristic solution. The new GA solutions obtained with 20% Mutation and 80% X-over are the best results, therefore Table 3 is used for the comparison. Numerical comparison do not contain the standard GA of SAP APO PP/DS due to the fact that considering the dependency constraint, the result of this method does not give feasible results. Therefore, by default, the new GA which is considering the dependency constraint is performing better.

Max. Iteration:	Stopping criteria input to GA
Mutation % :	Mutation percentage input to GA
X-over % :	Cross-over percentage input to GA
# Pack. Lines:	No. of Packing Lines used in the problem
# SFP:	No. of semi-finished products in the problem that is defining the number of genes.
# FP:	No. of finished product activities on the Packing Lines in the problem.
Iteration ID:	The no. of iteration that the final objective is reached by GA
Initial Obj (sec):	Starting objective value of the problem in secs
Final Obj (sec):	Best objective value found by GA

Table 2. X-over 90% - Mutation 10%

Max Iteration	Mutation %	X-over %	# Pack. Lines	# SFP	# FP	Iteration ID	Initial Obj (sec)	Final Obj (sec)
100	10	90	6	**10**	28	99	1,294,800	1,165,200
500	10	90	6	**10**	28	263	1,294,800	1,163,400
1000	10	90	6	**10**	28	955	1,294,800	1,163,400
5000	10	90	6	**10**	28	4,973	1,294,800	1,163,400
10000	10	90	6	**10**	28	8,754	1,294,800	1,163,400

50000	10	90	6	**10**	28	49,813	1,294,800	1,163,400
100	10	90	6	**13**	28	51	1,392,600	1,266,600
500	10	90	6	**13**	28	424	1,392,600	1,260,600
1000	10	90	6	**13**	28	355	1,392,600	1,261,200
5000	10	90	6	**13**	28	3,851	1,392,600	1,261,200
10000	10	90	6	**13**	28	4,658	1,392,600	1,261,200
50000	10	90	6	**13**	28	49,687	1,392,600	1,259,400
100	10	90	6	**17**	28	51	1,584,600	1,438,200
500	10	90	6	**17**	28	171	1,584,600	1,438,800
1000	10	90	6	**17**	28	955	1,584,600	1,436,400
5000	10	90	6	**17**	28	968	1,584,600	1,438,200
10000	10	90	6	**17**	28	9,958	1,584,600	1,436,400
50000	10	90	6	**17**	28	49,884	1,584,600	1,433,400

Table 3. X-over 80% - Mutation 20%

Max Iteration	Mutation %	X-over %	# Pack. Lines	# SFP	# FP	Ireration ID	Initial Obj (sec)	Final Obj (sec)
100	20	80	6	**10**	28	58	1,294,800	1,170,000
500	20	80	6	**10**	28	461	1,294,800	1,162,800
1000	20	80	6	**10**	28	872	1,294,800	1,164,000
5000	20	80	6	**10**	28	4,88	1,294,800	1,163,400
10000	20	80	6	**10**	28	7,377	1,294,800	1,163,400
50000	20	80	6	**10**	28	49,948	1,294,800	1,162,800
100	20	80	6	**13**	28	83	1,392,600	1,261,200
500	20	80	6	**13**	28	388	1,392,600	1,260,000
1000	20	80	6	**13**	28	993	1,392,600	1,261,200
5000	20	80	6	**13**	28	4,971	1,392,600	1,260,600
10000	20	80	6	**13**	28	9,868	1,392,600	1,260,000
50000	20	80	6	**13**	28	48,329	1,392,600	1,258,800
100	20	80	6	**17**	28	85	1,584,600	1,449,000
500	20	80	6	**17**	28	498	1,584,600	1,437,000
1000	20	80	6	**17**	28	951	1,584,600	1,438,200
5000	20	80	6	**17**	28	2,99	1,584,600	1,436,400
10000	20	80	6	**17**	28	9,389	1,584,600	1,433,400
50000	20	80	6	**17**	28	49,551	1,584,600	1,434,000

Table 4. Comparison of GA and Heuristic

# Pack. Lines	# SFP	# FP	Initial Obj (sec)	GA Final Obj (sec)	Heuristic Result (Sec)
6	**10**	28	1,294,800	1,162,800	1,165,200
6	**13**	28	1,392,600	1,258,800	1,266,000
6	**17**	28	1,584,600	1,433,400	1,445,400

Sample Screen-Shots:

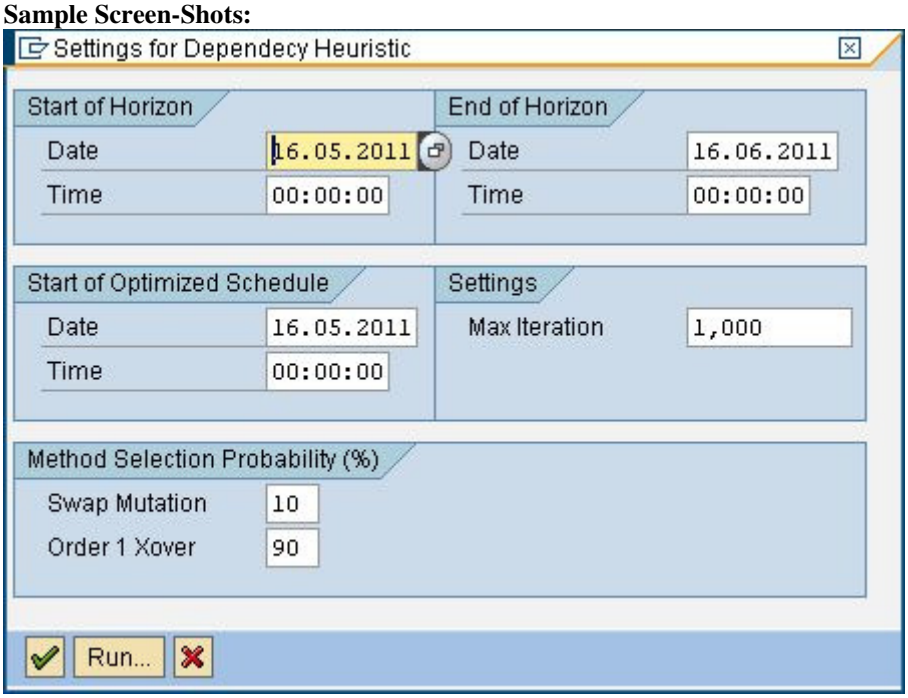


Figure 2. Screen-shot of selection screen of GA

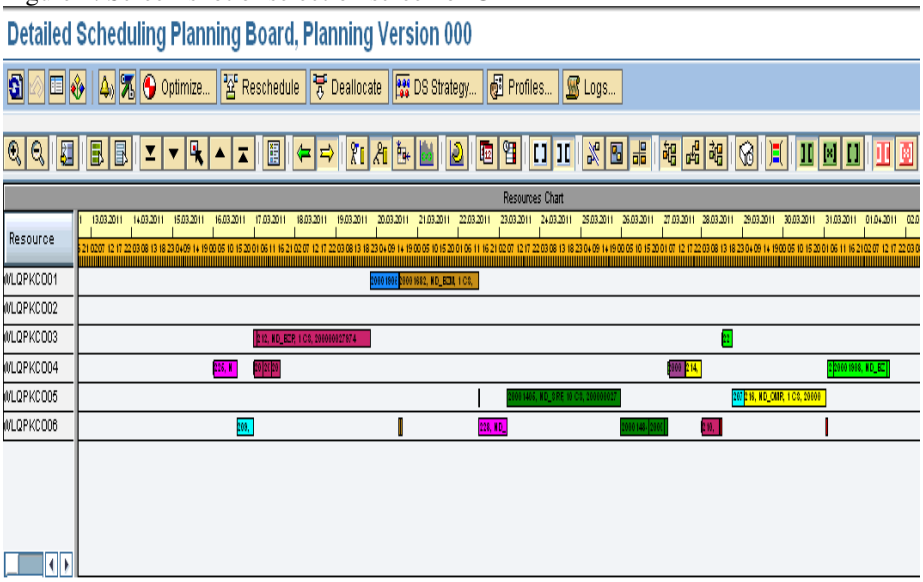


Figure 3. Screen-shot of best result reached by GA

5. Conclusion:

Results show that the new GA algorithm outperforms earlier solutions with a promising performance**.** The methodology that is used in this study for solving a real world make & pack scheduling problem can be applied to similar two-level scheduling problems easily. The main advantage of this methodology is to solve a two-level scheduling problem as it is one-level scheduling problem. Different meta-heuristics methods can be used within the same methodology, in order to solve similar problems with different size and complexity.

As conclusion, we believe that this study brings a new perspective to the researchers working on two level scheduling problems like make & pack in FMCG industry.

References:

Allahverdi A, Ng CT, Cheng TCE and Kovalyov MY., "A Survey of Scheduling Problems with Setup Times and Costs", Eur J Oper Res, 187:985–1032, 2008

Belarbi K. and Hindi K.S., “Detailed Scheduling for a Class of Two-Stage Intermittent Manufacturing Systems”, Production Planning & Control, 3, 36^7, 1992
Bilgen B. and Günther H.O., “Integrated Production and Distribution Planning in the Fast Moving Consumer Goods Industry: A Block Planning Application”, OR Spectrum, Volume 32, Number 4, Pages 927-955, 2010
Brucker P., “Scheduling Algorithms”, Journel of Springer, edition 4, Berlin, 2004
Christou I.T., Lagodimos A.G. and Lycopulou D., “Hierarchical Production Planning For Multi-Product Lines in the Beverage Industry”. Prod Plan Control 18:367–376, 2007
Clark A.R., “Rolling Horizon Heuristics for Production Planning and Setup Scheduling with Backlogs and Error-Prone Demand Forecasts”, Prod Plan Control 16:81–97, 2005
Eiben A.E. and Smith J.E., “Introduction to Evolutionary Computing”, Springer, Natural Computing Series, 1st edition, ISBN: 3-540-40184-9, 2003
Ferreira D., Morabito R. and Rangel S., “Solution Approaches for the Soft Drink Iintegrated Production Lot Sizing and Scheduling Problem”, Eur J Oper Res, 196:697–706, 2009
Gupta S. and Karimi LA., “Scheduling a Two-Stage Multiproduct Process With Limited Product Shelf Life in Intermediate Storage”, Industrial Engineering & Chemistry Research, 42, 490-508, 2003
Honkomp S.J., Lombardo S., Rosen O. and Pekny J.F., “The Curse of Reality -Why process scheduling optimization problems are difficult in practice. Computers and Chemical Engineering, 24, 323-328, 2000
Mendez C.A. and Cerda J., “An MILP-Based Approach to the Short-Term Scheduling of Make and-Pack Continuous Production Plants, OR Spectrum, 24, 403-29, 2002
Ramudhin A. and Ratliff H.D., “Generating Daily Production Schedules in Process Industries”, HE Transactions, 27, 646-656, 1995
Robinson P., Narayanan A. and Sahin F., “Coordinated Deterministic Dynamic Demand Lot-Sizing Problem: A Review of Models and Algorithms”, Omega 37:3–15, 2009
Sivanandam S.N., Deepa S.N., “Introduction to Genetic Algorithms”, Springer, 2008.
Van der Vorst J.G.A.J., Beulens A.D.M. and Van Beek P., “Modelling and Simulating Multi-Echelon Food Systems”, Eur J Oper Res, 122:354–366, 2000
Yee K. L. and Shah N., “Scheduling of Multistage Fast-Moving Consumer Goods Plant”, The Journal of the Operational Research Society, Vol. 48, No. 12, pp. 1201-1214, 1997
Zhu X., Wilhelm W.E., “Scheduling and Lot Sizing with Sequence-Dependent Setup: A Lliterature Review”, IIE Trans 38:987–1007, 2006

COMPARISON OF LEARNING STRATEGIES FOR MATHEMATICS ACHIEVEMENT BETWEEN TURKEY AND ITS NEIGHBOURS

Serpil KILIÇ[*], Erhan ÇENE[**], İbrahim DEMİR[***]

Abstract
The purpose of this study was to examine learning strategies accounted for mathematics achievement across Turkey and three neighboring countries of Turkey. Turkey, Bulgaria, Greece and Azerbaijan were involved in Programme for International Student Assessment (PISA 2009) study. Because other neighbours of Turkey were not participated in PISA study, they were not evaluated. In this study, PISA mathematics test score and questionnaire responses of 17224 15 year-old students were analyzed via multilevel models. Three-level model was used to estimate coefficients and to model differences across countries and across schools. At the first level, gender, socio–economic status (SES), elaboration, memorization, control strategy, home educational resources and cultural possession were considered and it was shown that all the variables except memorization strategy had positive effect on students' mathematics achievement. School size and student –teacher ratio were considered at the second level and gross domestic product (GDP) was considered at the third level. At the second and third level, it was revealed that all the variables except student –teacher ratio had a positive effect on students' achievement. The signs of significant coefficients on students' mathematics scores for each country were shown by using two- level regression. These results were very important for education system due to the fact that changing school climate and improving the learning strategies are much easier to achieve than changing other variables affecting students' performance.
Keywords: Learning strategies, Multilevel models, Mathematics achievement

[*]Res. Assist., Yıldız Technical University, Faculty of Arts and Sciences, Statistics Department, serkilic@yildiz.edu.tr
[**]Res. Assist., Yıldız Technical University, Faculty of Arts and Sciences, Statistics Department, erhancene@hotmail.com
[***]Assist. Prof. Dr., Yıldız Technical University, Faculty of Arts and Sciences, Statistics Department, idemir@yildiz.edu.tr

1. GİRİŞ

Eğitimciler, öğrencilerin optimum öğrenme becerilerine ulaşmasında pek çok etmenin ve çeşitli stratejilerin, doğru şekilde uygulanmalarının etkili olduğunu söylemektedirler. Pek çok eğitimciye göre, bu stratejilerin içinden, yansıtıcı düşünme yöntemini kullanmak ve yineleme öğrenim yetisini asgari düzeyde tutmak, öğrencilerin öğrenme yetisini optimum düzeye çıkarmaktadır (Halpern, 1998; Snow, 2002). Bununla birlikte, öğrenim ile başarının ülkeler arasında farklılıklar göstermesi kaçınılmazdır (Gow v.d., 1996). Bu farklılıkların sebepleri arasında, sosyo ekonomik statü (Demir ve Kılıç, 2010) ve Gayri Safi Yurt İçi Hasıla gibi ülke özelliklerinin yanı sıra, öğrenme stratejileri de gösterilmiştir (Chiu ve Xihua, 2008).

1.1. Öğrenme Stratejileri

Öğrenci başarısını etkileyen önemli faktörlerden bir tanesi de öğrenme stratejileridir. Öğrenme stratejisi terimi, öğrenenlerin yeni bilgileri daha rahat biçimde kavramasını sağlayan bilişsel süreci ifade eder. Yapılan araştırmalar, bu bilişsel süreçlerin akademik başarı üzerinde farklı oranda etkili olduklarını ortaya koymaktadır (Lau ve Chan, 2001; Vermunt ve Vermetten, 2004). Genel anlamda, öğrenme stratejisi karmaşıklaştıkça, başarı da artmaktadır. Öğrenme stratejileri açısından pek çok sınıflandırma olsa da bu sınıflandırmaların hepsi ezberleme, ayrıntılama ve üstbilişsel yöntemi içermektedir.

1.1.1. Ezberleme

Ezberleme, temelde öğrenilen bilgilerin tekrar edilmesine dayanan bir öğrenme stratejisidir. Ezberleme, özellikle hafıza performansının öğrenmede önemli bir yere sahip olduğu erken gelişim aşamasında önem kazanmaktadır. Örneğin temel matematik becerilerini kazanmak için, matematik kurallarını ezberlemek, daha karışık matematik problemlerini çözmek için temel oluşturmuştur (Kantrowitz ve Wingert, 1991). Buna karşın ezberleme yöntemine getirilen eleştirilerden biri, karışık problemlerde bilgi çıkarımını zorlaştırmasıdır (Czuchry & Dansereau, 1998). Bu da ezberleme yöntemine çok fazla ağırlık vermenin başarıyı olumsuz yönde etkilediğini ortaya koymaktadır (Isaacs & Carroll, 1999). Bu durumda, ezberden daha derin bir bilişsel süreç olan ayrıntılama yöntemi kullanılmaktadır.

1.1.2. Ayrıntılama Yöntemi

Ayrıntılama yöntemleri, karşılaştırma ve zıtlık kavramları, örneklendirme gibi eski ve yeni bilgileri birbirine bağlayan bilişsel süreçtir. Dahası ayrıntılama yöntemi, problem çözümünde bilgilerin daha derinlemesine işlenmesini ve daha esnek hareket edilmesini sağlamaktadır (BouJaude, 1992). Bu yüzden araştırmacılar, ayrıntılama yöntemini, öğrencilerin problem çözme yeteneklerini arttırmak ve bilgilerin yeni problemlere de uygulanabilmesini sağlamak amacıyla uygulamaktadırlar. Ancak ayrıntılama yöntemi, çok fazla çaba ve konsantrasyon gerektirdiğinden bu yöntemle başarıya ulaşmak zordur (Halpern, 1998). Eski bilgiler ile yeni bilgiler arasındaki ilişki, yeterince açık verilmediği durumlarda, yeni bilgilerin öğrenilmesi başarısız olmaktadır (Garner, 1990). Bu bilgilerin öğrenilmesini sağlayan yöntemlerden birisi üstbilişsel yöntemdir.

1.1.3 Üstbilişsel Yöntem

Üstbiliş, bireyin bilgisinin ve bilme yetisinin farkında olması durumudur. Daha açık olarak, üstbilişsel bilgi, bireyin hafıza ve öğrenme yetisini anlamak, bilme yetisini kontrol etmek ve değiştirmektir. Pek çok araştırmacıya göre, insanın kendi bilme yetisinin farkında olması, bilme yetisinin düzenlenebilmesi için bir gerekliliktir. Geçmiş çalışmalar, üstbilişsel çalışmaların, planlamada, bilgileri yansıtmada ve geliştirmede son derece etkili olduğunu göstermiştir (Klicannon, Gleber & Kim, 1999; Teong, 2003). Ancak öğrenciler genellikle üstbilişsel metotlarla öğrendiklerini etkin bir biçimde uygulama konusunda zorluk çekerler. Üstbilişsel metotlar, fazladan kavramsal bilgiler gerektirdiğinden zahmetlidir. Bu da öğrencilerin, üstbilişsel yeteneklerini kullanmamasına yol açar (Gardner, 1990). Kavramsal yöntemler ve üstbilişsel yöntemler her ne kadar birbirlerinden ayrı noktalarda da dursalar, genelde bu iki yöntem birlikte kullanılır (Kang, 1997).

1.1.4. Ekonomik ve Kültürel İçerik

Öğretim stratejilerinin dışında bir ülkenin ekonomik ve kültürel değerleri de öğrencilerin öğrenmesinde etkilidir. Kişi başına düşen GSYİH'sı yüksek olan ülkelerde, gerek eğitime harcanan paranın yüksek olması gibi doğrudan faktörler, gerekse de daha iyi sağlık sistemine ve daha iyi beslenme sistemine sahip olunması gibi dolaylı faktörler sebebiyle, daha yüksek öğrenci başarısı gözlemlenmiştir (Baker, Gaesling ve Letendre, 2002). Ayrıca kaynakların daha eşit şekilde dağıldığı ülkelerde, dağılımın eşit olmadığı ülkelere kıyasla öğrencilerin daha başarılı oldukları görülmüştür (Chiu & Khoo, 2005). Bu durum, fırsat eşitliğinin, ekonomik gücü az olan öğrencilere katkısının daha fazla olması ve rekabetin artmasının da öğrenci başarısını beraberinde getirmesiyle açıklanmaktadır (Mankiw, 2004; Chiu & Khoo, 2005). Ülkeler birbirlerinden sadece zenginlik ya da eşitlik

derecesiyle değil, kültürel değerleriyle de birbirlerinden ayrılır. Kültürel değerler, kişilikten ya da dinden ziyade yaşanılan ülkelere göre farklılık göstermektedir (Hofstede v.d., 1990; Inglehart & Baker, 2000).

2. ÇALIŞMANIN AMACI VE ÖNEMİ

Son hükümetin komşu ülkelerle sıfır problem projesi kapsamında bu ülkelerle ilişkileri düzeltme eğilimine girmişlerdir. Bu projenin etkilediği alanlardan biriside şüphesiz ki eğitimdir. Sıfır problem politikası ülkeler arası ilişkiyi güçlendirdiği gibi, hem öğrenci değişimi açısından, hem de eğitim sistemleri açısından ilişkilerin güçlenmesini sağlayacaktır. Bu çalışmada Türkiye'nin ve komşu ülkelerin orta eğitimdeki matematik başarılarını karşılaştırmak amacıyla, PISA 2009 verisi kullanılmıştır. PISA 2009 çalışmasına katılan Türkiye'de ve Türkiye'nin üç komşu ülkesinde okuyan öğrencilerin matematik başarısında evdeki eğitim kaynaklarının, ailenin ekonomik durumunun, okul mevcudunun, öğretmen başına düşen öğrenci sayısının ve öğrenme stratejilerinin etkisi olup olmadığı incelenmiş ve eğer etkiliyorsa bunun etkisinin ne derecede olduğu göz önüne alınmak istenmiştir. Ayrıca matematik başarısında bu değişkenlerin ülkeler açısından farklılıkları da karşılaştırılmıştır.

3. YÖNTEM

3.1. Veri Seti

PISA (Programme for International Student Assesment) endüstrileşmiş ülkelerdeki 15 yaş grubu öğrencilerinin kazandıkları bilgi ve beceriler üzerinde 3'er yıl arayla yapılan bir çalışmadır. PISA 2009 uygulamasına 34 OECD üyesi olan ve 41 OECD üyesi olmayan ülke katılmıştır –sonradan araştırmaya katılanlar dahil edilmiştir- . PISA 2009 projesinin test ve anketleri, ülkemizde 2009 yılının Mayıs ayında 12 coğrafi bölgeden tesadüfi yöntemle seçilen 170 okulda okumakta olan 1993 doğumlu toplam 4996 öğrenciye yapılmıştır.

Bu çalışmada PISA 2009'a katılan Türkiye, Bulgaristan, Yunanistan ve Azerbaycan veri seti kullanılmıştır. Diğer komşu ülkeler PISA 2009 çalışmasına katılmadığı için değerlendirmeye alınmamıştır. Bu çalışmada, 15 yaşındaki 17224 öğrencinin matematik alanındaki bilgi ve becerilerini değerlendirmenin yanı sıra, öğrencilerin öğrenme stratejileri, okuldaki ve evdeki imkanları, matematik alanına yönelik ilgi ve tutumları da araştırılmaktadır.

3.2. Değişkenler

Matematik Başarısı (MB): Matematiğin daha geniş ve işlevsel kullanımı ile ilgilidir. Bu, çeşitli durumlarda matematiksel problemleri tanıma ve formülleştirme becerisini kapsamaktadır. Bir öğrencinin matematik performansı matematiğin 4 alanında ölçülmüştür ve bu alanlar sırasıyla Nicelik, Uzay ve Şekil, Değişme ve İlişkiler ve Belirsizliktir (EARGED, 2010). Tablo 1'de çalışmada yer alan ülkelerin matematik ortalamaları verilmiştir.

Tablo 1: Ülkelerin Matematik Okuryazarlık Puanı

Ülkeler	Matematik Ortalaması
Türkiye	445
Yunanistan	466
Bulgaristan	428
Azerbaycan	431
OECD Üyesi Ülkeler	496

Türkiye ve Yunanistan OECD üyesidir ve çalışmada yer alan ülkelerin ortalaması OECD ortalamasının altındadır. PISA matematiğe ilişkin test materyallerinden toplanan verileri özetlemek için altı düzeyden oluşan bir yeterlik ölçeği oluşturulmuştur. Bu ölçek sayesinde uluslar arası karşılaştırmalar yapılmaktadır. Çalışmaya katılan ülkelerdeki öğrenciler ikinci düzeyde yer alırken, OECD ülkelerinde yer alan öğrenciler üçüncü düzeyde bulunmaktadır. İkinci düzeye erişmiş olan öğrenciler, doğrudan çıkarım yapmaktan başka bir beceriye gerek olmayan bir bağlamda ifade edilmiş olan durumları tanıyabilir ve yorumlayabilirler. Bu öğrenciler, tek bir kaynaktan gerekli bilgiyi elde edebilir ve sadece bir gösterim biçimini kullanabilirler. Bu düzeydeki öğrenciler temel algoritmaları, formülleri, ya da işlem yollarını kullanabilirler. Doğrudan bir biçimde akıl yürütebilirler ve sonuçlar üzerinde görülenin ötesine geçmeyen yorumlar yapabilirler (EARGED, 2010).

Öğrenci aşaması değişkenleri:

Cinsiyet (GENDER): Çalışmada 1- Erkek, 0- Kız öğrencilerden oluşmaktadır.

Ekonomik, Sosyal Kültürel Statü (ESCS): Bu indeks hesaplanırken aile altyapısını gösteren üç farklı değişken kullanılmıştır. Bu değişkenler; en yüksek anne baba eğitim düzeyi, en yüksek anne baba mesleki statüsü ve evde sahip oldukları eşyalardan oluşmaktadır.

Evdeki Eğitim Kaynakları (HEDRES): Evde öğrencinin ders çalışmasını sağlayacak ortamın ve eğitime katkıda bulunacak bazı kaynakların olup olmadığından oluşan bir indekstir.
Kültürel Sahiplik (CULTPOSS): Bu indeks hesaplanırken öğrencinin sanatsal faaliyette (boyama gibi) çalışıp çalışmadığı, şiir ve klasik edebiyat kitaplarının olup olmadığı dikkate alınmıştır. İndeksteki pozitif değerler daha yüksek kültürel sahipliğe işaret eder.
Ezberleme ve tekrarlama Stratejisi (MEMOR): Öğrencilerden zihinde hemen hemen hiçbir işlem görmeden veya çok az işlem görerek saklanan bilgiler ve işlem yolları ile ilgili gösterimler için öğrenme stratejilerinden nasıl yararlandıkları, bunlar için neler yaptıkları sorulmuştur (EARGED, 2007).
Bilgilerini geliştirme ve zenginleştirme Stratejisi (ELAB): Öğrencilerden, yeni öğrendiklerini eski öğrenmeleriyle birleştirip bütünleştirme çabalarında matematikteki öğrenme stratejilerinden nasıl yararlandıkları sorulmuştur (EARGED, 2007).
Denetim (kontrol) Stratejisi (CSTRAT): Öğrencilerden kendilerine öğrenme yaklaşımlarını öğrenilecek şeye, öğrenilecek konu veya beceriye uyarlama imkanı verildiğinde, neleri öğrenmiş olduklarını kontrol etme ve daha neleri öğrenmeleri gerektiğini belirleme amacıyla matematikteki öğrenme stratejilerinden nasıl yararlandıkları sorulmuştur (EARGED, 2007).
Okul aşaması değişkenleri:
Okul Mevcudu (SCHSIZE): Okulda kayıtlı olan kız ve erkek öğrencilerin toplam sayısını verir.
Öğretmen başına düşen öğrenci sayısı (STRATIO): Okuldaki öğretmen başına düşen kayıtlı öğrenci sayısını gösterir.

Ülke aşaması değişkeni:
Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GDP): Ülke içinde belirli bir dönemde üretilen mal ve hizmetlerin toplamı olan Gayri safi yurtiçi hasıla, ülke ekonomisinin diğer ekonomilerle karşılaştırılmasında en önemli ölçütlerden birisidir. Cari fiyatlarla Amerikan Doları cinsinden ifade edilmesi diğer ülkelerle karşılaştırma yapabilmek açısından gereklidir. Bu değişkenin 2009 yılına ait veri seti, Dünya Bankasından elde edilmiştir. Gayri safi yurtiçi hasıla değişkeni sağa çarpık olduğundan, logaritması alınarak çalışmaya katılmıştır (Worldbank, 2009).

3.3. Analiz
Çok aşamalı modeller, hiyerarşik yapıdaki ana kitle etrafında oluşur. Hiyerarşik yapıdaki kitleden elde edilen örnekler, çok aşamalı (kademeli) örnekler olarak adlandırılır ve ilk olarak yüksek seviyeli birimlerden (gruplardan), daha sonra ise alt birimlerden (gruplar içindeki birimlerden) örnek çekildiği varsayılır (Heck ve Thomas, 2000). Bu tip örneklerde grupların içindeki birimler, kitlenin tamamından basit tesadüfi örnekleme yolu ile çekilmiş birimlere göre daha fazla benzer olma eğilimindedirler (Hox, 1998). Gruplardaki birimlerin benzer karakteristiklere sahip olmaları (çevre, deneyim, demografik özellikler gibi) bu birimlerden elde edilen gözlemlerin birbirine bağımlı olmasına neden olur. Sonuç olarak, hiyerarşik yapıya sahip verilerde, istatistiksel testler için gerekli olan gözlemlerin birbirinden bağımsızlığı varsayımı bozulduğundan çok aşamalı modellere ihtiyaç duyulur (Osborne, 2000). Bu modeller, sağlık ve psikoloji alanları da dahil olmak üzere birçok eğitim araştırmalarında da kullanılan bir analizdir. Ayrıca çok aşamalı modeller, kümelenmiş yapıları ve değişen varyansı belirleme ve kontrol etmede büyük rol oynamaktadır (Raudenbush ve Bryk, 2002).
Çalışmada SAS 9.1 paket programı kullanılarak analiz yapılmıştır. Kullanılan veri setinin 1. aşaması öğrencileri, 2. aşaması okulları, 3. aşaması ise ülkeleri temsil etmektedir.

4. BULGULAR VE YORUMLAR
Çalışmada kullanılan değişkenlerden cinsiyet değişkeni %50 erkek, %50 kız öğrencilerden oluşmaktadır. Sürekli değişkenlere ait betimleyici istatistikler Tablo 2'de verilmiştir.
Tablo 2: Matematikte başarı için kullanılan sürekli değişkenlerin betimleyici istatistikleri

	Betimleyici İstatistik			
	Min	Max	Ortalama	Standart Sapma
Ekonomik Sosyal Kültürel Statü	-4,60	3,09	-0,48	1,16
Evdeki Eğitim Kaynakları	-3,96	2,13	0,05	1,18
Kültürel Sahiplik	-2,24	1,82	0,18	1,02
Ezberleme ve tekrarlama Stratejisi	-3,02	2,69	0,19	1,06
Bilgilerini geliştirme ve zenginleştirme Stratejisi	-2,41	2,76	0,35	1,04
Denetim (kontrol) Stratejisi	-3,45	2,50	0,14	1,03
Okul Mevcudu	37	3140	653,68	511,67
Öğretmen başına düşen öğrenci sayısı	1,96	65,83	12,37	6,67

	Betimleyici İstatistik			
	Min	Max	Ortalama	Standart Sapma
Log GDP	10,63	11,79	11,21	0,50

Üç aşamalı modellerin çıktısı Tablo 3'te verilmiştir. Kurulan farklı modeller karşılaştırıldığında açıklanabilirliği en yüksek olan modelin Model 5 olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca diğer modellere bakıldığında da ortak değişkenlerin katsayıları arasında çok büyük farklılıklar olmadığı görülmektedir. Model 5'in açıklayıcılığının fazla olmasının nedeni, diğer modellerde olmayan ve başarıda etkili olan faktörlerin bu modele eklenmesinden kaynaklanmaktadır. Model 5'e göre, erkek öğrenciler kız öğrencilere göre daha başarılıdır. Ayrıca ekonomik, sosyal ve kültürel statüsü yüksek, evde yeterli eğitim ve kültürel kaynaklara sahip olan öğrenciler matematikte daha başarılı oldukları bulgusuna varılmıştır. Öğrenme stratejilerinin matematik başarısında nasıl bir etkisi olduğu incelendiğinde ise, ezber yapmanın matematikte başarısızlığa yol açtığı gözlemlenmiştir. Öğretmen başına düşen öğrenci sayısının artması öğrencinin matematik başarısını negatif yönde etkilemektedir. Gayri safi yurt içi hasılası büyük olan ülkelerde okuyan öğrencilerin, diğerlerine göre matematikte daha başarılı olduğu görülmüştür.

Tablo 3: Üç Aşamalı Regresyon Modellerinin Katsayıları ve Standart Hataları

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
Sabit	437,56*	434,87*	460,10*	457,52*	195,27
	(10,20)	(8,94)	(9,73)	(9,85)	(130,57)
Erkek		16,62*	16,60*	16,60*	16,60*
		(0,90)	(0,90)	(0,90)	(0,90)
Ekonomik Sosyal Kültürel Statü		10,07*	10,04*	10,01*	10,03*
		(0,57)	(0,57)	(0,57)	(0,57)
Evdeki Eğitim Kaynakları		2,60*	2,60*	2,58*	2,57*
		(0,49)	(0,49)	(0,49)	(0,49)
Kültürel Sahiplik		4,21*	4,23*	4,23*	4,21*
		(0,54)	(0,54)	(0,54)	(0,54)
Ezberleme ve tekrarlama Stratejisi		-11,45*	-11,45*	-11,46*	-11,45*
		(0,51)	(0,51)	(0,51)	(0,51)
Bilgilerini geliştirme ve zenginleştirme Stratejisi		4,18*	4,16*	4,17*	4,18*
		(0,54)	(0,54)	(0,54)	(0,54)
Denetim (kontrol) Stratejisi		9,49*	9,50*	9,51*	9,50*
		(0,59)	(0,59)	(0,59)	(0,59)
Öğretmen başına düşen öğrenci sayısı			-2,06*	-2,35*	-2,47*
			(0,41)	(0,44)	(0,43)
Okul Mevcudu				0,01	0,01**
				(0,005)	(0,005)
Log GDP					23,61**
					(11,74)

*p<0.01, **p<0.05

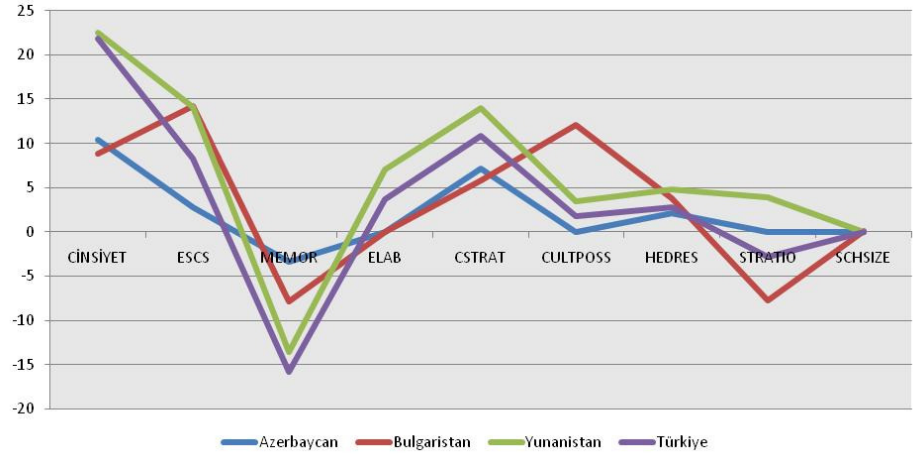
Üç aşamalı model sonuçlarından hareketle her bir ülke için iki aşamalı modeller kurularak değişkenlerin etkileri incelenmiştir. Buna göre genellikle değişkenlerin matematik başarısına aynı yönde etki ettikleri fakat etki şiddetlerinin farklı olduğu gösterilmiştir. Örneğin; analize dahil edilen dört ülke için de erkek öğrencilerin kız öğrencilere göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Bazı ülkeler için bazı faktörlerin ise matematik başarısında etkili olmadığı ya da negatif etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır (Tablo 4). Kültürel sahiplik faktörünün Türkiye, Yunanistan ve Bulgaristan için matematik başarısına pozitif yönde ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olmasına rağmen, Azerbaycan için bu faktör istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip değildir.

Tablo 4: Her bir ülke için öğrencilerin matematik başarılarını tahmin eden iki aşamalı regresyondaki anlamlı katsayıların işaretleri

Ülkeler	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Türkiye	+	+	+	+	-	+	+	-	
Yunanistan	+	+	+	+	-	+	+	+	
Bulgaristan	+	+	+	+	-		+	-	+
Azerbaycan	+	+	+		-		+		

1: Erkek; 2: Ekonomik Sosyal Kültürel Statü; 3: Evdeki Eğitim Kaynakları; 4: Kültürel Sahiplik; 5: Ezberleme ve tekrarlama Stratejisi; 6: Bilgilerini geliştirme ve zenginleştirme Stratejisi; 7: Denetim (kontrol) Stratejisi; 8: Öğretmen başına düşen öğrenci sayısı; 9: Okul Mevcudu
(+) anlamlı pozitif etkiyi, (-) anlamlı negatif etkiyi, ( ) ise anlamlı etki olmadığını gösterir.

Şekil 1: Her bir ülke için matematik başarını tahmin etmede kullanılan değişkenlerin katsayıları



Şekil 1'de her bir ülke için kurulan iki aşamalı modellerdeki katsayıların karşılaştırması gösterilmiştir. Şekil 1'e göre erkekler ve kızlar arasındaki başarı farkı en fazla olan ülke Yunanistan'dır. Yunanistan için erkek öğrenciler kız öğrencilere göre daha başarılıdır (ortalama 22,5 puan daha fazla). Sosyo ekonomik ve kültürel satatü açısından incelendiğinde ise, bu faktörün matematik başarısında en fazla etkili olduğu ülkenin Bulgaristan, en az etkili olduğu ülkenin ise Azerbaycan olduğu gösterilmiştir.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA (ÖNERİLER)

Araştırmada göz önüne alınan ülkelere bakıldığında, öğrencilerin matematik başarılarının farklı değişkenlerden farklı şekilde etkilendikleri görülmektedir.
Cinsiyet her dört ülke için de pozitif yönde ayırt edici bir değişken olarak gözükmektedir. Cinsiyetin etkisi, özellikle Yunanistan ve Türkiye'de çok daha fazladır. Ayrıca cinsiyetin ülkeler bazındaki etkisinin, ülkelerin genel başarı ortalamasıyla benzerlik gösterdiği görülmektedir.
Ekonomik, Sosyal Kültürel Statü (ESCS) ' ye bakıldığında değişkenin yine her dört ülkede birden performansla pozitif ilişkide olduğu görülmektedir. Azerbaycan'da bu değişkenin etkisinin daha az olduğu göze çarpmaktadır.
Evdeki Eğitim Kaynakları (HEDRES) değişkeni yine her dört ülkedeki performans için pozitif bir etkiye sahiptir.
Kültürel Sahiplik (CULTPOSS) ise Azerbaycan hariç diğer üç ülkede anlamlı sonuç vermiştir. Kültürel sahipliğin performans ile pozitif yönlü bir ilişki ortaya koyduğu görülmektedir. Özellikle Bulgaristan'daki etkisi dikkat çekicidir.
Ezberleme ve tekrarlama Stratejisi (MEMOR) değişkeni tüm ülkeler için öğrenci başarısını azaltan bir faktördür. Bu faktör en çok Türk öğrencilerinin başarısını olumsuz yönde etkilerken, en az Azeri öğrencileri etkilemektedir.
Bilgilerini geliştirme ve zenginleştirme Stratejisi (ELAB) değişkeni öğrenme stratejilerinden biri olup, yapılan analiz sonucunda Türkiye ve Yunanistan'da anlamlı, Bulgaristan ve Azerbaycan'da ise anlamsız sonuç vermiştir. Değişken, Türk ve Yunan öğrencilerinin başarısında pozitif yönlü bir etkiye sahiptir.
Denetim (kontrol) Stratejisi (CSTRAT) ise öğrenci başarıları üzerinde her dört ülke için de pozitif yönlü bir etkiye sahiptir. Değişkenin, öğrencilerin performansını ülkeler bazında etkileme gücüne bakıldığında, sonucun ülkelerin genel başarı ortalamasındaki sıralamasıyla paralellik gösterdiği görülmektedir.
Öğretmen başına düşen öğrenci sayısı (STRATIO) değişkeni ülkeler arasında farklı etkilere sahiptir. Değişken Azerbaycan hariç diğer üç ülkede anlamlı çıkmış. Bu üç ülke içerisinde değişken, Türkiye ve Bulgaristan'daki

öğrenci başarısı üzerinde olumsuz bir etkiye sahipken, Yunanistan'daki öğrenci başarısı üzerinde ise arttırıcı etki yapmaktadır.

Okul Mevcudu (SCHSIZE) ise son değişkenimiz olup Bulgaristan hariç tüm ülkelerde anlamsız çıkmıştır. Bulgaristan'daki başarı üzerindeki etkisi ise çok az da olsa pozitif yöndedir.

KAYNAKLAR

Baker, D. P., Goesling, B., & Letendre, G. K. (2002). Socioeconomic status, school quality, and national economic development: A cross-national analysis of the "Heyneman–Loxley effect" on mathematics and science achievement. Comparative Education Review, 46, 291−312.

Bou Jaoude, S. B., (1992). The relationship between students' learning strategies and the change in their misunderstandings during a high school chemistry course. Journal of Research in Science Teaching, 29(7), 687−699.

Chiu, M. M., & Khoo, L. (2005). Effects of resources, inequality, and privilege bias on achievement: Country, school, and student level analyses. American Educational Research Journal, 42, 575−603.

Chiu, M. M., McBride-Chang, C. (2006). Gender, Context, and Reading: A comparison of students in 41 countries. Scientific Studies of Reading, 10, 331−362.

Czuchry, M., Dansereau, D. F., (1998). The generation and recall of personally relevant information. Journal of Experimental Education, 66(4), 293−315.

Demir, İ., Kılıç, S, "Matematik Başarısına Etki Eden Faktörlerin HLM ile İncelenmesi", ABMYO Dergisi, 2008 Aralık. Cilt 12, Sayfa 63-75

Demir, İ., Kılıç, S., "Türkiye'deki Matematik Başarısının İki Aşamalı Bernoulli Modeli Kullanılarak İncelenmesi", İstatistik Araştırma Dergisi, 2010, Cilt 7(1), Sayfa: 175-185

EARGED. (2007). Öğrenci başarısını belirleme programı (PISA-2006) Ulusal Ön Rapor, Ankara: MEB- Eğitim Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı.

EARGED. (2010). Öğrenci başarısını belirleme programı (PISA-2009) Ulusal Ön Rapor, Ankara: MEB- Eğitim Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı.

Garner, R., (1990). When children and adults do not use learning strategies: Toward a theory of settings. Review of Educational Research, 60(4), 517−529.

Halpern, D. F. (1998). Teaching critical thinking for transfer across domains. American Psychologist, 53, 449−455.

Heck, R.H., Thomas, S. L., (2000). An introduction to multilevel modeling techniques. Lawrence Erlbaum Associates, London.

Hofstede, G., Neuijen, B., Ohayv, D. D., & Sanders, G. (1990). Measuring organizational cultures: A qualitative and quantitative study across twenty cases. Administrative Science Quarterly, 35, 286−316.

Hox, J., (1998). Multilevel modeling: When and Why?. In: Balderjahnn, I., Mathar, R., ve Schader, M. (Eds.) Classification. Data Analysis, And Data Highways, Springer, New York, 147-154.

Inglehart, R., & Baker, W. E. (2000, February). Modernization, cultural change, and the persistence of traditional values. American Sociological Review, 65, 19−51.

Isaacs, C., Carroll, W., (1999). Strategies for basic-facts instruction. Teaching Children in Mathematics, 5(9), 1−17

Kang, D. H., (1997). Assessing Korean middle school students' language learning strategies in input-poor environments. Retrieved October 20, 2005, from ERIC database.

Kincannon, J., Gleber, C., Kim, J., (1999). The effects of metacognitive training on performance and use of metacogntive skills in self-directed learning situations. Paper presented at the National Convention of the Association for Educational Communications and Technology, February. Houston, TX.

Mankiw, N. G. (2004). Principles of economics (3rd ed.). Cincinnati, OH: South-Western Press. Markus, H. R., & Kitayama, S. (1994). A collective fear of the collective: Implications for selves and theories of selves. Personality and Social Psychology Bulletin, 20, 568–579.

Osborne, J. W., (2000). Advantages of hierarchical linear modeling. Practical Assessment, Research and Evaluation, 7(1), Available at: http://PAREonline.net/getvn.asp?v =7&n=1 (accessed June 1, 2005).

Raudenbush, S.W., Bryk, A. S., (2002). Hierarchical linear models: Applications and data analysis methods. Second Edition, Thousand Oaks, Sage Publications.

Snow, C. (2002). Reading for understanding: Toward a Research and Development Program in Reading Comprehension. Santa Monica, CA: RAND.

Teong, S. K. (2003). The effect of metacognitive training on mathematical word-problem solving. Journal of Computer Assisted Learning, 19, 46−55

Vermunt, J. D., Vermetten, Y. J., (2004). Patterns in student learning: Relationships between learning strategies, conceptions of learning, and learning orientations. Educational Psychology Review, 16(4), 359−384.

Worldbank (2009). World Development Indicators 2009, [http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD] (10.01.2011)

Etkin Depo Yerleşiminin Düzenlenmesi İçin Bir Model:
Elektronik Firmada Uygulama Çalışması

Sevgi AK [*], **Bahar Özyörük** [**]

[*] MİKES Mikrodalga Elektronik Sistemler A.Ş Akyurt / Ankara
[**] Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Müh. Böl. Maltepe/Ankara

ÖZET

Bu çalışmada, depo karakteristikleri, depolama sistemleri, depoların sınıflandırılması ve stok yerleşim politikalarının önemi vurgulanmıştır. MİKES Mikrodalga Elektronik Sistemler A.Ş.'nin depolama sistemi gözlemlenerek depo tasarımında ve depo alt sistemlerinde karşılaşılan problemler analiz edilmiştir. Stokların takibini kolaylaştırmak ve etkin kontrolünü sağlamak için çok kriterli ABC sınıflandırma yöntemi kullanılarak depodaki malzemeler sınıflandırılmıştır. Ayrıca Shuttle sisteminde etkinliğin arttırılması ve sipariş toplama zamanının azaltılması amacıyla raf yerleşiminde tespit edilen problemler sezgisel yöntem temel alınarak çözülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Depolama sistemleri, stokların sınıflandırılması, raf alanı yerleşim problemleri

A MODEL TO ARRANGE WAREHOUSE LAYOUT EFFECTIVELY: APPLICATION IN AN ELECTRONIC FIRM

ABSTRACT

In this study, warehouse system of MIKES Microwave Electronic Systems Inc. is observed and problems encountered in the design and the sub-systems of the warehouse are analyzed. Firstly, the equipment in the warehouse is classified by using multi-criteria ABC classification method which facilitates tracking and efficient control of stocks. Moreover, to improve the effectiveness of shuttle system and to decrease the duration needed for the collection of orders, problems related to shelf space allocation are solved on the basis of a heuristic method.

Key Words **:** Storage systems, classification of inventory,Shelf space allocation problems

1. GİRİŞ

Üreticiler, üretimde kullandıkları hammaddeleri, hem maliyetleri hem hammadde tedariği için harcanan zamanı minimuma indirmek maksadıyla büyük miktarlarda almakta ve daha sonra kullanmak amacıyla depolarında stoklamaktadır. Üretim işletmelerinde bir ya da birkaç depo ve ambara ihtiyaç duyulabilir. Depolama sistemlerinin iyi tanınması, depo dizaynın en iyi şekilde yapılması, uygun depolama politikası ve yöntemlerinin seçimi ve hangi hammadde ve ürünlerin nasıl depolanacağının bilinmesi depolama işleminden elde edilecek faydayı artırır.

Bu çerçevede MİKES 'te malzemelerin sınıflandırılması ve lift yerleşimi ile ilgili problemler analiz edilmiştir. Tespit edilen problemlerin çözümüne kapsamında depolarda bulunan gereksiz malzemelerin liftlerden çıkarılması için çalışmalar yapılmıştır. Ardından malzemelerin sınıflandırılması ve liftlerdeki malzemelerin yeniden yerleştirilmesi sırasıyla, çalışma kapsamında çok kriterli ABC sınıflandırma yöntemi ve lift yerleşimiyle ilgili geliştirilen yöntemler temel alınarak gerçekleştirilmiştir.

2. RAF ALANI YERLEŞİM MODELLERİ İÇİN LİTERATÜR

İyi dizayn edilmiş raf alanı, işletmelerin stok yatırımlarının getirisini yükseltir, stokların tükenmesi durumunu azaltarak müşteri memnuniyetini artırır ve satışların ve kar marjlarının artmasını sağlar [4],[5]. Ürünlerin sergilendiği ve stokların depolandığı raflar işletmelerin temel kaynakları arasında sayılmaktadır. Bu nedenle raf yönetiminin ne şekilde yapılacağı işletmelerin önemli kararları arasında yer almaktadır. İşletmeler bu şekilde hem karlılıklarını artırabilir hem de maliyetlerini düşürebilirler [6].

Dreze ve ark. [7] raf alanı yerleşiminin satışlar ve karlılık üzerine etkilerini iki tür raf alanı yerleşim tekniği kullanarak analiz etmiş ve yapılan deneylerle uygun yerleşim seçiminin özellikle çok katlı raflarda ürünün hangi kattaki rafta sergileneceği seçiminin satış ve karlılık üzerine büyük bir etkisinin olduğunu tespit etmiştir.

Raf alanı yerleşimi probleminin çözümüne yönelik birçok yaklaşım bulunmaktadır. Bunlardan ilki olan "alan esnekliği" yaklaşımı en çok tartışılan yaklaşımlardan biridir. Alan esnekliği birim satışlarındaki nispi değişikliğin raf alanındaki nispi değişikliğe oranıdır. Ancak alan esnekliği çok kolay bir yöntem değildir. Doyle ve Gidengil (1977) yaptıkları birçok ampirik çalışma ile bu zorlukları ortaya koymuşlardır. Raf alanı yerleşimi çok sıklıkla yapılan bir işlem olduğu için kolay bir yöntem kullanılması gereklidir. Örneğin, her bir ürünün pazar payına göre raf alanına yerleşimi çoğu zaman daha kolay bir yöntem olarak ele alınmaktadır [5].

Raf alanı yerleşiminde kullanılacak olan metodun seçimi için kullanılan ticari modeller (commercial models) ve deneysel modellerin (experimental models) dezavantajları, raf yerleşim çözümlerinin deponun performansına etkilerinin test edilememesidir. Ticari modellerde, amaç en basit ve en kolay şekilde uygulanan tekniğin seçilmesidir. Burada uygulanabilirlik, rafların optimal şekilde yerleştirilmesi amacının önüne geçmektedir. Deneysel modellerde ise, birkaç parçanın yeri değiştirilerek belli bir ürün için elde edilen sonuca bakılır ancak depodaki tüm ürünlerden elde edilen sonuç değerlendirilmez. Tüm bu eksikliklerin giderilmesi için optimizasyon modelleri geliştirilmiştir.

Corstjens ve Doyle (1981), talep ve maliyetleri kullanarak çok daha kapsamlı bir genişletilmiş geometrik programlama modeli geliştirmiştir. Modelin amaç fonksiyonu toplam karlılıktır. Zufryden (1986) alan esnekliği satışların maliyeti ve potansiyel talep bazlı pazarlama değişkenlerini dikkate alan bir dinamik programlama modeli geliştirmiş ve tam sayı çözümler elde etmiştir. Ancak bu modelde ürünler arası çapraz esnekliği dikkate alınmamıştır. Corstjens ve Doyle (1983) ise üretim ve dağıtım amaçları dışında, büyüme amacını da dikkate alan dinamik bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir [5].

Zufryden (1986) Corstjens ve Doyle (1981, 1983) tarafından geliştirilen optimizasyon modelleri literatüre önemli katkılar sağlamıştır. Ancak bu modellerin pratikte uygulanmasında birtakım sorunlar vardır. Örneğin, Corstjens ve Doyle (1981, 1983) raflarda sergilenen ürünlerin sayılarının tam sayı olması gerektiğini dikkate almamışlardır. Zufryden (1986) tarafından geliştirilen model ise her bir ürünün sergilendiği alanın birim değerinin katları şeklinde olmasını gerektirmekte, bu durum ise karar vericinin esnekliğini azaltmaktadır [5].

Borin ve ark. (1994) ve Borin ve Farris (1995), geliştirdikleri modelle ürün tasnifi ve raf alanı yerleşim problemlerini eş zamanlı olarak optimize etmişlerdir. Optimizasyon modelinde çapraz esneklikler dikkate alınmış olup, amaç fonksiyonu ise stok yatırımının karlılığıdır. Modelin kompleks olması ve amaç fonksiyonunun lineer olmaması nedeniyle, çözüm için meta-sezgisel yöntem kullanılmıştır [4].

Yang (2001), sırt çantası probleminin (knapsack problem) çözümünde kullanılan algoritmaya benzer bir algoritma geliştirerek raf alanı yerleşim problemini çözmüştür. Modelde, belli kısıtlar altında, önerilen sezgisel yöntem raf alanını her bir ürünün satış karlılığının rafta kapladıkları alana olan oranına göre azalan sırada dağıtmıştır.

Hwang ve ark. (2005), kar maksimizasyonu amacını gerçekleştirmek amacıyla, raf alanı yerleşim problemi ile stok kontrol problemini çözmek için entegre edilmiş bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Modelin çözümü için ise, genetik algoritma ve sezgisel yöntem kullanmışlardır. Yapılan çalışmada, her bir markadan kaç adet sipariş verilmesi gerektiği, her bir markaya ne kadar raf alanı tahsis edilmesi gerektiği, her bir markanın hangi raflara yerleştirilmesi gerektiği tespit edilmeye çalışılmıştır.

Saaty (1980) tarafından geliştirilen analitik hiyerarşi prosesi , ABC sınıflandırmasında birçok araştırmacı tarafından (Gajpal ve ark., 1994, Partovi ve Burton, 1993, Partovi ve Hopton, 1994) kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem ile stok sınıflandırmada birçok niteliksel ve niceliksel kriter kullanılabilmektedir. [8].

Ng (2007), yaptığı çalışmada, çok kriterli ABC stok sınıflandırması modelinin çözümü için ağırlıklandırılmış lineer optimizasyon modeli geliştirmiştir. Modelde, tüm kriter ölçütleri tek skalar bir skora dönüştürülmüş, hesaplanan skor kullanılarak yapılan ABC yöntemi ile stok sınıflandırması yapılmıştır. Bu yöntemde uygun bir dönüşüm ile, lineer optimizasyon yapılmadan her stok parçasına ilişkin skor elde edilmiştir. Bu model anlaşılması kolay ve basitçe uygulanan bir yöntemdir. Kullanılan metot ayrıca, karar vericinin stok sınıflandırma ile ilgili diğer kararlarının da entegre edilmesine olanak sağlayacak şekilde esnek bir yöntemdir [10],[11].

3. MİKES'TE DEPOLAMA PROBLEMLERİ

MİKES Mikrodalga Elektronik Sistemler A.Ş. 'in faaliyetleri elektronik harp ağırlıklı olmak üzere mikrodalga sistemler, askeri ve sivil uygulamalara yönelik muhtelif elektronik sistemler, veri iletişim ve ağ teknolojileri, bilgisayar sistemleri ve güvenlik sistemlerini içeren donanım ve yazılımı kapsayan tasarım, geliştirme, üretim ve test aktivitelerini içermektedir.

3.1. Malzemelerin Sınıflandırılması İle İlgili Problemler

MİKES'te malzemeleri sınıflandırırken sadece malzemelerin fiyatına bakılmaktadır, fiyatı bilinmeyen ve tanınmayan malzemelerin yanlış gruplandırılmaktadır. Bunun bir sonucu olarak, sayım işlemleri amacı doğrultusunda yapılamamakta, sık aralıklarla sayılması gerekmeyen malzemeler gereksiz yere sayılmakta ve bundan dolayı fazla zaman harcanmaktadır. Ayrıca önem arz eden ve sık sayılması gereken malzemelerin, sayımının doğru zaman aralıklarında yapılmamasından kaynaklı olarak malzeme kayıplarının önceden fark edilememesi ve üretim sürecinin malzeme yüzünden gecikmesi büyük bir sorun teşkil etmektedir. Söz konusu her iki problem de özellikle depoda çalışanların vakitlerinin boşa harcanması, bundan dolayı işlerin bir kısmının yetişmemesi ve gereksiz yere fazla mesai yapılması sonucunu doğurmaktadır.

3.2. Lift Yerleşimiyle İlgili Problemler

MİKES'te proje bazlı üretim yapıldığından her geçen gün satın alınan malzemelerin sayısı ve çeşidi artmaktadır. Özellikle son yıllarda, teslimatı uzun süren projeler nedeniyle, malzeme birim fiyatını, sevkıyat ve gümrük tutarlarını en aza indirmek için proje başlangıcında, proje bitimine kadar ihtiyaç duyulacak tüm malzemeler (metal parçalar ve çok yer kaplayan malzemeler hariç olmak üzere) satın alınmaya çalışılmaktadır. Sonuç itibariyle, satın alınan malzemeler ve depolama süresi artığından depo alanı yetersiz kalmaktadır. Özellikle son birkaç yıldır, depodaki liftlerde ve raflarda yer olmamasından dolayı malzemelerin bir kısmı depoda boş bulunan yerlere rasgele konulmaktadır.

Malzeme çeşidi olarak bakıldığında depodaki malzemelerin büyük bir bölümü liftlerde depolanmaktadır. Malzemelerin liftlerde depolanmasının, liftlere erişim süresinin raflara kıyasla çok daha kısa olması, liftlerin depolama kapasitesinin daha büyük olması ve hassas malzemeler için daha güvenli saklama koşullarının bulunması gibi birtakım avantajları bulunmaktadır. Ancak son yıllarda lift alanın yetersiz olmasından dolayı küçük boyutlu malzemeler raflara konulmaya başlanmıştır. Bu nedenle depoda yer sıkıntısı en çok liftlerdeki malzemeler için yaşanmaktadır. Liftlerde yaşanan yer sıkıntısına ek olarak, lifte konulacak malzemelerin boyutuna ve kullanım sıklığına bakılmaksızın yapılan düzensiz ve etkin olmayan yerleşim sebebiyle de malzemelere erişebilirlik süresi artmakta, kit hazırlama ve sipariş toplama zamanı uzamakta ve sevkiyat işlemleri zamanında yapılamamaktadır.

4. MİKES'TE DEPOLAMA PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ

Liftlerde yaşanan alan sıkıntısının giderilmesi için öncelikle gereksiz yere depolanan malzemelerin liftlerden çıkarılması planlanmıştır. Belirli miktarda boş alan elde edildikten sonra ise malzeme erişebilirlik sürelerinin en aza indirilebilmesi için malzemeler yeniden yerleştirilecektir.
Malzeme erişebilirlik sürelerinin minimuma indirilmesi amacıyla malzeme yerleşimlerinin düzenlenmesi için Yang (2001) tarafından kurulan raf alanı yerleşim modeli ayrıntılı incelenmiş, çözüm yöntemi için ise yine aynı araştırmacının geliştirdiği sezgisel yöntem temel alınmıştır. Yang tarafından geliştirilen model temel alınarak ve söz konusu model yeniden düzenlenerek aşağıda belirtildiği şekilde kurulmuştur:

$$\text{Max } P = \sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{m} p_{ik}\, y_{ik}$$

subject to

$$\sum_{i=1}^{n} y_{ik} \le T_k, \quad k=1,..,m, \qquad (4.1)$$

$$\sum_{k=1}^{m} y_{ik} = U_i, \quad i=1,\ldots,n, \qquad (4.2)$$

$$y_{ik} \in N \cup \{0\}, \; i=1,\ldots,n, \; k=1,\ldots,m, \qquad (4.3)$$

n = Malzeme grubu sayısı
m = Raf sayısı

T_k = k rafının alanı
U_i = i malzeme grubunun üst sınır değeri (kapladığı alan)
p_{ik} = i malzeme grubunun k rafına konulmasından elde edilen fayda ya da kar
y_{ik} = k rafına atanan toplam i malzeme grubunun alanı
P = Toplam kar
N= Tamsayıları göstermektedir.

Geliştirilen modelde amaç fonksiyonu ile alandan elde edilen kar maksimize edilmektedir. Birinci kısıt, tüm malzeme gruplarına tahsis edilen toplam raf alanının liftte mevcut olan toplam raf alanını geçemeyeceği şeklindeki kapasite kısıtıdır. İkinci kısıt olan kontrol kısıtı ise yerleşimi yapılacak i malzeme grubunun alanının o malzeme grubu için belirlenen maksimum alana (üst sınır değeri) eşit olmasını sağlayan kısıttır. Son olarak, tam sayı ve negatif olmama kısıtları bulunmaktadır.
Çalışmanın hedefi, daha önce de bahsedildiği gibi MİKES'te liftlerde depolanan malzemelere erişim sürelerinin azaltılması amacıyla liftlerin yeniden düzenlenmesidir. Yerleşim yapılırken amaç, iş emrine en çok aktarılan malzemelerin en yakın raflara konulmasıdır.

Uygun bulunan sezgisel yönteme başlamadan önce liftte yerleştirilecek malzemeler gruplandırılmıştır. Ancak yapılan sınıflandırma sonucunda belirlenen, 2004 yılı öncesi projelerde kullanılan malzemeler ve projeler için yedek tutulması gereken malzemelerden liftlerde depolanmalarına devam edilmesi kararı alınan malzemeler için kullanılacak sezgisel yöntem uygulanmayacağı için bu sınıftaki malzemeler için gruplandırma çalışması yapılmamıştır. Bu malzemeler, kullanılma olasılıkları çok az olduğundan dolayı liftlerin en üst raflarına atanacaktır.

Malzemelere parça numaralarının rastgele verildiğinden, malzemelerin gruplandırılması işlemi malzeme tanımları incelenerek yapılmıştır.
Yapılan çalışmalar sonrasında, liftlere yerleştirilecek toplam 164 malzeme grubu bulunmuştur (i=1,…,164). Bu malzemelerin yerleşiminin yapılacağı 1. liftte toplam 89, 2. liftte toplam 69 ve 3. liftte ise toplam 70 adet raf bulunmaktadır (k= 1,…,228). Tüm rafların boyutları birbirine eşittir (T_k = 75 birim^2). Liftlerdeki raf sayılarının birbirinden farklı olmasının nedeni raflar arasındaki boşluklardan kaynaklanmaktadır.

Alt sınır değeri olarak mevcut durumda malzemelerin kapladığı alan kullanılmıştır. Üst sınır değeri ise mevcut kullanım alanın % 30 genişleyeceği varsayımı ile hesaplanmıştır. Böylelikle her geçen gün büyümekte olan fabrikanın, henüz alımı yapılmamış parçaları için aynı grupta yer alan parçaların bulunduğu yerde alan rezerv edilmiş olacaktır. Yapılan çalışmada 4 farklı kısıt altında yerleştirme yapılmıştır. Birinci yerleştirme şeklinde, sezgisel yöntemden farklı olarak malzeme gruplarının ağırlıkları, malzemenin rafa konulmasından elde edilen faydanın o malzemenin kapladığı alana bölünmesiyle değil, her bir ürün çeşidinin iş emrine aktarım sıklığına göre belirlenmiştir. Bu yöntemin dezavantajı, aynı ürün grubunda bulunan malzemelerin farklı liftlerde depolanabilmesidir. Başka bir deyişle, bir ürün grubunda bulunan parçalar miktar itibariyle birden fazla rafta depolanmayı gerektiriyorsa, ürün gruplarının aynı lifte yerleştirilmesi mümkün olmamaktadır. İkinci yerleştirme şeklinde, her bir ürün grubu aynı liftte depolanacak şekilde atama işlemi yapılmıştır. Böylelikle ürün gruplarının bütünlüğü bozulmadan aynı lifte depolanmaları sağlanmıştır. Üçüncü yerleştirme şeklinde, önerilen sezgisel yönteme uygun olarak, malzeme gruplarının ağırlıkları, o gruptaki malzemelerin iş emrine aktarım sıklığının, ürünlerin kapladığı alana bölünmesiyle elde edilmiştir. Dördüncü yerleştirme şeklinde ise, Malzemelerin sınıflandırılmasında Ng (2007) tarafından geliştirilen çok kriterli ABC analizi kullanılmıştır. Ng (2007) tarafından kullanılan modelde, geleneksel yöntemde uygulandığı şekilde sadece yıllık kullanım tutarı ölçü alınmamış, malzemelerin temin süresini ve ortalama birim fiyatlarını da içeren bir sınıflandırma yöntemi de kullanılmıştır. Ng (2007) tarafından formüle edilen yöntemde, i tane parça içeren bir stok ve bu parçaların j kriterine göre sınıflandırıldığı varsayılmıştır.

Her bir bölüm için kısmi ortalama değerler Microsoft Excel kullanılarak hesaplanmıştır. Daha sonra her bir bölüm için hesaplanan kısmi ortalama değerlerin en büyüğü o malzeme grubunun skoruna eşitlenmiştir.Skorlar büyükten küçüğe sıralanmıştır, 1-0,70 arasındaki grup A, 0,70-0,30 arası grup B, 0,30-0 arasındaki grup C olarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sonrasında 3 malzeme grubu A sınıfına, 7 malzeme grubu B sınıfına, kalanlar ise C sınıfına dahil olmuştur. Uygulanan ABC analizine göre atama işlemi yapılmıştır. Burada öncelikle fiyatı düşük ve kullanımı diğer malzeme sınıflarına göre fazla olan C gurubundaki malzemeler, sonrasında B ve en son A sınıfındaki malzemeler atanmıştır.

Her bir sınıfta bulunan malzeme gruplarının ağırlıkları ise üçüncü yöntemde olduğu gibi o gruptaki malzemelerin iş emrine aktarım sıklığının, ürünlerin kapladığı alana bölünmesiyle elde edilmiştir. Ayrıca her

dört yerleştirme şeklinde de, aynı grupta olan malzemelerin bir arada bulunması amacıyla alt sınır değerine göre değil sadece üst sınır değerine göre atama yapılmıştır. Çünkü sezgisel yöntem, ilk olarak ürünlerin ağırlıklarına göre alt sınır değeri kadar atama yapıldıktan sonra raflarda kalan boş alanlara yine ağırlıklarına göre üst sınır kadar atama yapılmasını sağlamaktadır. Bu yüzden ürün grupları aynı rafa tahsis edilmemiş olabilmektedir. Ancak sadece üst sınır değerine göre atama yapıldığında ürün grupları aynı raflara ya da bir sonraki rafa yerleştirilmektedir. Her dört yerleştirme şekli de Microsoft Excel kullanılarak yapılmıştır. 2004 yılı öncesine ait projelerin parça listelerinde geçen malzemelerin ve projeler için yedek tutulan malzemelerin kullanım olasılıklarının çok düşük olmasından dolayı, bu malzemeler sezgisel model ile yerleştirilmesi yerine, liftlerin en üst raflarına yerleştirilmesi uygun görülmüştür. Sezgisel yönteme göre yerleşimi yapılmayacak bu malzemelerin toplam alanı 1652 birim^2 olarak hesaplanmış olup, bu alan yaklaşık 23 rafa karşılık gelmektedir. Bu malzemeler gelişigüzel olarak liftlerin en üst raflarına atanmıştır.

Her bir yöntemin uygulanması ile elde edilen boş rafların 40 tanesi gereksiz malzemelerin liftlerden çıkarılması ile geri kalanı ise daha düzgün bir yerleşim yapılması sonucu elde edilmiştir. Tüm yöntemlerin uygulanması sonucu elde edilen boş raflara ise, depodaki diğer raflarda depolanan ve liftlere yerleşimi uygun bulunan malzemelerin yerleştirilmesi planlanmaktadır.

Lift yerleşiminin tamamlanmasından sonra, kit toplama süresinde yapılan iyileştirmeyi hesaplamak amacıyla, 2009 yılı üretim planından seçilen 13 adet ürünün üretilmesinde kullanılan malzemelerin hazırlanması esnasında harcanacak raf geliş süreleri dört ayrı yerleştirme şekline göre hesaplanmış olup elde edilen sonuçlar Tablo 1'te gösterilmiştir. Her bir rafın gelişi için geçen toplam süre, asansörün yatay hareket süresi olan 12 saniye ve dikey hareketin raflar arasındaki geçiş süresi olan 0,5 saniyenin raf sayısı ile çarpılması suretiyle hesaplanmıştır. Tablo 2'de ise mevcut sistem ile uygulanan dört ayrı yerleştirme şekli ile çağrılan toplam tepsi sayıları gösterilmiştir.

Sonuç olarak, tepsi geliş sürelerinde her bir yöntem ile yapılan iyileştirmeler sırasıyla % 27,94, % 28,13, % 39,68 ve % 22,06 dır. Tepsi sayılarında ise her bir yöntem ile yapılan iyileştirmeler sırasıyla % 21,13, % 18,80, % 19,78 ve % 19,18'dir. İyileştirme yüzdeleri değerlendirildiğinde tepsi geliş süresi için en iyi sonucu üçüncü yöntemin, tepsi sayısı için ise birinci yöntemin verdiği anlaşılmıştır. Raf geliş sürelerinin azalmasının nedeni raf sayısındaki azalış ve en sık kullanılan malzemelerin en yakın raflara konulmasıdır. Çağırılan tepsi sayılarında azalma olmasının nedeni ise, aynı grupta bulunan malzemelerin birlikte depolanması ve ürün gruplarının, yeni alınacak malzemeler için ayrılan boş alan dışında tepsilerde boşluk kalmayacak şekilde yerleştirilmesidir.

Tablo 3. Mevcut yerleşim ile yeni yerleşimin tepsi geliş sürelerine göre karşılaştırılması

İş Emri	Eski sistemde Tepsi Geliş Süresi (dk)	1. Durumda Tepsi Geliş Süresi (dk)	Yüzde Azalış Oranı	2. Durumda Tepsi Geliş Süresi (dk)	Yüzde Azalış Oranı	3. Durumda Tepsi Geliş Süresi (dk)	Yüzde Azalış Oranı	4. Durumda Tepsi Geliş Süresi (dk)	Yüzde Azalış Oranı
1	51,16	31,68	38,07	36,63	28,4	24,76	51,6	37,5	26,7
2	45,48	35,05	22,93	34,48	24,19	31,08	31,66	36,36	20,05
3	25,6	15,47	39,58	14,6	42,97	11,91	53,48	17,38	32,11
4	18,1	14,66	19,01	13,76	23,98	12,48	31,05	16,16	10,72
5	47,73	36,35	23,84	36,28	23,99	33,02	30,83	36,93	22,63
6	27	18,9	30	18,48	31,56	14,78	45,26	18,71	30,7
7	18,11	15,9	12,2	15,9	12,2	13,68	24,46	18,73	-3,42
8	18,68	17,7	5,25	16,63	10,97	15,23	18,47	19,93	-6,69
9	30,41	22,33	26,57	22,84	24,89	20,48	32,65	23,48	22,79
10	9,81	5,45	44,44	5,16	47,4	5,51	43,83	5,98	39,04
11	59,42	41,55	30,07	44,13	25,73	31,11	47,64	43,48	26,83
12	64,63	42,16	34,77	41,13	36,36	30,91	52,17	44,03	31,87
13	65,36	41,55	36,43	43,73	33,09	30,91	52,71	43,48	33,48
Ortalama Yüzde Azalış Oranı			**27,94**	**28,13**		**39,68**		**22,06**	

Tablo 4. Mevcut yerleşim ile yeni yerleşimin çağrılan tepsi sayısına göre karşılaştırılması

İş Emri	Eski Sistemde Çağırılan Tepsi Sayısı	1. Durumda Çağırılan Tepsi Sayısı	Yüzde Azalış Oranı	2. Durumda Çağırılan Tepsi Sayısı	Yüzde Azalış Oranı	3. Durumda Çağırılan Tepsi Sayısı	Yüzde Azalış Oranı	4. Durumda Çağırılan Tepsi Sayısı	Yüzde Azalış Oranı
1	68	45	33,82	53	22,06	46	32,35	48	29,41
2	59	57	3,39	56	5,08	55	6,78	55	6,78
3	34	24	29,41	23	32,35	24	29,41	24	29,41
4	26	21	19,23	21	19,23	24	7,69	24	7,69
5	64	59	7,81	59	7,81	59	7,81	58	9,38
6	36	27	25	30	16,67	27	25	28	22,22
7	29	26	10,34	27	6,9	26	10,34	33	-13,8
8	30	29	3,33	28	6,67	29	3,33	28	6,67
9	42	35	16,67	36	14,29	37	11,9	34	19,05
10	13	10	23,08	10	23,08	11	15,38	10	23,08
11	89	58	34,83	62	30,34	57	35,96	56	37,08
12	88	59	32,95	62	29,55	57	35,23	57	35,23
13	89	58	34,83	62	30,34	57	35,96	56	37,08
Ortalama Yüzde Azalış Oranı			**21,13**	**18,8**		**19,78**		**19,18**	

5. SONUÇ

Yapılan çalışmada MİKES A.Ş.'deki depo yerleşimi incelenmiş ve depoda meydana gelen gereksiz zaman kayıpları, siparişlerin gecikmesi, müşteri kayıpları, demode malzemelerin sayısındaki artış nedeniyle stok maliyetlerindeki artış gibi sorunları ortadan kaldırmak amacıyla depo yerleşimi ele alınmıştır. Depoda en çok yer sıkıntısına neden olan üç adet liftte boş yer elde edilebilmesi amacıyla depolanan malzemelerin kullanıldıkları

projeler ve iş emrine çıkış hareketleri incelenerek kullanılma olasılığının olmadığı ya da çok düşük olduğu malzemelerin liftlerden çıkarılmaları planlanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonrasında seçilen bu malzemelerin liftlerden toplanmasıyla yaklaşık % 17 boş alan elde edilmiştir.

Yapılan çalışmanın diğer kısmında sadece parasal değerine bakılarak yapılan malzeme sınıflandırmasından kaynaklı olarak amacı doğrultusunda yapılamayan sayım işlemlerinden dolayı ortaya çıkan sorunların giderilmesi amacıyla çok kriterli ABC yönetimi uygulanmıştır. Çok kriterli ABC analizinin uygulanma sebebi, stok kontrolde sadece yıllık kullanım değerinin yeterli bir kriter olmaması, birim fiyatın ve temin sürelerinin de malzemenin önem derecesini etkilemesidir. Uygulama her bir ürün grubunun ortalama birim fiyatı, yıllık ortalama kullanım tutarı ve temin sürelerinden yola çıkılarak yapılmıştır. Çalışmanın sonunda elde edilen sınıflandırma ile aynı ürün gurubunda yer alan her bir ürün çeşidi aynı sınıfa dahil edilmiştir. Sınıflandırma sonrasında sayım işlemleri ile doğru malzemenin doğru zaman aralıklarında kontrolünün yapılması hedeflenmiştir. Böylelikle eksik malzemelerin sevkiyat ve üretim zamanlarından önce tespit edilerek önlem alınmış ve siparişlerin gecikme problemi ortadan kaldırılmış olacaktır. Gerçekte önem derecesi düşük olan malzemelerin ise sık sayım işlemlerinde harcanan gereksiz süreler ortadan kalkmış ve gereksiz yere fazla mesai yapılmasına ihtiyaç duyulmayacaktır.

Çalışmanın son bölümünde liftlerdeki malzemelerin düzensiz yerleşiminden dolayı malzeme erişebilirlik süresinin artması problemini ortadan kaldırmak amacıyla matematiksel bir model ayrıntılı incelenmiş ve önerilen sezgisel yöntem temel alınarak raf yerleşimleri düzenlenmiştir. Yapılan çalışmada 4 farklı yöntem ile yerleştirme yapılmıştır. Birinci yöntemde, sezgisel yöntemden farklı olarak, yerleştirme işlemi ürün gruplarının iş emrine aktarım sıklığına göre belirlenmiştir. İkinci yöntemde, her bir ürün gurubunun aynı lifte depolanacak şekilde atama işlemi yapılmıştır. Üçüncü yöntemde önerilen sezgisel yönteme daha uygun olarak, malzeme gruplarının ağırlıkları o gruptaki malzemelerin iş emrine aktarım sıklığının kapladığı alan bölünmesiyle elde edilmiştir. Dördüncü yöntemde ise ABC sınıflarına bakılarak yerleştirme yapılmıştır. Her dört yöntem dikkate alınarak yerleşimin yapılması sonucunda kit hazırlama esnasında çağrılan raf sayısında yaklaşık sırası ile % 21,13, % 18,80, % 19,78 ve % 19,18 iyileştirme ve raf geliş sürelerinde yaklaşık % 27,94, % 28,13, % 39,68 ve % 22,06 iyileştirme sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

1. Heragu, S.S., Du, L., Mantel, R.J., Schuur, P.C., "Mathematical model for warehouse design and product allocation",**International Journal of Production Research,** 43 (2): 327–338 (2005).
2. Le-Duc, T. "Design and contol of efficient order picking processes", Doktora Tezi, **Erasmus Research Institute of Management,** Rotterdam, 12-16 (2005).
3. İmrak, E. ve Gerdemeli, İ., "Endüstriyel depolama teknikleri" **Transport Tekniği Ders Notları,** http://transport.itu.edu.tr/PDF/mak419/MAK419-3.pdf (2006).
4. Chen, M.C. ve Lin, C.P. "A data mining approach to product assortment and shelf space allocation" **Expert Systems with Applications,** 32: 976-986 (2007).
5. Yang, M.H., "An efficient algortihm to allocate shelf space" **European Journal of Operational Research**, 131: 107-118 (2001)
6. Hwang, H., Choi, B. Ve Lee, M.J., "A model for shelf space allocation and inventory control considering location and inventory level effects on demand" **Inernational Journal of Production Economies,** 97: 185-195 (2005).
7. Dreze, X., Hoch, S.J., Purk, M. E., "Shelf management and space elasticity", **Journal of Retailing**, 70(4):301-326 (1994).
8. Partovi, F.Y. ve Anadarajan, M: "Classifying inventory using an artificial neural network approach", **Computers and Industrial Engineering,**41: 389-404 (2002).
9. Chen, Y., Li, K.W., Kilgour, D. M., Hipel K. W. "A case-based distance model for multiple criteria ABC analysis" **Computers and Operations Rrsearch,**35:776-796 (2008).
10. Ng, W.L. "A simple classifier for multiple criteria ABC analysis" **European Journal of Operational Research,** 177: 344-353 (2007).
11. Hadi-Vencheh., A. "An improvement to multiple criteria-ABC inventory classification" **European Journal of Operational Research,** doi:10.1016/j.ejor.2009.04.013 (2009).
12. Hariga, M.A., Al-Ahmari, A., Mohamed, A.R.A. "A joint optimisation model for inventory replenishment, product assortment, shelf space and display area aloocation decisions", **European Journal of Operational Research,** 181: 239-251 (2007).
13. İnternet: İstanbul Teknik Üniversitesi "Transport Tekniği Ders Notları" http://transport.itu.edu.tr/PDF/mak419/MAK419-3.pdf (2006).
14. İnternet: İstanbul Teknik Üniversitesi "Transport Tekniği Ders Notları" http://transport.itu.edu.tr/PDF/mak419/MAK419-14.pdf (2006).

15. Koster, R.D., Le-Duc, T., Roodbergen, A., "Design and control of warehouse order picking: a literature review", **European Journel of Operational Research**, 182: 481-501 (2007).
16. Reyes, P. M. Ve Frazier, G. V. "Goal programming model for grocery shelf space allocation" **European Journal of Operational Research**, 181: 634-644 (2007).
17. Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., Houtum, G.J.V., Mantel, R.J., Zijm, W.H.M., " Warehouse design and control: Frame and literature review", **European Journel of Operational Research**, 122: 515-533 (2000).
18. Urban, T. L. "An inventory theoretic approach to product assortment and shelf space allocation", **Journal of Retailing**, 74: 15-35 (1998).

A Heuristic Method for Constrained Consumable Resource Allocation in Alternative Fuzzy Networks

S. S. Hashemin*

Department of Industrial Engineering, Ardabil Branch, Islamic Azad University, Ardabil, Iran
sshashemin@iauardabil.ac.ir
s_s_hashemin@yahoo.com

Abstract

Some of real projects are completing through the realization of one and only one path of various possible network paths. Besides, in real cases, activity times are nondeterministic. In this paper, these networks are called alternative fuzzy networks (AFN). It is supposed that the nodes of considered network are probabilistic with exclusive-or receiver and exclusive-or emitter and activity times are nondeterministic and can be cited with trapezoidal fuzzy numbers. This paper studies the constrained consumable resource allocation problem in AFN. A heuristic method is developed for allocating the constrained consumable resource among the project activities. The aim is to complete the project in the earliest time. This heuristic method is illustrated by an example.

Keywords: Constrained Resource Allocation, Alternative Fuzzy Networks, Consumable Resource, Heuristic Methods, Trapezoidal Fuzzy Number.

1. Introduction

In many real-world projects, the realization of activities and their durations are non-deterministic. A non-deterministic character may be stochastic or fuzzy.
Previous researchers supposed that the realization of activities and their durations are stochastic [16]-[17]. This is the reason of GERT-type networks creation. On the other hand, completion of projects on time has a significant effect on their costs, revenue and usefulness. So, suitable resource allocation and acquisition of the network completion time will be valuable. Some new analytical methods for determining the completion time of GERT-type networks have been proposed in [4]-[18]. The main problem of these methods is its high complexity of relations and computations.
Recent works define the fuzzy characters for project networks because the fuzzy models are closer to reality and simpler to use [13]. Many of new works are related to the fuzzy PERT-type networks [1]-[2]-[7]-[9]-[14]-[19] and just few of them are related to the GERT-type networks. Based on fuzzy GERT-type networks, [3] proposes a new applicable technique for research project scheduling. In this project, nodes are fuzzy and output activities from nodes of network belong to a fuzzy set. This method computes the network completion time as a fuzzy number. Reference [12] believes that the traditional GERT networks cannot reflect the characteristics of real-world network problems and uses the triangular fuzzy numbers to formulate the fuzzy GERT model.
Many of real projects complete through the realization of one and only one path of various possible network paths and the aim of the present paper is studying this case. Here, these networks called alternative fuzzy networks (AFN). This paper combines the randomness and fuzziness in above-mentioned networks. Fuzziness and randomness are two basic types of uncertainty. In many cases, fuzziness and randomness simultaneously appear in a system. Fuzzy random variable (fuzzy-valued random variable) and random fuzzy variable are instances of hybrid variable [10]. A fuzzy random variable is a random element that takes fuzzy variable values [5]-[6]. In addition, a random fuzzy variable is a fuzzy element that takes random variable values [11]. Although many types of fuzzy sets have been used to describe uncertainties, triangular and trapezoidal fuzzy sets (fuzzy numbers) are applied to describe uncertain activity duration in the research [20].
However, this paper studies the constrained consumable resource allocation in alternative fuzzy networks. It is supposed that nodes of considered network are probabilistic with exclusive-or receiver and exclusive-or emitter. Also, it is supposed that the activity duration is a positive trapezoidal fuzzy number. Parameters of the activity duration depend on the amount of resource allocated to it. An algorithm as a heuristic is developed for allocating the constrained resource to the activities such that the completion time of project is decreased. After the allocation of constrained resource among the activities, the network completion time can be computed as a

fuzzy-valued random variable. Then, the probability function of fuzzy completion time of network has been determined. Finally, the expected value of fuzzy completion time of network is defined as a fuzzy number.
The paper has the following structure. Section 2 introduces the definitions, operations. The problem is described in section 3. Section 4 introduces the notations. Section 5 defines the paths matrix. Section 6 is developed the new heuristic method for consumable constrained resource allocation in alternative fuzzy networks. Section 7 gives a numerical example to demonstrate how the proposed method works. Section 8 is devoted to conclusions and recommendations.

2. Definitions and Operations

2.1. Definitions

In this section, some basic notions of fuzzy theory that have been defined in [21] are introduced.

Definition 1: Let R be the set of real numbers. A fuzzy set $\tilde{A}$ is a set of ordered Pairs $\{(x, \mu_{\tilde{A}}(x) \mid x \in R\}$, where $\mu_{\tilde{A}}(x) : R \to [0,1]$ and is called the membership function of the fuzzy set.

Definition 2: A convex fuzzy set, $\tilde{A}$, is a fuzzy set in which:

$$\forall\, x, y \in R, \forall\, \lambda \in [0,1],$$
$$\mu_{\tilde{A}}(\lambda x + (1-\lambda) y) \geq \min[\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{A}}(y)]$$

Definition 3: A fuzzy set $\tilde{A}$ is called positive if its membership function is such that

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = 0, \forall x \leq 0$$

Definition 4: Trapezoidal fuzzy number (TFN) is a convex fuzzy set, which is defined as: $\tilde{A} = (x, \mu(x))$ where

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \dfrac{x-a}{b-a} & a < x \leq b \\ 1 & b < x \leq c \\ \dfrac{x-d}{c-d} & c < x \leq d \\ 0 & x < d \end{cases}$$

For convenience, TFN represented by four real parameters a,b,c,d ($a \leq b \leq c \leq d$) will be denoted by a tetraploid (a,b,c,d) (Fig.1)

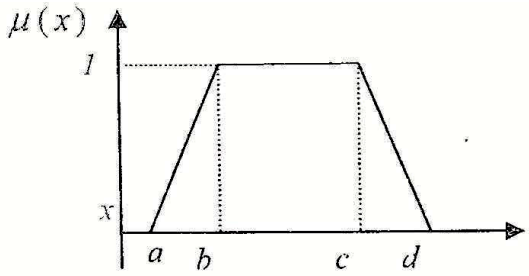


Fig.1 Trapezoidal

Definition 5: A trapezoidal fuzzy number $\tilde{A}$=(a,b,c,d) is called positive TFN if: $0 \leq a \leq b \leq c \leq d$.

2.2. Operation on TFNs

A number of operations can be performed on TFNs. Fuzzy addition and fuzzy scalar multiplication has been

defined in [8].

Fuzzy addition: Let $\tilde{A} = (a_1, b_1, c_1, d_1)$ and $\tilde{B} = (a_2, b_2, c_2, d_2)$ be any two TFNs, then

$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2, d_1 + d_2)$

Fuzzy scalar multiplication: Let $\tilde{A} = (a_1, b_1, c_1, d_1)$ be any TFN and q be any real number, then

$q \odot \tilde{A} = (qa_1, qb_1, qc_1, qd_1)$

3. The Problem Description

Suppose that a project is formulated as an AFN and has the following characteristics:
a) Network has a single source node and it can have one or more sink nodes.
b) Network contains only nodes with exclusive-or receiver and exclusive-or emitter.
c) Network does not contain any loop.
d) Activity implementation requires only one kind of consumable (non-renewable) resource.
e) The amount of available resource is limited and deterministic.
f) Resource allocation to activities is performed discretely. In other words, the amount of the resource allocated to each activity is limited to some specific levels.
g) Duration of network activities is arbitrary TFN or they can have constant values.
h) Completion time of activities as TFN is dependent on the amount of resource allocated to the activity and varies as this amount changes. By increasing the allocated resource to each activity, completion time of it will be shorter.

4. Notations

N	Number of activities
R	Number of paths
P_{ij}	Occurrence probability of j-th path which terminates in i-th sink node
$\overline{P}_k$	Accomplishment probability of k-th activity, given that start node of this activity has occurred
S_{ij}	Activity set of j-th path which terminates in i-th sink node
t_k	Completion time of k-th activity as TFN
s_{l_k}	The amount of resource allocated to k-th activity
$\bar{t}_k(s_{l_k})$	Estimated crisp value for completion time of k-th activity when the amount of resource allocated to k-th activity is s_{l_k}
Rs	The available amount of limited resource
$\mu_{t_k}(s_{l_k}, t_k)$	Membership function of k-th activity completion time, when the allocated resource is s_{l_k}
$T(A_{ij})$	Completion time of j-th path which terminates in i-th sink node
T	Completion time of network

5. Paths matrix

Structure of network can be shown by a matrix M. M is a matrix with R rows and N columns. Elements of matrix M are shown by m_{ijk}, $k = 1,2,..., N$ and it is defined as $m_{ijk} = 1$ if $k \in S_{ij}$ otherwise $m_{ijk} = 0$.

6. Proposed Heuristic Method

Steps of proposed heuristic method are as below:

Step 1. Allocate the maximum value for s_{l_k}, $\forall k$.

Step 2. If $\forall ij, \sum_{k\in S_{ij}} s_{l_k} \le Rs$ then stop, otherwise go to step 3.

Step 3. Determine the $P_{uv} = \underset{ij}{Min}\{P_{ij} \mid \sum_{k'\in S_{ij}} s_{l_{k'}} > Rs\}$ such that $P_{ij} = \prod_{k\in S_{ij}} \bar{p}_k$

Step 4. For all activities of S_{uv} compute the

$$w_r = \underset{k\in S_{uv}}{Min}\{w_k = \sum_{ij}(P_{ij}\sum_{k'\in S_{ij}} \bar{t}_{k'}(s_{l_{k'}}))m_{ijk}\} \quad (1)$$

Such that

$$\bar{t}_{k'}(s_{l_{k'}}) = \frac{\int_a^b t_{k'}\mu_{t_{k'}}(t_{k'}, s_{l_{k'}})dt_{k'}}{\int_a^b \mu_{t_{k'}}(t_{k'}, s_{l_{k'}})dt_{k'}} \quad (2)$$

then decrease the resource allocated to activity $r \in S_{uv}$ i.e. $s_{l_r} \leftarrow s_{l_r-1}$ then returns to step 2.

7. Example

Consider the network Fig. 2. The amount of limited resource is 15 units.

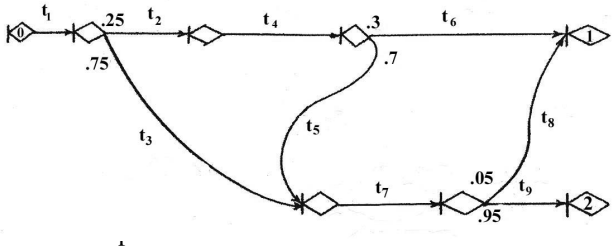


Fig.2 The netwo

Activity set of paths and their realization probabilities are

$t_1 + t_3 + t_7 + t_9$

$P_{21} = \bar{P}_1\bar{P}_3\bar{P}_7\bar{P}_9 = (1)(.75)(1)(.95) = .7125$

$t_1 + t_2 + t_4 + t_5 + t_7 + t_9$

$P_{22} = \bar{P}_1\bar{P}_2\bar{P}_4\bar{P}_5\bar{P}_7\bar{P}_9 = (1)(.25)(1)(.7)(1)(.95) = .16625$

$t_1 + t_2 + t_4 + t_6$

$P_{11} = \bar{P}_1\bar{P}_2\bar{P}_4\bar{P}_6 = (1)(.25)(1)(.3) = .075$

$t_1 + t_3 + t_7 + t_8$

$P_{12} = \bar{P}_1\bar{P}_3\bar{P}_7\bar{P}_8 = (1)(.75)(1)(.05) = .0375$

$t_1 + t_2 + t_4 + t_5 + t_7 + t_8$

$P_{13} = \bar{P}_1\bar{P}_2\bar{P}_4\bar{P}_5\bar{P}_7\bar{P}_8 = (1)(.25)(1)(.7)(1)(.05) = .00875$

Table 1 contains the information of the activity times.
Hence, the equivalent network is as shown in Fig.3

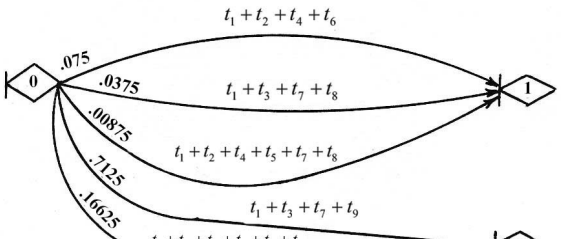


Fig.3 Equivalent network

Table 1. Information of the activity times of example

k	l_k	s_{l_k}	a_k	b_k	c_k	d_k
1	1	4	2	3	5	6
	2	5	1	2	4	5
2	1	1	2	3	4	5
	2	2	1	2	3	4
3	1	5	3	4	5	6
	2	6	2	3	4	5
4	1	1	2	3	4	5
	2	2	1	2	3	4
5	1	1	3	4	5	6
	2	2	2	3	4	5
6	1	5	3	4	5	6
	2	6	2	3	4	5
7	1	3	2	3	5	6
	2	4	1	2	4	5
8	1	1	2	3	4	5
	2	2	1	2	3	4
9	1	1	2	3	4	5
	2	2	1	2	3	4

By using the proposed heuristic method, resource allocable to activities are obtained as below:

$s_{l_1}^* = 5, s_{l_2}^* = 2, s_{l_3}^* = 5, s_{l_4}^* = 1, s_{l_5}^* = 1,\ s_{l_6}^* = 6,\ s_{l_7}^* = 3,\ s_{l_8}^* = 1,\ s_{l_9}^* = 2$

Respect to allocated resource to activities of AFN in example, the probability function of completion time of network (which is a fuzzy-valued random variable) can be obtained as follows.

$$p(T = T(A_{ij})) = 0.075 \qquad i = 1, j = 1, T(A_{11}) = (6,10,15,19)$$
$$= 0.0375 \quad i = 1, j = 2, T(A_{12}) = (8,12,18,22)$$
$$= 0.00875 \quad i = 1, j = 3, T(A_{13}) = (11,17,25,31)$$
$$= 0.7125 \quad i = 2, j = 1, T(A_{21}) = (7,11,17,21)$$
$$= 0.16625 \quad i = 2, j = 2, T(A_{22}) = (10,16,24,30)$$

Expected network completion time can be computed as trapezoidal fuzzy number.

$$E(T) = \sum_{i=1}^{M} \oplus \sum_{j=1}^{n_i} \oplus P_{ij} \odot T(A_{ij})$$

$= 0.075 \odot (6, 10, 15, 19)$

$\oplus\ 0.0375 \odot (8, 12, 18, 22)$

$\oplus\ 0.00875 \odot (11, 17, 25, 31)$

$\oplus\ 0.7125 \odot (7, 11, 17, 21)$

$\oplus\ 0.16625 \odot (10, 16, 24, 30) = (7.49625, 11.84625, 18.12125, 22.47125)$

8. Conclusions and Recommendations

Proposed heuristic method has no limitations related to the type of fuzzy numbers of activity times. Because relation 1, 2 are general and can be used for other fuzzy numbers. In the simple example of the paper all possible allocations can be determined. Different allocations can be compared by a ranking fuzzy number method. We proposed the method described in [15]. So, we can know that the answer of proposed method is optimal. However, in large scale projects, needed computational efforts may be high.

In this paper, proposed method was designed to be applicable for alternative fuzzy networks with exclusive-or, probabilistic nodes. Constrained resource allocation in AFN with other types of nodes is recommended as an area for future studies.

The proposed heuristic method can be extended for the case where several types of limited resources are concerned.

References

[1] Chanas S., Zielinski P. (2001), Critical path analysis in the network with fuzzy activity times, Fuzzy Sets and Systems, 122,195-204.

[2] Chen C.T. and Hung S.F. ,2007, Applying fuzzy method for measuring criticality in project network, Information Science, 177(12)2448-2458.

[3] Gavareshki M. H .K., 18-21 Oct 2004, New fuzzy GERT methods for research project scheduling, Proceeding of Engineering Management Conference, IEEE International,vol.2,820-824.

[4] Hashemin S.S. and Fatemi Ghomi S. M. T., Sep. 2005,A hybrid method to find cumulative distribution function of completion time of GERT networks, Journal of Industrial Engineering International, 1(1) 1-9.

[5] Kwakernaak H., 1978, Fuzzy random variables-I: Definitions and theorems, Information Science, 15,1-29

[6] Kwakernaak H.,1979, Fuzzy random variables-II: Algorithms and examples for discrete case, Information Science,17,253-278.

[7] Kuchta D., 2001, Use of fuzzy numbers in project risk (criticality) assessment, International Journal of Project Management, 19(5) 305-310

[8] Lai Y. and Hwang C., 1992, Fuzzy mathematical programming methods and applications, Springer-Verlag , New York, 66-72

[9] Lin F.T. ,YaoJ.S. , 2003, Fuzzy critical path method based on signed-distance ranking and statistical confidence-interval estimates, Journal of super computing, 24(3), 305-325

[10] Liu B., 2008, Fuzzy Process, Hybrid Process and Uncertain Process, Journal of Uncertain Systems, 2(1) 3-16.

[11] Liu B., 2002, Theory and practice of uncertain programming, Physica-Verlag, Heidelberg.

[12] Liu S.Y., Liu S.C. and Lin J.W., 2004, Model formulation and development of fuzzy GERT networks, Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers, (21) 156-166.

[13] Lootsma F. A., 1989, Theory and Methodology stochastic and fuzzy PERT, European Journal of Operational Research, 143(2)174-183.

[14] McCahon C.S. and Lee E.S., 1988, Project network analysis with fuzzy activity times, Computer and Mathematics with Applications, 15(10) 829-838.

[15] Modarres M. and Sadi-Nezhad S., 2001 ,"Ranking fuzzy numbers by preference ratio" Fuzzy Sets and Systems, 118(3) 429-436.

[16] Pritsker A. A. B. and Happ W. W., May 1966, GERT: Graphical evaluation and review technique, Part I, Fundamentals, Journal of Industrial Engineering, 17(5)267-274.

[17] Pritsker A. A. B. and Whitehouse G. E., June 1966,GERT: Graphical evaluation and review technique, Part II, Probabilistic and industrial engineering applications, Journal of Industrial Engineering, 17(6) 293-300.

[18] Shibanov A.P., 2003,Finding the distribution density of the time taken to fulfill the GERT network on the basis of equivalent simplifying transformation, Automation and Remote Control, (64) 279 - 287.

[19] Shipley M.F., Korvin A.D. and Omer K., 1997, BIFPET methodology versus PERT in project management: fuzzy probability instead of the beta distribution, 14(1) 49-65.

[20] Zhang H., Tam C.M. and Li H., 2005, Modeling uncertain activity duration by fuzzy number and discrete-event simulation, European Journal of Operational Research, (164) 715-729.

[21] Zimermann H. J., 1996, Fuzzy set theory and its applications, 3rd Edition, Kluwer Academic Publishers, Boston.

KÜRESEL MORTGAGE KRİZİ SONRASI TÜRKİYE BANKACILIK SEKTÖRÜNDE BİLANÇOYA DAYALI MALİ ETKİNLİK ANALİZİ

Yrd. Doç. Dr. Sibel ATAN
Gazi Üniversitesi
sduman@gazi.edu.tr

ÖZET
Küreselleşmenin bir sonucu olarak ekonomilerin giderek karmaşıklaştığı, insan kaynaklarının geliştirilmesinin zorunlu hale geldiği ve rekabet gücünün hızla arttığı günümüzde, ciddi planlama analizlerinin gerekliliği sonucu ortaya çıkmıştır. Bankalar fon arz eden kişi ve kurumlardan topladıkları fonları nakit ihtiyacı olan kişi ve kuruluşlara aktarır ve böylelikle üretim ve tüketimi finanse eden, mali nitelikli aracı kuruluşlardır. Finansal krizlerin küresel ekonomiler için önemli bir yeri bulunmaktadır. Yaşanan küresel krizler ulusal ekonomiler için ciddi sonuçlar yaratmaktadır. Bu çalışmada, küresel Mortgage (tutsat) krizinin dünya bankacılık sektörü üzerindeki etkilerinden yola çıkılarak krizin Türk bankacılık sektörüne etkileri incelenmiştir. Özellikle bankacılık sektörünün verimliliğini ölçmek sadece bankaların kendisi için değil tüm ülke hatta tüm dünya için çok önemli bir sonuç haline gelmiştir. Günümüzde yaşanan rekabet, bankaları kaynaklarını en etkin biçimde kullanmaya zorlamaktadır. Bankalar hedeflenen planlarından sapmalarını belirlemek, rekabet sürecinin neresinde olduklarına karar verebilmek için dönemsel bazda çeşitli ölçümlere ihtiyaç duymuşlardır. Yaşanan rekabet onları kaynaklarını en etkin biçimde kullanmaya zorlamıştır. Bunu sağlamak için bankaların rekabet ettikleri sektör içinde performanslarını göreli olarak değerlendirmeleri ve etkinlik sınırında yer almak için referans almaları gereken bankaları belirlemeleri gerekmektedir. Bu çalışmada 2008 Mart ile 2010 Eylül üçer aylık bilanço dönemleri 11 ayrı dönem için Türkiye'de bankacılık sektöründe faaliyet gösteren toplam 27 ticaret bankasının etkinlikleri araştırılmıştır. Ayrıca potansiyel iyileştirme analizi ile etkin olmayan bankalar olarak tespit edilen bankaların, geleceğe yönelik yönetsel kararlarında, girdi ve çıktı bileşimlerini gözden geçirmeleri önerilmektedir. Analiz sonuçları, CCR modeline göre bankaların büyük çoğunluğunun etkinlik sınırına ulaşamadığı yönündedir. BCC modeline göre ise sektörün yaklaşık yarısı (%44) etkinliğe ulaşabilmektedir.
Anahtar Kelimeler: Yöneylem Araştırması, Veri Zarflama Analizi, Bankacılık, Doğrusal Programlama, Finansal Kriz

1. GİRİŞ
Bankalar fon sunan kişi ve kurumlardan aldıkları fonları fon isteminde bulunan kişi ve kuruluşlara aktarır. Bankalar piyasada bu kredi plasmanı ile üretim ve tüketimi finanse eden, mali nitelikli aracı kuruluşlardır. Küreselleşme; milli, ekonomik, politik, kültürel yapının bir dizi uluslararası gelişme ile koalisyonudur. Küreselleşme, ülkeler arasında etkileşime neden olur. Teknolojik gelişmelerin katkısıyla bu etkileşimin finansal işlemlere yansıması bankacılık sektöründe etkili olmaktadır. Finansal krizlerin küresel ekonomiler için önemli bir yeri bulunmaktadır. Küresel krizler ulusal ekonomiler için ciddi sonuçlar yaratmaktadır. Özellikle küreselleşmenin etkisi ile uluslararası finans piyasaları daha kolay bütünleşmektedir. Ancak bu durumda yaşanan kriz diğer ülkelere daha kolay yayılmaktadır.
2006 yılında ABD'de Mortgage (tutsat) piyasasındaki geri ödeme sorunları şeklinde başlayan kriz 2007 ve 2008 yıllarında tüm dünyada küresel bir likidite ve kredi krizine dönüşerek finansal piyasalardaki "güven" ilkesine büyük zarar vermiştir. Bu krizi 2008'de finans şirketlerinin iflası ile başlayan ve özellikle bankacılık ve finans alanlarında da yeni bir kriz olarak karşımıza çıkmıştır.
Bu çalışmada, küresel Mortgage (tutsat) krizinin Türk bankacılık sektörüne etkileri incelenmektedir. Özellikle Türk bankacılık sektörün veri zarflama analizi ile bilânçoya dayalı mali etkinlik ve verimlilik analizi yapılmıştır.

2. 2008 Mortgage Krizi
Mortgage (tutsat) sistemi, ABD gibi gelişmiş ülkelerde gayrimenkul finansman sistemi olarak uzun süredir uygulanmaktadır. Mortgage (tutsat), kişilerin kira öder gibi konut sahibi olmasını hedefleyen bir gayrimenkulün ipotek gösterilmesi suretiyle kredi alınması yöntemidir. Mortgage (tutsat), konut sahibi olmak isteyen kişilerin uzun vadeli ve düşük faiz oranları ile konut sahibi olmasını amaçlayan bir sistemdir. Mortgage (tutsat) sisteminde, gayrimenkulüne ipotek konulmak suretiyle borçlanan kişi borcunu önceden belirlenen vade içinde ödemeyi kabul etmektedir. Eğer borçlu kişi borcunu belirlenen vade süresi içinde ödeyemez ise, kredi veren finansör kredi karşılığı ipotek konulan gayrimenkulü satarak alacağını bu satıştan tahsil etme hakkına sahiptir (Ateş, 2005: 50).
Dünyanın en büyük ekonomisi olarak kabul edilen ABD'den başlayıp izleyen süreçte Avrupa'ya yayılan küresel krizin temelinde Mortgage (tutsat) piyasasına ilişkin yaşanan sorunlar vardır. Bu krizin temelinde Mortgage (tutsat) kredilerinin yapısının bozulması, faiz yapısının uyumsuzlaşması, konut fiyatlarındaki balon artışlar,

menkul kıymetlerin fonlanmasında yaşanan sıkışıklık, kredi türev piyasalarının genişlemesi ve kredi derecelendirme sürecindeki sorunlar vardır (Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş., 2008: 1).
ABD'de alt kategori kredi borçlularının geri ödeme güçlüğüne düşmesi ile tetiklenen kriz, yatırımcıların risk almadan kazanç elde etme isteği sebebiyle düşük maliyetli, kolay kredi imkânlarına bağlı olarak tüketicilerin aşırı borçlanmasına ve kontrolsüz kredi genişlemesine neden olmuştur. Bu durum Mortgage (tutsat) sistemin kırılganlığını arttırmıştır.
Mortgage (tutsat) krizin, küresel anlamda piyasalara olan en önemli etkisi olarak banka kredilerinde maliyetlerin aşırı yükselmesi, kredi verme standartlarının yükselmesi ve kullandırılan kredi miktarlarının önemli ölçüde kısıtlanmış olmasıdır. Bu nedenle gelişmekte olan ülkeler dış finansman açısından ciddi daralma yaşamaktadır. Kriz sonrası özellikle uluslararası piyasalarda yaşanan gelişmeler sonucunda yaşanan likidite kıtlığı, batık kredilerin değeri hakkındaki belirsizlikler ve sermaye yetersizlikleri nedeniyle birçok ülke politik ve teknik önlemler almaya çalışmışlardır.

2.1 2008 Mortgage Krizinin Türk Bankacılık Sektörüne Etkileri

Ülkemizde Mortgage (tutsat) piyasası dünyada bu uygulamayı kullanan diğer ülkelerden özellikle ABD'den farklı yapıda çalışmaktadır. Bu nedenle Türk bankacılık sektörü, ABD Mortgage (tutsat) piyasası temelli başlayan küresel mali krizden farklı şekilde etkilenmiştir. Türk bankacılık sektörü bu kriz döneminde geçmiş tecrübelerinin etkisi ile özellikle sermaye yeterliliği konusundaki yeterliliği nedeniyle sadece yurtdışından sağlanan kredi fonlarında maliyet artışı ve ekonomik açıdan finans ve sigorta, gayrimenkul, inşaat ve madencilik sektörü başta olmak üzere çeşitli sektörlerdeki büyümedeki yavaşlama dışında önemli sorunlar yaşamamıştır.

Ülkemizde Mortgage (tutsat) krizi dönemleri içinde Temmuz 2008 itibariyle ülkemizde özel sektörün 140.435 Milyon $ borcu vardır. Bunun 45.810 Milyon $'ı finans kesimine (bankalar ve banka dışı finansman kuruluşlarına) aittir. Bu borcun yaklaşık yarısı 24 ay ve üstünde vadeye sahip iken diğer kısmı ise 0 – 24 ay arası vadelerdedir. Bu dönemde bankaların döviz pozisyonlarında önemli bir açık bulunmaması nedeniyle büyük bir döviz talebinde bulunmayacakları ve Merkez Bankası'nın 77 Milyar $'lık, bankaların ise yaklaşık 40 Milyar $'lık döviz rezervleri dikkate alındığında; özel sektör ve bilhassa reel sektör borcunun servisinde bir sorun olmayacağı düşünülmektedir.
Uluslararası finansal piyasalarda yaşanan krizin bir etkisi de kredi hacminde ortaya çıkan daralmadır. Bu dönemde borçlanma kompozisyonuna incelendiğinde; toplam borçlarının %35,7'sini oluşturan bankacılık sektörünün daha fazla sabit faizli borçlanma yoluna gittiği gözlemlenmiştir. Bankacılık kesimi reel sektöre nazaran, sabit faizli $ kredilerde 2,4 ve Avro kredilerde yaklaşık 2 puan daha ucuza borçlanmıştır.
Türkiye yüksek cari açık ve finansman ihtiyacı nedeniyle küresel finans piyasalarındaki dalgalanmalardan en fazla etkilenebilecek ülkeler arasında yer almaktadır. Uluslararası sermayenin risk alma iştahındaki zayıflama nedeniyle ülkemize olan yabancı sermaye girişi azalmıştır ve bunun sonucu olarak son yıllarda büyük oranda dış kaynağa bağlı bir gelişim gösteren büyüme hızımız yavaşlamıştır. (Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş., 2008: 9).

3. Veri Zarflama Analizi (VZA)

Veri zarflama analizi ilk olarak 1957 yıllında M. Farrell tarafından ortalama performans ölçütüne karşılık ortaya atılan etkin sınır fonksiyonu önerisi ile şekillenmiş, Charnes, Cooper, Rhodes (1978) ve Banker Charnes, Cooper (1984) çalışmalarıyla bu günkü haline gelmiştir.
VZA, birden çok girdi ve çıktıya sahip karar verme birimlerindeki (KVB) hem girdilerin hem de çıktıların nesnel biçimde etkinlik endeksi içinde birleştirilemediği durumlarda göreceli etkinlik ölçümü için kullanılan doğrusal programlama tabanlı bir yöntemdir. VZA'nın temelinde benzer karar birimleri arasında gözlenen girdi ve çıktılar esas alınarak göreceli teknik etkinliklerinin değerlendirilmesi yatmaktadır.
VZA, çoklu girdi ve çıktı değişkenlerinin bir doğrusal programlama modelinde kullanılarak her bir gözlem için bir tek etkinlik skorunun elde edilmesini sağlar. Seçilen modele göre; amaç fonksiyonunun değeri 1'e (%100) eşit olan karar verme birimleri "etkin"; 1'den küçük olan karar verme birimleri ise "etkinsiz" olarak belirtilirler.
VZA, homojen oldukları varsayılan karar verme birimlerini kendi aralarında kıyaslamaktadır. Bu kıyas sonunda en iyi gözlemi etkinlik sınırı olarak kabul eder. Daha sonra, diğer karar verme birimleri bu en etkin sınıra göre değerlendirmektedir.
VZA'da kullanılan modeller, girdi ya da çıktı yönelimli olarak çözülebilir. Burada girdi yönelimlilik, çıktı miktarlarının sabit tutularak girdi miktarlarında meydana gelecek değişimlerin incelenmesi, çıktı yönelimlilik ise girdi miktarlarının sabit tutularak çıktı miktarlarında meydana gelecek değişimlerin incelenmesi olarak tanımlanmaktadır.
VZA, gözlemlenen girdi ve çıktılara dayanarak, örneklemde ya da gözlem kümesinde yer alan karar birimlerinin göreli (nispi) etkinlik değerlerini hesaplamaktadır. Model sonucunda elde edilen etkinlik değerlerini yorumlayabilmek için, öncelikle amaçlanan çalışma için uygun karar biriminin ne olduğunu saptamak gereklidir.
Ahn (1987), karar verme birimlerinin seçiminde iki noktaya dikkat çekmiştir. Birincisi, her bir karar verme birimi kullandığı kaynaklarla ürettiği çıktılardan sorumlu herhangi bir birim olarak tanımlanmış olmalıdır.

İkincisi ise, etkinlik sınır ölçümü sonucunun anlamlı çıkabilmesi için üzerinde çalışılan karar verme birimlerinin sayısı yeterince büyük olmalıdır (Ahn,1987:259 – 269).
Karar verme birimlerinin sayısı girdi ve çıktı sayısının en az üç katı olmalıdır (Vassiloglou ve Giokas,1990: 591 – 597). Bir diğer ölçüt ise, kullanılacak girdi ve çıktı sayısının çokluğuna bağlı olmakla beraber bu sayının en az 20 olması gerektiğini belirtmektedir (Norman ve Stoker, 1991:130).

VZA analizi için girdi ve çıktılar tanımlandıktan sonra, modelde yer alan tüm karar birimleri için bu girdi ve çıktı verilerinin elde edilmesi gereklidir. Verilerin toplanabilmesi kadar güvenilirlikleri de önemli bir konudur. Doğru şekilde ölçülemeyen veriler ait oldukları karar verme birimin etkinlik değerini etkileyememelerinin yanında, göreli etkinlikleri nedeniyle tüm birimlerin etkinlik değerini tartışmalı hale gelebilir.
VZA, yöntemindeki potansiyel iyileştirme işleminin temelinde etkin karar verme birimlerinin varlığı vardır. Yöntem etkin olmayan karar verme birimlerinin de nispi olarak etkin karar verme birimlerin uyguladığı yönetsel ya da organizasyona dayalı yöntemleri uygulayarak aynı etkinlik seviyesine ulaşabileceklerini kabul etmektedir.
VZA modeli ile elde edilen sonuçlar, etkin karar verme birimlerin elde edilebilir bir teknoloji kullandıkları kabulünü içerdiğinden, etkinsiz karar verme birimi içinde ulaşılabilir kabul edilmektedir. Ancak gerçekte bu her zaman mümkün olan bir durum değildir. Etkinsiz karar verme birimlerinde kısıtlar ya da kontrol edilemeyen girdiler bulunabilir. Bu nedenle hedeflere doğru girişilen potansiyel iyileştirme çabaları sonuçsuz kalabilir. Son aşamada karar verme birimleri detaylı olarak incelendikten sonra, genel bir değerlendirme yapılır. Etkinlik sınırının ait olduğu sektöre yönelik yorumlar yapılabilir.

3.1 Veri Zarflama Analizinde Temel Tanımlar

Bu aşamada veri zarflama analizinde kullanılan temel tanımlar kısaca açıklanacaktır.
Girdi: Karar verme birimi tarafından çıktı üretmek için kullanılan her türlü kaynağa girdi denir. Girdiler bir ürün olmayan fakat karar verme biriminin ürettiği çevrenin niteliği olan kaynakları da içerebilir. Bunlar kontrol edilebilir ya da edilemeyebilir.
Çıktı: Çıktı, girdilerin süreç ve tüketiminden sonuçlanan ürünlerdir. Çıktı, fiziksel ürün, servis ya da karar verme biriminin amacını nasıl sağladığını gösteren ölçüm olabilir.
Etkin Karar Verme Birimi: Etkin karar verme birimi, analizlerdeki diğer karar verme birimleri tarafından sağlanan gerçek performansla karşılaştırıldığında, aynı çıktıları daha az girdilerle üretebilen ya da daha yüksek seviyedeki çıktıları aynı miktardaki girdilerle üretebilen karar verme birimi olarak tanımlanmaktadır.
Etkin/Etkinlik Sınırı: Etkinlik sınırı, en iyi performansı temsil eden ve girdi ve çıktıları en etkin şekilde birbirine dönüştüren veri kümesindeki karar verme birimlerinden oluşan sınırdır. Sınırı belirleyen karar verme birimleri %100 etkinliğe sahiptirler. Sınırda olmayan herhangi bir karar verme birimi %100'ün altında bir etkinliğe sahiptir.
Karar Verme Birimlerinin Homojenliği: VZA çalışmaları homojen karar verme birimlerini gerektirmektedir. Homojenlik, karar verme birimleri arasında benzerlik derecesini ifade eder. Karar verme birimlerinin operasyonel amaçları benzer olmalıdır.
Gevşeklik/Potansiyel İyileştirme: Az üretim çıktısını ya da fazla girdi kullanımını gösterir. Etkinsiz bir karar verme birimini etkin hale getirmek için gerekli iyileştirmeleri gösterir. Bu iyileştirmeler girdi ve çıktıda ki artış ya da azalma şeklinde olabilir.

3.2 CCR ve BCC Veri Zarflama Analizi Modelleri

VZA bir etkinlik sınırı belirler ve bu sınıra uzaklığa göre göreli etkinlik belirler. Bu aşamada Charnes, Cooper ve Rhodes (1978) tarafından önerilen model (CCR) olarak bilinir ve Banker, Charnes, Cooper (1984) tarafından önerilen (BCC) olarak bilinen iki modelden bahsedilecektir. CCR ve BCC modelleri etkinlik sınırı yönü ile birbirlerinden farklılık gösterir. BCC modeli dışbükey ve doğrusal parçalı bir etkinlik sınırı belirlerken CCR modeli ise eğimi en büyük karar verme birimi kümesinin eğimini veren doğrusal bir etkinlik sınırı tanımlar. CCR modeli sınırına göre, tanımlanan etkinlik skoru küresel teknik etkinlik, BCC modeli sınırı göre tanımlanan etkinlik skoruna yerel saf teknik etkinlik skoru olarak tanımlanır. Bu iki etkinlik skorunun birbirine oranı ölçek etkinliğini vermektedir (Babacan, 2006).

CCR modelinin hem girdi hem de çıktı yönlü alternatifleri mevcuttur. CCR modeli ölçeğe göre sabit getirinin olduğu durumlarda kullanılır. Tüm etkinliklerin değerlendirilmesiyle ilgilenir, saf etkin birimleri etkin kabul eder. Girdi ve Çıktı Yönelimli CCR Modeli şu şekilde ifade edilebilir (GÜLER ve ÜNAL, 2001: 2 – 9).

$$\min z_0 = \theta$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j Y_{rj} - S_r^+ = Y_{r0} \qquad r = 1,...,\text{s}$$

$$\theta X_{i0} - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j X_{ij} - S_i^- = 0 \qquad \text{i} = 1,...,\text{m}$$

$$\lambda, \text{S}^+, S^- \geq 0$$

$$\max z_0 = \phi$$

$$\phi Y_{r0} - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j Y_{rj} + S_r^+ = 0 \qquad r = 1,...,s$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j X_{ij} + S_i^- = X_{i0} \qquad i = 1,...,m$$

$$\lambda, S^+, S^- \geq 0$$

Her iki modelde de s çıktı; m girdi ve n karar verici sayılarını göstermektedir.
BCC modelinin de hem girdi hem de çıktı yönlü alternatifleri mevcuttur. CCR modelinin varsayımlarında değişiklik yapılarak elde edilmiş bir modeldir. BCC modeli, ölçeğe göre değişken getiri varsayımı içerir. BCC modeli verilen işlem düzeyinde tam teknik etkinliği belirler saf etkinlikle ilgilenmez. Etkin olmamanın teknik ayrımını yapar. Girdi ve Çıktı Yönelimli BCC Modeli şu şekilde ifade edilebilir (GÜLER ve ÜNAL, 2001: 13 – 17).

$$\min z_0 = \theta \qquad\qquad \max z_0 = \phi$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j Y_{rj} - S_r^+ = Y_{r0} \qquad r = 1,...,\text{s} \qquad\qquad \phi Y_{r0} - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j Y_{rj} + S_r^+ = 0 \qquad r = 1,...,s$$

$$\theta X_{i0} - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j X_{ij} - S_i^- = 0 \qquad \text{i} = 1,...,\text{m} \qquad\qquad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j X_{ij} + S_i^- = X_{i0} \qquad i = 1,...,m$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1 \qquad\qquad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1$$

$$\lambda, S^+, S^- \geq 0 \qquad\qquad \lambda, S^+, S^- \geq 0$$

3.2 Uygulama ve Bulgular

Bu çalışmanın amacı, Türk bankacılık sektöründe faaliyet gösteren toplam 27 ticaret bankasının etkinliğini ölçmektir. Çalışmada veri zarflama analizi kullanılmıştır. VZA modeli ile hangi ticaret bankaların etkin olduğu ve 2008 Mart ile 2010 Eylül bilanço dönemine kadar üçer aylık bilanço dönemleri itibariyle bankaların aracılık etkinliğinde bir ilerleme olup olmadığı analiz edilmiştir. Analizde kullanılan değişkenler Türk bankacılık sektörünün de faaliyet gösteren ticaret bankalarının bilançolarına ilişkin mali oranlarından seçilen çıktı ve girdiler Tablo 1'deki verilmiştir.

Tablo 1. Analiz İçin Kullanılan Girdi ve Çıktı Değişkenleri

Kodu	**GİRDİ DEĞİŞKENLERİ**
G1	Toplam Aktifler (Milyon TL)
G2	Toplam Mevduat (Milyon TL)
G3	Toplam Özkaynaklar (Milyon TL)
G4	Bilanço Dışı Hesaplar (Milyon TL)
G5	Şube Sayısı
G6	Personel Sayısı
	ÇIKTI DEĞİŞKENİ
Ç1	Toplam Krediler ve Alacaklar (Milyon TL)

Analizde kullanılan değişken değerleri Türkiye Bankalar Birliği İstatistikî Raporlarından yararlanılmıştır. Tablo 2'de ise analize dâhil edilen ticaret bankaları verilmiştir.

Tablo 2. 2008 Mart - 2010 Eylül Dönemleri Arasında Analizlere Dahil Edilen Bankalar ve Kodları

Banka Kodu	**Banka Adı**	**Banka Kodu**	**Banka Adı**
B1	Türkiye Cumhuriyeti Ziraat Bankası A.Ş.	B15	Citibank A.Ş.
B2	Türkiye İş Bankası A.Ş.	B16	Anadolubank A.Ş.
B3	Türkiye Garanti Bankası A.Ş.	B17	Alternatif Bank A.Ş.

B4	Akbank T.A.Ş.	B18	Deutsche Bank A.Ş.
B5	Yapı ve Kredi Bankası A.Ş.	B19	Tekstil Bankası A.Ş.
B6	Türkiye Vakıflar Bankası T.A.O.	B20	Turkland Bank A.Ş.
B7	Türkiye Halk Bankası A.Ş.	B21	Millennium Bank A.Ş.
B8	Finans Bank A.Ş.	B22	Arap Türk Bankası A.Ş.
B9	Denizbank A.Ş.	B23	Turkish Bank A.Ş.
B10	ING Bank A.Ş.	B24	Bank Mellat
B11	Türk Ekonomi Bankası A.Ş.	B25	Société Générale (SA)
B12	HSBC Bank A.Ş.	B26	WestLB AG
B13	Fortis Bank A.Ş.	B27	Habib Bank Limited
B14	Şekerbank T.A.Ş.		

Türk bankacılık sektörünün dinamik yapısı ve bankalar arası rekabet koşullarının yüksek düzeyde olmasında ötürü ölçeğe göre değişken getirinin hüküm sürdüğü gerçeği göz önüne alınarak modelin çözülmesi gereklidir. Çalışmada ilk olarak tüm girdiler ve çıktı için gruplar arası homojenlik testi yapılmıştır. Test sonuçları aşağıda Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 3. 2008 Mart - 2010 Eylül Dönemleri Arasında Analizde Kullanılan Girdiler / Çıktı Değişkenlerinin Homojenlik Test Sonuçları

Girdiler / Çıktı Değişkenleri	**Levene istatistiği**	**Ser. Der. (1)**	**Ser. Der. (2)**	**Anlamlılık Düz. (P)**
Toplam Aktifler (Milyon TL)	1.047	10	286	0.404
Toplam Mevduat (Milyon TL)	1.042	10	286	0.408
Toplam Özkaynaklar (Milyon TL)	0.977	10	286	0.464
Bilanço Dışı Hesaplar (Milyon TL)	1.065	10	286	0.427
Şube Sayısı (adet)	1.545	10	286	0.123
Personel Sayısı (kişi)	0.169	10	286	0.998
Toplam Krediler ve Alacaklar (Milyon TL)	0.092	10	286	1.000

Tablo 3'de verilen sonuçlara göre, girdi değişkenlerinin ve çıktı değişkeninin varyanslarının homojen olduğu söylenebilir. Tablo 4'de modelde yer alan tüm değişkenlerin temel istatistik değerleri verilmiştir.

Tablo 4. 2008 Mart - 2010 Eylül Dönemleri Arasında Analizde Kullanılan Girdiler / Çıktı Değişkenlerinin Temel İstatistik Değerleri

Girdiler / Çıktı Değişkenleri	**N**	**Ortalama**	**Std. Hata**
Toplam Aktifler (Milyon TL)	297	13374.8	973.1
Toplam Mevduat (Milyon TL)	297	26507.9	2106.9
Toplam Özkaynaklar (Milyon TL)	297	17564.6	1457.1
Bilanço Dışı Hesaplar (Milyon TL)	297	3044.4	237.2
Şube Sayısı	297	71452.0	5587.3
Personel Sayısı	297	321.1	21.1
Toplam Krediler ve Alacaklar (Milyon TL)	297	6106.0	391.7

Tablo 4'de yer alan temel istatistik değerleri incelendiğinde, bazı değişkenlerin standart hata değerleri seride belli bir dalgalanma olduğunu göstermektedir. Çalışmanın uygulama aşamasında ilk olarak Türk bankacılık sektöründe faaliyet gösteren tüm ticaret bankaları için CCR / BCC çıktı ve girdi yönelimli modeller çözülmüş ve elde edilen sonuçlardan faydalanılarak Tablo 5'deki etkinlik tablosu oluşturulmuştur.

Tablo 5. 2008 Mart - 2010 Eylül Dönemleri Arasındaki CCR / BCC Çıktı Yönelimli Dönemsel Ortalama Etkinlik Değerleri Tablosu

Banka Adı	CCR Çıktı	BCC Çıktı	Ortalama	CCR Girdi	BCC Girdi	Ortalama
TC. Ziraat Bankası A.Ş.	136.9%	108.4%	122.7%	74.1%	91.9%	83.0%
T. Vakıflar Bankası T.A.O.	101.3%	100.0%	100.7%	98.9%	100.0%	99.5%
Türkiye Halk Bankası A.Ş.	110.8%	103.8%	107.3%	91.7%	96.9%	94.3%
			110.2%			**92.3%**
Akbank T.A.Ş.	122.2%	100.0%	111.1%	82.8%	100.0%	91.4%
Alternatif Bank A.Ş.	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Anadolubank A.Ş.	115.0%	113.9%	114.5%	87.2%	87.7%	87.5%
Şekerbank T.A.Ş.	130.5%	124.0%	127.3%	76.8%	80.1%	78.5%
Tekstil Bankası A.Ş.	112.1%	108.7%	110.4%	91.3%	93.6%	92.5%
Turkish Bank A.Ş.	238.5%	235.0%	236.8%	42.9%	46.4%	44.7%
Türk Ekonomi Bankası A.Ş.	113.1%	109.3%	111.2%	88.7%	92.0%	90.4%
Türkiye Garanti Bankası A.Ş.	104.8%	100.0%	102.4%	95.8%	100.0%	97.9%
Türkiye İş Bankası A.Ş.	129.2%	100.4%	114.8%	77.8%	99.4%	88.6%
Yapı ve Kredi Bankası A.Ş.	107.9%	100.0%	104.0%	92.9%	100.0%	96.5%
			123.2%			**86.8%**
Arap Türk Bankası A.Ş.	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Bank Mellat	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Citibank A.Ş.	140.5%	131.9%	136.2%	71.7%	75.6%	73.7%
Denizbank A.Ş.	101.5%	100.0%	100.8%	98.6%	100.0%	99.3%
Deutsche Bank A.Ş.	123.1%	100.0%	111.6%	84.6%	100.0%	92.3%
Finans Bank A.Ş.	113.7%	101.7%	107.7%	88.3%	98.3%	93.3%
Fortis Bank A.Ş.	106.0%	102.5%	104.3%	94.8%	97.8%	96.3%
Habib Bank Limited	146.9%	100.0%	123.5%	76.3%	100.0%	88.2%
HSBC Bank A.Ş.	111.2%	104.1%	107.7%	90.5%	96.3%	93.4%
ING Bank A.Ş.	101.7%	100.0%	100.9%	98.4%	100.0%	99.2%
Millennium Bank A.Ş.	102.6%	100.3%	101.5%	97.6%	99.7%	98.7%
Société Générale (SA)	123.8%	100.4%	112.1%	86.4%	99.9%	93.2%
Turkland Bank A.Ş.	114.4%	112.3%	113.4%	87.8%	89.8%	88.8%
WestLB AG	248.5%	101.4%	175.0%	43.3%	100.0%	71.7%
			113.9%			**92.0%**

Tablo 5'de Türkiye Bankacılık Sektöründe "2008 Mart - 2010 Eylül" üçer aylık bilanço dönemlerinde faaliyetlerini sürdüren ticaret bankalarının CCR/BCC girdi ve çıktı yönelimli etkinlik modelleri için ortalama etkinlik skorları verilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre; hem CCR hem de BCC modeli için tüm bilanço dönemlerinde üç banka; Alternatif Bank A.Ş.; Arap Türk Bankası A.Ş. ve Bank Mellat etkin bulunan bankalardır. (%100). CCR modeli için bu bankalar dışında etkin olan banka bulunmazken BCC modelinde Türkiye Garanti Bankası A.Ş.; Akbank T.A.Ş.; Yapı ve Kredi Bankası A.Ş.; Türkiye Vakıflar Bankası T.A.O.; Denizbank A.Ş.; ING Bank A.Ş. ve Deutsche Bank A.Ş. hem girdi hemde çıktı yönelimli modelde etkin bulunmuştur. WestLB AG bankası ise sadece girdi yönelimli modelde etkin bulunmuştur. Diğer bankalar ise hiçbir modelde etkin bulunamamıştır.

Tablo 6'da BCC çıktı yönelimli modeline göre Eylül 2010 bilanço dönemi için etkin bulunmayan ticaret bankalarının referans grupları ve referans değerleri verilmiştir. Böylece etkin olmayan bankaların etkin olmaları için girdilerini veya çıktısının miktarlarında yüzdesel olarak ne kadar değişiklik yapmaları gerektiğini de açıklamaya çalışılmıştır.

Tablo 6. 2010 Eylül Dönemi BCC Çıktı Yönelimli Modeli İçin Etkin Olmayan Bankalara Yönelik Referans Grupları ve Referans Değerleri

Etkin Olmayan Bankalar	Referans Grupları
Türkiye Cumhuriyeti Ziraat	Türkiye İş Bankası A.Ş. (**0.19**), Akbank T.A.Ş. (**0.32**),Türkiye

Bankası A.Ş.	Vakıflar Bankası T.A.O. (**0.49**)
HSBC Bank A.Ş.	Yapı ve Kredi Bankası A.Ş. (**0.01**), Denizbank A.Ş. (**0.13**), ING Bank A.Ş. (**0.29**), Fortis Bank A.Ş. (**0.57**)
Şekerbank T.A.Ş.	Yapı ve Kredi Bankası A.Ş. (**0.001**), ING Bank A.Ş. (**0.52**), Alternatif Bank A.Ş. (**0.48**)
Citibank A.Ş.	Türkiye Garanti Bankası A.Ş.(**0.04**), Bank Mellat (0.96)
Anadolubank A.Ş.	Türkiye Vakıflar Bankası T.A.O. (**0.01**), Fortis Bank A.Ş. (**0.03**), Alternatif Bank A.Ş. (**0.81**), Bank Mellat (**0.15**)
Tekstil Bankası A.Ş.	Alternatif Bank A.Ş.(**0.52**),Habib Bank Limited (**0.48**)
Turkland Bank A.Ş.	Alternatif Bank A.Ş.(**0.31**),Habib Bank Limited (**0.69**)
Turkish Bank A.Ş.	Alternatif Bank A.Ş.(**0.13**),Bank Mellat (**0.30**), Habib Bank Limited (**0.57**)

Tablo 6'ya göre, Türkiye Cumhuriyeti Ziraat Bankası A.Ş.'nin etkin olabilmesi için, girdi düzeyini değiştirmeden çıktısını, Türkiye İş Bankası A.Ş.'ye göre %0.19; Akbank T.A.Ş.'ye göre %0.32 ve Türkiye Vakıflar Bankası T.A.O.'ya göre %0.49 oranında arttırması gerekmektedir. Aynı şekilde diğer etkin olmayan bankalar için de, referans grupları ve etkin olabilmeleri için artırmaları gereken yüzdesel çıktı artışları da belirlenebilir.

Tüm girdi ve çıktılara yönelik potansiyel iyileştirmeler için değerlendirme yapılırsa Türkiye Cumhuriyeti Ziraat Bankası A.Ş.'nin etkin olabilmesi için girdilerini Toplam Aktifler (Milyon TL)'ni %-48.59, Toplam Mevduat (Milyon TL)'nı %-92.64, Toplam Özkaynaklar (Milyon TL)'nı %0.15, Bilanço Dışı Hesaplar (Milyon TL)'nı %0.01, Şube Sayısı (adet) %-71.81 ve Personel Sayısı (kişi) %-52.93 oranlarında değiştirmelidir. Çıktı düzeyi Toplam Krediler ve Alacaklar (Milyon TL)'nı %0.34 oranında arttırmalıdır.

Analiz sonuçlarına göre; etkin bulunan bankalardan sırasıyla Alternatif Bank A.Ş 5 banka, Habib Bank Limited 4 banka ve Bank Mellat 3 banka tarafından referans olarak alınmıştır.

4. SONUÇ

2008 yılı içinde ülkemizde etki göstermeye başlayan Mortgage (tutsat) krizi sonrası tüm bankacılık sistemi içinde yer alan bankaların etkinlikten uzaklaştıkları gözlemlenmiştir. Sermaye yapılarına göre bir değerlendirme yapmak gerekirse, özel sermeyeli ticaret bankaları ortalama olarak etkinlik en uzak olan banka grubudur. Bunu yabancı sermayeli ticaret bankaları izlemektedir. Etkinliğe en yakın grup ise kamu sermayeli ticaret bankaları olarak bulunmuştur. Özellikle 2000 Kasım ve 2001 Şubat döneminde ortaya çıkan finansal kriz sonrası bankalar krize karşı önemli tecrübeler edinmişlerdir. Türk bankacılık sektöründe yer alan bankaların sermaye yapılarını güçlendirmeleri, aktif kalitelerini arttırmış olmaları, gelir/gider yapılarını sağlamlaştırmaları bankaların Mortgage (tutsat) krizinden büyük bir zarar görmeden çıkmalarını sağlamıştır. Ancak genel anlamda likidite eksikliği nedeniyle borçlanma maliyetlerinde ortaya çıkan artışlar, ülkemizdeki ekonomik gerileme (büyümenin negatife dönmesi) vb. sebepler bankaları etkinlikten uzaklaştırmıştır.

Etkin olmayan bankaların etkin olabilmeleri için yapılan politika analizi (potansiyel iyileştirme) sonuçları ilginçtir. Genellikle girdiler açısından aktiflerini ve mevduatlarını azaltması yönünde öneri ortaya çıkmaktadır. Benzer şekilde şube ve personel sayısını azaltma politikası önerilmiştir. Ancak bunun temel sebebi bankaların geçmiş dönem kriz tecrübeleri sebebiyle bankaların özellikle aktif ve pasif yönetimleri konusunda daha sıkı politikalar ve koruyucu politikalar izlemesidir kanısındayım.

Analiz sonuçlarına göre, ticaret bankaların sermaye yapıları açısından kamu sermayeli olmasının etkinliği azaltıcı bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca yine sermaye açısından yabancı sermayeli bankanın daha etkin olduğu yani yabancı sermayeli olmanın etkinliği arttırıcı bir sebep olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Aktif büyüklüğü açısından değerlendirildiğinde, bankaların aktif büyüklüğünün artması etkinlik düzeylerine olumlu katkı sağlamaktadır. Özellikle BCC modeli açısından en etkin bulunan bankaların aktif büyüklüğü yüksek olan büyük ölçekli olan bankalardır.

Dünyada 2008 sonrası yaygınlaşan Mortgage (tutsat) krizi sonrasında tüm ülkelerde özellikle yeni finansal yapılandırmaların gündeme gelmesiyle birlikte yönetimsel yapı ile piyasa yapısının güçlendirilmesine ilişkin birçok reform çalışmaları yapılmaya başlanmıştır. Özellikle finansal kesimde yoğun şeffaflaşma politikaları, bilanço dışı kalemlerin muhasebeleştirilmesi kredi derecelendirme süreçlerinin daha güvenli hale getirilmesi, risk yönetimlerinin arttırılması, finansal kesimde sermaye yeterliliğinin güçlendirilmesi vb. standartların geliştirilmesi gibi önlemler değerlendirmeye alınmıştır. Ülkemizde de buna benzer tedbirler finansal kesimde uygulamaya geçirilmeye çalışılmıştır. Alınan önlemlerin başarısı Türkiye bankacılık sektöründeki bankaların 2008 Mortgage (tutsat) krizinden çok az etkilenerek çıkmasını, krize karşı güçlü konumda kalmalarını sağlamıştır. Bankalarımızın bu güçlü konumu reel kesimde yer alan işletmelerin özellikle kredi kullanımı konusunda çok büyük sıkıntılar yaşamamasını sağlamıştır. Hizmet sektörü içinde mevduat yaratmak, kredi

oluşturmak, riski bölmek ve dağıtmak gibi önemli bir fonksiyon üstlenen bankaların krizde güçlü ve sağlam kalmaları reel kesimin de krizden büyük yaralar almadan çıkmasını sağlamıştır.

KAYNAKÇA

AHN, T., (1987), "Efficiency Related Issues in Higher Education: A Data Envelopment Analysis Approach", Ph.D. Thesis, The University of Texas at Austin.

ATEŞ, Kamil (2005), "Amerika Birleşik Devletlerinde Mortgage Uygulamasında Vergi", Vergi Dünyası Dergisi, Sayı:285, Mayıs, ss.50 – 53.

BABACAN, A., (2006), "Türkiye'deki Üniversitelerde VZA Yöntemiyle Verimlilik Analizi", Yayınlanmamış Doktora Tezi, Sivas: C.Ü.Sosyal Bilimler Enstitüsü.

BANKER, R.D., CHARNES, R.F. ve COOPER W.W., (1984) "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis", Management Science, Vol. 30, pp. 1078 – 1092.

CHARNES, A., COPPER, W., W. ve RHODES, E., (1998), "Measuring the Efficiency of Decision Making Units", European Journal of Operational Research, 2, 429 – 444.

FARRELL, M.J. (1957), "The Measurement of Productive Efficiency", Journal of the Royal Statistical Society, Series A, General, 120, Part 3, 253 – 281.

GÜLER, H., ÜNAL, M., (2001), "Etkinlik Analizi Karar Destek Sistemi (ETAKDS) v1.0", Gazi Üniversitesi,Fen-Edebiyat Fakültesi, (İstatistik Bölümü, Araştırma Projesi, Ankara.

NORMAN, M. ve STOKER, B., (1991), "Data Envelopment Analysis: The Assessment of Performance", John Wiley and Sons.

TÜRKİYE KALKINMA BANKASI A.Ş., (2008), "Küresel Mali Kriz ve Reel Sektöre Muhtemel Etkileri", Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Müdürlüğü, Ankara.

VASSILOGLOU, M. ve GIOKAS, D., (1990), "A Study of The Relative Efficiency of Bank Branches: An Application of Data Envelopment Analysis". Journal of Operational Research Society.41: 591 – 597.

SAĞLIK TESİSLERİNİN ANP TEKNİĞİ KULLANILARAK PLANLANMASI

Turgay ÖZTÜRK, Kasım BAYNAL, Zerrin ALADAĞ,
Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü

2005 yılında Sosyal Güvelik Kurumu (SSK) hastanelerinin Sağlık Bakanlığı'na devri ile bazı hizmet bölgelerinde aynı Bakanlığa bağlı, benzer işlevlere sahip birden fazla kamu hastanesi oluşmuştur.
Kaynakların etkin ve verimli bir şekilde kullanılması adına, bu hastanelerin işlev ve organizasyonlarının yeniden planlanması ve düzenlenmesi gerekmektedir. Bu süreçte öncelikle; sivil toplum örgütlerinin önerileri de dikkate alınarak söz konusu durumdaki hastanelerin tek bir tüzel kişilik altında birleştirilmesi, işlevlerinin değiştirilmesi, mevcut durumun devamı gibi alternatiflerden birinin seçilmesi gerekmektedir. Bu seçimde "kaynakların verimli kullanılması" tek kriter değildir; toplumsal talepler, kapasite ve teknolojik yeterlilik de dikkate alınmalıdır.
Bu çalışmada, sağlık tesislerinin planlanmasında objektif bir çözüm yöntemi geliştirmek amacıyla; söz konusu hastaneler için uygun alternatif senaryolar geliştirilerek, en iyi alternatifi belirlemek amacıyla Analitik Network Proses (ANP) tekniği kullanılmıştır. Sonlu sayıda alternatifin bulunduğu, nitel veya nicel kriterlere sahip çok amaçlı karar problemlerinin çözümünde kullanılan tekniklerden biri olan ANP yöntemi, bu sağlık tesislerinin planlanmasında uygulanmış; elde edilen sonuçlar irdelenmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Çok Amaçlı Karar Verme, Analitik Network Proses, Sağlık Tesisi Planlama

1. GİRİŞ

En temel insan hakkı olan sağlık, Dünya Sağlık Örgütü tarafından "Yalnızca hastalık ya da sakatlığın bulunmaması değil, aynı zamanda bedensel, ruhsal ve sosyal olarak tam bir iyilik hali" olarak tanımlanmaktadır. Bu tanımdan yola çıkılarak, sağlığı korumak, geliştirmek, hastalananları tedavi etmek ve sakatlananları esenlendirmek amacı ile sunulan hizmetlerin tümü "sağlık hizmeti" olarak adlandırılmaktadır [1].

Sağlık hakkı, İnsan Hakları Evrensel Bildirgesi'nde "tıbbi bakım alma hakkı" olarak tanımlanmıştır. İnsan Hakları Evrensel Bildirgesi'ne göre hükümetler; yaş, cinsiyet, ekonomik durum gibi her hangi bir etmene bağlı olmaksızın kendi halklarının sağılından sorumludur [1].

Türkiye'de sağlık hizmetleri 1. derecede Sağlık Bakanlığı'nın sorumluluğunda yürütülmektedir. Sağlık Bakanlığı; kaydedilen önemli ilerlemelere rağmen sağlık düzeyi bakımından orta gelirli ülkelerin çoğunun gerisinde kalınmasını dikkate alarak 2003 yılında Sağlıkta Dönüşüm Programı'nı hazırlamıştır. Bu Programa göre o tarihte mevcut olan sağlık sisteminin bazı eksiklikleri şunlardır [2]:

- Sağlık hizmetleri sektöründe stratejik yönetim bulunmamaktadır.
- Karmaşık ve çok başlı bir yapı vardır.
- Sağlık Bakanlığı, daha çok kendi kurumlarına hizmet vermeye yoğunlaştığından politika geliştirmekte ve sektöre yön vermekte yetersiz kalmaktadır.
- Sağlık Bakanlığı, SSK, üniversite ve diğer kamu kurumlarının hastaneleri ile özel hastaneler arasında etkili bir koordinasyon olmadığından hizmet ve yatırım planlamaları toplumsal ihtiyaçlarla paralel olarak yapılamamaktadır.
- Hastane hizmetlerinin sunumunda önemli ölçüde verimsizlik söz konusudur. Emekli Sandığı, Bağ-Kur, SSK üyeleri gibi farklı sosyal güvenlik kapsamı altındaki kesimlerin sadece belirli hastane gruplarından hizmet alabiliyor olması da bu verimsizliği arttırmaktadır.

Sağlıkta Dönüşüm Programı halen uygulanmakta olup günümüze kadar bu kapsamda birçok düzenleme yapılmış ve uygulanmıştır. 5283 sayılı Kanun ile bazı kamu kurum ve kuruluşlarına ait sağlık birimlerinin Sağlık Bakanlığı'na devri bu uygulamalardan birisidir. 5283 sayılı Kanun, Milli Savunma Bakanlığı, üniversiteler gibi istisna tutulanlar haricinde bütün kamu sağlık birimlerinin Sağlık Bakanlığı'na devrini kapsamaktadır.

Fakat devredilen kurumlar arasında en önemli yeri SSK'ya bağlı sağlık birimleri almıştır. 5283 sayılı Kanun uyarınca SSK'nın 144 hastanesi, 11 ağız diş sağlığı merkezi, 217 dispanseri ve 176 sağlık istasyonu 20.02.2005 tarihinde Sağlık Bakanlığı'na devredilmiştir. Söz konusu Kanun kapsamında bulunan sağlık kuruluşlarının Sağlık Bakanlığı çatısı altında toplanması ile şu sonuçların elde edilmesi beklenmektedir [3]:

- Sağlık hizmetlerinin tek elden planlanması, sağlık politikalarının ülke genelinde aynı şekilde uygulanması ile kurumsal farklılıkların ortadan kaldırılması sağlanacaktır.
- Sağlık hizmetlerinin sunumunda standardizasyonun teminine yönelik çalışmalar hızlanacaktır.
- Sağlık kurum ve kuruluşlarının açılış, kapanış ve denetimlerinde de aynı standartlar uygulanabilecektir.
- Koruyucu sağlık hizmetlerine ağırlık vermek daha kolay hale gelecektir.
- Eş zamanlı olarak başlatılacak aile hekimliği hizmetleriyle birlikte, etkili bir sevk mekanizmasının oluşturulması mümkün olacaktır.
- Sağlık hizmetlerinin maliyetlerinin daha iyi kontrol edilmesi sağlanabilecektir.
- Tıbbi cihaz, ilaç ve diğer tıbbi sarfların temininde ortak yöntemlerin kullanılması sağlanacak ve kaynak kullanımı rasyonel hale gelecektir.
- Sağlık yatırımları ve sağlık insan gücü planlamasının daha gerçekçi olarak yapılması ve uygulanması temin edilecektir.
- Sağlık personelinin farklı kurumlarda çalışmalarından kaynaklanan özlük ve diğer mali haklarındaki farklılıklar ortadan kalkacaktır.
- Ülke genelinde bütün hastaların ayakta veya yatarak tedavileri sırasında kullanacakları ilaçlar aynı standartlarda temin edilecek, geri ödeme mümkün olacak ve bu konuda mağduriyet yaşanmasının önüne geçilecektir.
- Kurumlara ait binalar ve donanım daha verimli kullanılacaktır.
- Halkımız sağlık hizmetine daha kolay ulaşmaya başlayacak, daha kaliteli bir hizmeti eşit şartlarda almış olacaktır.

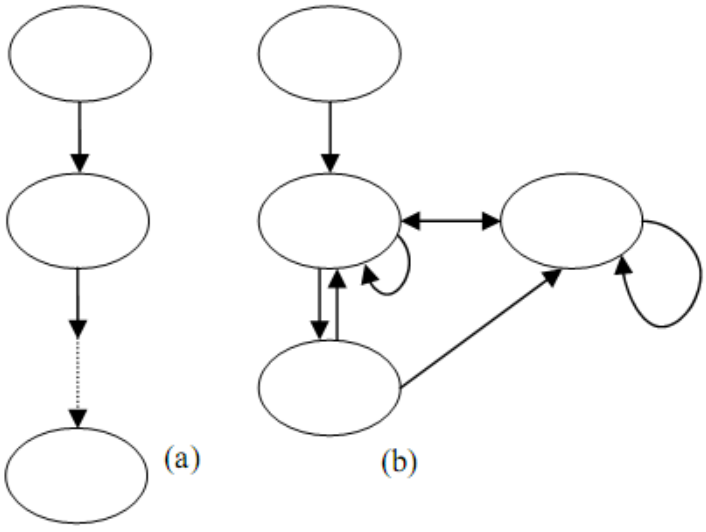
Söz konusu devir işlemleri eleştirilmekle birlikte kamu hastanelerinin tek bir çatı altında toplanması halkın çoğunluğu tarafından kabul görmüştür. Fakat yukarıda belirtilen beklentilerin karşılanabilmesi için SSK hastanelerinin ve diğer sağlık tesislerinin Sağlık Bakanlığı'na devri tek başına yeterli değildir. Devir sonrasında bazı bölgelerde benzer özelliklere sahip ve aynı bakanlığa bağlı kamu hastaneleri oluşmuştur. Beklentilerin karşılanabilmesi için bu hastanelerin işlev ve organizasyonlarının yeniden planlanması ve düzenlenmesi gerekmektedir.

Bu süreçte öncelikle; söz konusu hastanelerin tek bir tüzel kişilik altında birleştirilmesi, işlevlerinin değiştirilmesi, mevcut durumun devamı gibi alternatiflerden birinin seçilmesi gerekmektedir. Bu seçimde hasta

memnuniyetinin artırılması tek kriter değildir; verimlilik, maliyet, sürdürülebilirlik, toplumsal talepler, kapasite, teknolojik yeterlilik vb kriterler de dikkate alınmalıdır.
Sağlık Bakanlığı tarafından yapılan hastanelerin birleştirilmesi gibi işlemlerin sivil toplum örgütleri tarafından yakından izlendiği, bir kısmın eleştirildiği, hatta iptal istemiyle yargıya taşındığı görünmektedir. Bu nedenle kararların şeffaf bir şekilde alınması ve paydaşlar arasında uzlaşı sağlanması gerekmektedir.
SSK'ya ait sağlık tesislerinin, Sağlık Bakanlığı'na devrinin sonuçları sendikalar tarafından takip edilmiş [3] ve devrin hizmet kalitesine etkileri üzerine çalışma yapılmıştır [4].
Bu çalışmada ise, sağlık tesislerinin planlanmasında objektif bir çözüm yöntemi geliştirmek amacıyla; yukarıda tanımlanan probleme uygun alternatif senaryolar geliştirilerek en iyi alternatifi belirlemek için Analitik Network Proses tekniği kullanılmıştır.

2. ANALİTİK NETWORK PROSES

Karar verme; mevcut tüm seçenekler arasından amaç veya amaçlara en uygun bir veya birkaç seçeneğin seçilmesi, seçeneklerin sıralanması veya sınıflandırılması sürecidir [5]. Her karar süreci farklı özellikler taşımakta olup bu özeliklere göre değişen yaklaşım ve modellerin kullanılması gerekmektedir.
Bir karar problemini çözerken kurulan model, gerçek sistemi ne kadar iyi temsil ederse, elde edilen sonuçların güvenilirliği de o kadar artar. Kararların daha gerçekçi olması için modelin niceliksel etkenler ile birlikte niteliksel etkenleri de göz önünde bulundurulması gerekmektedir [6, 7].
Bu nedenle karar vermede, grup veya bireyin önceliklerini dikkate alan, nitel ve nicel değişkenleri bir arada değerlendiren matematiksel tekniklerden olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) [8, 9] ve Analitik Network Proses (ANP) [10] teknikleri günümüzde karar problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu iki yöntem de Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiştir.
AHP karar verme problemlerini hiyerarşik bir yapıda tek yönlü olarak modellemekte ve en iyi kararın verilmesine etki eden faktörleri sistematik bir şekilde değerlendirerek faktörlere ilişkin öncelik sıralarını belirlemektedir. Bu süreçte AHP'nin en önemli varsayımlarından biri aynı seviyede bulunan faktörlerin birbirinden bağımsız olması ve faktörlerin birbirine olan etkilerinin dikkate alınmamasıdır. Oysa gerçek hayatta karar verme problemlerini etkileyen birçok faktör birbiriyle etkileşim halinde bulunmakta ve en iyi kararın verilmesi faktörler arasındaki bu ilişkilerin dikkate alınmasını gerektirmektedir [11].
Bu tür sorunları çözmek için, AHP yaklaşımının daha genel bir şekli olan, karar verme ölçütleri ve seçenekleri arasında ve kendi içlerinde geri besleme ve bağımlılığa olanak tanıyan, dolayısıyla karmaşık karar çevrelerinin daha doğru bir şekilde modellenebildiği ANP yaklaşımı ortaya konmuştur [12,13]. ANP yaklaşımında karar verme problemi bağımlılıklar dikkate alınarak ağ yapısı ile modellenmektedir.
AHP hiyerarşik ilişkileri tek yönlü bir iskelet ile gösterirken, ANP karar seviyeleri ve özellikler arasında daha karmaşık ilişkilerin dikkate alınmasını sağlar. Bu şekilde hiyerarşik yapılar ile modellenemeyen karmaşık problemlerin kolay bir şekilde modellenmesini temin eder. Bir hiyerarşi ve bir ağ arasındaki yapısal farklılık Şekil 1'de gösterilmiştir [14]. ANP üst seviyedeki elemanların alt seviyedeki elemanlardan ya da aynı seviyedeki elemanların birbirlerinden bağımsız oldukları gibi varsayımlara ihtiyaç duymaz [15].



Şekil 4: Bir ağ ile bir hiyerarşi arasındaki yapısal fark: (a) hiyerarşi (b) ağ
ANP ile karar problemlerinin çözümü dört ana adımda gerçekleştirilir:
Adım 1: Problemin Tanımlanması ve Modelin Kurulması: Bu aşamada karar verme problemi açık bir şekilde tanımlanmalı ve ağ şeklinde rasyonel bir biçimde ayrıştırılmalıdır [14]. Bu ağ modelini oluşturmak için öncelikle benzer nitelikleri taşıyan elemanların bir arada bulunduğu kümeler belirlenir. Kümeler ve her bir

kümede bulunacak elemanlar (kümenin cinsine göre kriter, amaç, alternatif gibi elemanlar olabilir) belirlendikten sonra, tüm elemanlar arasındaki ilişkiler tespit edilir [16]. Bu yapı, beyin fırtınası gibi metotlarla karar vericilerin fikirlerinden yararlanılarak elde edilebilir.

Adım 2: İkili Karşılaştırma Matrisleri ve Öncelik Vektörleri: ANP de, AHP'de olduğu gibi ikili karşılaştırma esasına dayanır ve ikili karşılaştırmalarda Saaty'nin 1-9 ölçeği kullanılır [17]. Karar vericiler ikili karşılaştırmalarda seri şekilde bir takım sorulara cevap vererek iki faktörü aynı zamanda karşılaştırır ve bunların hedefe olan katkılarının nasıl olduğunu belirler. Böylelikle faktörlerin önem ağırlıkları belirlenir [18]. İkili karşılaştırma matrisleri yapılırken, her bir matrisin tutarlılığı kontrol edilir.

Adım 3: Süpermatris Oluşumu: Süpermatrisin genel yapısı Markov zinciri prosesine benzerdir. Birbirine bağımlı etkilerin bulunduğu bir sistemde global önceliklerin elde edilmesi için, lokal öncelik vektörleri süpermatris olarak bilinen bir matrisin kolonlarına tahsis edilerek yazılır. Sonuç olarak bir süpermatris gerçekte parçalı bir matristir ve buradaki her bir matris bölümü bir sistem içindeki iki faktör arasındaki ilişkiyi gösterir [14]. Elemanların birbiri üzerindeki uzun dönemli nispi etkileri, süpermatrisin satır ve sütunları durağanlaşana kadar yüksek bir kuvveti alınarak belirlenir. Oluşturulan bu yeni matrise "limit süpermatris" adı verilir [16].

Adım 4: En İyi Alternatifin Seçilmesi: Limit süpermatris ile alternatiflere veya karşılaştırılan faktörlere ilişkin önem ağırlıkları belirlenmiş olur. Seçim probleminde en yüksek önem ağırlığına sahip olan alternatif en iyi alternatif, ağırlıklandırma probleminde ise en yüksek önem ağırlığına sahip olan faktör karar sürecini etkileyen en önemli faktördür [18].

ANP, özellikle sonlu sayıda seçeneğin bulunduğu problemlerde en iyi seçeneğin belirlenmesi için kullanılmaktadır. Ayrıca, diğer seçenekler için de birer göreli önem değeri elde edildiğinden bu değerler, bir bütçenin elde edilen ağırlıklar oranında seçeneklere dağıtılması gibi kararlar da kullanılabilir [17]. ANP tekniği; savunma sanayinde silah seçimi [19], Irak sorununda en iyi politikanın belirlenmesi [20], en uygun enerji kaynağının belirlenmesi [21, 22], en iyi tedarikçi ve lojistik firması seçimi [23-25], stratejik ortak firma seçimi [26] ve finansal kriz tahmini [27] gibi pek çok karar probleminde uygulama olanağı bulmuştur. Ayrıca ANP'nin hata türü ve etkileri analizi [28], hedef programlama [29] gibi yöntemlerle birlikte kullanıldığı uygulamalar da bulunmaktadır.

3. ANP İLE SAĞLIK TESİSLERİNİN PLANLANMASI

Sağlık tesislerinin planlanmasında kullanılabilecek objektif bir çözüm önerisi geliştirmek için uzman görüşlerinden faydalanılarak geliştirilen aşağıdaki senaryo kullanılmıştır.

Türkiye'nin büyük kentlerinden birinin bir ilçesinde bulunan 300 yataklı SSK hastanesi Sağlık Bakanlığına devredilmiştir. İlçede Sağlık Bakanlığına bağlı 100 yataklı bir devlet hastanesi daha bulunmaktadır. İki hastane de ikinci basamak yataklı tedavi kurumu olup benzer işlevlere sahiptir. SSK'dan devredilen X hastanesi ile daha önce de Sağlık Bakanlığı'na bağlı olan Y hastanesi arasında 2 km'den daha kısa bir mesafe bulunmaktadır. X hastanesin kapalı alını Y'ninkinden 3 kat daha fazladır. Fakat Y hastanesinin sahip olduğu açık alan X'inkinden 5 kat daha fazladır. Ayrıca Y hastanesinin çevresinde kamulaştırılabilinecek boş arsa da bulunmaktadır.

Bu yeni durum karşısında Bakanlık yetkilileri aşağıdaki alternatiflerden birini seçmek zorundadır.

a. Mevcut durumun devamı: X ve Y hastaneleri farklı tüzel kişilikler altında hizmet sunmaya devam edebilir.

b. Birleştirme: X ve Y hastaneleri tek bir tüzel kişilik altında birleştirilerek var olan binalarda hizmet sunumuna devam edebilir.

c. İşlev değişikliği: X hastanesi eğitim araştırma hastanesine dönüştürülebilir; Y hastanesi ise şu anki konumunda hizmet vermeye devam edebilir.

d. Sağlık kampüsü yapımı: Sağlık Bakanlığı büyük şehirlerde genel hastane ve birkaç devlet hastanesinin bir arada bulunduğu sağlık kampüsleri inşa etmeyi planlanmaktadır. Y hastanesinin bulunduğu bölgeye 1000 yataklı bir kampüs inşa edilebilmektedir. Bu durumda Y hastanesi kapatılacak, X hastanesi kampüs inşaatı bitene kadar mevcut binasından hizmete devam edecektir. Kampüs inşaatı bittiğinde ise X hastanesi mevcut binasından kampüse taşınarak genel hastane olarak kentin tamamına hizmet verecektir.

Alternatifler arasında seçim yaparken dikkate alınması gereken karar kriterleri aşağıda açıklanmıştır:

1. Maliyet: Yapılan seçimin maliyetleri düşürmesi istenilmektedir. Bu kümede; bakım ve yenileme maliyeti, işletme maliyeti ve yatırım maliyeti olmak üzere 3 kriter bulunmaktadır. Sağlık kampüsü yapımı tercih edilirse yüksek miktarda yatırım maliyetine katlanılmalıdır.

2. Sosyal faktörler: Bu kümede halk memnuniyeti ve personel memnuniyeti olarak iki kriter tanımlanmıştır.

3. Kapasite ve yeterlilik: Kaliteli bir hizmet sunumu için hastanelerinin kapasitesinin ve alt yapısının yeterli olması gerekir. Bu kümede personel sayısı ve niteliği, yatak sayısı, teknolojik alt yapı ve otopark alanı olmak üzere 4 kriter değerlendirmeye alınmıştır.

4. Ulaşım: Sağlık tesislerine ulaşımın rahat olması istenilmektedir. Ulaşım hem hasta ve yakınlarının hem de personelin memnuniyetini etkilemektedir. Problemimizde X ve Y hastaneleri ulaşım açısından aynı olanaklara

sahiptir. Fakat kampüs yapımına karar verilmesi halinde şehrin diğer ilçelerine de hizmet verileceğinden ulaşım kriterinin önemi artmaktadır.

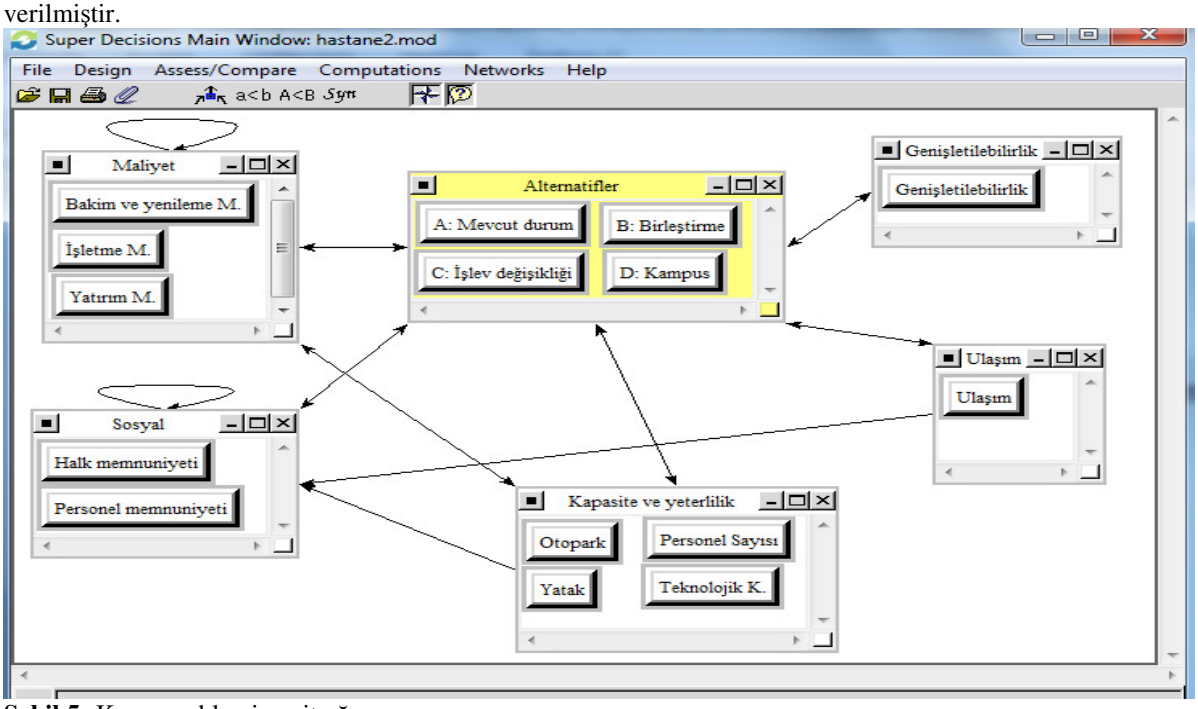
5. Genişletilebilirlik: yapılan seçim; ilerleyen yıllarda nüfus artışı gibi faktörlere bağlı olarak ihtiyaç halinde ek tesis yapımına imkân vermelidir.

Değerlendirme sürecinde kullanılacak olan faktörler belirlendikten sonra bu faktörler arasındaki bağımlılıklar araştırılmıştır. Uzman görüşü ile tespit edilen bağımlılıklar Tablo 1'de verilmiştir:

Tablo 16: Faktörler arasındaki bağımlılıklar

Kriter	**Bağlı olduğu kriterler**
Halk memnuniyeti	Personel memnuniyeti, kapasite ve yeterlilik, alternatifler, ulaşım
Personel memnuniyeti	Otopark, personel sayısı, teknolojik kapasite, alternatifler, ulaşım, halk memnuniyeti
Yatırım maliyeti	Otopark, yatak, teknolojik kapasite, alternatifler
Bakım ve yenileme maliyeti	Yatırım maliyeti, alternatifler
İşletme maliyeti	Personel sayısı, teknolojik kapasite, yatak, alternatifler
Teknolojik kapasite	Yatırım maliyeti, alternatifler
Ulaşım	Alternatifler
Alternatifler	Tüm kriterler

Faktörler arasındaki bağımlılıklar da belirlendikten sonra "Super Decisions" programı kullanılarak problemin Şekil 2'de verilen ağ modeli kurulmuştur. Karar probleminin çözümü için aynı program kullanılmıştır. İkili karşılaştırmalar doğrudan program üzerinde yapılmıştır. Program tanımlanan bağımlıklara göre ikili karşılaştırma sorularını hazırlamakta ve verilen cevaplara göre öz vektörleri hesaplamaktadır. Daha sonra hesaplanan öz vektörler program tarafından süpermatrise aktarılmakta ve limit matris hesaplanmaktadır. Programdan elde edilen süpermatris Ek 1'de, ağırlıklandırılmış süpermatris Ek 2'de ve limit matris Ek 3'te verilmiştir.



Şekil 5: Karar problemine ait ağ yapısı

Seçim problemlerinde en yüksek önem ağırlığına sahip olan alternatif en iyi alternatif olarak seçilir. Önem ağırlıkları ise limit matristeki değerlerdir. Tablo 2'de alternatiflerin ve kriterlerin limit matris değerleri büyükten küçüğe sıralanarak verilmiştir.

Tablo 17: Alternatifler ve kriterlere ait limit matris değerleri

	Alternatif/kriter	Limit değeri	Öncelik sırası
Alternatifler	B: Birleştirme	0,135581	1
	D: Kampüs	0,087794	2
	A: Mevcut durum	0,049897	3
	C: İşlev değişikliği	0,047943	4
Kriterler	İşletme Maliyeti	0,154528	1
	Teknolojik Kapasite	0,113468	2
	Halk memnuniyeti	0,108066	3
	Yatırım Maliyeti	0,097526	4
	Personel Sayısı	0,051243	5
	Personel memnuniyeti	0,041368	6
	Bakım ve yenileme maliyeti	0,036778	7
	Ulaşım	0,023784	8
	Genişletilebilirlik	0,022385	9
	Yatak	0,015332	10
	Otopark	0,014307	11

Tablo 2 incelendiğinde en iyi alternatifin X ve Y hastanelerinin birleştirilmesi (B:Birleştirme) olduğu anlaşılmaktadır. En iyi ikinci alternatif ise sağlık kampüsünün yapılmasıdır. X hastanesinin eğitim araştırma hastanesine dönüştürülmesini ve mevcut durumun devamını ön gören alternatifler ise hemen hemen aynı önem ağırlığı ile 3. ve 4. sırada yer almışlardır.

En iyi alternatifin belirlenmesinde, en önemli kriterlerin; işletme maliyeti, teknolojik kapasite, halk memnuniyeti ve yatırım maliyeti olduğu anlaşılmaktadır. Elde edilen sonuç uzman görüşü ile örtüşmektedir. İki hastanenin birleştirilmesi ile işletme maliyetlerinin düşmesi beklenmekte ve iki hastanenin birleştirilmesi için yeni yatırım gerekmemektedir. Ayrıca halkın memnuniyet düzeyinde ve teknolojik kapasitede bir gerileme olmayacaktır. Aksine iki hastanenin kaynaklarının ortak kullanımının artan verimlik ve kalite nedeniyle hasta ve hasta yakınlarının memnuniyetini arttırması beklenmektedir.

Sağlık kampüsü yapılmasının ikinci sırada kalmasında bu alternatifin seçilmesi halinde işletme ve yatırım maliyetlerin artması büyük rol oynamaktadır. Sağlık kampüsü yapılması alternatif halk memnuniyeti acısından X ve Y hastanelerinin birleştirilmesine göre daha iyi bir seçenektir. Bakanlık yetkilileri şehrin genelinin ihtiyacını dikkate alarak artan maliyetlere katlanmayı kabullenirse sağlık kampüsü yapımı iyi bir alternatif olabilir. Bu durumda Bakanlık yetkilileri öncelikle ayrı bir çalışmayla sağlık kampüsü için en uygun yerin Y hastanesin bulunduğu yer olup olmadığını belirlemelidir.

4. SONUÇ

Sağlık yöneticileri sürekli olarak hasta memnuniyetinin arttırılması ve maliyetlerin düşürülmesi gibi birbiri ile çelişen amaçlar içeren karar problemleri ile karşılaşmaktadır. 5283 sayılı Kanunun ile SSK hastanelerinin Sağlık Bakanlığı'na devri soncunda aynı nüfusa hizmet veren, benzer işlevlere sahip birden çok Sağlık Bakanlığı hastanesinin oluşması da bu türden bir dizi kararın verilmesini gerektirmektedir. Bu tür problemlere, şeffaf ve kolay açıklanabilir yöntemler kullanılarak paydaşlar açısından uzlaşık çözümler üretilmelidir.

Bu çalışmada öncelikle SSK hastanelerinin Sağlık Bakanlığı'na devrinin amaçları ile devir sonrasında oluşan durum incelenmiştir. Daha sonra birden çok kamu hastanesi olan bölgelerdeki hastanelerin planlanmasında kullanılabilecek objektif bir yöntem geliştirilmeye çalışılmıştır.

Bu amaçla uzman görüşlerinden faydalanarak yukarıda tanımlanan duruma uygun örnek bir senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryoda; aynı bölgedeki hastanelerin birleştirilmesi, bu hastanelerin mevcut hali ile hizmete devam etmesi, hastanelerden birinin işlevinin değiştirilmesi ve bölgeye yeni bir sağlık kampüsü yapılması alternatiflerinden birinin seçilmesini öngören bir karar problemi tanımlanmıştır. Daha sonra tanımlanan problem ağ şeklinde modellenmiştir. Bu modelde alternatiflerin ve karar kriterlerinin önem derecelerinin belirlenmesi için ANP tekniği kullanılmıştır.

Çalışma sonucunda; aynı bölgede bulunan hastanelerin planlanmasında dikkate alınması gereken en önemli kriterlerin sırasıyla işletme maliyeti, teknolojik kapasite, halk memnuniyeti ve yatırım maliyeti olduğu belirlenmiştir. Alternatifler arasında yapılan değerlendirmede ise özellikle işletme ve yatırım maliyetlerindeki belirgin üstünlüğü nedeniyle hastanelerin birleştirilmesinin en iyi alternatif olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3).

Elde edilen sonuçlara göre hastanelerin birleştirilmesinin diğer alternatifler karşında belirgin bir üstünlüğü bulunmaktadır. Fakat sağlık kampüsü yapımı teknolojik kapasite ve halk memnuniyeti açısından hastanelerin birleştirilmesine göre daha üstün bir alternatif olarak düşünülebilir. Bu alternatif, maliyetlerin (işletme maliyeti, yatırım maliyeti) yüksek olması nedeniyle ikinci sırada yer almıştır. Daha geniş bir bölgenin ihtiyacı göz önünde bulundurularak artan maliyetlere katlanılması halinde sağlık kampüsü yapımı tercih edilebilir.

Tablo 3: Etkili Alternatifler ve kriterler

	Alternatif/kriter	Limit değeri
Alternatifler	B: Birleştirme	0,135581
	D: Kampüs	0,087794
Kriterler	İşletme Maliyeti	0,154528
	Teknolojik Kapasite	0,113468
	Halk memnuniyeti	0,108066
	Yatırım Maliyeti	0,097526

Çalışmada kullanılan model ve belirlenen kriterler örnek senaryoya özgü olmakla birlikte, kurulan ağ modeli küçük değişikliklerle gerçek problemlerde kullanılabilir. Bunun için modelin planlama yapılacak bölgeye uyarlanması ve ikili karşılaştırma sorularının o bölgenin şartlarına göre tekrar cevaplanması yeterlidir.

ANP tekniği ile; incelenen problemde yer alan alternatiflerin ve kriterlerin göreli ağırlıkları elde edilmekte (Tablo 2), böylece sonucun ortaya çıkmasında hangi alternatif ve kriterlerin ne ölçüde payı olduğu belirlenebilmektedir. ANP'nin bu özelliği sayesinde anlaşılabilir ve şeffaf çözüm yöntemleri geliştirilebilmektedir.

ANP yaklaşımı; grup veya bireyin önceliklerini dikkate aldığı, nitel ve nicel değişkenleri bir arada değerlendirebildiği ve sonuçları açık ve yorumlanabilir olduğu için sağlık sektöründe de çok sayıda karar probleminin çözümünde kullanılabilir. Bu nedenle ANP tekniği ile; sağlık tesisi yeri seçimi, en uygun hastane projesinin belirlenmesi, hastaneler için ortak performans kriterlerinin belirlenmesi ve tıbbi cihaz seçimi gelecek çalışmaların konusu olmaya adaydır.

KAYNAKÇA

1. Pala, K., 2007, "Türkiye İçin Nasıl Bir Sağlık Reformu",[online], Bursa, http://saglik.nilufer.bel.tr/pdf_doc/saglik_reformu.pdf, (**Ziyaret tarihi: 18 Nisan 2011**).
2. T.C. Sağlık Bakanlığı, " Sağlıkta Dönüşüm", **T.C. Sağlık Bakanlığı**, **Ankara,** 4-14, (2003).
3. Tozan,C., "SSK Sağlık Tesislerinin Sağlık Bakanlığı'na Devrinden Sonraki Uygulama Sonuçları", **TÜRK-İŞ**, **Ankara,** 4, (2006).
4. Tayyar, N., ve Bektaş, Ç., "SSK Hastaneleri'nin Sağlık Bakanlığına Devrinin Hizmet Kalitesine Etkileri", **Finans Politik & Ekonomik Yorumlar,** 45 (524), 73, (2008).
5. Pamukçu, B., "Analitik Ağ Süreci ve Bir Uygulama", **Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 4, (2004).
6. Felek, S., Yuluğkural, Y., Aladağ, Z., "Mobil İletişim Sektöründe Pazar Paylaşımının Tahmininde AHP ve ANP Yöntemlerinin Kıyaslaması", **Endüstri Mühendisliği Dergisi,** 18 (1), 6-22, (2007).
7. Kocakalay, Ş., Sağır Özdemir, M. Işık, A., "Analitik Serim Süreci Tekniği ile Pazar Payı Tahmini", **YA/EM'2004 - Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği - XXIV Ulusal Kongresi**, Gaziantep – Adana, 15-18 Haziran (2004)
8. Yüksel, İ. ve Dağdeviren, M., "Sosyo-Teknik Sistemlerde Hatalı Davranış Riskini Belirlemeye Yönelik Bir Erken Uyarı Modeli", **Gazi Üniversitesi. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,** 21 (4), 791-799, (2006).
9. Saaty, T.L., "The Analytic Hierarchy Process", **McGraw-Hill**, New York, A.B.D., (1980).
10. Saaty, T.L., "Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process", **RWS Publications, Pittsburgh**, A.B.D., (1996).
11. Okul, D., "Analitik Ağ Süreci ve Bulanık Mantık Kullanımıyla Kalite Fonksiyon Yayılımının Mobilya Sektöründe Uygulanması", **Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 40, (2007).
12. Muşdal, H., "Tıbbi Atıkları İşleme ve Bertaraf Etme Teknolojisi Seçme Problemine Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Bulanık Analitik Ağ Prosesi Yaklaşımı", **Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 69, (2007).

13. Yuluğkural, Y., Felek, S. Aladağ, Z., "Mobil İletişim Sektöründe Pazar Paylaşımının Anp Yöntemi ile Tahminlenmesi / Pazar Payı Arttırma Amaçlı Strateji Öneri Süreci", **V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu**, İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, 89-93, 25-27 Kasım (2005)
14. Dağdeviren, M., Dönmez, N., Kurt, M., "Bir İşletmede Tedarikçi Değerlendirme Süreci İçin Yeni Bir Model Tasarımı ve Uygulaması", **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,** 21 (2), 247-255, (2006).
15. Göze, E.A., "Analitik Ağ Süreci ile Sürdürülebilir Bir Üçüncü Parti Lojistik Servis Sağlayıcısı Seçimi", Yüksek Lisans Tezi**, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 64, (2008).
16. Cengiz, M., "Türkiye'deki Mevcut Koşulların Bulanık Analitik Ağ Süreciyle Değerlendirilerek Uygun Tersane Yeri Seçimi", Yüksek Lisans Tezi**, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 15-16, (2007).
17. Üstün, Ö., Sağır Özdemir, M., Aktar Demirtaş, E., "Kıbrıs Sorunu Çözüm Önerilerini Değerlendirmede Analitik Serim Süreci", **Endüstri Mühendisliği Dergisi,** 16 (4), 2-13, (2005)
18. İnan, U. H., "Kalite Yönetim Sistemlerinde Tetkik Performansının Bulanık Mantık ile Analitik Hiyerarşi Süreci ve Bulanık Analitik Ağ Süreci Kullanılarak Ölçülmesi ", Doktora Tezi**, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 54-55, (2008).
19. Aytürk,, S., "Askeri Savunma Sistemlerinde Analitik Hiyerarşi ve Analitik Şebeke Prosesi İle Hafif Makineli Tüfek Seçimi", Yüksek Lisans Tezi**, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-88, (2006).
20. Simunich, B., "In the Fall of 2002, the ANP had shown a better way to deal with Iraq", **Mathematical and Computer Modelling,** 46, 1130-1143, (2007).
21. Köne, A. Ç., ve Büke, T.," An Analytical Network Process (ANP) evaluation of alternative fuels for electricity generation in Turkey", **Energy Policy,** 35, 5220-5228, (2007).
22. Şeker, V., "Türkiye'nin Elektrik Enerjisi Üretiminde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının ANP ile Modellenmesi ve Analizi", Yüksek Lisans Tezi**, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-122, (2010).
23. Keçeci, U., "Tedarikçi Seçim Probleminde Analitik Ağ Süreci", Yüksek Lisans Tezi**, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-68, (2006).
24. Jharkharia, S. ve Shankar, R., "Selection of logistics service provider:An analytic network process (ANP) approach", **Omega,** 35, 274-289, (2007).
25. Aslan, N., "Analitik Network Prosesi", Yüksek Lisans Tezi**, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 1-85, (2005).
26. Liou, J. J. H., Tzeng, G. H., Tsai, C. Y., Hsu, C. C., "A hybrid ANP model in fuzzy environments for strategic alliance partner selection in the airline industry", **Applied Soft Computing,** 11, 3515-3524, (2011).
27. Niemira, M. P., ve Saaty, T. L., "An Analytic Network Process model for financial-crisis forecasting", **International Journal of Forecasting,** 20, 573– 587, (2004).
28. Canbolat, R., "Hata Türü ve Etkileri Analizi'nde Analitik Ağ Süreci ve Bulanık Mantık Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi**, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 1-66, (2008).
29. Wey, W. M., ve Wu, K. Y., "Using ANP priorities with goal programming in resource allocation in transportation", **Mathematical and Computer Modelling,** 46, 985–1000, (2007).

EK 1: SÜPERMATRİS

	Alternatifler					Kapasite ve yeterlilik				Maliyet			Sosyal		
	A: Mevcut durum	B: Birleştirme	C: İşlev değişikliği	D: Kampus	Genişletilebilirlik	Otopark	Personel Sayısı	Teknolojik K.	Yatak	Bakim ve yenileme M.	İşletme M.	Yatırım M.	Halk memnuniyeti	Personel memnuniyeti	
A: Mevcut durum	0,000	0,000	0,000	0,000	0,107	0,179	0,158	0,056	0,051	0,144	0,166	0,274	0,168	0,276	0,1
B: Birleştirme	0,000	0,000	0,000	0,000	0,411	0,480	0,668	0,186	0,278	0,676	0,685	0,552	0,135	0,101	0,6
C: İşlev değişikliği	0,000	0,000	0,000	0,000	0,090	0,090	0,107	0,152	0,047	0,061	0,104	0,141	0,236	0,483	0,0
D: Kampus	0,000	0,000	0,000	0,000	0,393	0,251	0,068	0,606	0,624	0,119	0,045	0,033	0,461	0,141	0,1
Genişletilebilirlik	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Otopark	0,169	0,150	0,079	0,049	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Personel Sayısı	0,366	0,372	0,598	0,394	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Teknolojik K.	0,352	0,372	0,255	0,371	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,0
Yatak	0,113	0,106	0,068	0,185	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Bakim ve yenileme M.	0,297	0,320	0,625	0,286	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,0
İşletme M.	0,540	0,558	0,238	0,571	0,000	0,000	0,889	0,100	0,500	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Yatırım M.	0,163	0,122	0,137	0,143	0,000	1,000	0,111	0,900	0,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Halk memnuniyeti	0,667	0,667	0,667	0,667	0,000	0,250	0,500	0,500	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,5
Personel memnuniyeti	0,333	0,333	0,333	0,333	0,000	0,750	0,500	0,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,5
Ulaşım	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0

EK 2: AĞIRLIKLANDIRILMIŞ SÜPERMATRİS

	Alternatifler					Kapasite ve yeterlilik				Maliyet		
	A: Mevcut durum	B: Birleştirme	C: İşlev değişikliği	D: Kampus	Genişletilebilirlik	Otopark	Personel Sayısı	Teknolojik K.	Yatak	Bakim ve yenileme M.	İşletme M.	
A: Mevcut durum	0,000	0,000	0,000	0,000	0,107	0,036	0,032	0,011	0,010	0,144	0,083	0,
B: Birleştirme	0,000	0,000	0,000	0,000	0,411	0,096	0,133	0,037	0,055	0,676	0,343	0,
C: İşlev değişikliği	0,000	0,000	0,000	0,000	0,090	0,018	0,021	0,030	0,009	0,061	0,052	0,
D: Kampus	0,000	0,000	0,000	0,000	0,393	0,050	0,014	0,121	0,125	0,119	0,023	0,
Genişletilebilirlik	0,070	0,070	0,070	0,070	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,
Otopark	0,066	0,058	0,031	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,
Personel Sayısı	0,142	0,144	0,232	0,153	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,
Teknolojik K.	0,137	0,144	0,099	0,144	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,
Yatak	0,044	0,041	0,026	0,072	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,
Bakim ve yenileme M.	0,060	0,065	0,126	0,058	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,

İşletme M.	0,109	0,113	0,048	0,115	0,000	0,000	0,607	0,068	0,342	0,000	0,500	0.
Yatırım M.	0,033	0,025	0,028	0,029	0,000	0,683	0,076	0,615	0,342	0,000	0,000	0.
Halk memnuniyeti	0,178	0,178	0,178	0,178	0,000	0,029	0,058	0,058	0,117	0,000	0,000	0.
Personel memnuniyeti	0,089	0,089	0,089	0,089	0,000	0,088	0,058	0,058	0,000	0,000	0,000	0.
Ulaşım	0,074	0,074	0,074	0,074	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0.

EK 3: LİMİT MATRİS

	Alternatifler					Kapasite ve yeterlilik				Maliyet		
	A: Mevcut durum	B: Birleştirme	C: İşlev değişikliği	D: Kampus	Genişletilebilirlik	Otopark	Personel Sayısı	Teknolojik K.	Yatak	Bakim ve yenileme M.	İşletme M.	
A: Mevcut durum	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,0
B: Birleştirme	0,136	0,136	0,136	0,136	0,136	0,136	0,136	0,136	0,136	0,136	0,136	0,1
C: İşlev değişikliği	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,0
D: Kampus	0,088	0,088	0,088	0,088	0,088	0,088	0,088	0,088	0,088	0,088	0,088	0,0
Genişletilebilirlik	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,0
Otopark	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,0
Personel Sayısı	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,0
Teknolojik K.	0,113	0,113	0,113	0,113	0,113	0,113	0,113	0,113	0,113	0,113	0,113	0,1
Yatak	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,0
Bakim ve yenileme M.	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,0
İşletme M.	0,155	0,155	0,155	0,155	0,155	0,155	0,155	0,155	0,155	0,155	0,155	0,1
Yatırım M.	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,0
Halk memnuniyeti	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,1
Personel memnuniyeti	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,0
Ulaşım	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,0

ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ İLE FASONCU SEÇİMİ

Vesile Sinem ARIKAN KARGI[31]
Ahmet ÖZTÜRK[32]

Özet

Türk Tekstil Şirketleri küreselleşmenin getirdiği fiyat yönünden şiddetli rekabet koşulları içinde çalışmaktadır. Şirketler kârlılıklarını ve yaşamlarını küresel pazarda sürdürebilmeleri için maliyet, kalite ve zamanında teslim gibi kriterleri göz önünde bulundurmalıdır. Bu kriterleri sağlamak için yüklenici firmalar en iyi fasoncuyu seçmek zorundadır. Dolayısıyla yüklenici firma için fasoncu seçimi bir problemdir.
Çalışmamızın amacı bir yüklenici firma olan Yeşim Tekstil'in Nike müşterisi için en iyi fasoncunun hangisi olduğuna ilişkin problemini çözmektir. Problemi çözmek için ilk olarak Yeşim Şirketi ve Nike Şirketi için önemli olan ana kriterler ve bunlara ilişkin alt kriterler belirlenmiştir. Sonra Saaty'nin önem ölçeğini kullanarak ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması için firma yetkilileri ile görüşülmüştür. Bir bakıma bu matris çalışmamızın modelidir. AHS olarak isimlendirilen model, Expert Choice paket programı ile çözülmüştür. Model değerlerinin sonuçlarına göre Yeşim Tekstil için en iyi fasoncular belirlenmiştir. Ayrıca model sonuçları şirketin karar vericileri için analiz edilmiştir.
Anahtar Kelimeler: Analitik hiyerarşi süreci (AHS), Çok kriterli analiz, Yüklenici, Fasoncu

SUBCONTRACTOR SELECTION USING BY ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

Abstract

Turkish Textile firms were working under the strictly competition of globalization situation because of price. Companies should take into account such as cost, quality and delivery in time criteria to provide their profitability and to keep on their life in the global market. The contractor firms have to choose the best subcontractor for providing these criteria. Therefore the selection of the subcontractor is a problem for contractor firm.
The aim of our study is to solve the problem which is the best subcontractor for Yeşim Textile's client Nike. Firstly, to solve the problem we determined the main criteria and the related sub-criteria that are important for Yeşim Company and Nike Company. Then, we consulted the company's officials to determine pairwise comparison matrix by using Saaty's importance scale. In a way this matrix is the model of our study. To solve the model which is named AHP was used Expert Choice package program. According to solution of model values we determined the best subcontractors for Yeşim Company. In addition the model solutions were analyzed for decision makers of the company.
Keywords: Analytic hierarchy process (AHP), Multi criteria analysis, Contractor, Subcontractor

1.Giriş

Günümüz küresel piyasa koşullarında, şirketler kârlılıklarını sürdürebilmeleri için müşterilerine ek değer yaratan ürünler üretmeli, üretilen ürünler ise kaliteli, yarışabilir fiyatta ve zamanında müşteriye teslim edilmelidir. Yaşanan şiddetli rekabet koşullarında, müşteri siparişlerinin büyüklüğü, siparişlerin fiyatı, kalite düzeyi, maliyeti, siparişlerin zamanında gönderilmesi gibi faktörler, şirketleri fasoncularla (subcontractor) işbirliğine yöneltmiştir. Ayrıca, Türk Tekstil Sektöründe yer alan şirketlerin büyük çoğunluğu Dünyada marka olan Nike, Zara, Gap, Adidas, Esprit, Victory Secret, Hugo Boss, gibi küresel şirketlerin fasoncusu durumunda olduğunu görmekteyiz.
Son yıllarda, Türk Tekstil Şirketleri Çin, Hindistan, Pakistan ve diğer Uzakdoğu ülkeleriyle fiyat yönünden şiddetli rekabet içinde yaşamlarını sürdürmek zorunda kalmıştır. Dolayısıyla şirketler karlılıklarını

[31] Uludağ Üniversitesi,Ekonometri Bölümü ,Bursa, Araştırma Görevlisi, vesa@uludag.edu.tr

[32]Uludağ Üniversitesi, Ekonometri Bölümü, Bursa, Profesör Dr., ahmetozturk@uludag.edu.tr

sürdürebilmek ve ayakta kalabilmek için maliyet, kalite, zamanında teslim gibi kriterleri göz önünde bulundurarak aldığı yurtdışı siparişlerinin bir kısmını fasoncu şirketlere vermek durumuyla yüz yüzedir. Bunun yanında mal sahibi olan küresel şirket, yüklenici(contractor) şirket ile yaptığı sözleşmelerde kendisi tarafından belirlenen kriterlerinin siparişlerini de yerine getirilmesini istemektedir. Ayrıca genel yüklenici şirketin de fasonculardan istediği kriterler bulunmaktadır. İşte burada sorun, mal sahibi şirket ile genel yüklenici şirket kriterlerini en iyi karşılayacak fasoncularının seçimidir.

Çalışmamızın amacı, yüklenici firma olan Yeşim Şirketi'nin aldığı Nike siparişlerini en iyi hangi fason şirketlerince üretilmesi gerektiğini, çok kriterli karar verme tekniği olan AHS yöntemini kullanarak belirlemektir. Çalışmamız giriş dışında dört kısımdan oluşmaktadır. İlk olarak fasoncu seçimine ilişkin literatür incelenmiştir. Daha sonra, analitik hiyerarşi sürecine ilişkin tanım verilerek çözüm aşamaları açıklanmıştır. Dördüncü kısımda Yeşim Tekstilde uygulamanın nasıl yapıldığına ilişkin model kurulmuştur. Son kısımda ise Expert Choice paket programı ile kurulan model çözülmüş, çözüm sonuçlarına dayanarak bu çalışmanın söz konusu firmaya ne gibi yararlar getirdiği belirtilmiştir.

2. Literatür

Yapmış olduğumuz literatür taraması sonucunda birçok alanda AHS yöntemi ile yapılmış çalışmalar olmasına rağmen yüklenici ve fasoncu seçimi konusunda pek fazla çalışmaya rastlanılmamıştır. Kumaraswamy and Matthews (Kumaraswamy and Matthews, 2000) müşteri ile yüklenici arasındaki ortaklık ilişkisinin geliştirilmesinde kullanılabilecek teknikler ve geliştirilen alt sözleşmelerin önemine değinmişlerdir. Fong and Choi (Fong and Choi, 2000) çalışmasında amaçlanan en nitelikli müteahhidin(contractor) seçimidir. Çalışmada müteahhidin çok yönlü performans potansiyelini daha kapsamlı değerlendirmek için yeni bir alternatif seçim aracı önerilmiştir. Müteahhit seçimi için önerilen AHS tekniği kullanıldığında nitel ve nicel kriterlerin yanında zaman ve kalite kriterleri de ele alınarak teklif bedelinde değiş tokuşun üstesinden gelinebileceği ifade edilmiştir. Al Harbi'nin (Al Harbi, 2001) çalışması da AHS yönteminin proje yönetiminde nasıl uygulanacağı amacına yöneliktir. Topçu(Topçu, 2003) en düşük maliyeti teklif eden müteahhitlerin kamu sektöründe genellikle ihaleyi aldıklarını belirtmiştir. Ayrıca bu geleneksel minimum maliyetli modelin yerine inşaat müteahhidi seçimi için maliyet, zaman ve kalite gibi kriterleri ele alan bir karar modelini de önermiştir. Banaitiene and Banaitis(Banaitiene and Banaitis, 2006) makalesi müteahhit değerlendirme veya seçim kriteri üzerine odaklıdır. Onların çalışmasındaki amaç, Litvanya inşaat şirketleri müteahhitlerinin niteliklerini kriterler üzerinde değerlendirmesi ve kriter ağırlıklarının öneminde bunların araştırılması gerektiğidir. Wu et al (Wu et al, 2007) yapmış oldukları çalışmada kalite yönetim sistemi için en iyi felsefe olarak yaygınca bilinen planla, yap, denetle ve faaliyete geç(PDCA) kalite döngüsünü kullanarak en iyi fasoncunun seçimine ilişkindir. Yik ve Lai (Yik and Lai, 2007) çalışmalarında Hong Kong inşaat endüstrisinde çok katlı alt sözleşme sisteminin nasıl çalıştığını ortaya koymuşlardır.

3. Analitik Hiyerarşi Süreci

Analitik hiyerarşi süreci (AHS) 1970'lerde Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen, çok kriterli karar verme yöntemlerinden birisidir. AHP; karmaşık, yapılandırılmamış bir durumun, bileşenlerini ve değişkenlerini hiyerarşik bir düzende ifade etme, her bir alternatifin kıyaslamalı önem düzeyine ilişkin kişisel yargılara nicel değerler atama ve elde edilen yargıların sonucuna göre değişkenlerin öncelik düzeylerini ortaya koyarak sentez yapma yöntemi olarak tanımlanabilir(Saaty, 2005). Analitik hiyerarşi süreci, karar seçeneklerinin değerlendirilmesi ve seçilmesi sürecinde hem nicel hem de nitel karar kriterlerinin kullanılmasına imkân veren bir yöntem olmasından dolayı, birçok alanda karşılaşılan karar problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. Örneğin; planlama, pazarlama, toplam kalite yönetimi, kıyaslama (benchmarking), üretim gibi alanlarda kullanılmasının yanı sıra, proje seçimi, yatırım kararları, risk yönetimi, yüklenici seçimi, fasoncu seçimi, yönetim stratejilerinin değerlendirilmesi gibi işletme için önemli konularda da AHS yönteminden faydalanılır.

AHS yaklaşımında bir karar probleminin sınıflandırılmasında hiyerarşik bir yapı kullanılır. Hiyerarşi aslında özel bir sistem türü olup belirlenen elemanların ayrı kümeler halinde gruplanabileceği ve bu gruba ilişkin elemanların diğer gruptaki elemanlarından yalnızca birinden etkilenebileceği varsayımına dayanır. Hiyerarşinin her grup elemanlarının bağımsız olacağı varsayılır. Onlar arasında bağımlılık olduğunda, bağımsızlık ve bağımlılık ayrı ayrı incelenmeli ve sonra da bu her iki ilişki birleştirilmelidir(Saaty, 1988).

3.1. AHS Problemlerinin Çözüm Aşamaları

AHS yöntemi ile karar verme sürecinde birinci aşama, problemin tanımlanması ve yapılandırılmasıdır. Burada problemin tanımlanması, alternatif ve kriterlerin belirlenmesi, hedeflere dayanan değerlendirme kriterini geliştirme işlemleri yapılır. Söz konusu yöntemde hiyerarşi oluşturulurken sistemde yer alacak elemanların belirlenmesi önemli bir konudur. Modele dahil edilecek kriterler ve alternatifler belirlendiğinde AHS' nin yapılandırılması başlar. Bunlar belirlenirken uzman bir ekipten yararlanılması, çalışmanın iyi yapılandırılması açısından yararlıdır.

İkinci aşama model kurma aşaması olup bu aşamada hiyerarşinin kurulması, ikili karşılaştırmalar matrisi, sentez, tutarlılık ve nihai karar adımları bu aşamada yer alır. Şimdi bu adımları kısaca açıklamaya çalışalım. Öncelikle

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

AHS karar problemine ilişkin hedef, kriterler, alt kriterler ve alternatifler belirlenerek karar problemine ilişkin hiyerarşik bir yapı kurulur. Sonra önceliklerin tespiti amacıyla hiyerarşide yer alan elemanların ikili karşılaştırılması ve ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasıdır. Matrisler oluşturulurken kriterlerin birbirleriyle karşılaştırılabilmesi için bir ölçek kullanılır. Bu ölçek Tablo 1 de verilmiştir (Saaty, 1988).

Önem Derecesi	**Tanım**	**Açıklama**
1	Eşit Önemli	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunur.
3	Birinin Diğerine Göre Çok Az Önemli Olması	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine çok az derecede tercih ettirir.
5	Kuvvetli Derecede Önemli	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine kuvvetli derecede tercih ettirir.
7	Çok Kuvvetli Derecede Önemli	Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih edilir ve baskınlığı uygulamada rahatlıkla görülür.
9	Aşırı Derecede Önemli	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar çok büyük güvenirliliğe sahiptir.
2,4,6,8	Ortalama Değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanmak üzere yukarıda listelenen yargılar arasına düşen değerler

Tablo 1: Göreli Önem Ölçeği

İkili karşılaştırmalar matrisi; öncelikle ana kriterler, daha sonra her bir ana kriterde yer alan alt kriterler ve son olarak da tüm kriterleri göz önüne alan alternatiflerin karşılaştırıldığı matrislerden oluşur. Yapılan bu karşılaştırmalarda iki sorunun yanıtlanması gerekir. Bunlardan ilki; kriterlerde yer alan iki eleman arasından hangisinin daha önemli olduğu, diğeri de söz konusu elemanların birbirlerine göre kaç kat önemli olduğunun belirlenmesidir.

İkili karşılaştırma matrisi oluşturulduktan sonra, karşılaştırılan elemanların her birinin önceliği hesaplanarak göreli önem vektörleri elde edilir. Bu vektörlerin elde edilmesi sentez adımını oluşturur. Karşılaştırılan elemanların göreli önem vektörleri hesaplandıktan sonra ikili karşılaştırma matrislerine ilişkin tutarlılık oranı belirlenir ve bu oran için üst limitin 0,10 olması istenir. Oranın 0,10 altında olması bize her bir elemanının önem düzeylerinin anlamlı olduğunu gösterir. Bu oranın 0,10 üzerinde olması ise karar vericinin yargılarında tutarsız olduğunu ifade eder.

Tutarlılık oranı hesaplanırken şu adımlar izlenmektedir: Önce ikili karşılaştırma matrisinin her bir satırı için, sütunlarda yer alan elemanların ağırlıkları toplamı bulunur. Sonra ikili karşılaştırma matrisinin her bir sütunundaki eleman, elde edilen toplam sütun ağırlığına bölünerek normalize edilmiş matris hesaplanır. Normalize edilmiş matrisin her bir satırının ortalaması alınarak öncelikler vektörü oluşturulur. Öncelikler vektörü hesaplandıktan sonra elde edilen vektör başlangıçta verilen karşılaştırma matrisi ile çarpılarak karşılaştırma matrisini dikkate alan tüm öncelikler matrisi oluşturulur. Daha sonra da tüm öncelikler matrisinin her bir elemanı, öncelikler vektörü elemanına bölünür. Elde edilen yeni matrisin elemanlarının ortalaması alınarak en büyük özdeğer (λ_{max}) elde edilir. İkili karşılaştırma matrisinin tutarlı olabilmesi için matrisin en büyük öz değerinin matrisin oluşturulmasında yer alan faaliyet sayısına (n değerine)eşit olması gerekir. Yani tutarlılık durumunda λ_{max} = n olup, tutarlılıktan sapma değeri ise, $CI = (\lambda_{max} - n)/(n-1)$ olarak gösterilir ve bu ifade tutarlılık indeksi (CI) olarak adlandırılır. Tutarlılık oranı (CR); Tutarlılık indeksi (CI), rassal indeks (RI) değerine oranlanarak hesaplanır.

Bir anlamda, $CR = CI / RI$ dır.

Burada rassal indeks (RI), n sayısına bağlı olarak rassal olarak türetilmiş ikili karşılaştırmalar matrislerinin ortalama değerleridir. Yapılan çalışmalar sonucunda 1–15 boyutlu matrisler için hazırlanan rassal indeks değerleri Tablo 2'de verilmiştir (Saaty,1988).

RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Tablo 2: Rassal İndeks değerleri

İkili karşılaştırma matrislerinin tutarlılıkları test edildikten sonra, AHS nin son adımı nihai karardır. Bu adımda alternatiflere ilişkin final göreli ağırlıklar bulunur. Final göreli ağırlıkların hesaplanabilmesi, öncelikle alt kriteri bulunan ana kriter için bileşik göreli önem vektörünün hesaplanması gerekir. Hesaplamalar matrisin her satırındaki alternatifin alt kriter için almış olduğu göreli önem değerleri ile her bir alt kriterin göreli önem değerlerinin çarpılması ve bu çarpımların toplanması ile bulunur. Bu hesaplamalar sonucu, alt kriteri bulunan ana kriter için bileşik göreli önem vektörünün elde edilmesinden sonra alternatifler için final göreli önem vektörü bulunabilir. Bunun için alternatifin ana kriterler için almış olduğu göreli önem değerleri ile her bir ana kriterin göreli önem değerleri çarpılır ve bu çarpımların toplamının alınması da bize göreli önem vektörünü verir. Böylece karar vericinin yargılarına göre en iyi alternatif elde edilmiş olur.

4. Uygulama

Yeşim Tekstil'in Nike Şirketi'nden aldığı siparişlerini hangi fasonculara vermesi gerektiğini belirleyecek AHS modelinin oluşturulması için öncelikle şirket kriterleri belirlenmelidir. Bunun için kalite güvence müdürü, fason takip sorumlusu ve sosyal uygunluk müdürü ile görüşerek kriterler belirlenmiştir. Ayrıca problemi çözmek için kurulacak modele gerekli verilerin sağlanması için firmanın kalite güvence müdürü, fason takip sorumlusu ve sosyal uygunluk müdürü başkanlığında üretim, satın alma, pazarlama bölümlerinden uzmanların yer aldığı bir araştırma ekibi kurulmuştur. Araştırma ekibi ile yapmış olduğumuz görüşme sonrasında; fasoncu seçim probleminde ele alacağımız kalite, sosyal uygunluk, maliyet gibi nitel ve nicel çok sayıda kriter içermesi nedeniyle problemin AHS yöntemiyle çözülmesine karar verilmiştir.

AHS modelinde, sekiz ana kriter ile bunlara ilişkin yirmi dokuz alt kritere göre altı tane fasoncu firma değerlendirilmiştir. Modelimizde yer alan ana kriterler aşağıda verilmiş olup bu kriterlerden plana uyum, sosyal uygunluk ve firmanın yerleşim yeri ana kriterleri firmanın özellikleri göz önünde bulundurularak görüşme sonucunda tarafımızdan geliştirilmiş ve modelimize eklenen kriterlerdir.

Kalite kontrol sistemler ana kriteri; girdi kontrol sistemi, ürün kabul yüzdesi, dikim ara kontrol sistemi, üretimin son kontrolü, düzeltici ve önleyici faaliyetler, kalite kontrol tekniklerinin uygulama etkinliği alt kriterlerini içerir.

Sosyal uygunluk ana kriteri, çocuk işçi çalıştırmama, ayrımcılık/taciz, çalışma saatlerinin uygunluğu, ücretlendirme ve ödemelerin uygunluğu, yönetim sistemi işleyişinin uygunluğu, iş sağlığı ve güvenliği, çevre ve uygunluk, sigortasız işçi çalıştırmama alt kriterlerini içerir.

Maliyet ana kriteri; işçilik maliyetleri, seyahat, gümrük, faturalandırma maliyeti, taşıma maliyeti alt kriterleridir.

Plana uyum ana kriteri; işçilik kapasitesi, talep değişimine uyum, kapasiteyi kullanma oranı ve zamanında teslim alt kriterleridir.

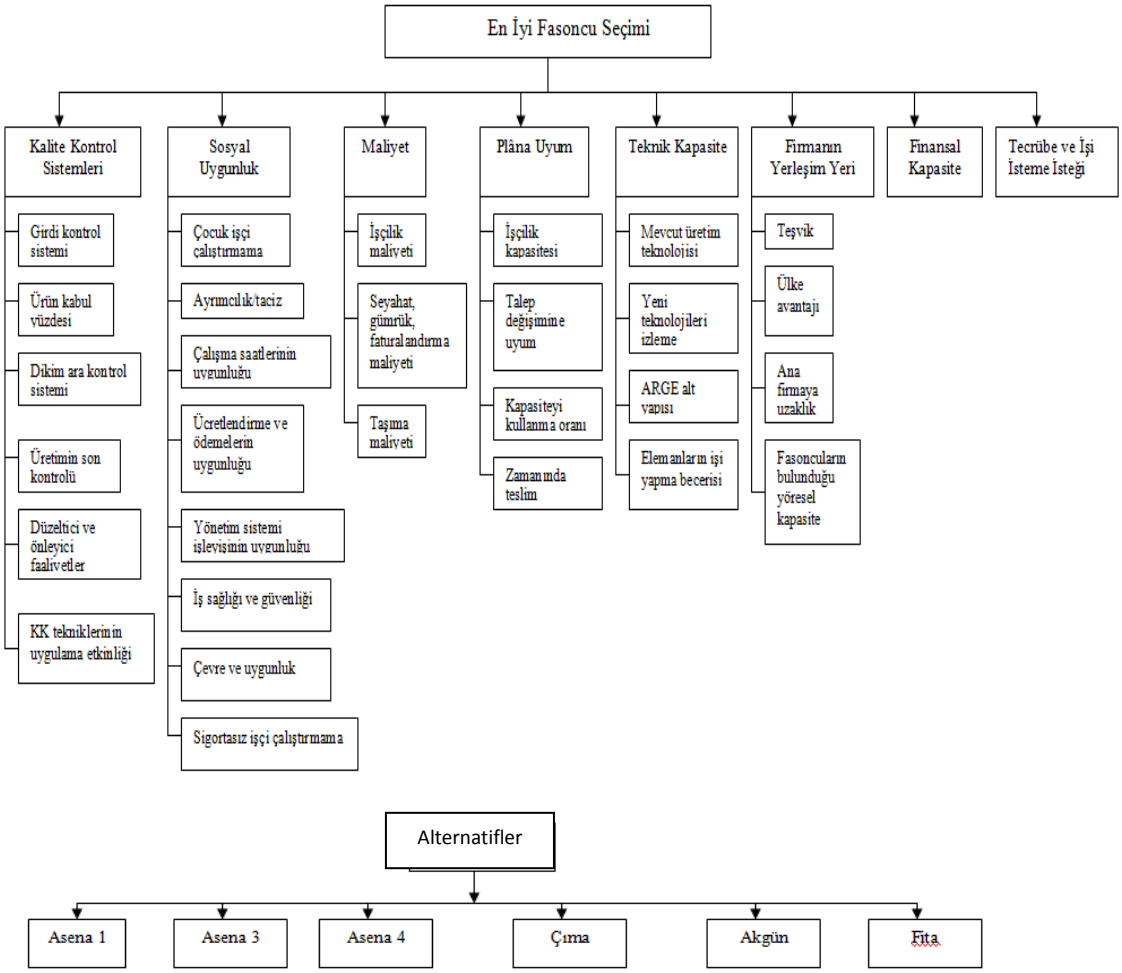
Teknik kapasite ana kriteri; mevcut üretim teknolojisi, yeni teknolojileri izleme, AR-GE alt yapısı ve elemanların işi yapma becerisi alt kriterlerini içerir.

Firmanın yerleşim yeri ana kriteri: Teşvik, ülke avantajı, ana firmaya uzaklık ve fasoncuların bulunduğu yöresel kapasitedir.

Finansal kapasite ile tecrübe ve işi isteme isteği ana kriterlerinin alt kriterleri yoktur.

Modelde yer alan alternatif fason firmalar: Asena 1, Asena 3, Asena 4, Çıma, Akgün ve Fita olmak üzere altı tanedir.

Yukarıdaki bilgilerden yararlanarak Şekil 1' de gösterilen AHS modelinin hiyerarşik yapısı oluşturulmuştur.



Şekil 1 Fasoncu Seçim Probleminin Hiyerarşik Yapısı

AHS modelinin hiyerarşik yapısı oluşturulduktan sonra ikinci adım hiyerarşi düzeyindeki elemanların göreli önemlerin belirlenmesi, yani her düzeyde bulunan elemanlar arasında yapılan ikili karşılaştırmalardır (pairwise comparision). İkili karşılaştırmalar; öncelikle ana kriterler, daha sonra her bir ana kriterde yer alan alt kriterler ve son olarak da tüm kriterler göz önüne alınarak alternatiflerin karşılaştırıldığı matrislerden oluşur. İkili karşılaştırmalar, Saaty tarafından geliştirilen ve Tablo 1 de gösterilen göreli önem ölçeği kullanılarak elde edilmiştir.

En iyi fasoncu seçimi için oluşturduğumuz model sonucunda otuz sekiz ikili karşılaştırma matrisi elde edilmiştir. Bunlardan ana kriter için; " Verilen iki kriterden kalite kontrol mü teknik kapasite mi en iyi fasoncunun seçiminde daha önemlidir? Ne kadar önemlidir?" şeklinde sorular ile ana kritere ilişkin matrisin göreli önemleri belirlenmiştir. Bu şekilde elde edilen matris aşağıda verilmiştir. Matriste ana kriterler 1 den 8 e kadar numaralandırılmıştır. Aşağıdaki matriste yer alan rakamlar sırasıyla; 1- kalite kontrol sistemlerini, 2- sosyal uygunluk kriterini, 3- maliyet, 4- plana uyum, 5- teknik kapasite, 6- firmanın yerleşim yeri, 7- finansal kapasite ve 8- tecrübe ve işi isteme isteği ana kriterlerini göstermektedir.

1 2 3 4 5 6 7 8

$$
\begin{array}{c}
1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8
\end{array}
\begin{bmatrix}
1 & 1 & 1 & 1 & 3 & 3 & 1 & 5 \\
1 & 1 & 1 & 1 & 5 & 3 & 1 & 7 \\
1 & 1 & 1 & 1 & 3 & 3 & 1 & 7 \\
1 & 1 & 1 & 1 & 5 & 5 & 7 & 7 \\
1/3 & 1/5 & 1/3 & 1/5 & 1 & 5 & 1/3 & 7 \\
1/3 & 1/3 & 1/3 & 1/5 & 1/5 & 1 & 1/3 & 5 \\
1 & 1 & 1 & 1/7 & 3 & 3 & 1 & 7 \\
1/5 & 1/7 & 1/7 & 1/7 & 1/7 & 1/5 & 1/7 & 1
\end{bmatrix}
$$

Burada, ana kriterlere ilişkin ikili karşılaştırma matrisinin birinci satırında yer alan kalite kontrol sistemleri ile beşinci sütunda yer alan teknik kapasite ana kriterlerine karşılık gelen 3 rakamı bize kalite kontrol sistemlerinin teknik kapasiteden daha önemli olduğunu ve bunun önem derecesinin Saaty'nin göreli önem ölçeğine göre 3 kat olduğunu göstermektedir. Öte yandan matrisin birinci satırında yer alan kalite kontrol sistemleri ana kriteri ile bu matrisin ikinci sütununda yer alan sosyal uygunluk ana kriterine karşılık gelen 1 rakamı da kalite kontrol sistemleri ana kriteri ile sosyal uygunluk ana kriterinin eşit önemde olduğunu göstermektedir.

İkili karşılaştırma matrisleri oluşturulduktan sonra modelin çözümünde Expert Choice paket programı uygulanmıştır. Yeşim Tekstil için kurduğumuz AHS modelini çözebilmek için öncelikle 38 ikili karşılaştırma matrisindeki yargı değerleri Expert Choice programına kaydedilmiştir. Veri girişi tamamlandıktan sonra, bu verilerin (yargıların) tutarlı olup olmadığını araştırmak için, 38 ikili karşılaştırma matrisine ilişkin tutarlılık oranları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Tüm ikili karşılaştırma matrisleri için tutarlılık oranları 0,10'dan küçük değerler aldığında yargıların tutarlı olduğunu daha önce ifade etmiştik. Dolayısıyla yargıların tutarlılığı analiz edildikten sonra modelimizin Expert Choice programında çözümü gerçekleştirilmiştir. Modelde yer alan ana, alt kriterler ile alternatif fasoncular için göreli önem vektörlerine ilişkin söz konusu paket programın çıktı sonuçları Şekil 2' de verilmiştir.



Şekil 2 AHS Modelinin Ana ve Alt Kriterlere Göre Final Göreli Ağırlıkları

Modelin çözümü sonucunda, %26.6 ile en yüksek ağırlığa sahip kriter olarak plâna uyum kriteri bulunmuştur. Fasoncu seçiminde ikinci sırada yer alan kriter ise %17 ile sosyal uygunluktur. Bu kriterleri sırasıyla %15.3 maliyet, %14.9 kalite kontrol sistemleri, %12.8 finansal kapasite,%7.4 teknik kapasite, %4 firmanın yerleşim yeri ve %2.1 tecrübe ve işi isteme isteği izlemektedir. Ana kriterlere ilişkin alt kriterlerin çözüm değerlerini incelediğimizde; kalite kontrol sistemlerinde en önemli alt kriterin 0.067 değeri ile ürün kabul yüzdesi, sosyal uygunluk ana kriterinde en önemli alt kriterin 0.049 değeri ile çocuk işçi çalıştırmama ve ayrımcılık, maliyet ana kriterinde ise 0.115 değeri ile işçilik maliyeti, plana uyum ana kriterinde 0.162 değeri ile ürünlerin zamanında teslim edilmesi, teknik kapasitede ise mevcut üretim teknolojisi ve elemanların işi yapma becerisinin 0.031 değeri ile en önemli alt kriterler olarak belirlenmiştir. Son olarak da firmanın yerleşim yeri ana kriterinde ise ülke avantajının en önemli alt kriter olduğunu söyleyebiliriz.

Tablo 3 Alternatiflerin Önem Değerleri ve Sıralamaları

Alternatifler	Önem Değerleri	Sıralama
Fita	0.201	1
Çıma	0.180	2
Asena 4	0.165	3
Asena 1	0.163	4
Asena 3	0.154	5
Akgün	0.138	6

Modelde yer alan altı fasoncunun önem değerleri ve sıralamaları Tablo 3'de verilmiştir. Modelin çözümünde fasoncu firmalardan Fita 0.201 değeri ile en iyi fasoncu olarak ilk sırada yer almıştır. Bu fasoncu sıralamasını sırasıyla Çıma (0.180), Asena 4 (0.165), Asena 1 (0.163), Asena 3 (0.154) ve Akgün (0.138) firmaları izlemektedir.

5. Sonuç

Çalışmamızda ele aldığımız fasoncu seçim problemi çok kriterli karar verme sürecine ilişkindir. Dolayısıyla bu problemin çözümünde çok kriterli karar verme tekniklerinden birisi olan AHS modelinin nasıl kullanılacağı ayrıntılı olarak çalışmamızda gösterilmiştir. Modelimizde sekiz ana kriter ele alınmıştır. Bu sekiz ana kriterden finansal kapasite ile tecrübe ve işi isteme isteği ana kriterleri dışında geriye kalan altı ana kriterin her biri için de alt kriterler belirlenmiştir. Yeşim Tekstil için geliştirdiğimiz AHS modeli sekiz ana kriter ile yirmi dokuz tane alt kriterden oluşmaktadır. Bu model Expert Choice Programıyla çözülerek modelde yer alan tüm kriter, alt kriter ve alternatiflerin final göreli ağırlıklarına ulaşılmıştır. Modelin çözümü sonucunda, %26.6 ile en yüksek ağırlıklı kriter plana uyum kriteri bulunmuştur. Bunun anlamı fasoncuları değerlendirirken Yeşim şirketi için en önemli kriterin plana uyulmasıdır. Çünkü fasoncu firma plana uymadığı zaman Yeşim Tekstil Nike Firması siparişlerini zamanında teslim edemeyecektir. Bunun sonucunda Yeşim Tekstil Nike müşterisini memnun edemeyeceği gibi Nike ile yapılan sözleşmeye göre reklamasyon ödemekle karşı karşıya kalacaktır. Fasoncu seçiminde ikinci sırada en önemli kriter %17 ile sosyal uygunluktur. Bu kriterleri sırasıyla %15.3 maliyet, %14.9 kalite kontrol sistemleri, %12.8 finansal kapasite,%7.4 teknik kapasite, %4 firmanın yerleşim yeri ve %2.1 tecrübe ve işi isteme isteği izlemektedir.

Sonuç olarak çalışmamızda, Tekstil Sektöründe faaliyet gösteren şirketlerin fasoncu seçiminde ne gibi kriterleri ele alması gerektiği belirlenmiş ve fasoncu seçimine ilişkin problemlerinin çözümünde yöneticilerin etkin kararlar almasında AHP modelinden nasıl yararlanabilecekleri de ortaya konulmuştur.

Kaynakça

AL HARBI, K.M., "Application of the AHP in Project Management", **International Journal of Project Management,** 2001, 19-27.

BANAITIENE, N. &BANAITIS,A. "Analysis of Criteria for Contractors Prequalification Evaluation", **Technological and Economic Development of Economy**, Vol XII, No 4, 2006, 276-282.

BELTON, V. &STEWARD, T., Multiple Criteria Decision Analysis, Kluwer Academic Publishers, 2002.

DOUMPOS, M., &ZOPOUNIDIS, C., Multicriteria Decision Aid Classification Methods, Kluwer Academic Publishers, Boston, 2002

FONG, P. S. W., & CHOI, S. K. Y., Final Contractor Selection Using the AHP, **Construction Management and Economics**, 2000, 547-557.

HARKER, P.T., &LUIS, G.V., "The Theory of Ratio Scale Estimation: Saaty's Analytic Hierarchy Process", **Management Science**, Vol.33, No: 11, 1987, 1383- 1403.

KEENEY, L., R., Value Focused Thinking: A Path to Creative Decision Making, Harward University Press, Cambridge, Massachusetts, 1992.

KUMARASWAMY, M. M., &MATTHEWS, D., J., "Improved Subcontractors Selection Employing Partnering Principles", **Journal of Management in Engineering**, 2000, 47-57.

NIEMIRA, P.M., & SAATY, L.T., "An Analytic Network Process Model for Financial-Crisis Forecasting", **International Journal of Forecasting**, 2004, 573-587.

ROY, B., Multicriteria Methodology for Decision Aiding, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1996.

SAATY, L.T., The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting,

Resource Allocation, University of Pittsburgh, USA, 1988.
SAATY, L.T., Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs and Risks, RWS Publications, 2005.
SAATY, L.T., &VARGAS, G. L., Models, Methods, Concepts&Applications of the Analytic Hierarchy Process, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2001.
TOPÇU, Y. I., "A Decision Model Proposal for Construction Contractor Selection in Turkey", **Building and Environment**, 2003, 469-461.
WU, B., CHIEN CHOMG NIOU CAO, V., XIA, E., "Assembly Subcontractor Quality Management in Foundry", **High Density Packaging and Microsystem Integration HDP'07**. International Symposium, 26-28 June 2007.
ZELENY, M., Multiple Criteria Decision Making, McGraw-Hill, New York, 1982.
http://www.expertchoice.com

ESNEK ÜRETİM SİSTEMLERİNDE DİNAMİK ÇİZELGELEME

Yasemin YAVUZ, Filiz ÇALIŞKAN
Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi
yaseminy@erciyes.edu.tr

ÖZET

Gerçek hayatta üretim sistemleri, planlama periyodu içerisinde üretilen parçalar ve sistemde kullanılan girdilerden kaynaklanan çeşitli olayların meydana geldiği dinamik bir ortamda çalışır. Statik ortam varsayımı altında oluşturulmuş çizelgelerin gerçek üretim sistemlerinde uygulanabilirliği kısıtlıdır. Bu nedenle, çizelgeleme probleminin çözümünde sistemin doğasında bulunan dinamik unsurların dikkate alınması gerekir.

Uygulamada esnek üretim sistemlerinin yapısından kaynaklanan özellikler ve otomatikleşmenin getirdiği avantaj nedeniyle, bu tür sistemlerde bazı dinamik olaylarla karşılaşma ihtimali azalırken bazılarının ortaya çıkma ihtimali yükselir. Sisteme sürekli bir şekilde farklı zamanlarda giren işlerin bulunması birçok üretim sisteminde karşılaşılan bir durumdur. Dinamik iş varışlarının dikkate alındığı bir çizelgeleme, tüm işlerin aynı anda hazır olduğunu varsayan statik çizelgeleme yaklaşımından daha gerçekçi olacaktır.

Esnek üretim sistemlerinde dinamik çizelgeleme probleminin incelendiği bu çalışmada, Petri ağları ve sezgisel kurallara dayanan bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Dinamik çizelgeleme problemi Petri ağları ile modellenmiştir. Çizelge oluşturulurken, işlerin serbest bırakılacağı zamanlar ile operasyonların başlatılma zamanlarının belirlenmesinde sezgisel kurallardan yararlanılmıştır. Önerilen yaklaşım, ele alınan örnek bir esnek üretim sistemi üzerinde uygulanmış ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Esnek Üretim Sistemleri, Dinamik Çizelgeleme, Petri Ağları

1. GİRİŞ

Esnek üretim sistemleri (FMS-Flexible Manufacturing System), NC (Numerical Control) ve/veya CNC (Computer Numerical Control) özelliği olan birden çok makinanın bir araya getirilerek bir DNC (Direct Numerical Control) makina tarafından yönetildiği ve bu makinaların birbirlerine otomatik taşıma düzenekleri ile bağlı olduğu üretim sistemleridir. Esnek üretim sistemleri, belli bir ürün grubunun tamamını, birinden diğerine geçişte uzun hazırlık faaliyetinden kaynaklanan bekleme süreleri olmaksızın üretme kabiliyetine sahiptir. Bir üründen diğerine geçişteki uyum kabiliyeti sistemin kendisine has esneklik özelliklerinden kaynaklanır. Bir esnek üretim sisteminde aynı anda farklı ürünlerin işlenmesi mümkündür. Parçaların işlenebilmesi için izleyecekleri yol merkezi bilgisayara yüklenerek üretiminin tamamlanması sağlanır.

Çizelgeleme döneminin başında tüm işlerin hazır olduğunu varsayan statik çizelgeleme probleminden farklı olarak, dinamik çizelgeleme problemlerinde sisteme sürekli bir şekilde farklı zamanlarda ulaşan işler çizelgelenir. Esnek üretim sistemlerindeki dinamik çizelgeleme probleminin incelendiği bu çalışmada, belirli bir planlama dönemi boyunca sisteme çeşitli zamanlarda ulaşan ve her biri farklı miktarlarda farklı ürünleri içeren işler ele alınmıştır. Çalışmada incelenen çizelgeleme problemi, dinamik iş varışlarının yanı sıra (1) ürünlerden üretilecek miktarlar, (2) belli bir ürünün üretilmesinde kullanılabilecek alternatif proses planları, (3) farklı türde birden fazla kaynak kullanımını gerektiren operasyonlar, (4) sistemdeki kaynakların miktarı, (5) ardışık operasyonlar boyunca serbest bırakılmadan kullanılan kaynaklar gibi bir çoğu esnek üretim sistemlerinin yapısından kaynaklanan önemli özellikleri dikkate almaktadır.

Literatürde dinamik çizelgeleme ile ilgili çalışmaların çoğunda, sezgisel sıralama kurallarına dayanan çizelgeleme yaklaşımının kullanıldığı görülmektedir. Uzsoy (1995), Chand v.d. (1996), Li, Lee (1997) ve Lee, Uzsoy (1999) birden fazla parçayı aynı anda işleyebilen tek-makinalı dinamik çizelgeleme problemini ele almıştır. Ovacık ve Uzsoy (1995), dinamik paralel makina çizelgeleme problemi için sezgisel bir yöntem önermiştir. Sung ve Kim (2002), iki makinalı akış tipi çizelgeleme probleminin çözümü için sezgisel bir algoritma geliştirmiştir. Liu v.d. (2005), statik problem için geliştirilen meta sezgisel bir yöntemi dinamik çizelgeleme problemine uygulamıştır. Malve ve Uzsoy (2007), aynı anda birden fazla parça işleyebilen paralel özdeş makinaların bulunduğu dinamik çizelgeleme probleminin çözümü için genetik algoritma kullanmıştır. Zhou v.d. (2009), dinamik atölye tipi çizelgeleme problemini karınca koloni algoritmasıyla çözmüştür. Tunalı (1997), Li et.al. (2003), Sabuncuoglu ve Kızılısık (2003), Shnits vd. (2004) esnek üretim sistemlerindeki dinamik çizelgeleme problemini incelemiştir.

Dinamik iş varışları ile ilgili literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, bu çalışmada üretime başlama (serbest bırakma) zamanları, işlerin geliş zamanlarından ayrılmış; böylece işlerin üretime serbest bırakıldığı zamanlar da dinamik hale getirilmiştir. Belirli sırada sisteme ulaşan işlerin üretim emirlerinin verileceği zamana çizelge içerisinde karar verilmektedir.

Esnek üretim sistemlerinde karşılaşılan çizelgeleme problemi, sistemin yapısı gereği klasik çizelgeleme problemlerinden daha karmaşıktır. Buna ilave olarak, dinamik iş varışlarının çizelgelemeye dahil edilmesi, problemin modellenmesi ve çözümünü daha da güçleştirmektedir. Bu tür problemlerin çözümü için, dinamik süreçleri modelleme kabiliyeti yüksek olan teknikler ve sezgisel yöntemler ön plana çıkmaktadır. Petri ağları, dinamik sistemlerin modellenmesinde başarılı olarak uygulanan modelleme araçlarından birisidir. Petri ağlarının işler, rotalar, makinalar ve malzeme taşıma araçları arasında hasıl olabilecek karmaşık ilişkileri kolay bir şekilde modelleyebilme yeteneği, çizelgelemede Petri ağlarına dayanan yaklaşımların önemli bir üstünlüğü olarak belirtilmektedir (Zhou, Venkatesh, 1999).

Çalışmada, esnek üretim sistemlerindeki dinamik çizelgeleme problemi Petri ağları ile modellenmiştir. Çizelgeyi oluştururken, siparişlerin serbest bırakılacağı zamanlar ile operasyonların başlatılma zamanlarının (sıralarının) belirlenmesinde sezgisel kurallardan yararlanılmıştır. Önerilen yaklaşım, ele alınan örnek bir esnek üretim sistemi üzerinde uygulanmış ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

2. ESNEK ÜRETİM SİSTEMLERİ

Farklı ürünlerin üretiminde veya bir ürünün farklı operasyonlarında gereken kesici takımlarını magazinden otomatik olarak alabilen ve hammadde ile ürünün stoklanabileceği alanları bulunan bir CNC makinası esnek iş istasyonu (iş merkezi) olarak adlandırılır (Hahn, Lassmann, 1990). Bu istasyonlarda malzeme ve ürün stok alanları çok geniş olmadığı için büyük miktarlardan çok küçük partiler işlenir. Esnek iş istasyonları, bağımsız olarak bir ürünün üretimini yapma kabiliyetine sahip en küçük üretim sistemleridir.

Bir iş istasyonunda işlenmek üzere gelen malzemeleri makinaya sabitleyen teknolojik sistem varsa, makinadan bağımsız olan genel stok alanı bulunuyorsa ve iş istasyonu bunların her ikisi ile de otomatik bir taşıma sistemiyle bağlıysa esnek üretim hücresi oluşur (Tempelmeier, Kuhn, 1993). Esnek üretim hücreleri, uzun süre iş görenler olmadan üretim yapabilirler.

Üretim hücrelerindeki makina sayısının birden fazla olması durumunda esnek üretim sistemlerinden söz edilir. Esnek üretim sistemleri, birden çok sayıda NC ve/veya CNC makinalarının bir araya getirilerek, seçilen bir DNC makina tarafından yönetildiği ve bu makinaların birbirlerine otomatik taşıma düzenekleri ile bağlı olduğu üretim sistemleridir (Heidrich, v.d., 1983).

Esnek üretim sistemlerinde belli bir ürün yelpazesindeki ürünlerin üretilmesi için gereken birden çok sayıda NC veya CNC makinası bir araya toplanarak bu makinaların içinden bir tanesi ana makina (DNC) olarak belirlenir. Sistemin içindeki sürecin tamamı, özel olarak belirlenmiş olan bu makina tarafından yönetilir. Makinalarda işlenen ürünlerin bir sonraki işlem için kısa süreli depolanacağı merkezi ve/veya makinaların arasında lokal ara stok alanları bulunur. Esnek üretim sistemleri sürece göre veya ürüne göre tasarlanabilir. Ürüne göre üretim sürecinin dikkate alınması durumunda bir esnek üretim sisteminin içinde yıkama ve ölçme gibi o ürünün üretilmesi için gereken iş istasyonları da bulunur. Ürünün hammaddeden ürün olana kadar süreçteki tüm işlemleri burada tamamlanır. Esnek üretim sisteminin sürece göre tasarlanması durumunda ise belli bir ürün yelpazesinde gereken işlemlerin tamamını yapacak iş istasyonları bulunur.

CNC tezgahlarında kesici takımların üzerine yerleştirildiği düzeneklere magazin denir. Her CNC makinası, magazin üzerine yerleştirilmiş olan ortalama 20 ile 200 arasındaki kesici takımı kullanma kabiliyetine sahiptir (Tempelmeier, Kuhn, 1993). CNC takım tezgahlarında magazinlerden takımın fener miline takılması veya fener miline takılmış kesicilerin magazine alınması için kullanılan parçalara takım değiştirme sistemi adı verilir.

Ürünlerin üretimi süresince gereken kesici takımları taşıyan magazinlerin bulunması ve sırası gelen aletin değişiminin kısa sürede yapılması yoluyla esnek üretim sistemlerinde uzun hazırlık sürelerinin ortaya çıkması önlenmiştir. Ayrıca, işlem görecek parçaların makinalara sabitlenmesi de otomatik sistemlerce kısa sürede yapılmaktadır. Bir esnek üretim sisteminde aynı anda farklı ürünlerin işlenmesi mümkündür. Paletlere özel sistemler ile sabitlenen parçaların işlenebilmesi için izleyecekleri yol (proses planları) merkezi bilgisayara yüklenerek üretiminin tamamlanması sağlanır.

Esnek üretim sistemleri, belli bir ürün grubunun tamamını birinden diğerine geçişte hazırlık faaliyetinden kaynaklanan bekleme süreleri olmaksızın üretme kabiliyetine sahiptir. Bir üründen diğerine geçişteki uyum kabiliyeti sistemin kendisine has olan esneklik özelliklerinden kaynaklanır. Esnek üretim sistemleri ile ilgili olarak başlıca esneklik türleri, makinaların özelliklerinden ve sistemin bütününden kaynaklanır. Makina özelliklerinin sağladığı esneklik türleri makina esnekliği, malzeme akışı esnekliği ve rota esnekliği iken, sistemin tüm elemanlarının birlikte bir bütün halinde sağladıkları esneklik türleri sistemin değişme esnekliği, ürün karmasının değişme esnekliği, ürün karması esnekliği, malzeme geçiş esnekliği ve üretim miktarındaki değişme esnekliğidir (Browne v.d., 1984).

Bir ürün, esnek üretim sistemi içerisinde farklı teknolojik sıra, yani farklı öncelik ilişkisi ile üretilebiliyorsa o ürün rota esnekliğine sahiptir. Rota esnekliği makinaların özelliklerinden kaynaklanan bir esneklik türüdür. Ancak, malzemenin niteliği de farklı teknolojik sıra izlemede etkili olmaktadır. Rota esnekliğinin yüksek olması dolaylı olarak sistemde üretilen ürün çeşidinin artmasını da sağlar. Malzeme geçiş esnekliği, bir ürünün sabit teknolojik sıra ile üretilirken sistemde farklı yollardan geçme özelliğidir. Tamamen

fiziksel olarak izlenen yol alternatiflerin bulunup bulunmaması ile ilgilidir. Rota ve malzeme geçiş esnekliği, bir ürünün üretiminde izlenebilecek alternatif proses planlarının ortaya çıkmasını sağlar. Çalışmada incelenen çizelgeleme probleminde, ürünlerin alternatif proses planları dikkate alınmıştır.

3. PETRİ AĞLARI

Carl Adam Petri'nin 1962'deki doktora tezine dayanan Petri ağları, dinamik kesikli-olay sistemlerin tasarımı, analizi ve kontrolünde kullanılan grafiksel ve matematiksel bir modelleme tekniğidir (Murata, 1989).

Bir Petri ağı sistemi, ağ yapısı ve işaretleme olmak üzere iki temel bileşenden oluşur. Petri ağında ağ yapısı statik, işaretleme ise dinamik bileşendir (DiCesare, v.d., 1993). Yapısal olarak bir Petri ağı, konum ve geçiş olarak adlandırılan iki tür düğümden ve bu düğümleri birbirine bağlayan oklardan oluşan yönlü, ağırlıklı ve iki parçalı bir graftır. Modellenen sistemin durum değişkenleri konumlarla, olaylar geçişlerle, durum değişkenleri ve olaylar arasındaki ilişkiler ise oklarla modellenir. Petri ağının dinamik hareketini, konumlar içerisinde bulunan jetonların hareketi sağlar. Konumun içerdiği jeton sayısı, bu konumun işaretlemesi olarak adlandırılır. Ağın işaretlemesi ise ağdaki tüm konumların işaretlemesini gösteren bir vektördür.

Konum/Geçiş Petri ağları, kısaca P/T ağları olarak adlandırılan bir Petri ağı sistemi matematiksel olarak $PN = (P, T, I, O, M_0)$ olmak üzere beş notasyonla tanımlanır. $N = (P, T, I, O)$ ağ yapısını, M_0 ise ağın başlangıç işaretlemesini gösterir. $P = \{p_1, p_2, \ldots, p_n\}$ ve $T = \{t_1, t_2, \ldots, t_m\}$ sonlu, boş olmayan ve ayrık konum ve geçiş kümeleridir ($P \cap T = \varnothing$ ve $P \cup T \neq \varnothing$). I_{nxm} ve O_{nxm} girdi ve çıktı matrisleri ağdaki akış ilişkilerini tanımlar. I_{nxm} girdi matrisinin $I_{i,j}$ elemanı p_i konumundan t_j geçişine yönelen okun ağırlığını, O_{nxm} matrisinin $O_{i,j}$ elemanı ise t_j geçişinden p_i konumuna yönelen okun ağırlığını ifade eder. t_j geçişinin girdi konumları kümesi ${}^\bullet t_j = \{ p_i \in P \mid I_{i,j} > 0 \}$, çıktı konumları kümesi ise $t_j^\bullet = \{ p_i \in P \mid O_{i,j} > 0 \}$ şeklinde gösterilir. Konumlar için de benzer şekilde girdi ve çıktı geçişleri kümesi tanımlanabilir: ${}^\bullet p_i = \{ t_j \in T \mid O_{i,j} > 0 \}$, $p_i^\bullet = \{ t_j \in T \mid I_{i,j} > 0 \}$. $M_0 = [M(p_i)]$ başlangıç işaretlemesi, başlangıç durumunda ağdaki her bir konumda bulunan jeton sayısını gösteren bir vektördür. M işaretlemesinde p_i konumunun içerdiği jeton sayısı $M(p_i)$ ile ifade edilir.

Petri ağının grafiksel gösterimde konumlar dairelerle, geçişler çizgi ya da kutularla, jetonlar ise konumlar içerisine yerleştirilmiş siyah noktalarla temsil edilir. Konum ve geçişleri birbirine bağlayan okların ağırlıkları okun üzerinde gösterilir. Ok üzerinde ağırlık gösterilmemişse okun ağırlığı 1 olarak alınır.

Modellenen sistemin durumundaki değişiklikler Petri ağlarında işaretlemenin değişimi ile temsil edilir. Böylece Petri ağı, ateşleme kuralına göre çalışarak sistemin dinamik davranışının modellenmesine imkan sağlar. Bir geçiş ateşlendiğinde, geçiş ateşleme kuralına uygun olarak jetonlar konumlar arasında hareket eder. Aşağıda verilen geçiş ateşleme kuralına uygun olarak geçişlerin ateşlenmesiyle ağda yeni bir işaretlemeye ulaşılır:

(i) Bir M_k işaretlemesinde, t_j geçişine ait her bir girdi konumunda en az o konumu t_j geçişine bağlayan okun ağırlığı kadar jeton varsa ($M_k(p_i) \geq I_{i,j}, \forall p_i \in {}^\bullet t_j$) bu geçiş aktif (ateşlenebilir) bir geçiştir.

(ii) t_j geçişinin ateşlenmesi halinde, bu geçişe ait her bir girdi konumundan $I_{i,j}$ sayıda jeton silinir; her bir çıktı konumuna $O_{i,j}$ sayıda jeton eklenir. Böylece, t_j geçişinin ateşlenmesiyle birlikte M_k işaretlemesinden M_{k+1} işaretlemesine ulaşılır: $M_{k+1} = M_k + O_j - I_j$.

M_k işaretlemesini M_ℓ işaretlemesine dönüştüren geçiş ateşleme sırası varsa, M_ℓ işaretlemesi M_k işaretlemesinden ulaşılabilecek bir işaretlemedir. M_k işaretlemesinden σ ateşleme sırası ile M_ℓ işaretlemesine ulaşılması $M_k = [\sigma > M_\ell$ şeklinde ifade edilir.

Zaman unsurunu içeren Petri ağlarında süreler genellikle konumlar ya da geçişlerle ilişkilendirilir. Konumların süreli olduğu ağlar P-zamanlı**,** geçişlerin süreli olduğu ağlar ise T-zamanlı Petri ağları olarak adlandırılır. Çalışmada ele alınan çizelgeleme problemi P-zamanlı Petri ağları ile modellenmiştir. Bu ağlarda, geçişler bir operasyonun başlamasını ya da tamamlanmasını, konumlar ise bir operasyonu ya da bir kaynağı temsil eder. Bir operasyonu temsil eden konumda yer alan bir jeton söz konusu operasyonun yapılmakta olduğunu gösterirken, hiçbir jetonun bulunmaması operasyonun yapılmadığını temsil eder. Operasyonun yerine getirilmesi için ihtiyaç duyulan bir kaynağın durumunu temsil eden konumda bulunan jeton(lar), kaynağın kullanılabilir olduğunu gösterir; jeton sayısı ise söz konusu kaynağın kullanılabilir miktarını belirtir (Zhou, DiCesare, 1993). P-zamanlı Petri ağlarında geçiş ateşleme kuralı P/T ağlarında olduğu gibidir. P/T ağlarından

farklı olarak, bu ağlarda bir konuma ulaşan jetonlar, konumun süresi kadar bekledikten sonra kullanıma hazır hale gelir.

4. ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN TANIMLANMASI VE ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

Çalışmada, dinamik iş varışlarının söz konusu olduğu esnek üretim sistemlerindeki çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Dinamik iş varışlarının yanı sıra, ele alınan çizelgeleme probleminin, bir çoğu esnek üretim sistemlerinin yapısından kaynaklanan diğer önemli özellikleri şunlardır: (1) aynı tip üründen üretilecek miktarlar (parti miktarları) bir birimden fazladır; bir sipariş (üretim planı) farklı miktarlarda farklı tip ürünlerden içerebilir, (2) belli bir ürünün üretilmesinde alternatif proses planları mevcuttur; ürünün toplam üretim miktarı farklı proses planları arasında paylaştırılabilir, (3) belli bir operasyonun yerine getirilmesi için farklı türde birden fazla kaynak kullanımı (makina+robot, makina+işçi, makina+takım vb.) gerekebilir, (4) sistemde belirli bir kaynaktan birden fazla mevcut olabilir, (5) ardışık operasyonlar boyunca serbest bırakılmadan kullanılan kaynaklar (parçaların sabitlendiği paletler vb.) söz konusu olabilir.

Dinamik iş varışları ile ilgili literatürdeki çalışmalarda, işlerin geliş zamanları problemin bir verisi olarak alınmıştır. Başka deyişle, işlerin üretime serbest bırakılma (üretim emri) zamanları önceden bellidir. Bu çalışmada ise üretime başlama zamanları, işlerin geliş zamanlarından ayrılmış; böylece işlerin üretime serbest bırakıldığı zamanlar da dinamik hale getirilmiştir. Belirli sırada sisteme ulaşan işlerin üretim emirlerinin verileceği zaman problemin bir karar değişkenidir.

Ele alınan çizelgeleme probleminde, belirli bir planlama dönemi boyunca sisteme çeşitli zamanlarda ulaşan siparişler (doğrudan müşteri siparişi veya ana üretim planlarında belirtilen üretim siparişleri) bulunmaktadır. Siparişlerin sisteme girişleri arasındaki süre kısaldıkça, sistemde aynı kaynaklar için birbirine rakip işlerin sayısı artacaktır. Bu durum, sistemden tamamlanmış ürün çıkışlarını olumsuz yönde etkileyebilir. Siparişlerin üretimine başlama zamanlarının çok geciktirilmesi ise sipariş tamamlanma sürelerini yükseltebilir. Çizelgeleme döneminin başında hazır olan ilk siparişteki ürünlerin üretimine başlandıktan ne kadar sonra bir sonraki siparişin serbest bırakılacağına ilişkin verilecek kararda her iki yöndeki etkilerin dikkate alınması gerekir. Bu amaçla, çeşitli sezgisel kuralların performansı karşılaştırılabilir.

Çalışmada, bir siparişte yer alan ürünlerin belirli bir oranı tamamlandığında, bir sonraki siparişin serbest bırakılmasına izin veren bir sezgisel kural kullanılmıştır. Bu oran 1 olarak belirlendiğinde, bir siparişin tamamı üretildikten sonra bir sonraki siparişin üretimine başlanır. Tamamlanma oranı (TO) 0.5 olduğunda, ilk siparişte yer alan her bir ürününün en az yarısı tamamlandığı zaman bir sonraki siparişe başlanır. Daha sonraki siparişler ise kendisinden önce başlanan tüm siparişlerdeki her bir ürünün en az yarısı tamamlanınca serbest bırakılır.

İncelenen üretim ortamına, siparişlerin içeriğine ve çizelgelerin oluşturulması için kullanılan kurallara bağlı olması nedeniyle hangi TO değerinin iyi bir sonuç vereceği hakkında genel bir şey söylemek zordur. Bu durumda, çeşitli değerler için oluşturulan çizelgelerin performansı karşılaştırılarak bunlar arasından en iyi alternatif seçilebilir. Alternatiflerin karşılaştırılmasında, siparişlerin tamamlanma sürelerinin toplamı (toplam tamamlanma süresi) performans kriteri olarak belirlenmiştir. Bir siparişin tamamlanma süresi, o siparişte yer alan tüm ürünlerin tamamlandığı zamana eşittir.

Ele alınan problem için çizelgelerin oluşturulmasında Petri ağlarından yararlanılmıştır. Petri ağının başlangıç işaretlemesinden itibaren, tüm işlerin tamamlandığını ifade eden nihai işaretlemeye kadar olan bir geçiş ateşleme sırası, modellenen çizelgeleme probleminin tüm kısıtlarını sağlayan uygun bir çözümüne karşılık gelir. Geçişlerin ateşlenme sırası, bu geçişlerin temsil ettiği operasyonların başlama sıralarını gösterir. Bu durumda çizelgeleme problemi, Petri ağının M_0 başlangıç işaretlemesini M_{son} işaretlemesine ulaştıran uygun bir geçiş ateşleme sırasının bulunmasına dönüşmektedir. Bu amaçla, öncelikle her bir işaretlemede aktif olan geçişler bulunur ve bu geçişlerden biri seçilerek ateşlenir. Ulaşılan her yeni işaretlemede aynı işlemler tekrarlanır. Bir işaretlemede aktif olan geçişlerden hangisinin seçileceğine karar verebilmek için aşağıdaki sezgisel kurallar kullanılmıştır:

(i) Geçişin ateşlenmeye hazır olduğu zaman
(ii) Kaynak kullanımını gerektirmeyen geçiş
(iii) (Bir sonraki siparişe başlanması için üretilmesi gereken miktar) – (Üretimine başlanan miktar)
(iv) Proses planının toplam süresi

FIFO-ilk giren ilk çıkar kuralı olarak bilinen birinci öncelikli kural, en erken zamanda ateşlenebilecek geçişin seçilmesini sağlar. Bu geçişler arasından kaynak kullanımını gerektirmeyen (operasyonların bitişini veya siparişlerin üretimine başlanmasını temsil eden) geçişlere öncelik verilir. Üçüncü kural, sonraki siparişin girişi için gerekli ürün miktarlarını sağlamak amacıyla farklı ürünlere ait geçişler arasında seçim yapılmasını sağlar. Bir sonraki siparişe başlanması için her bir üründen üretilmesi gereken miktarlar TO değerine göre hesaplanmıştır. Üründen üretilmesi gereken miktar ile üretimine başlanan miktar arasındaki farkı yüksek olan ürüne ait geçişe öncelik verilir. Son kural ise bir ürüne ait farklı proses planlarından, toplam süresi en düşük olanın seçilmesini sağlar. Her işaretlemede aktif olan geçişler bu kurallara göre yukarıda verilen sırayla sıralanarak önceliği en yüksek olan geçiş seçilmektedir.

5. ÖRNEK PROBLEM

Esnek Üretim Sisteminin Tanımlanması

Esnek üretim sistemlerinde dinamik çizelgeleme için önerilen çözüm yaklaşımı, ele alınan örnek bir sistem için uygulanmıştır. Şekil 1'de yerleşimi gösterilen sistemde, magazinlerinde bulunan takımlar aracılığıyla çeşitli operasyonları yapabilme yeteneğine sahip M_1-M_8 makinaları bulunmaktadır. Makinaların kendine ait girdi ve çıktı stok alanı mevcuttur. Her bir makinada aynı anda sadece bir parça işlem görebilir. M_3-M_4 ve M_5-M_6 makinalarındaki operasyonların yapılması sırasında sırasıyla R_8 ve R_9 robotlarından yararlanılır. R_8 robotu M_3 ve M_4, R_9 robotu ise M_5 ve M_6 makinaları tarafından ortak olarak kullanılır.

Sistemde iki yükleme-boşaltma istasyonu (I_1-O_1 ve I_2-O_2) bulunmaktadır. Bu istasyonlar ile makinalar arasında ve makinaların kendi arasında parçaların taşınması R_1-R_7 robotları aracılığıyla sağlanır. R_1, işlenecek parçaları I_1 noktasında palete sabitleyerek M_1 ve M_2 makinalarının girdi stok alanına taşır; R_7 ise M_7 ve M_8 makinalarında işlemi tamamlanan parçaları paletten çözerek O_1 noktasına boşaltır. Bu robotlardan ikişer adet mevcuttur. İşlenecek parçaların I_2 noktasından taşınmasında R_2 veya R_5; tamamlanmış parçaların O_2 noktasına boşaltılmasında ise R_3 veya R_6 robotları kullanılır. M_3-M_6 makinaları arasındaki taşımalar R_4 ile sağlanır. Yükleme istasyonundan parça taşıyan robotlar bu parçaları bir palete sabitleyip makinalara taşır. Parçanın üretimi tamamlandıktan sonra boşaltma istasyonunda palet çözülerek yeniden serbest bırakılır. Palet miktarlarının bir birimden fazla olması nedeniyle, O_1 istasyonunda serbest kalan paletlerin I_1 istasyonuna, O_2 istasyonundaki paletlerin de I_2 istasyonuna taşınma süresi ihmal edilerek modele dahil edilmemiştir. Sistemdeki taşımalar ve bu taşımalarda kullanılan robotlar Tablo 1'de gösterilmiştir. Yükleme istasyonundan palete sabitleme ve taşıma süreleri 15, boşaltma istasyona taşıma ve palet çözme süreleri 10, makinalar arasında taşıma süreleri ise 5 zaman birimi olarak alınmıştır.

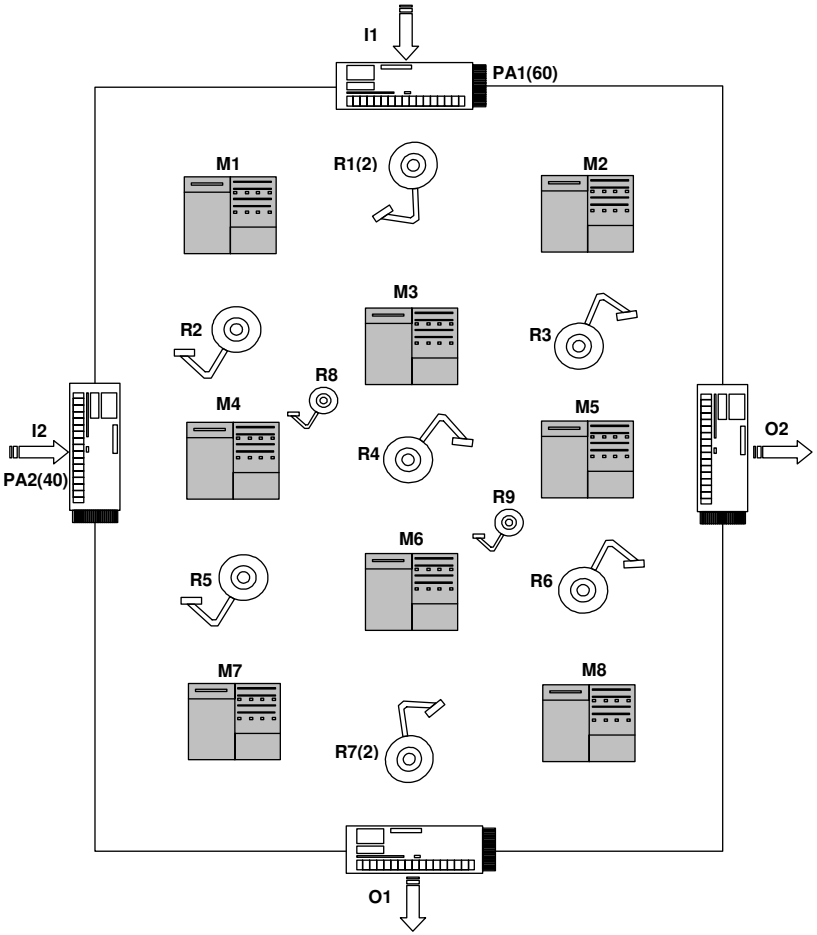
Sistemde S_1, S_2, S_3, S_4 ve S_5 olmak üzere beş farklı ürün üretilmektedir. S_1, S_2 ve S_3 tipi ürünler sisteme I_1 istasyonundan girer; üretimi tamamlandıktan sonra O_1 noktasına taşınır. S_4 ve S_5 tipi parçalar ise I_2-O_2 istasyonlarını kullanır. Parçalar palet üzerinde işlenerek üretilir ve sistem boyunca paletler üzerinde taşınır. I_1 istasyonundan giren parçalar bu istasyonda bulunan birinci tip paletleri, I_2 istasyonundan giren parçalar ise ikinci tip paletleri ortak olarak kullanır. Aynı anda sistemde bulunacak parça sayısı palet sayısıyla sınırlandırılmıştır. Birinci tip paletlerden 60, ikinci paletlerden ise 40 adet mevcuttur.

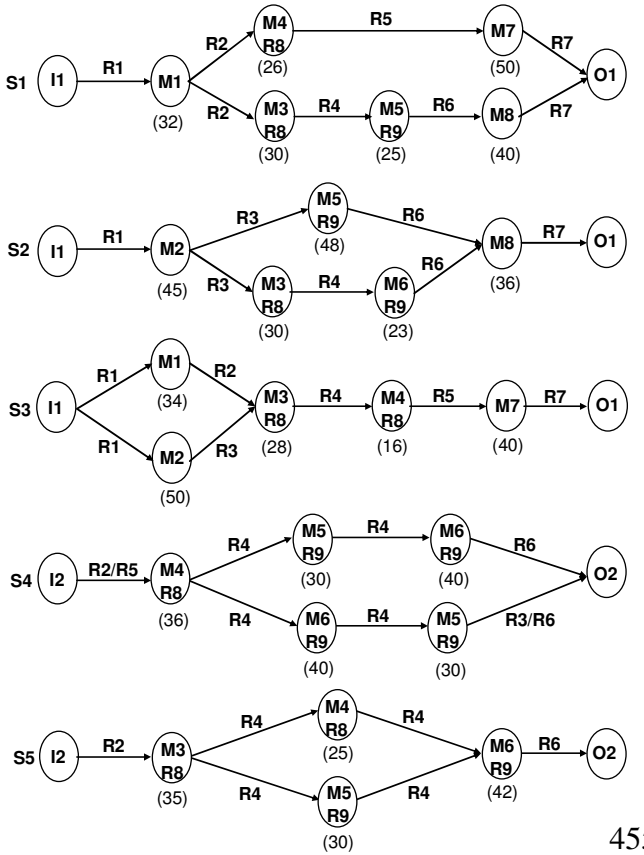
Tablo 1. Esnek üretim sistemi içerisindeki parça akışları

	M_1'e	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8	O_1	O_2
I_1'den	R_1	R_1								
I_2			R_2	R_2/R_5						
M_1			R_2	R_2						
M_2			R_3		R_3					
M_3				R_4	R_4	R_4				
M_4					R_4	R_4	R_5			
M_5						R_4		R_6		R_3/R_6
M_6					R_4			R_6		R_6
M_7									R_7	
M_8									R_7	

Ürünler proses planlarındaki sıraya uygun olarak makinalarda üretilmektedir. Şekil 1'de görüldüğü gibi, ürünler için birden çok proses planı alternatifi vardır. Örnek olarak, S_1 ürünü sırasıyla $M_1 \rightarrow (M_4,R_8) \rightarrow M_7$ veya $M_1 \rightarrow (M_3,R_8) \rightarrow (M_5,R_9) \rightarrow M_8$ makinalarından geçerek üretilebilir. Her bir üründen üretilecek miktar bir birimden fazladır. Bu durumda, aynı tip üründen üretilecek miktarlar farklı proses planları arasında paylaştırılarak tamamlanabilir. Örneğin, S_1 ürününden üretilecek toplam 230 birim ürünün 180 birimi birinci proses planı, 50 birimi ikinci proses planı izlenerek üretilebilir. Şekil 1'de ürünlere ait her bir operasyonun süresi parantez içerisinde gösterilmiştir.

Farklı zamanlarda sisteme ulaşan beş sipariş vardır. Her bir siparişte yer alan ürün miktarları Tablo 2'de verilmiştir. Çizelgelemenin yapıldığı zamanda ilk sipariş hazırdır; diğer siparişler ise geliş zamanına göre sıralanmıştır. İlk sipariş için S_1'den 50, S_2'den 40, S_3'ten 65 ve S_4'ten 70 birim üretilecektir. Çizelgeleme dönemi boyunca ürünlerden üretilecek toplam miktarlar ise sırasıyla 230, 345, 295, 250 ve 260 birimdir.


I1
PA1(60)
M1
R1(2)
M2
M3
R2
R3
R8
M4
M5
I2
PA2(40)
R4
O2
R9
M6
R5
R6
M7
M8
R7(2)
O1


S1
I1
R1
M1
(32)
R2
M4 R8
(26)
R5
M7
(50)
R7
O1
R2
M3 R8
(30)
R4
M5 R9
(25)
R6
M8
(40)
R7
S2
I1
R1
M2
(45)
R3
M5 R9
(48)
R6
M8
(36)
R7
O1
R3
M3 R8
(30)
R4
M6 R9
(23)
R6
S3
I1
R1
M1
(34)
R2
R1
M2
(50)
R3
M3 R8
(28)
R4
M4 R8
(16)
R5
M7
(40)
R7
O1
S4
I2
R2/R5
M4 R8
(36)
R4
M5 R9
(30)
R4
M6 R9
(40)
R6
O2
R4
M6 R9
(40)
R4
M5 R9
(30)
R3/R6
S5
I2
R2
M3 R8
(35)
R4
M4 R8
(25)
R4
M6 R9
(42)
R6
O2
R4
M5 R9
(30)
R4

Şekil 1. Esnek üretim sisteminin yerleşimi ve ürünlerin proses planları

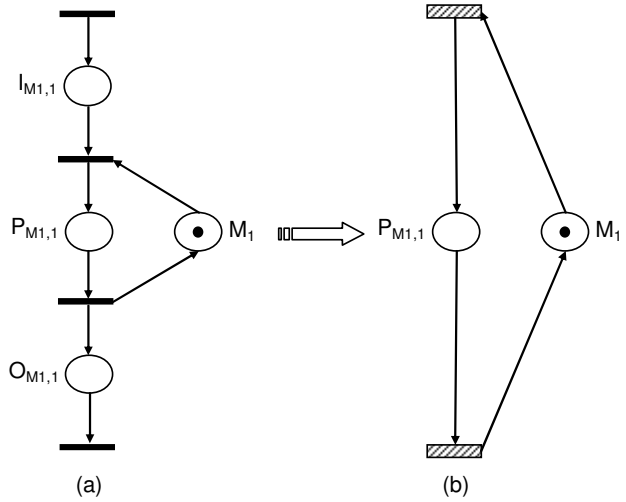
Tablo 2. Geliş zamanlarına göre siparişler

	Siparişler				
Ürünler	1	2	3	4	5
S_1	50	55	60	-	65
S_2	40	80	90	85	50
S_3	65	70	75	-	85
S_4	70	-	50	70	60
S_5	-	60	80	50	70

Çizelgeleme Probleminin Modellenmesi

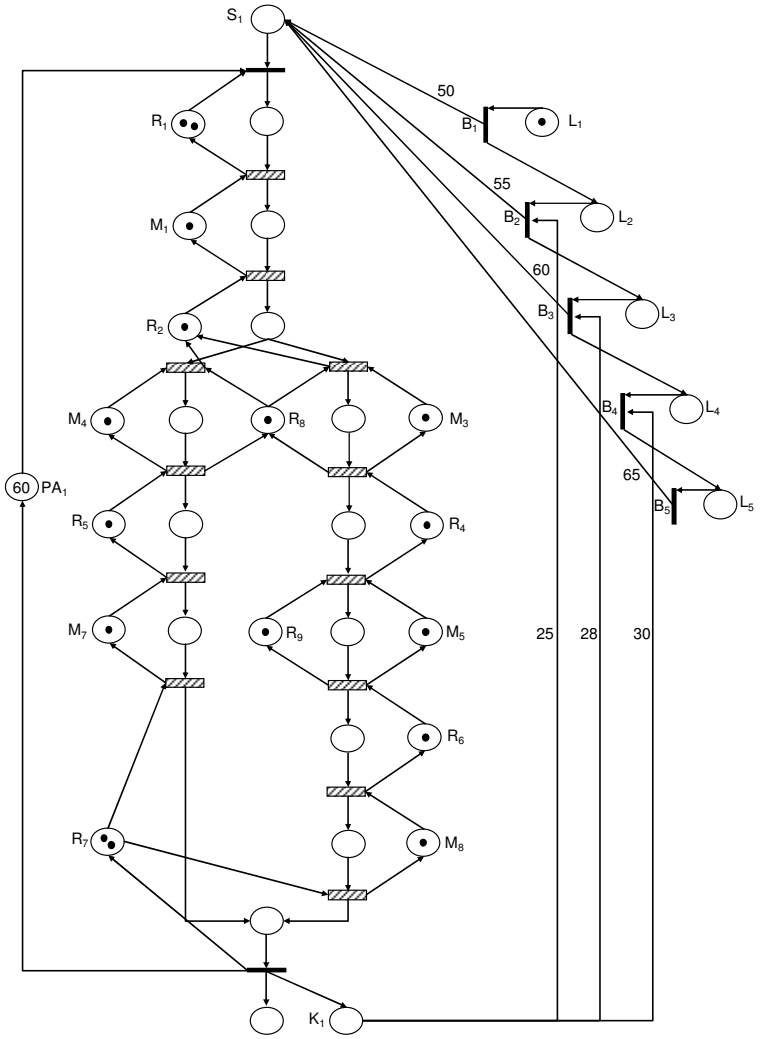
Ele alınan örnek problemin modellenmesinde, operasyonların konumlarla temsil edildiği ve operasyon sürelerinin ilgili konumlara yüklendiği P-zamanlı Petri ağları kullanılmıştır. Başlangıç işaretlemesinde sadece sistemdeki kaynaklar ile ilk siparişin üretimine başlanmasıyla ilgili L_1 konumunda jeton bulunmaktadır. Başlangıç işaretlemesinde aktif olan tek geçiş ilk siparişe başlama olayını modelleyen B_1 geçişidir (Şekil 3).

Petri ağının S_1 ürününe ait kısmı Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekli basitleştirmek amacıyla, makinadaki bir operasyonu modelleyen modüller kısaltılarak gösterilmiştir. Şekil 2(a)'da S_1 ürününün M_1 makinasındaki operasyonu modellenmiştir. $I_{M1,1}$ konumu M_1 makinasının girdi stoğunda bekleyen S_1 tipi parçaları, $P_{M1,1}$ konumu M_1 makinasında işlem gören S_1 tipi parçaları, $O_{M1,1}$ konumu ise M_1 makinasının çıktı stoğunda bekleyen S_1 tipi parçaları ifade etmektedir. Şekil 3'te yer alan Petri ağında her bir makina için Şekil 2(b)'deki kısaltılmış gösterim kullanılmıştır.



Şekil 2. Makina modülü kısaltılmış gösterim

Bir birim ürünün tamamlanma olayını temsil eden her bir ürüne ait son geçişlere birer çıktı konumu (K konumları) daha ilave edilmiştir. Bu konumlar, üretime başlama geçişlerinin ateşlenme koşulunu ifade eden miktarların sağlanıp sağlanmadığını kontrol etmede kullanılmaktadır. B_i geçişi için girdi K konumları, (i-1)'inci siparişte yer alan ürünlere ait konumlardır. Okların ağırlıkları ise (i-1)'inci siparişteki ilgili ürün miktarının TO ile çarpımına eşittir. B_i'ye ait L_i girdi konumu ise, siparişlerin sırasıyla başlatılmasını sağlamaktadır. B_i geçişinin çıktı konumları, i'inci siparişteki ürünlere ait S konumlarıdır. Okların ağırlıkları bu siparişteki miktarlara eşittir.



Şekil 3. S_1 ürününe ait Petri ağı modeli (TO=0.5)

Örnek problem için oluşturulan Petri ağı modelinde 143 konum ve 121 geçiş bulunmaktadır. Ağdaki 5 geçiş siparişlerin üretimine başlama olayını (B_1-B_5), 10 konum (K_1-K_5 ve L_1-L_5) ise bu geçişlerle ilgili koşulları ifade etmek için kullanılmıştır. Diğer konum ve geçişler ürünlerin üretimiyle ilgili unsurları modellemektedir.

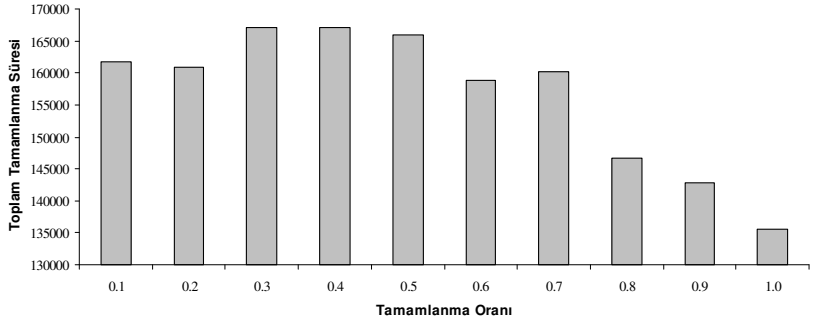
Çözüm Sonuçları ve Değerlendirme

Petri ağları ile modellenen çizelgeleme probleminin çözümü için önerilen yöntem Matlab 7.8.0'da kodlanmış ve [0.1, 1.0] aralığındaki 10 farklı TO değeri için çalıştırılarak çizelgeler oluşturulmuştur. En düşük toplam tamamlanma süresi (135515), TO=1.0 olarak alındığı zaman elde edilmiştir. Bir siparişte yer alan ürünlerin tümü üretildikten sonra bir sonraki siparişin üretimine başlandığı bu çözümün sonuçları Tablo 3'de sunulmuştur.

Tablo 3. TO=1.0 için çözüm sonuçları (TTS = 135515)

	Siparişler				
Ürünler	1	2	3	4	5
S_1	6634	13396	25897	-	45953
S_2	5760	11220	24971	36177	45647
S_3	7994	14402	26937	-	46833
S_4	7339	-	25932	37726	47056
S_5	-	15508	26688	37768	47308
Tamamlanma süresi	7994	15508	26937	37768	47308
Üretime başlama zamanı	0	994	11221	17908	29347

Farklı TO değerleri için elde edilen sonuçlar Şekil 4'te özetlenmiştir. Ele alınan örnek problem için, TO=0.7 değerinden itibaren siparişlerin toplam tamamlanma süresinin hızlı bir şekilde düştüğü görülmektedir.



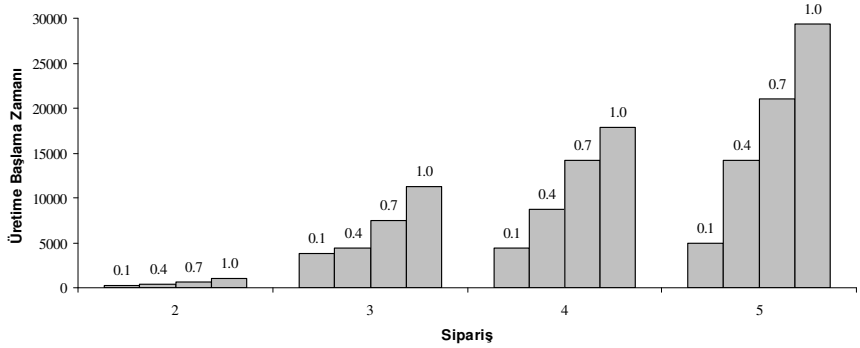
Şekil 4. Çeşitli TO değerleri için siparişlerin toplam tamamlanma süresi

[0.1, 1.0] aralığındaki dört farklı TO değeri (0.1, 0.4, 0.7 ve 1.0) için siparişlerin üretimine başlama zamanları Tablo 4'te sunulmuştur. TO değeri arttıkça siparişlerin üretimine başlama zamanı da beklenildiği gibi artmıştır.

Tablo 4. Çeşitli TO değerleri için siparişlerin üretimine başlama zamanları

Tamamlanma oranı	Siparişler 1	2	3	4	5
0.1	0	300	3741	4417	4929
0.4	0	330	4467	8792	14238
0.7	0	590	7511	14184	20964
1.0	0	994	11221	17908	29347

Şekil 5'te görüldüğü gibi, TO değeri büyüdükçe 3. siparişten itibaren üretime başlama zamanı arasındaki farklar da hızlı bir artış göstermektedir. Siparişlerin yüksek TO değerlerinde daha geç sisteme verilmesine rağmen, toplamda daha kısa bir sürede tamamlandığı görülmüştür. Sistemdeki kaynakların aynı anda daha az miktarda ürüne tahsis edilmesiyle ürün çıkışları daha hızlı gerçekleşmektedir.



Şekil 5. Çeşitli TO değerleri için siparişlerin üretimine başlama zamanları

6. SONUÇ

Esnek üretim sistemlerinde dinamik çizelgeleme probleminin Petri ağlarıyla modellendiği bu çalışmada, farklı zamanlarda sisteme ulaşan işlerin üretim emirlerinin verileceği zamana çizelge içerisinde karar veren bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Bu amaçla, bir siparişte yer alan ürünlerin belirli bir oranı tamamlandığında bir sonraki siparişin serbest bırakılmasına izin veren bir sezgisel kural kullanılmıştır. Petri ağı modelinin çalıştırılması yoluyla çizelge oluşturulurken, operasyonların başlatılma zamanlarının (geçişlerin ateşleme sıralarının) belirlenmesinde yine sezgisel öncelik kurallarından yararlanılmıştır.

Örnek bir esnek üretim sistemi çizelgeleme problemi için önerilen çözüm yaklaşımı uygulandığında, bir siparişte yer alan ürünlerin tümü üretildikten sonra bir sonraki siparişin üretimine başlanması halinde siparişlerin toplam tamamlanma süresi en düşük çıkmıştır. Diğer alternatiflere göre siparişler sisteme daha geç verilmesine rağmen, tüm siparişler toplamda daha kısa bir sürede tamamlanmıştır.

Esnek üretim sisteminin yapısından kaynaklanan birçok faktörün devreye girmesi nedeniyle, çalışmada kullanılan tamamlanma oranı kuralı ile ilgili olarak, hangi düzeyde bir tamamlanma oranı değerinin daha iyi bir çözüm sunacağı hakkında genel bir sonuç çıkarmak zordur. Önerilen yaklaşımın gerektirdiği hesapsal yükün düşük olması nedeniyle, gerçek uygulamada çizelgeleme problemi çeşitli oranlar için çözülüp oluşturulan çizelgeler arasından en iyi olanı seçilebilir.

Çeşitli tamamlanma oranı değerlerinin, farklı üretim sistemi konfigürasyonları ve problem parametreleri için çizelge performansı üzerindeki etkilerinin incelenmesi ve siparişlerin serbest bırakılma zamanlarının belirlenmesi amacıyla farklı bir sezgisel kuralın geliştirilmesi ileriye yönelik çalışma olarak belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Browne J., Dubois, D., Rathmill, K., Sethi, S. P., Stecke K. E. 1984. "Classification of Flexible Manufacturing Systems", The FMS Magazine, 2 (2), 114-117.

2. Chand, S., Traub, R., Uzsoy, R. 1996. "Single-Machine Scheduling with Dynamic Arrivals: Decomposition Results and an Improved Algorithm", Naval Research Logistics, 43, 709-719.

3. DiCesare, F., Harhalakis G., Proth J. M., Silva M., Vernadat F. B. 1993. Practice of Petri Nets in Manufacturing, Chapman & Hall, London.

4. Hahn, D., Lassmann, G. 1990. Produktionswirtschaft- Controlling industrieller Produktion, Band 1, 2. Auflage, Heidelberg (Physica).

5. Heidrich, P., et.al. 1983. Flexibilitaet in der Fertigungstechnik durch Computereinsatz, CW-Publikationen, München.

6. Lee, C.-Y., Uzsoy, R. 1999. "Minimizing Makespan on a Single Batch Processing Machine with Dynamic Job Arrivals", International Journal of Production Research, 37 (1), 219-236.

7. Li, C.-L., Lee, C.-Y. 1997. "Scheduling with Agreeable Release Times and Due Dates on a Batch Processing Machine", European Journal of Operational Research, 96, 564-569.

8. Li, D.-C., Chen, L.-S., Lin, Y.-S. 2003. "Using Functional Virtual Population as Assistance to Learn Scheduling Knowledge in Dynamic Manufacturing Environments", International Journal of Production Research, 41 (17), 4011-4024.

9. Liu, S. Q., Ong, H. L., Ng, K. M. 2005. "Metaheuristics for Minimizing the Makespan of the Dynamic Shop Scheduling Problem", Advances in Engineering Software, 36, 199-205.

10. Malve, S., Uzsoy, R. 2007. "A Genetic Algorithm for Minimizing Maximum Lateness on Paralel Identical Batch Processing Machines with Dynamic Job Arrivals and Incompatible Job Families", Computers & Operations Research, 34, 3016-3028.

11. Murata, T. 1989. "Petri Nets: Properties, Analysis and Applications", Proceedings of the IEEE, 77 (4), 541-580.

12. Ovacık, I. M., Uzsoy, R. 1995. "Rolling Horizon Procedures for Dynamic Paralel Machine Scheduling with Sequence-Dependent Setup Times", International Journal of Production Research, 33 (11), 3173-3192.

13. Sabuncuoglu, I., Kızılısık, O. B. 2003. "Reactive Scheduling in a Dynamic and Stochastic FMS Environment", International Journal of Production Research, 41 (17), 4211-4231.

14. Shnits, B., Rubinovitz, J., Sinreich, D. 2004. "Multicriteria Dynamic Scheduling Methodology for Controlling a Flexible Manufacturing System", International Journal of Production Research, 42 (17), 3457-3472.

15. Sung, C. S., Kim, Y. H. 2002. "Minimizing Makespan in a Two-Machine Flowshop with Dynamic Arrivals Allowed", Computers & Operations Research, 29, 275-294.

16. Tempelmeier, H., Kuhn, H. 1993. Flexible Fertigungsysteme, Entscheidungsunterstützung für Konfiguration und Betrieb, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.

17. Tunalı, S. 1997. "Evaluation of Alternative Routing Policies in Scheduling a Job-Shop Type FMS", Computers ind. Engineering, 32 (2), 243-250.

18. Uzsoy, R. 1995. "Scheduling Batch Processing Machines with Incompatible Job Families", International Journal of Production Research, 33 (10), 2685-2708.

19. Zhou, M., DiCesare F. 1993. Petri Net Synthesis for Discrete Event Control of Manufacturing Systems, The Kluwer International Series in Engineering and Computer Science, Kluwer Academic Publishers, USA.

20. Zhou, M., Venkatesh, K. 1999. Modeling, Simulation, and Control of Flexible Manufacturing Systems: A Petri Net Approach, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore.

21. Zhou, R., Nee, A. Y. C., Lee, H. P. 2009. "Performance of an Ant Colony Optimisation Algorithm in Dynamic Job Shop Scheduling Problems", International Journal of Production Research, 47 (11), 2903-2920.