T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTSİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALÜMİNYUM KOMPOZİT LEVHALARININ İŞLENMESİNDE, CNC FREZE KESİCİ TAKIMLARININ KAPLAMA SEÇİMİNİN VE İŞLEM PARAMETRELERİNİN TAGUCHI METODU İLE OPTİMİZASYONU

Zafer KESKİN
(Teknik Öğretmen)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
METAL EĞİTİMİ PROGRAMI

DANIŞMAN
Prof.Dr. Serdar SALMAN
Yrd.Doç.Dr. Bahar SENNAROĞLU

İSTANBUL 2006

ÖNSÖZ

Bu çalışma sırasında, bana her konuda destek olan, olumlu fikir ve düşünceleri ile beni yönlendiren, ilgi ve yardımlarını her zaman yanımda hissettiğim değerli hocalarım Sayın Prof.Dr. Serdar Salman' a ve Yrd.Doç.Dr. Bahar Sennaroğlu'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kompozit malzeme ve kesici takımların temininde yardımlarını esirgemeyen Şenyuva Alüminyum San. ve Tic Lim. Şirketi yöneticilerine ve teknik destek konusunda beni yalnız bırakmayan Sayın İnş.Müh. Tuncay GİDER, Sayın İnş.Müh. Hakan BAL, Sayın İnş.Müh. Murat MANTAŞ ' a teşekkürü bir borç bilirim.

Kesici takımların kaplanması konusunda yardımlarından dolayı Sayın Met.Müh. Özcan Karadayı' ya ve TİNKAP personeline teşekkür ederim.

Deneyler sırasında birlikte çalıştığımız ve deneylerimin yapılması sırasında çok büyük yardımlarını gördüğüm, üniversite hayatı ve iş hayatı boyunca hep yanımda olan, bana her konuda yardımda bulunmuş değerli arkadaşım Teknik Öğretmen Kenan Aydın' a teşekkür ederim.

Tezin yazımı aşamasında maddi ve manevi her türlü desteği benden esirgemeyen, üniversite hayatı boyunca hep yanımda olan Sayın Teknik Öğretmen İnan Geçmen'e teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca bana maddi ve manevi her konuda destek olan aileme, teşekkürü borç bilirim.

Haziran 2006 **Zafer KESKİN**

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZET ..... **I**

ABSTRACT..... **II**

YENİLİK BEYANI ..... **III**

SEMBOL LİSTESİ ..... **IV**

KISALTMALAR ..... **V**

ŞEKİL LİSTESİ ..... **VI**

TABLO LİSTESİ ..... **VII**

BÖLÜM I. GİRİŞ VE AMAÇ **1**

BÖLÜM II. YÜZEY KAPLAMA TEKNİKLERİ **3**

II.1 Mühendislik Amaçlı Kaplamalar **3**
II.2 Korozyondan Koruma Amaçlı Kaplamalar **3**
II.3 Dekoratif Amaçlı Kaplamalar **4**
II.4 Metalik Kaplamalar **4**
II.4.1. Sıcak Daldırma **5**
II.4.2. Sıcak Püskürtme **5**
II.4.3. Elektrolitik Metal Kaplama **5**
II.4.4. Akımsız Metal Kaplama **5**
II.4.5. Yayınma İle Kaplama **5**
II.4.6. Vakum Kaplama **6**
II.4.7. İyon Kaplama **6**
II.4.8. İyon Aşılama **6**
II.5 Organik Kaplamalar **6**
II.6 İnorganik Kaplamalar **7**

II.6.1. Fiziksel Buhar Biriktirme(FBB) 7
II.6.1.1. Buharlaştırma Yöntemi **8**
II.6.1.2. Sıçratma Yöntemi **8**
II.6.1.3. İyon Kaplama Yöntemi **8**
II.6.1.4. FBB Tekniğinin Diğer Yöntemlere Göre Avantajları **9**
II.6.1.5. PVD Teknolojisi ile Üretilen İnce Film Kaplamaların Özellikleri **10**
II.6.1.6. PVD Teknolojisi ile Dekoratif Kaplanabilen Malzemeler **11**
II.6.2. Kimyasal Buhar Biriktirme (KBB) 11
II.6.3. Fiziksel-Kimyasal Buhar Biriktirme (FKBB) 13
II.7 FBB Yönteminde İnce Film Kaplama Uygulamaları Ve Sistem Parametrelerinin Kaplama Özelliklerine Genel etkileri 14
II.7.1. Kaplama Esnasındaki İşlem Kademeleri 14
II.7.2. FBB Tekniği ile Üretilen TiN, AlTiN Ve ZrN Kaplamaların Özellikleri 15
II.7.2.1. TiN Kaplamalar **15**
II.7.2.2. AlTiN Kaplamalar **16**
II.7.2.3. ZrN Kaplamalar **17**

BÖLÜM III. GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE KALİTE KAVRAMININ GELİŞİMİ 19

III.1 Kalite Nedir? 20
III.2 Kalite Faaliyetlerinin Gelişimi 21
III.3 Kalite Kontrol (KK) Nedir? 21
III.4 Toplam Kalite Kontrol (TKK) Nedir? 22
III.5 Kalite Güvencesi (KG) Nedir? 22
III.6 Toplam Kalite Yönetimi (TKY) Nedir? 22
III.7 Taguchi Metodları 25
III.7.1. Taguchi'ye Göre Kalite Yaklaşımı 25
III.7.2. Kalite Mühendisliği Kavramı 27
III.7.2.1. Çevrim İçi Kalite Kontrol **29**
III.7.2.2. Çevrim Dışı Kalite Kontrol **29**
III.7.2.2.1. Sistem Tasarımı **31**
III.7.2.2.2. Parametre Tasarımı **32**
III.7.2.2.3. Tolerans Tasarımı **34**
III.7.3. Kalite Karakteristikleri 35
III.7.3.1. Kalite Karakteristiklerinin Sınıflandırılması **36**
III.7.3.1.1. Ölçüm Yeteneklerine Göre Kalite Karakteristikleri **36**
III.7.3.1.1.1. Ölçülebilen Karakteristikler **36**

III.7.3.1.1.2. Sembolik Karakteristikler **37**
III.7.3.1.1.3. Dinamik Karakteristikler **37**
III.7.3.1.2. Büyüklüklerine Göre Karakteristikler **38**
III.7.3.1.2.1. Büyük Olan İyidir **38**
III.7.3.1.2.2. Küçük Olan İyidir **38**
III.7.3.1.2.3. Nominal En İyisidir **38**
III.7.3.2. Kalite Karakteristiklerinin Seçiminde İzlenmesi Gereken Yol.. **38**
III.7.4. Faktörlerin Sınıflandırılması **39**
III.7.4.1. Kontrol Faktörleri **39**
III.7.4.1.1. Belirtici Faktörler **40**
III.7.4.1.2. Sinyal Faktörleri **40**
III.7.4.2. Gürültü Faktörleri **40**
III.7.4.3. Faktörler Arası Etkileşimler **42**
III.7.5. Ortogonal Dizinler **43**
III.7.5.1. Ortogonal Dizin Serileri **45**
III.7.5.1.1. 2^n Serisi Ortogonal Dizinler **46**
III.7.5.1.2. 3^n Serileri **46**
III.7.6. Serbestlik Derecesi **47**
III.7.7. Lineer Grafikler **48**
III.7.7.1. Standart Lineer Grafikler **52**
III.7.7.2. $L_4(2^3)$ Lineer Grafik **52**
III.7.7.3. $L_8(2^7)$ Lineer Grafik **52**
III.7.7.4. $L_{16}(2^{15})$ Lineer Grafik **53**
III.7.7.5. $L_9(3^4)$ Lineer Grafik **53**
III.7.7.6. $L_{18}(2^1\ 3^7)$ Lineer Grafik **53**
III.7.7.7. $L_{27}(3^{13})$ Lineer Grafik **54**
III.7.8. Sinyal / Gürültü Oranı **56**
III.7.8.1. Dış Gürültüler **58**
III.7.8.2. İç Gürültüler **59**
III.7.8.3. Birimden Birime Gürültü **59**
III.7.9. Kayıp Fonksiyonu **60**
III.7.9.1. Küçük Olan İyidir karakteristikleri **64**
III.7.9.2. Büyük Olan İyidir karakteristikleri **65**
III.7.9.3. Nominal En İyisidir karakteristikleri **66**
III.7.10. Özel Tasarım Teknikleri **69**
III.7.10.1. Çok Seviyeli Düzenlemeler **70**

BÖLÜM IV. ALÜMİNYUM KOMPOZİT LEVHALARININ İŞLENMESİNDE, CNC FREZE KESİCİ TAKIMLARININ KAPLAMA SEÇİMİNİN VE İŞLEM PARAMETRELERİNİN TAGUCHI METODU İLE OPTİMİZASYONU

IV.1 Problemin Tanımı 73
IV.2 Faktörleri ve/veya Etkileşimleri Tanımlamak 74
IV.3 Faktör ve /veya Etkileşimlerin Serbestlik Derecelerinin Hesaplanması 75
IV.4 Faktör ve /veya Etkileşimlerin Ortogonal Dizine Yerleştirilmesi 76
IV.5 Deney Sonuçlarının ANOVA Tekniği ile Analizi 79

BÖLÜM V. SONUÇLAR 85

BÖLÜM VI. TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRMELER 86

KAYNAKLAR 88

EKLER 91

ÖZGEÇMİŞ 93

ÖZET

ALÜMİNYUM KOMPOZİT LEVHALARININ İŞLENMESİNDE, CNC FREZE KESİCİ TAKIMLARININ KAPLAMA SEÇİMİNİN VE İŞLEM PARAMETRELERİNİN TAGUCHI METODU İLE OPTİMİZASYONU

Bu çalışmada, Alüminyum kompozit malzemelerinin işlenmesinde kullanılan 90^0'lik derz bıçağı üzerine Alüminyum Titanyum Nitrür (AlTiN) ve Zirkonyum Nitrür (ZrN) kaplamaların ve CNC freze parametrelerinin etkileri incelenmiştir. Bu derz bıçağı ve CNC ile ilgili genel bilgiler Ek 1ve 2' de sunulmuştur. Türkiye' de kullanımı yeni olan üç eksenli dik işlem merkezli bu CNC frezenin parametrelerinin optimizasyonu hem kalitenin arttırılması hem de maliyetin düşürülmesi açısından önemlidir. Bu parametrelerin yanı sıra takım yüzeyine en uygun kaplama türünün seçilmesi takım ömrünü artıracağı için işlem maliyetini azaltmanın yanı sıra zamandan da tasarruf sağlamaktadır.

Sonraki aşamalarda geometrik şekli ve kimyasal bileşimi farklı kesici takımlara değişik kaplama türleri ve hatta seramik çok katlı ince film kaplamalar da optimizasyona dahil edilerek takım ömrü üzerindeki etkileri incelenebilir.

Haziran 2006 **Zafer KESKİN**

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF PROCESS PARAMETERS AND COATING SELECTION OF CNC MILING CUTTERS WITH TAGUCHI METHOD IN PROCESSING ALUMINIUM COMPOZITE PLATES

In this Project, the effects of the CNC parameters and the (90^0) hobs which are covered with Aluminium Titanium Nitrür (AlTiN) and Zirconium Nitrür (ZrN) are studied. The CNC machine is used for processing aluminium composite panels. General information about the CNC and the hobs are given in Appendix (1 and 2). The utilization of the three axis vertical treatment centered CNC Fraise is very new in Türkey and the optimization of the CNC Fraise parameters is also very important for quality increasing and besides cost decreasing. Along these parameters to select the correct covering which is suitable fort he outfit's surface, increases the lifetime of the hobs. This process decreases the cost also makes up for lost time.

The next stage of this Project will be searching for another geometrical shapes and different types of coverings with different chemical compaunds which will increase the lifetime of the outfit . Even ceramic multi-storey coserings will be added the optimisation.

Haziran 2006 **Zafer KESKİN**

YENİLİK BEYANI

Alüminyum Kompozit Levhalarının İşlenmesinde, CNC Freze Kesici Takımlarının Kaplama Seçiminin ve İşlem Parametrelerinin Taguchi Metodu İle Optimizasyonu

Ülkemizde endüstriyel alanda yeni kullanılmaya başlanan, kompozit malzeme işlemek amaçlı kullanılan CNC Frezelerinin parametrelerinin optimum hale getirilmesi ve kesici takımlarının kaplama ile yüzey özelliklerinin değiştirilerek ömrünün artırılmasına bu çalışma ile yeni bir boyut getirilmiş, endüstriyel olarak kullanılan kaplamasız kesici takımlarla karşılaştırılmıştır.

CNC freze işlem parametrelerinin ve kaplama türünün belirlenmesi ile hem ekonomik açıdan hem de zaman açısından tasarruf sağlayacağı düşünülmektedir.

Haziran 2006 **Prof.Dr. Serdar SALMAN** **Zafer KESKİN**

Yrd.Doç.Dr. Bahar SENNAROĞLU

SEMBOL LİSTESİ

$\mathbf{L_BA^C}$	: Ortogonal Dizinlerin Gösterimi
A	: Faktörlerin Seviyeleri
B	: Deneme Sayısı
C	: Faktör Sayısı
sd	: Serbestlik Derecesi
$\mathbf{^0C}$	: Santigrad Derece
Ti	: Titanyum
Zr	: Zirkonyum
W	: Tungsten
Fe	: Demir
Cr	: Krom
C	: Karbon
Al	: Alüminyum

KISALTMALAR

CNC : Bilgisayar Destekli Tasarım

TiN : Titanyum Nitrür

AlTiN : Alüminyum Titanyum Nitrür

TiAlN : Titanyum Alüminyum Nitrür

TiCN : Titanyum Karbonitrür

ZrN : Zirkonyum Nitrür

HV : Vickers sertliği

FBB (PVD) : Fiziksel Buhar Biriktirme(Physical Vapour Deposition)

KBB (CVD) : Kimyasal Buhar Biriktirme (Chemical Vapour Deposition)

HSS : Yüksek Hız Takım Çeliği

K : Kaplama Türü

S : Devir Sayısı (devir/dakika)

F : İlerleme Hızı (mm/dakika)

F_P : Dalma Hızı (mm/dakika)

A : Kesici Takım Ağız Açısı

a : Seviye

y : Sonuç Değişken

m : Hedef Değer

n : Deneme Sayısı

r : Tekrar Sayısı

P : Yüzde Katkı

ŞEKİL LİSTESİ

SAYFA NO

Şekil II.1 PVD (Fiziksel Buhar Biriktirme) Kaplamada Kullanılan Cihaz **9**

Şekil II.2 CVD (Kimyasal Buhar Biriktirme) Cihazının Şematik Gösterimi **13**

Şekil II.3 Dekoratif Amaçlı TiN Kaplanmış Kapı Kolu **15**

Şekil II.4 AlTiN Ve ZrN Kaplanmış Parmak Frezeler **16**

Şekil III.1 Toplam Kalite Yönetiminde Tamamlanmış Organizasyonel Sistem **23**

Şekil III.2 Toplam Kalite Yönetimi Modeli **23**

Şekil III.3 Kalite Mühendisliği Bileşenleri **28**

Şekil III.4 Tasarım Proses Bileşenleri ve Hedefleri **30**

Şekil III.5 Kalite Mühendisliğinin Bileşenleri ve İçerikleri **31**

Şekil III.6 Taguchi Yönteminin Akış Şeması **34**

Şekil III.7 L_4 İçin Lineer Grafik **49**

Şekil III.8 $L_4(2^3)$ İçin Lineer Grafik **49**

Şekil III.9 $L_{16}(2^{15})$ İçin Lineer Grafik **50**

Şekil III.10 $L_8(2^7)$ İçin Lineer Grafik **52**

Şekil III.11 $(2^1 3^7)$ İçin Lineer Grafik **53**

Şekil III.12 Fonksiyonel Değişimlerin Sebepleri **58**

Şekil III.13 Kalite Kayıp Fonksiyonu **60**

Şekil III.14 Kayıp Fonksiyonu İle Gürültü Faktörleri Arasındaki İlişki **62**

Şekil III.15 Küçük Olan İyidir İçin Kayıp Fonksiyonu **64**

Şekil III.16 Büyük Olan İyidir İçin Kayıp Fonksiyonu **65**

Şekil III.17 Özel Teknikleri İçine Alan Deneylerin Tasarımı Akış Şeması **69**

Şekil IV.1 Taguchi L_{27} Ortogonal Dizinine Ait Doğrusal Grafik **74**

Şekil IV.2 Faktör Seviyelerinin Takım Ömrü Üzerine Etkileri **84**

TABLO LİSTESİ

SAYFA NO

Tablo II.1 Bazı Kaplama Türleri ve Genel Özellikleri **18**

Tablo III.1 $L_8 2^7$ Ortogonal Dizini **44**

Tablo III.2 $L_{12} 2^{11}$ Ortogonal Dizini **45**

Tablo III.3 Etkileşimler İçin Serbestlik Derecesi Hesapları **48**

Tablo III.4 $L_{27} 2^{13}$ Ortogonal Kolonunda İki Kolon Arasındaki Etkileşimler **55**

Tablo III.5 Değişimin Azaltılabileceği Yerler **59**

Tablo III.6 L_8 Ortogonal Dizini **71**

Tablo IV.1 Deneyde Kullanılan Faktörlere Ait Bilgiler **74**

Tablo IV.2 Faktör ve Etkileşimlerin Serbestlik Dereceleri **75**

Tablo IV.3 Faktör ve Etkileşimlerin Kolonlara Atanması **76**

Tablo IV.4 L_{27} Ortogonal Dizini **77**

Tablo IV.5 Taguchi L_{27} Tasarımının Deneye Uygulanmış Hali **78**

Tablo IV.6 Anova ile Yapılan Analiz Sonuçları **81**

Tablo IV.7 Analiz Sonuçlarından En Az Etki Yapan Faktör ve Etkileşimlerinin Çıkarılması **81**

Tablo IV.8 F ve P Değerleri **82**

Tablo IV.9 $\alpha = 0,05$ Anlamlılık Düzeyi İçin F_{kritik} Değerleri **83**

Tablo IV.10 F ve F_{kritik} Değerlerinin Karşılaştırılması **83**

BÖLÜM I.

GİRİŞ VE AMAÇ

Günümüz endüstrisinde gerek imalat teknolojisi gerekse malzeme teknolojisi açısından gelinen nokta itibariyle yüzey özellikleri önemini daha da arttırmıştır. İmalat sanayinde kullanımı oldukça yaygınlaşan bilgisayar destekli otomatik (CNC) tezgahlarda ulaşılan çok yüksek devirler ve endüstriye sunulan mekanik özellikleri gelişmiş yeni, talaşlı imalatı zor olan mühendislik malzemeleri başta kesici uçlar ve takımlar olmak üzere endüstrideki aşınma kayıplarını arttırmaktadır.

Kaplamalar ve ince filmlerin kullanımı, teknolojinin artan ihtiyaçlarına paralel olarak sürekli yaygınlaşmakta ve önemin arttırmaktadır.

Yüzey kaplama konusunda son yıllarda kendisine en yaygın kullanım alanı bulan kaplamalar sert seramik kaplamalardır. Geçiş elementlerinin (Ti, Zr, Nb, Hf) nitrür, karbür ve borür gibi bileşiklerinden oluşturulan sert seramik kaplamaların uygulandıkları taban malzemelerin mühendislik özelliklerini önemli ölçüde geliştirdikleri yapılan araştırmalar ve endüstrideki sonuçlar itibari ile ortaya konmuştur.

Sert seramik kaplamaların endüstriyel anlamda en yoğun uygulanan örnekleri TiN, CrN, TiCN, TiAlN ve AlTiN' dür.

Son yıllara kadar TiN birinci nesil sert seramik kaplamalar ailesinin ilk ve en yaygın kullanılan üyesiydi.

Sert kaplamaların kullanım alanındaki malzeme özelliklerindeki gelişim yeni kaplama türlerine ihtiyaç doğurmuştur.

TiN latisi içine metalik elementlerin ilavesi ile geliştirilen (Ti,Al)N ve (TiNb)N gibi yeni nesil kaplamalar elde edilmiştir. Yeni nesil kaplamalar içerisinde yüksek alüminyum içeriğine sahip AlTiN kaplamalar yüksek sertlik ve elastik

modülün yanı sıra düşük ısı iletim katsayısı ile kendisine endüstri içerisinde kısa zamanda yer bulmuştur[1].

AlTiN (Alüminyum Titanyum Nitrür) son yıllarda özellikle yüksek devirli freze ve tornalama tezgahlarında üstün mekanik özellikleri ile yaygınca kullanılmaktadır.

Son yıllarda kesici takım ve kalıp yüzeylerinde aşınma özelliklerinin geliştirilmesi için uygulanmaya başlanan ve üzerindeki araştırmalar devam eden bir teknikte tek katmanlı kaplama ile aynı kalınlığa sahip çok katmanlı kaplamaların uygulanmasıdır. Farklı katmanların olumlu özelliklerinin bir yönde birleştirilmesi sonucu bir Kompozit malzeme olarak davranıp yük taşıma kapasitesi katlarla ifade edilecek seviyede artış göstermektedir.

Bu çalışmada, CNC Freze de 90 derecelik kanal açmak amaçlı kullanılan takımın yüzeyine ayrı ayrı TiN ile kıyaslandığında sertliği çok daha yüksek, ısı iletimi daha düşük AlTiN ve ZrN kaplanarak takım ömrü üzerine etkileri incelenmiştir.

BÖLÜM II.

YÜZEY KAPLAMA TEKNİKLERİ

Kaplama işlemi esasen bir malzemenin başka bir malzeme üzerinde istenen kalınlıkta bir tabaka olarak biriktirilmesidir. Bütün kaplama işlemlerinin temel amacı biriktirildiği yüzeyin mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin geliştirilmesidir. Kaplama işlemlerinin uygulama alanları baz alınırsa üç ana grup karşımıza çıkmaktadır.

II.1. MÜHENDİSLİK AMAÇLI KAPLAMALAR

Mühendislik amaçlı kaplamalar üç grupta incelenebilir. Bunlar;

- Elektrik-elektronik amaçlı kaplamalar
- Optik amaçlı kaplamalar
- Tribolojik amaçlı kaplamalar

II.2. KOROZYONDAN KORUNMAK AMAÇLI KAPLAMALAR

Bu tür kaplamalar malzemeleri korozyondan korumak amaçlı yapılırlar. Korozyon, metalik malzeme kullanılan her alanda beklenilen tabi bir olaydır. Sebep olduğu maddi kayıplar yanında çevreyi kirleten, insan hayatını tehlikeye sokan bir değişimdir. Bu değişimi en aza indirebilmek için malzeme yüzeyinin özellikleri değiştirilir ve korozyondan korunmaya çalışılır.

II.3. DEKORATİF AMAÇLI KAPLAMALAR

Söz konusu yüzey kaplama türlerini kaplama malzemesi açısından 3 ana grupta toplayabiliriz;

- Metalik Kaplamalar
    - Sıcak Daldırma
    - Sıcak Püskürtme
    - Elektrolitik Metal Kaplama
    - Akımsız Metal Kaplama
    - Yayınma İle Kaplama
    - Vakum Kaplama
    - İyon Kaplama
    - İyon Aşılama
- Organik Kaplamalar
    - Boyalar ve Cilalar
- İnorganik Kaplamalar

II.4. METALİK KAPLAMALAR

Metalik kaplamaları, metal ve alaşım kaplamaları şeklinde ikiye ayırmak mümkündür. Bu kaplamalar temelde mühendislik amaçlı ve malzemenin korozyona karşı korunması için uygulanmasına karşın dekoratif görünüm de temel amaçlardan biridir.

Metalik kaplamalar ; fiziksel metodlar, mekanik metodlar, kimyasal metodlar ve elektrokimyasal metodlar olmak üzere endüstride dört ana şekilde uygulanmaktadır.

1. Fiziksel Metodlar : Sıcak daldırma, yayınma ile kaplama, vakum kaplama, katodik saçınım, iyon kaplama, iyon aşılama
2. Mekanik Metodlar : Metal giydirme, sıcak püskürtme
3. Kimyasal Metodlar :

    a) Yüksek sıcaklıkta uygulanan metodlar : Değişimle, kimyasal indirgeme ile, ısıl ayrışım ile

b) Düşük sıcaklıkta uygulanan metodlar : Kimyasal indirgeme, sementasyon, akımsız kaplama

4. Elektrokimyasal Kaplamalar : Elektrolitik kaplamalar.

II.4.1. Sıcak Daldırma

Kaplanacak metal ile kaplama metali arasındaki reaksiyonun alaşım tabakaları oluşturması sonucu kaplama metali ile taban metal arasında fiziksel bir bağlantı sağlanması prensibine dayanan bu yöntem yaygın ve ucuz bir metal kaplama yöntemi olup genelde çelik malzemeler üzerine çinko, alüminyum, bakıra da kalay kaplamada kullanılır.

II.4.2. Sıcak Püskürtme

Sıcak metalin zerrecikler halinde metale püskürtülerek orada donması ve zemine mekanik olarak bağlanması prensibine dayanan bu yöntemle, çinko ve alüminyum başta olmak üzere kurşun, kalay, bakır ve paslanmaz çelik kaplanır.

II.4.3. Elektrolitik Metal Kaplama

Yüzeyi metal kaplanacak olan parçanın uygun bir çözeltide katot yapılarak buraya ulaşan metal iyonlarının elektron alarak indirgenmesi ve metal haline geçerek taban malzeme üzerinde tabaka oluşturması esasına dayanır.

II.4.4. Akımsız Metal Kaplama

Kaplanacak metal iyonlarını ve bir indirgeyici içeren çözeltiye daldırılan metalin yüzeyinde indirgenme reaksiyonu meydana gelmesi ve bu şekilde metalin kaplanması esasına dayanır. Bu yöntemle özellikle nikel, bakır, kobalt, kalay ve gümüş kaplanmaktadır.

II.4.5. Yayınma ile Kaplama

Kaplanacak metalin tozunun ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta kaplanacak metal ile temas ettirilmesi sonucu, metalin kaplanacak metale yayınması ile malzeme yüzeyi kaplanır.

II.4.6. Vakum Kaplama

Ergitilmiş metalin vakum ortamında kaplanmak istenilen soğuk yüzeyle temas ettirilmesi sonucu, metal yüzeyinin her tarafı kaplanır. Yöntem hem metalik hem de metalik olmayan yüzeylerin kaplanmasında kullanılabilmektedir.

II.4.7. İyon Kaplama

Kaplama işlemi vakum ortamında yapılır. Yüksek enerjili iyon bombardımanı altında yüzey hem temizlenir hem de kaplanır.

II.4.8. İyon Aşılama

Vakum altında yapılan bir başka kaplama türüdür. İyonize edilmiş partiküllerin metal yüzeyinin fiziksel ve kimyasal özelliğini değiştirmesi esasına dayanır.

II.5. ORGANİK KAPLAMALAR

Organik kaplamaları temelde dört ana gruba ayırmak mümkündür.

1. Boyalar ve cilalar
2. Vernikler ve fırınlanmış emayeler
3. Ziftli kaplamalar
4. Plastik kaplamalar

Organik kaplamalar genel olarak dekoratif ve korozyondan koruma amacıyla kullanılırlar. Ayrıca özellikle polimer kaplamalar tribolojik özellikleri geliştirmek amacıyla kullanılırlar.

Polimerler iyi aşınma ve korozyon dirençlerinin yanı sıra kendinden yağlama, düşük ses emisyonu ve ucuz üretim maliyeti ile stratejik öneme sahip tribolojik malzemelerdir.

II.6. İNORGANİK KAPLAMALAR

İnorganik kaplamaları, seramik kaplamalar, camlar, değişim kaplamalar (anodik oksidasyon, kromatlama gibi), camsı emayeler gibi çeşitli gruplara ayırmak mümkündür. Bu türler içerisinde iyonik kaplama yöntemi ile üretilen seramik kaplamalar grubu içinde yer alan ince film sert seramik kaplamalar yüksek aşınma dirençleri ve sürtünme özelliklerinin yanında iyi yapışma ve kolay üretilebilirlikleri gibi faktörlere bağlı olarak endüstri de kullanılan kesici ve delici takımların kaplanmasında ön plana çıkmışlardır.

Sert seramik kaplamların üretiminde buhar fazından, vakum altında yapılan kaplamalar sahip oldukları özellikleri ile yoğun şekilde tercih edilmektedirler. Bu özellikler şöyle sıralanabilir ; vakum sistemleri ile beraber üretimlerinde düşük maliyet, çok ince ve yüksek saflıkta kaplanabilmeleri, iyi yapışma özelliği göstermeleri ve kaplama malzemesinin tercih sayısının yüksek oluşudur[2].

Buhar fazında yapılan kaplamalar üç ana grupta toplanabilir ;

1. Fiziksel buhar biriktirme
2. Kimyasal buhar biriktirme
3. Fiziksel-kimyasal buhar biriktirme

II.6.1. Fiziksel Buhar Biriktirme (FBB)

Yüksek vakum altında (10^{-6} ile 10 Pa) malzemenin buharlaştırılarak karşı malzeme üzerinde biriktirilmesidir. Fiziksel buharlaştırma yöntemi buharın oluşturulması şekline göre buharlaştırma ve sıçratma olarak ikiye ayrılır.

Buharlaştırma yönteminde termal, ark ve iyon demeti gibi ısı kaynakları yardımıyla malzeme buhar haline getirilmektedir. Sıçratmada ise, malzeme pozitif iyonlarla bombardımana tutulur ve yüzeyden atom koparılır dolayısıyla buhar kaynağı olarak kullanılmış olur. Fiziksel buhar biriktirme genelde tüm malzemelere uygulanabilirliği, biriktirme hızının ve tabaka kalınlığının kontrol edilebilirliği gibi özellikleri sayesinde tercih edilen bir yöntemdir.

Kesici takımlar için FBB pazarı hızla büyümektedir. Teknolojik gelişmelere paralel olarak, kesici takım yüzeylerinin fiziksel ve tribolojik özelliklerinin iyileştirilmesine,takım ömrü ve performansı artırılarak maliyetlerinin azaltılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Fiziksel buhar biriktirme belli başlı 3 tekniği kapsamaktadır;

- Buharlaştırma yöntemi (evaporation)
- Sıçratma yöntemi (Sputtering)
- İyon kaplama yöntemi (Ion plating)

II.6.1.1. Buharlaştırma Yöntemi

FBB yöntemleri içerisinde en eskisi ve en kolay uygulananıdır. Yöntemin esası oldukça basittir. Vakum altında ısıl olarak veya elektron demeti ile ısıtılarak ergitilen malzeme buharlaşarak kaplanacak malzemenin üzerine çöker. Buharlaşan malzemenin buhar fazındaki atomlarının enerjisi oldukça düşüktür (0,2-0,6 eV). Bu nedenle kaplama yoğunluğu düşüktür ve kaplanacak malzemeye yapışması zayıftır.

II.6.1.2. Sıçratma Yöntemi

Kaplama malzemesinin enerji yüklü parçacıklarla (genellikle iyonlarla) bombardımanı sonucu sıçratılan atomların, kaplanacak metal yüzeyine birikmesi esasına dayanır. Bu yöntemde atomların enerjileri 4-20 eV civarındadır.

II.6.1.3. İyon Kaplama

Diğer yöntemlerden temel farkı kaplanacak malzeme atomlarının iyonize edilmesi ve kaplanacak malzemeye uygulanan potansiyel sayesinde (BIAS voltajı) hızlandırılmalarıdır. Kaplamada kullanılan cihaz Şekil II.1.' de verilmiştir.



Şekil II.1. PVD Kaplamada Kullanılan Cihaz

İyonize olan atomların kaplanacak malzeme yüzeyine doğru hızlandırılıp çarptırılmaları ile aynı zamanda malzemenin ısıtılması ve temizlenmesi sağlanır. Isıtma özellikle kaplamanın yüzeye yapışma özelliğini geliştirir. İyon kaplama yöntemi PVD teknikleri içerisinde en yüksek enerjili parçacıkların kaplama işleminde kullanıldıkları (70-80 eV) en hızlı ve en yoğun kaplama tabakası elde edilen yöntemdir.

PVD tekniğine sert ince film tekniği de denmesinin nedeni kaplama tabaka kalınlığının 1-5 mikron arasında yapılması ve bu kalınlıklarda tabakanın bazı fiziksel özelliklerinin kaplanacak malzemenin fiziksel özelliklerini almasıdır. Mesela ana malzeme kaplanacak malzemenin ısıl genleşme katsayısını almaktadır.

PVD tekniği ile TiN (titanyum nitrür), TiC (titanyum karbür), TiO2(titanyum oksit), ZrN (Zirkonyum nitrür), ZrC (Zirkonyun karbür), CrN (krom nitrür), CrC (krom karbür), AlN (alüminyum nitrür), Al_2O_3 (alüminyum oksit), Ti(CN) (titanyum karbonitrür), (TiAl)N (titan alüminyum nitrür), gibi kaplamalar yapılabilmektedir.

II.6.1.4. FBB Tekniğinin Diğer Yöntemlere Göre Avantajları

- Bu yöntemle 200-500 °C sıcaklık aralıklarında kaplama yapmak mümkün olduğundan kaplanacak malzemede sertlik kaybı, ölçülerin değişmesi gibi mekanik değer kayıpları olmaz.
- Çökeltinin kompozisyonu çok yönlüdür. Hemen, hemen birçok metal, alaşım, refrakter veya intermetalik bileşenler, bazı polimerik tip malzemeler

ve onların karışımları kolaylıkla çökertilebilir. Bu yönüyle diğer çökelme prosesleriyle kıyasla PVD prosesi oldukça iyidir.

- Bu yöntemle kaplanacak malzemelerin sıcaklıklarının çok geniş limitlerde olabilmesi mümkündür.
- Çökeltiler çok yüksek saflıktadır.
- Kaplanacak malzemeye kaplamanın mükemmel bağlanması PVD yöntemiyle mümkündür.
- Mükemmel yüzey işlemi verdiğinden taşlama ve parlatma işlemlerini minimuma indirir veya elimine eder.
- İnsan sağlığı ve çevre ile dosttur,
- Korozyona karşı dayanıklıdır,
- Asit, baz, tiner gibi kimyasallardan etkilenmez,
- Ter ve rutubetli ortamlara karşı dayanıklıdır,
- Ateş ve ısıdan etkilenmez,
- Aşınmaya karşı yüksek dirençlidir,
- Laklama gerektirmez,
- Altın ve krom renklerini de içine alan geniş renk seçenekleri sunar,
- Estetik görünüm verir.

II.6.1.5. FBB Teknolojisi ile Üretilen İnce Film Kaplamaların Özellikleri

- Seramik yapıdadır
- Taban malzeme ile kuvvetli fiziksel ve kimyasal bağ oluşturur
- Elektrolitik kaplamalara kıyasla çok yüksek yapışma kuvveti sağlar
- En sert çeliğin 4 katı sertliğe sahiptir
- Çizilme ve aşınmaya karşı dayanıklıdır
- Kaplama kalınlığı 1-3 mikron arasındadır
- Kaplama üründe boyut değişimi yaratmaz
- Kaplanmış yüzeylerde; mükemmel parlaklık ve yüzey kalitesi sağlar.

II.6.1.6. FBB Teknolojisi ile Dekoratif Kaplanabilen Malzemeler

- Her tür çelik ürün
- Pirinç
- Zamak
- Cam
- ABS
- Alüminyum

II.6.2. Kimyasal Buhar Biriktirme (KBB)

Kimyasal buhar biriktirme yöntemi vakum altında (65 Pa - 0.1 MPa) uygulanabilen, malzemenin bir reaksiyon hücresi içine buhar olarak gönderilmesi ve karşı malzeme üzerinde biriktirilmesi esasına dayanır. Fiziksel buhar biriktirme teknikleriyle kıyaslandığında en dezavantajı çok yüksek sıcaklıklarda (1000 – 1200 ^{0}C) uygulanabilmesidir. Dolayısıyla kullanım alanı WC-Co sert metal malzemelerle sınırlı kalmaktadır.

Kimyasal buhar çöktürme tekniği gaz karbürizasyonuna ve karbonitrürasyona benzer. Bu teknikte buhar fazında kararlı katı reaksiyon ürünleri kimyasal çözünme veya kimyasal reaksiyonla kaplanacak malzeme üzerinde çekirdeklenir ve gelişir.

Reaksiyon ve reaksiyon ürünlerinin bir çoğu 700-1200 ^{0}C gibi yüksek (PVD' ye göre) sıcaklıklarda gerçekleşir.

KBB tekniğiyle TiC, TiN, TiCN, Al_2O_3 , Cr_7C_3 gibi kaplamalar 1-10 mikrometre kaplama kalınlıkları en çok uygulananlarıdır.

Bu ince film kaplama tekniğinde $TiCl_4$ 'ün reaktif gaz atmosferinde H_2 , N_2 , CH_4 ,CO gibi gazlarla işlem odasına gönderilmesi sonucu işlem odasında kaplanacak malzeme üzerinde çözünüp çökelmesiyle kaplama gerçekleşir. Serbest kalan gazlarda işlem odasından uzaklaştırılır.

KBB de kullanılan reaktif atmosferler; kloridler, floridler, bromitler, karboniller, organometalik bileşenler, hidritler ve hidrokarbonlardır. Reaktif atmosfer kaplanacak malzemeye ulaşıncaya kadar kararlıdır. Kaplanacak malzemede reaksiyon reaktifin yeterince değişimi ile oluşur. Gaz atmosferi sağlamak için bazen reaktifi ısıtmak gerekir. Hidrojende çoğunlukla indirgen madde olarak dahil edilir.

KBB tekniğinde kaplama malzemesinin, kaplanacak malzemenin sıcaklık ve basınçla ilgili kimyasal ,mekanik ve fiziksel özelliklerinin uyumu önemlidir.

Kullanılan basınç düşük veya yüksek basınç şeklinde olmakta, değeri de 1-1000 mbar değerinde olduğu gibi 10 -4 - 10 -1 mbar değerlerinde de olabilmektedir. KBB tekniğinde sıcaklık aralığı (çeşitli kaplamalar göz önüne alındığında) genelde 700-1200 ^{0}C şeklinde literatürde verilmesine rağmen son zamanlarda 300-600 ^{0}C sıcaklıklar arasında W_2C gibi kaplamalar çelik malzeme üzerine kaplanmaktadır. Fakat bunların özellikleri TiC kadar iyi değildir.

Bu yöntemde tek kademeli kaplama yapılacağı gibi kullanım yerine göre çok kademeli kaplamalar da yapılabilmektedir. Sadece aşınma dirençli ve korozyon dirençli kaplamaların yanı sıra çok kademeli olarak aşınma artı korozyon dirençli kaplamalar da elde edilebilmektedir. Şekil II.2' de KBB cihazının şematik gösterimi verilmiştir.

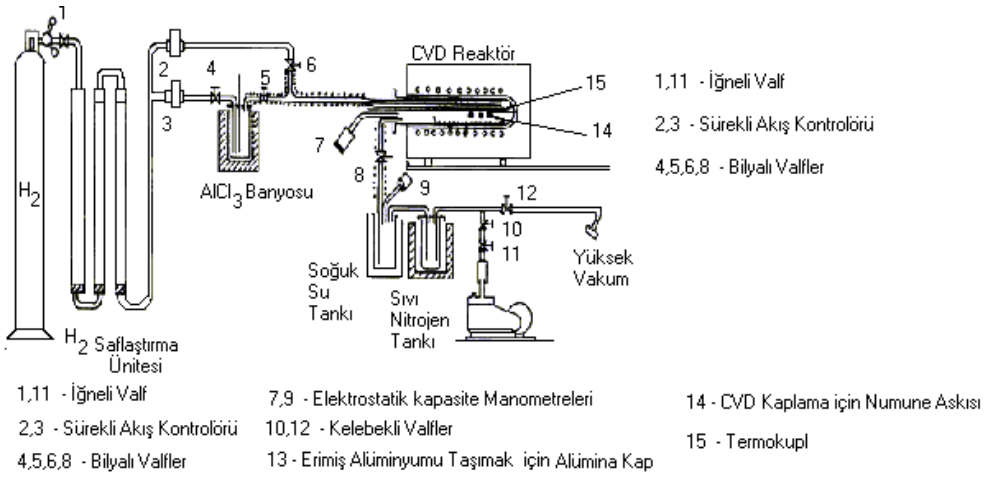
KBB yönteminin avantajlarını şöyle sıralayabiliriz;

- Kaplama malzemelerinin çökeltilmesi onların ergime sıcaklıklarının çok altındaki sıcaklıklarda yapılır.
- Çökeltinin yoğunluğu teoriğe yakın ve kontrollüdür.
- Çökeltinin tane oryantasyonu istenen seviyededir.
- Çökeltinin tane boyutu kontrollüdür.
- Girintili çıkıntılı parçalar üzerine çökeltme için en iyi metoddur. (Bu yönüyle FBB'den üstündür.)
- Atmosferik basınçta işlemler mümkündür.
- Genellikle iyi bağlantı verir.

KBB yönteminin dezavantajları ise şöyledir;

- Bazı reaktiflerin maliyeti yüksektir.
- Kapalı sistemde gerekli olan birçok reaktifin korozyona , zehire veya neme hassas karakteristikte olması
- Düşük sıcaklıktaki işlemler için reaktifin kıtlığı (570 ^{0}C'den düşük sıcaklıklarda).

KBB ile TiN kaplamanın şematik gösterimi aşağıdaki Şekil II.2.' de görülmektedir.



Şekil II.2. KBB Cihazının Şematik Gösterimi

II.6.3. Fiziksel-Kimyasal Buhar Biriktirme (FKBB)

Söz konusu her iki tekniğin karışımı olup kimyasal buhar biriktirme işlemini harekete geçirmek için plazmanın (glow discharge) şerare etkisinden faydalanılır.

II.7. FBB SİSTEMLERİNDE İNCE FİLM KAPLAMA UYGULAMALARI VE SİSTEM PARAMETRELERİNİN KAPLAMA ÖZELLİKLERİNE GENEL ETKİLERİ

II.7.1. Kaplama Esnasındaki İşlem Kademeleri

FBB sisteminde yapılan ince film kaplamalarda işlemler 4 ana kademeden oluşurlar;

- Kaynak (Buhar Üretimi)
- Taşınım
- Birikme
- İnce film analizi

Kaynak malzeme genelde katı halde olup buharlaştırma yada sıçratma tekniklerinden birinin kullanımıyla buharlaştırılır.

Taşınım kademesinde buharlaştırılan malzeme kaplanacak malzeme yüzeyine taşınır. Bu kademede minimum kayıpla oluşan buharın kaplanacak taban malzemesine ulaşması hedeflenir. Yüksek vakum mertebelerinde çalışan FBB sistemlerinde taşınım önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Taşınım işleminin sorunsuz olarak gerçekleşmesi için kaplanacak yüzey ile buhar kaynağının birbirini görmesi önemlidir. Kaplanacak parça geometrisi, vakum odasının geometrisi, kaynak yeri ve boyutları da taşınımı etkiler. Ayrıca iyonize olmuş buharın enerjisiyle birlikte, özellikle hızlandırma voltajı uygulanan sistemlerde hızlandırma voltajının mertebesi de taşınımı doğrudan etkileyen faktörlerdir.

Birikme, kaplama yüzeyine taşınan buharın çekirdeklenmesi ve bu çekirdeklerin büyümesi şeklinde gerçekleşmektedir. Birikmeyi, kaplama yüzeyinin durumu, kaplanacak malzemenin kaplanacak yüzeye olan reaktivitesi ve sisteme verilen toplam enerji etkilemektedir. Yüzeyin durumu ile pürüzlülük, yüzey temizliği ve yüzeyin gelen atomlarla yapacağı etkileşim; reaktivite ile gelen atomlarla yüzey atomlarının reaksiyona girme olasılıkları, sisteme verilen enerji ile de kaplanacak yüzeyin sıcaklığı, atom ve iyon enerjileri ile (varsa) hızlandırma voltajı anlatılmaktadır. Bütün bunlar hem filmin birikme hızını, hem mikroyapısı ve kompozisyonunu, hem de diğer fiziksel özelliklerini doğrudan etkiler.

Analiz kademesinde üretilen ince filmin amaca uygunluğu kontrol edilir.

Örneğin kesici takım kaplamalarında sertlik, kalınlık, yapışma, dekoratif kaplamalar için renk, yüzey pürüzlülüğü vs. analiz kademesinden alınan sonuçlara göre kaplama parametrelerinde optimizasyon yapılır.

II.7.2. FBB Tekniği İle Üretilen TiN, AlTiN Ve ZrN Kaplamaların Özellikleri

II.7.2.1. TiN Kaplamalar

Titanyum nitrür endüstride kullanılan takımlar üzerinde ilk olarak kimyasal buhar biriktirme metodu ile uygulanmıştır. Son 20 yılda ise fiziksel buhar biriktirme yöntemleriyle kaplanması yaygınlaşmıştır. Özellikle kesici takımlarda kullanılmak üzere takım çeliklerine kaplanmış diğer taraftan birçok farklı tribolojik uygulamalarda kullanılmıştır[3].

Titanyum nitrürün çok yaygın şekilde kullanılmasının birkaç sebebi vardır. Bunlar; yüksek sertlik (2800-3000 HV), takım çelikleri üzerine çok iyi yapışma özelliği göstermesi ve yüksek kimyasal direncidir[4].

Taban malzeme ve kaplama arasında düşük yapışma özelliği olan durumlarda düşük kimyasal bağlanma, tabakalar arası geçiş bölgesinin mekanik özelliklerini zayıflatmakta bu da düşük kırılma tokluğuna yol açmaktadır[5]. Şekil II.3' de dekoratif amaçla TiN kaplanmış kapı kolu görülmektedir.



Şekil II.3. Dekoratif Amaçlı TiN Kaplanmış Kapı Kolu

TiN kimyasal stabilitesi sayesinde zayıf asitlere karşı mükemmel korozyon direnci göstermektedir[6].

II.7.2.2. AlTiN Kaplamalar

TiAlN kaplamalar üzerindeki çalışmalar kaplama yapısı içindeki Al yüzdesinin arttırılmasıyla kaplama renginin önce kahverengiden mora (~ % 50) bu oranın daha da arttırılmasıyla siyaha geçtiği gözlenmiştir[7].

Kaplama yapısı içindeki % Al miktarı artarken gözlenen diğer değişimler ise sertliğin artışı, yüzey pürüzlülüğü ve sürtünme katsayısında düşüş ve kaplamanın yapışmasında zayıflamadır[8].

Kaplama yapısında Al içeriğinin artışıyla birlikte ortaya çıkan en önemli özellik ise kaplamanın ısı iletiminin azalması dolayısıyla bir termal bariyer olarak davranmasıdır. Bu özellik yüksek hızda talaş kaldıran takımlarda uygulanmış ve çok başarılı olmuştur[9].

Bunların yanı sıra yapışma kuvvetindeki azalma araştırmacıları yeni çalışmalara yöneltmiş ve alt katman olarak yapışma özelliği iyi TiN onun üzerine sert ve ısı iletimi zayıf AlTiN tabakalarının uygulanması ilk çok katlı AlTiN/TiN uygulamaları olmuştur. Bu konudaki çalışmalar şu aşamada katman sayısının çok ince olarak (10nm) ve yüksek adetlerde (100 kat) uygulanmasıyla kaplama sertliklerinde çok yüksek rakamların eldesinin mümkün olduğu görülmüştür[9]. Çok katmanlı olarak biriktirilen kaplamada her katmanın olumlu özeklikleri bir doğrultuda kullanılmış olup kompozit malzeme özelliği ön plana çıkarılmıştır. Şekil II.4' de AlTiN ve ZrN kaplanmış üç ağızlı parmak frezeler görülmektedir.



Şekil II.4. AlTiN ve ZrN Kaplanmış Parmak Frezeler

II.7.2.3. ZrN Kaplamalar

ZrN kaplamalar demir dışı malzemelerin talaşlı işlenmesinde ve medikal uygulamalarda kullanılmaktadır. Kaplama kalınlığı 1-4 mikron arasındadır ve yaklaşık sertliği 3200 HV dir. Oksidasyon sıcaklığı 400-450 ^{0}C derecedir ve sürtünme katsayısı 0.40 dır. ZrN kaplamaların rengi açık sarıdır. Tablo II.1'de IonBond-TiNKAP firmasından alınan bazı kaplama türleri ve genel özellikleri görülmektedir.

Tablo II.1. Bazı Kaplama Türleri ve Özellikleri

KAPLAMA	Kullanım yeri	Kaplama kalınlığı (µ)	Sertlik (HV)	Oksidasyon Sıcaklığı (ºC)	Sürtünme katsayısı	Kaplama rengi
TiN	Çelik malzeme talaşlı işleminde ve medikal uygulamalarda	1 - 4	2800 - 3200	400 - 450	0.65 - 0.70	Altın sarısı
TiCN	Kesik talaş kaldırılan Çelik Malzemede	1 - 4	3300 - 3600	300 - 350	0.45 - 0.55	Mavi - Gri
TiAlN	Çelikte delme işlemi ve döküm malzemede	1 - 4	3000 - 3400	800 - 900	0.70 - 0.80	Bakır - Bronz
AlTiN	Bütün Talaş kaldırma işlemlerinde, CNC, Kuru kesim işlemlerinde, Kaba ve kalın talaş kaldırma işlemlerinde	1 - 3	3800 - 4200	900 - 1100	0.60	Siyah - Mor
ZrN	Demir dışı malzemelerin talaşlı işleminde ve medikal uygulamalarda	1 - 4	3200	400 - 450	0.40	Açık sarı

BÖLÜM III.

GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE KALİTE KAVRAMININ GELİŞİMİ

Kalite hiçbir zaman tesadüfen elde edilmez o zeki çabaların eseridir. Kalite kavramının tarihi geçmişte Mısırlılar ve Romalılara kadar uzanır. Tarihi eserlerin bu güne kadar çok az zararla hatta bozulmadan gelmiş olmaları o devirlerde yaşayan insanların kaliteye verdikleri önemin bir göstergesidir.

Kalite kavramı özellikle İkinci Dünya savaşı sonrasında Japonlar tarafından büyük ilgi görmüştür. Atom bombası ile yerle bir olan Japonya'nın gelişen dünyaya kendini kabul ettirebilmesi için kaliteli ve ucuz ürünler üretmesi şarttı. Bunu en kısa sürede gerçekleştirmek isteyen Japon işadamları Amerika'dan kalite konusunda kendini yetiştirmiş olan bilim adamlarını ülkelerine davet etmişler ve onların verdikleri seminerleri mühendisleri ile beraber büyük bir ilgi ile dinlemişlerdir.

Amerika'lı Deming ve Juran'ın seminerleri sonrasında Japonlar kalite anlayışını benimsemişler ve iş dünyasında sosyal yapılarına uyacak şekilde uygulamışlardır. Kalite konusunda Japonların başarıları zamanla artmış ve bu konudaki ilerlemelerin sebebi olarak Amerikalılar Deming ve Juran'ı suçlamışlardır.

Oysa Deming ve Juran'a göre Japonların kalite çalışmaları konusunda hızla ilerlemelerinin temel sebebi kalite kavramının öneminin özellikle işadamları tarafından çok iyi anlaşılmış ve kabul edilmiş olmasıdır.

İkinci Dünya savaşı sonrasında Japonların eline geçen kalite kavramı son yıllarda tüm dünya ülkelerinin ortak konusu haline gelmiştir. Özellikle ticari taşımacılıkta görülen gelişmeler ve devletlerarası kurulan ekonomik pazarlar

üreticilerin dünya ile olan ilişkilerini yoğunlaştırmıştır. Bu koşullarda üreticiler ürünlerinin dünya pazarında diğer ürünler ile rekabet edebilmesini sağlamak için kaliteli ve ucuza üretmek zorundadırlar.

Ülkemizde kalitenin yaşam biçimi haline gelmesinde zorlayıcı bazı etkenlerin rolü büyüktür. Bunlardan birisi de yeni üye olduğumuz Gümrük Birliği'dir. Gümrük Birliği ile ülkemiz pazarına birlik üyelerinin ürünleri rahatlıkla girecektir. Bu durumda ülkemizde üretilen ürünlerin bu ürünlerle rekabet edebilmesi gereklidir. Günümüzde rekabetin en önemli koşulu yüksek kaliteli ve düşük fiyatlı ürün üretmek ve satmaktır.

III.1. KALİTE NEDİR?

Kalitenin tanımı geçmişten günümüze oldukça büyük değişim göstermiştir. Önceleri kalite "spesifikasyonlara uygunluk" olarak tanımlanırken günümüzde kalite kavramının temeli spesifikasyonlar değil müşteridir. Kalite müşteri memnuniyeti ile eşdeğerdir.

Kalite hareketini ilk başlatan Shewart'dır. Shewart 1931 yılında Toplam Kalite Kontrolün açık tanımını vermiş ve nasıl ölçülüp kontrol edilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Shewart parçalar, beceriler ve proses parametreleri arasındaki değişkenliği yaşam biçimi olarak benimsemiş ve İstatistiksel Proses Kontrol tekniklerini kullanarak daha iyi anlaşılırlık ve kontrol sağlanabilineceğini savunmuştur[10].

Kalite konusunda bu güne kadar yapılan çalışmalara rağmen kalite kavramına tam olarak tanım getirilememiş ve her bilim adamı kendi çalışmaları doğrultusunda kaliteyi tanımlamıştır. Buradan da anlaşıldığı gibi kalite göreceli bir kavram olup tanımı kişilerin yaşam koşullarına ve değer yargılarına göre değişmektedir ve özellikle de zamana bağlı olarak değişmektedir.

Sonuçta kalite müşteri odaklı bir kavram olarak ele alınırsa müşterilerin kaliteyi seviyelendirirken üzerinde durdukları yedi kriterin açıklaması ile kalite doğrudan anlam kazanacak ve bu kavramlardaki değişiklikler kalite üzerine çalışmaların çıkış noktasını oluşturacaktır.

1. Performans : Üründen üretici tarafından beklenen karakteristikler yani ilk spesifikasyon karakteristikleridir.
2. Özellik : Ürünün ikincil karakteristikleri yani temel fonksiyonlarıdır.
3. Güvenilirlik : Ürünün belirli zaman içinde bozulmadan kalma olasılığı.

4. Uygunluk : Ürün tasarımı ve karakteristiklerinin önceden belirlenmiş standartlarla eşleşmesi durumu.
5. Dayanıklılık : Ürün ömrünün ekonomik ve teknik olarak ölçüsü.
6. Servis : Servis hızı, tamir ustalığı ve nezaket.
7. Estetik : (Subjektif boyut) Ürünün görünümü, sesi, tadı veya kokusu[10].

Müşteri tarafından belirlenmiş bu kriterlere müşterinin verdiği cevaplar sonunda kalite kavramı anlam ve boyut kazanır.

III.2. KALİTE FAALİYETLERİNİN GELİŞİMİ

Kaliteli ürün üretmenin temel şartı kaliteyi bir yaşam tarzı haline getirmektir. Bu da ancak kalite kavramı ile tüm şirket çalışanlarının tanışması ve benimsemesi ile mümkündür[10].

Şirketlerde kalite uygulamalarındaki gelişmeler kalite kavramındaki değişmelere paralel olarak oluşmuştur. Kalitenin şirketlerdeki uygulaması Kalite Kontrol faaliyetlerinden Toplam Kalite Yönetimi ilkelerinin uygulamalarına kadar uzanır[10].

III.3. KALİTE KONTROL (KK) NEDİR?

Önceleri şirketlerde kaliteden söz edildiği zaman ilk akla gelen ürün kalitesi idi. Bu amaçla üretilen ürünün kalitesi imal edenler tarafından hem üretilip hem de kontrol ediliyordu.

Daha sonraları bir işi yapanın kendi yaptığı işi doğru olarak kontrol etmesinin çok zor olduğu anlayışının benimsenmesi ile bu işi yapmak için üreten kişilerin dışında bir başkası görevlendirilmiştir. Bu görevli sağlam ürünlerden hatalı olanı ayırmakla görevlendirilmiş ve ürünler bu kontrolden sonra sevk edilmişlerdir. Kalite Kontrol (KK) faaliyetleri bu uygulamalar ile başlamıştır.

Kalite kontrol; belirlenen spesifikasyonlara uygun olarak üretim yapan ve bunu gerçekleştirebilmek için istatistiki teknikleri kullanan bir anlayıştır. Bu anlayış daha sonra gelişerek yerini yeni uygulamalara bırakmıştır[10].

III.4. TOPLAM KALİTE KONTROL (TKK) NEDİR?

Kalite kontrolden bir sonraki aşama Toplam Kalite Kontrol (TKK) anlayışıdır. Bu anlayışta kalite kontrole ek olarak firma organizasyonunda yer alan diğer bölümlerin de kalite çalışmalarına katılımının sağlanmış olmasıdır. Yönetim kadrosunun üretim ve kontrol kadrosuna katılma konusundaki ilk adımları Toplam Kalite Kontrol anlayışı ile sağlanmıştır. Bu anlayışla kalitenin sadece üretenlerin değil aynı zamanda yönetenlerin sorumluluğu olduğu ortaya çıkmıştır. Toplam Kalite Kontrol tasarım, imalat; pazarlama, satış ve diğer bölümler arası ikili bilgi alışverişinin zorunluluğuna inanan bir felsefeyi savunur[10]. Toplam Kalite Kontrol anlayışında daha iyiye ulaşmak için kalite araç ve tekniklerinin kullanımı yaygındır.

III.5. KALİTE GÜVENCESİ (KG) NEDİR?

Kalite kontrol hatalı olanların ayrıldığı ve proses sürecinde spesifikasyonlara uygun üretim için kontrollerin yapıldığı anlayışken Kalite Güvencesi (KG) ise yönetim, üretim ve servis döngüsünde kalite kontrolün sağlanması ve bunun var olan kalite standartlarına göre belgelenmesini içine alır.

Kalite güvencesi ile firmalardaki kalite anlayışına standartlar girmiştir. Ürün kalitesinin bu standartlara göre belgelenmesi ile firma kalitesi güvence altına alınmış olur.

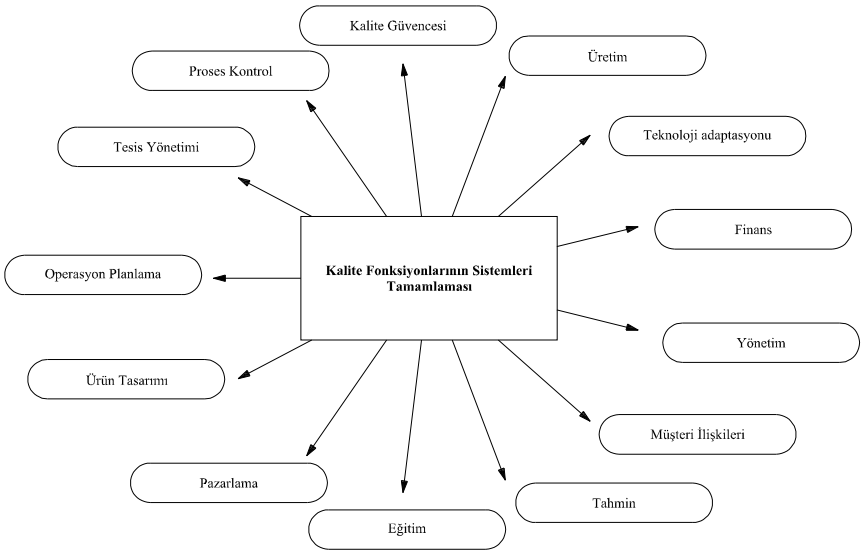
III.6. TOPLAM KALİTE YÖNETİMİ (TKY) NEDİR?

Kalite, organizasyondaki herkesin görevidir[10]. Toplam Kalite Kontrol ve kalite güvencesi anlayışından sonra gelen ve çoğu şirketin hedefi haline gelmiş olan son anlayış Toplam Kalite Yönetimi (TKY) anlayışıdır.

Toplam Kalite Yönetimi kalitenin toplamını yönetmektir. Toplam Kalite Yönetimi anlayışında yönetim kaliteyi şirket kültürü olarak benimsemelidir. Toplam

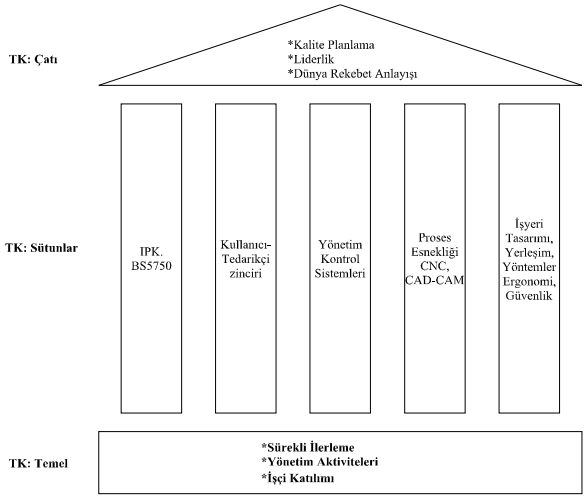
Kalite Yönetiminde üst yönetimin liderlik vasıflarını tam olarak taşıması gereklidir[10].

Yöneticiler şirket politikalarında kaliteli üretimi hedeflediklerini ve kaliteyi yaşam biçimi olarak benimsediklerini alt kadrosuna kesin olarak iletmeli ve stratejilerini politikalarına gölge düşürmeden ortaya koymalıdırlar[10]. Toplam Kalite Yönetiminde şirket kapsamında tüm çalışanların katkısı şarttır. Şekil III.1 bu anlayışı göstermektedir.



Şekil III.1. Toplam Kalite Yönetiminde Tamamlanmış Organizasyonel Sistem [10].

Toplam Kalite Yönetimi değişik binalardan oluşan bir model olarak düşünülürse Şekil III.2' de Toplam Kalite Yönetimi içerisindeki bileşenlerin yerleri daha açık olarak görülebilir[10].



Şekil III.2. Toplam Kalite Yönetimi Modeli

Toplam Kalite Yönetimi adı ile anılan bu anlayışa başta yönetim olmak üzere organizasyonda yer alan üretimden satışa kadar tüm bölüm çalışanlarının katılımı şarttır. İşçisinden mühendisine, yöneticisinden satış elemanına kadar işletmede çalışan herkes kaliteli üretimin sağlanmasında ve müşteriye en iyi hizmetin verilmesinde işini en iyi şekilde yapmalıdır[10].

Firmalara Toplam Kalite Yönetimi anlayışının yerleştirilip ürünlerde ve üretim sisteminde yüksek kalitenin ve düşük maliyetin yanı sıra verimliliğin artması pazarlardaki rekabet gücünü arttıracağı açıktır. Bu avantaj günümüzde topluluklar oluşturarak kendilerine pazar sağlamayı düşünen devletlerarasındaki rekabeti pozitif olarak etkileyecektir.

Toplam Kalite Yönetiminde liderlik en önemli bileşendir. Liderler bir geminin kaptanı olarak düşünülürse kaptan gemiyi rotasında güvenli olarak yüzdürmek ve planlanmış yere ulaşıncaya kadar mürettebatın güvenliğini sağlamakla görevlidir[10].

Toplam Kalite Yönetimi anlayışında lider yapıcıdan çok düşünen rolünde olmalıdır. Yöneticilerde aranması gereken özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir[10]:

1. Liderler stratejilerini iyi belirlemeli,
2. Müşteri üzerine yoğunlaşmalı,
3. İşçi katılımını sağlamalı,
4. Çalışanların eğitimini sağlamalı,
5. Kalite hakkında iletişim kurabilecek seviyede olmalı,
6. Kalite prosesi ve kalite araçları için gerekli malzemeyi temin etmelidir.

Toplam Kalite Yönetimi maliyet ve pazar payını etkileyerek karlılığın seviyesini değiştiren stratejik bir yöntemdir[10].

Toplam Kalite Yönetimi maliyet, güvenirlik, kalite ve verimlilik alanlarında sürekli gelişmeyi amaçlar[10].

Toplam Kalite Yönetiminin avantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

1. Hurda, yeniden işleme ve ekstra işçiliğini azaltır.

2. Araştırma geliştirme çalışmalarının maliyetlerini, envanter seviyelerini ve ekstra sermaye harcamalarını düşürür.
3. Kullanılan teçhizat ve malzemelerin verimliliğini arttırır.
4. Müşteri şikayetleri, garanti ve tüketici sorumluluğunu azaltır.
5. Toplam Kalite Yönetimi, ürün/servis kalitesindeki değişimle pazar payı arasındaki bağı güçlendirir[10].

Toplam Kalite Yönetimi uzun süreli bir yaklaşım gerektirir. Firmalar düşük fiyatlar teklif ederek rekabet edebilirler ama bu uzun sürmez çünkü bu avantaj diğer firmalar tarafından kolaylıkla yakalanabilir. Düşük fiyat rekabetçiler tarafından çabucak yakalanan kısa dönemli bir unsurken diğer taraftan kalitedeki gelişim yakalanması zor ve zaman alıcı yaratıcılığı ön plana çıkaran bir unsurdur[10].

III.7. TAGUCHİ METODLARI

III.7.1. Taguchi'ye Göre Kalite Yaklaşımı

Dünyadaki ekonomik, teknolojik, kültürel gelişmeler ve bunun sonucu olarak pazar yapısında ve insan yaşantısında meydana gelen değişimler tüketici istek ve beklentilerine doğrudan yansımaktadır. Bilinçli ve seçici tüketici toplumunun oluşumu ve buna bağlı olarak satıcı pazarından alıcı pazarına dönüşüm, üreticileri pazarda yer alabilme ve sürekli gelişme faaliyetlerine yöneltmektedir. Şirketlerin veya üretici firmaların son yıllarda önemle üzerinde durdukları kalite kavramı bu değişimlere paralel olarak yenilenmiş ve müşteri mutluluğu esasına bağlı olarak değişmiştir.

II. Dünya Savaşı sonrasında üzerinde önemle durulmaya başlanılan kalite 1964'de Juran tarafından "spesifikasyonlara uygunluk" olarak tanımlanırken, artan istekler ve azalan hammadde kaynakları göz önüne alınarak günümüzde Taguchi tarafından ürün ve prosesteki değişkenliklerin azaltılarak hedef değere yaklaştırılması ve buna bağlı olarak tüketici gereksinimlerinin en optimum düzeyde karşılanması olarak yorumlanmıştır. Kalite kavramında günümüze kadar gelen değişimler bu amaca ulaşmaya yönelik olarak teknik ve spesifikasyonları beraberinde getirmiştir.

Şirketlerde kalite uygulamaları başlangıçta kalite kontrol adı altında daha dar kapsamlı iken günümüzde ISO 9000 çerçevesinde tüm sistemi içeren Kalite Güvencesi Sistemi haline gelmiş yeni ve tüm işletme faaliyetlerini kapsayan geniş bir boyut kazanmıştır.

Rekabetin ağır bastığı günümüz koşullarında ürün tasarımı ve üretiminde yüksek kalite yanında zamanında teslimat, servis güvencesi ve düşük maliyet talep edilmektedir. Bütün bu istekler üreticiyi yeni teknikler uygulama ve geliştirmeye zorlamaktadırlar. Düşük maliyetle yüksek kaliteye ulaşma yolunda tasarım aşamasından üretim aşamasına kadar etkili birçok yöntem mevcuttur. Bu yöntemlerden tasarım aşamasında uygulanan Taguchi Metodu sistem, ürün karakteristikleri, proses parametreleri ve toleransların tasarımının gerçekleştirildiği çevrim dışı kalite kontrol ve çevrim içi kalite kontrol ve deneylerin tasarımı çalışmalarından oluşur.

Kalite anlayışında ve tekniklerinde görülen yenilenme kalite kavramının durağan olmadığını müşteri beklentileri ve ihtiyaçlarına göre ürün tasarımından imalata kadar uzanarak değiştiğini göstermektedir.

Taguchi metodu, ekonomik ve teknolojik koşullara bağlı olarak değişen tüketici gereksinimlerini karşılamak ve topluluklar oluşturarak rekabeti hızlandıran dünya pazarlarında kalıcı ve büyük pay alabilmek için ürün ve prosesteki değişkenleri azaltarak belirlenen hedef değere ulaşma yolunda yapılan çalışmaları içerir.

Taguchi metodu performansın, kalitenin ve maliyetin optimizasyonunu sağlayan metoddur [11].

Temelde müşteri istekleri doğrultusunda değişikliklerin azaltılarak maliyetin düşürülmesini hedef alan bu tekniğin uygulamasıyla geleneksel kalite anlayışında yer alan spesifikasyonlara uygunluk yerini hedef değere ulaşma çabasına bırakmıştır.

Taguchi'ye göre kalite ürün müşteriye ulaştıktan sonra ortaya çıkan kayıptır. Her zaman için müşteri istek ve ihtiyaçlarının ilk sırayı aldığı Taguchi anlayışında kalitenin yüksekliği üretilen ürünün fonksiyonlarını istenilen şekilde yerine getirmesi ile orantılıdır aksi takdirde bir kayıp oluşur.

Bu kayıp ancak proses ve ürün değişkenlikleri azaltılıp ürün karakteristiklerini hedef değere yaklaştırarak azaltılır.

Taguchi metodu ürün ve/veya proses parametrelerinin ve toleransların tasarımı, kalite kayıp fonksiyonu, çevrim içi kalite kontrol, çevrim dışı kalite kontrol olgularını ve ortogonal kolonları kullanılarak oluşturulan deneylerin tasarımını ve ölçüm sistemlerini değerlendirmek için uygulanan metodolojileri kapsar.

Taguchi'nin kalite felsefesi yedi temele dayanır[12].

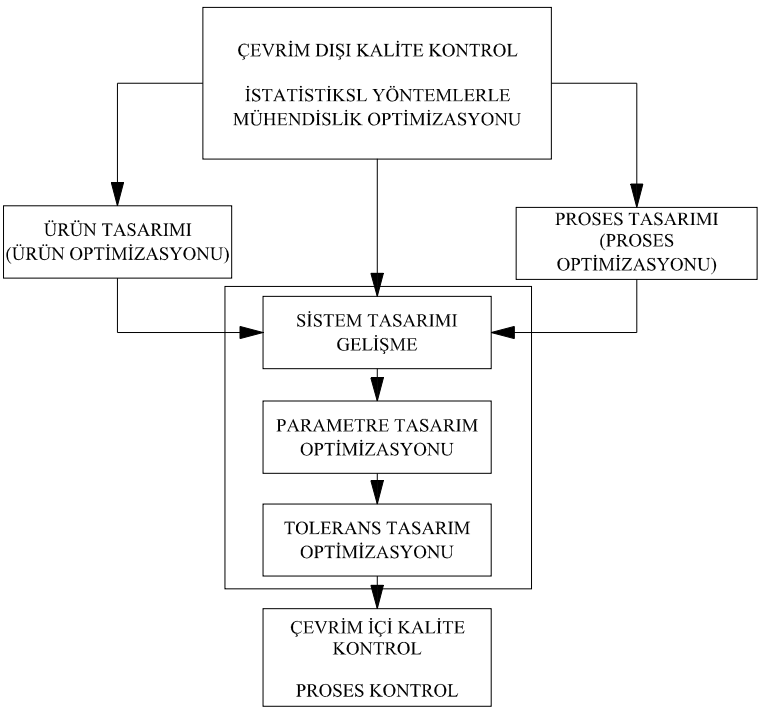
1. Üretilmiş ürünün kalitesi topluma verdiği kayıpla ölçülür.
2. Rekabetçi kalite ortamında iş hayatında tutunabilmek için devamlı kalite gelişimi ve düşük maliyet şarttır.
3. Devamlı kalite geliştirme programı ürün performans karakteristiklerinin hedef değerler etrafında azaltılması ile sağlanır.
4. Ürün performans değişiminin sebep olduğu kayıplar performans karakteristiklerinin hedef değerden sapmasının karesi ile orantılıdır. (Kayıp Fonksiyonu)
5. Üretilmiş ürün kalitesi ve maliyeti ürünün mühendislik tasarımı ve imalat prosesi tarafından konrol edilir. (Çevrim İçi ve Çevrim Dışı Kalite Kontrol)
6. Performans karakteristikleri üzerinde ürün parametrelerinin lineer olmayan etkisi ortadan kaldırılarak ürün performans değişimlerini azaltmak gereklidir.
7. Performans değişimini azaltan ürün veya proses parametreleri gruplarının kombinasyonlarını belirlemek için istatistiki deneyler yapılır[12].

III.7.2. **Kalite Mühendisliği Kavramı**

Dr. Genichi Taguchi önerdiği yönteminde diğer yöntemlerden farklı olarak genel istatistik ve ileri matematik çalışmalarını istatistik teknikleri ve mühendislik bilgilerini birleştirerek uygulamıştır [13]. Taguchi yaklaşımı sadece hedef değerlere ulaşmak için yapılan deneylerle ilgili değildir. Gerçekte onun fikri kalite ile geniş anlamda ilgili olduğu gibi kalite teknikleri ve araçları ile de ilgilidir.

Taguchi'nin kalite felsefesini "Kalite Mühendisliği" olarak isimlendirebiliriz. Şekil III.3' de kalite mühendisliği bileşenleri gösterilmiştir. Kalite mühendisliği ürün araştırma geliştirme, proses tasarımı, üretim ve müşteri memnuniyetinin her fazında oluşturulmuş kalite kontrol faaliyetlerini kapsar. Bu faaliyetler devamlı gelişmeleri yani hızlandırılmış buluşları, hızlı problem çözümleri, mali verimliliği ve kalite kazançlarının devamını sağlayacak tüm amaçları destekleyici olması nedeniyle iki kategoriye ayrılabilir [13].

- Çevrimdışı Kalite Kontrol
- Çevrimiçi Kalite Kontrol.



Şekil III.3. Kalite Mühendisliği Bileşenleri [14]

III.7.2.1. Çevrim İçi Kalite Kontrol

Çevrim içi kalite kontrol faaliyetleri ürünün üretim sürecini içerir. Bu faaliyetler üretimi görüntüleyen, kalitenin nereye gittiğini ölçen, potansiyel problemlerin belirtilerini sağlayan ve doğrultucu hareketi içeren tekniklerdir[13].

Geri besleme bilgi sistemleri operatörü bilgilendirmek ve proses performansı hakkında imalat şeflerini bilgilendirmek için kurulmuşlardır[13].

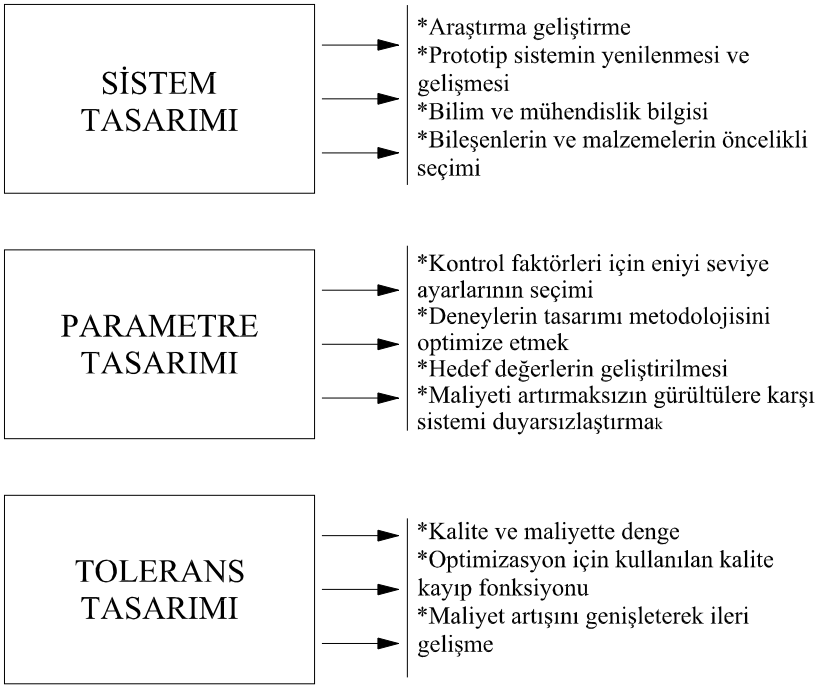
Her ne kadar ham veriler önemli ise de daha fazlası istenir. Bu aşamada teşhis ve tedavinin rolü büyüktür. Eğer proses düzenli olarak bakıma alınırsa, bilgi edinmek için analiz yapılır. Eğer işleyiş kabul edilemez seviyede ise ayarlama kabul edilen aralıkta prosese geri dönmelidir. Tahmin ve düzeltme fonksiyonları teşhis girdilerini ve ayarlamayı harekete geçirir ve destekler[13].

III.7.2.2. Çevrim dışı Kalite Kontrol

Çevrim dışı kalite kontrol müşteri istek ve ihtiyaçlarının doğru olarak tanımlanmasıyla başlayan ve bu ihtiyaç ve isteklere göre ürün tasarımının yapılması, bu tasarımın ekonomik olarak üretimi ve bu üretime uygun açık yazılmış spesifikasyon, standart ve prosedürlerin hazırlanmasına kadar uzanan geniş bir çalışma alanını kapsar. Çevrim Dışı Kalite Kontrol müşteri ihtiyaç ve beklentilerini karşılayan imal edilebilir yeni ürün geliştirerek veya varolan ürünü modifiye ederek ürün tasarımı safhasını gerçekleştirirken proses tasarımı aşamasında ürün tasarımı aşamasında gerçekleştirilen spesifikasyonlara uygun imalat prosesi geliştirmek amaç edinilmiştir [13].

Taguchi çevrim dışı kalite kontrol de ürün ve proses tasarımı aşamalarından her biri için üç adım geliştirmiştir [13]. Bu üç adımın hedefleri Şekil III.4' de verilmiştir.

- Sistem tasarımı (fonksiyon belirleme)
- Parametre tasarımı (hedef belirleme)
- Tolerans tasarımı(tolerans belirleme) [13]



Şekil III.4. Tasarım Proses Bileşenleri ve Hedefleri [14].

Taguchi kalite anlayışı çerçevesinde tanımladığı kalite mühendisliği kapsamında hedef değere yaklaşmak için önce ürün kalite karakteristiklerinin belirlenmesi gereklidir. Performans karakteristiklerinin hedef değere ulaşması, etkili olan faktörlerin tasarımının en uygun şekilde yapılması ile orantılıdır.

Kalite mühendisliği içerisinde ele alınan bileşenler ve içerikleri Şekil III.5.' de verilmiştir.

Çevrim Dışı Kalite Kontrol	**Ürün Tasarımı**	1) Sistem Tasarımı 2) Parametre Tasarımı 3) Tolerans Tasarımı
	Proses Tasarımı	1) Sistem Tasarımı 2) Parametre Tasarımı 3) Tolerans Tasarımı
Çevrim İçi Kalite Kontrol	**Üretim**	1) Proses Teshişi ve Ayarlaması 2) Tahmin Etme ve Düzeltme 3) İnceleme ve Düzeltmeler
	Müşteri İlişkileri	Satış Sonrası Servis İlişkileri

Şekil III.5. Kalite Mühendisliğinin Bileşenleri ve İçerikleri [15].

III.7.2.2.1. Sistem Tasarımı

Bilimsel ve mühendislik bilgileri kullanarak müşteri beklentilerine cevap veren prototip geliştirilmesi aşamasıdır. Malzeme, parça ve imalat teknolojisinin seçimi bu aşamada gerçekleştirilir. Taguchi metodunda yer alan sistem tasarımını batı araştırma geliştirme bölümlerindeki prototip tasarımdan ayıran en önemli fark Taguchi'nin temel yaklaşımı ekzotik pahalı parçalar ve son teknolojiyi kullanmaksızın düşük fiyatlı parçalarla müşteri gereksinimleri doğrultusunda var olan teknolojiyi ispat etmesidir [16].

Sistem tasarımı yeni ürün veya proses gelişiminin kavramsal safhasıdır. Sistem tasarımı arkasındaki strateji yeni fikirler almak ve çalışır hale getirmektir [13].

Kavramlar önceki deneyimleri, bilimsel ve mühendislik bilgilerini ve yeni gelişmeleri ve bunların her üçünün uygun kombinasyonlarını temel alır. Sistem tasarımı kavramındaki strateji yeni fikirleri alıp çalışır hale getirmektir [13].

III.7.2.2.2. Parametre Tasarımı

Taguchi parametre tasarımı araştırma geliştirme esnasında üretkenliği geliştirmek için kullanılan mühendislik metodudur. Böylece yüksek kalitede ürün çabuk ve düşük maliyette üretilir.

Tasarım mühendisliğinin duyarlılığını değişimin kaynağına indirmek için ürün veya proses parametrelerinin lineer olmayan etkilerinin performans karakteristikleri üzerindeki kullanımı parametre tasarımının esasıdır. Çünkü parametre tasarımı değişimin kaynağının etkisini kontrol etmek yerine azaltır. Bu mühendislik tasarımını geliştirmek için oldukça tasarruflu bir yoldur [12].

Parametre tasarımı güçlendirilmiş tasarım olarak da bilinir [11]. Güçlendirilmiş tasarım fikri kontrol edilmesi kolay faktörlerin seviyelerini seçmek, kontrol edilmesi zor olanların etkilerini minimize etmek böylece proses veya ürünü gürültü faktörlerine karşı güçlendirmektir [17]. Ürün veya proseste kalite gelişimini veya yeni kaliteli ürün üretimini malîyeti de birlikte ele alarak sağlamak eğilimindedir. Güçlendirilmiş tasarım ürün performans değişiminin nasıl azaltılacağı ile İlgilidir. Özellikle gürültü faktörlerinin etkilerini azaltan kontrol faktörlerinin değerlerinin seçimi ele alınır [11].

Müşteri bazında ürün fonksiyonu değişiminin ekonomik olarak nasıl azaltılabilineceği ve yine müşteri bazında ve imalatta doğrulayıcı laboratuar deneylerinin optimum sonuçlarının kararları konularında güçlendirilmiş tasarım istatistiksel deney verilerine yeni boyut kazandırmıştır.

Shin Taguchi'ye göre parametre tasarımının amacı sistemi karakterize etmek değil fonksiyonu güçlendirmektir ve mühendisin bu aşmadaki en önemli görevi veri olarak değerlendirilebilinecek verimli karakteristiklerin doğru ve eksiksiz seçimidir [11].

Parametre tasarımı Ragha Kacker'e göre kalite felsefesi, mühendislik metodolojisi, deneysel tasarım ve veri analizi olmak üzere dört kategori içinde İncelenir [11].

Taguchi parametre tasarımı adımları aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

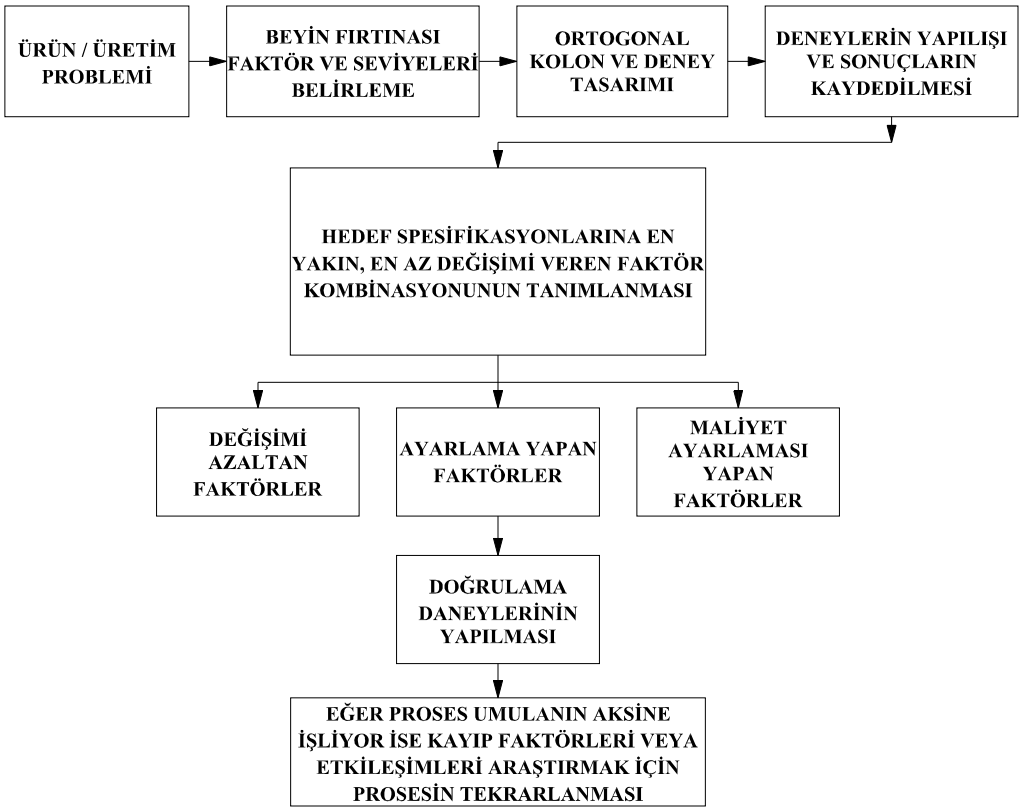
1. Faktörleri ve/veya etkileşimleri tanımlamak,
2. Her faktörün seviyelerini tanımlamak,
3. Uygun ortogonal kolonların seçimi,
4. Faktör veya faktörler arası etkileşimleri sütunlara yerleştirmek,
5. Deneyi yürütmek,
6. Optimum seviyeleri saptamak ve verileri analiz etmek,
7. Doğrulayıcı deneyleri yürütmek.

Doğrulayıcı deneyler sonuçlan doğrulamada önemlidir. Eğer sonuçlar doğru değil veya memnuniyet verici değilse ek deneyler yürütülmelidir [11].

Parametre tasarımı;ürün parametrelerinin optimal kümesinin belirlenmesi aşamasıdır [15].

Taguchi parametre tasarımında sebep-sonuç diyagramları ve diğer araçlar parametre seçim takımına yardım eder. Parametreler kalite ve verimliği etkilediklerinden her proses ve parametreleri analiz edilir ve sadece önemlileri görüntülenir [18].

Parametre tasarımına eşdeğer olarak Taguchî yönteminin akış şeması Şekil III.6.' de görüldüğü gibidir [19].



Şekil III.6. Taguchi Yönteminin Akış Şeması [19].

III.7.2.2.3. Tolerans Tasarımı

Tolerans tasarımının amacı parametre tasarımında belirlenen nominal değerler civarında değişkenlerin kabul edilebilir aralıklarda belirlenmesidir. ANOVA bu verilerin yorumlanmasını sağlarken deneylerin tasarımı aracı (DoE) proses veya ürün çalışmalarında kullanılır [13].

Çok dar toleranslar imalat maliyetini artırırken geniş olanlar da performans değişimini artırırlar. Bu sebepten tolerans tasarımında performans değişiminden dolayı müşterinin zararı ve imalat fiyatındaki artış arasında bir ilişki vardır [12].

III.7.3. Kalite Karakteristikleri

Müşteri istek ve ihtiyaçları temel alındığında kalite kavramı ile maliyet kavramını bir arada ele almak gereklidir. Bu amaçla her ürün için tasarımdan imalata kadar belirlenmiş optimum kalite karakteristiklerine ulaşılmaya çalışılmaktadır.

Kalite karakteristikleri stilden deneylerde sonuç değişken veya performans karakteristiği olarak isimlendirilirler ve istenilen sonucun seviyesine göre S/G oranın ve kayıp fonksiyonun hesaplanmasında söz sahibidirler.

Hemen hemen her ürün için belirli kalite karakteristikleri mevcuttur. Tüm kalite karakteristikleri eşit olarak önem taşımadığından kalite karakteristiklerinin hepsini geliştirmek ne ekonomik ne de gereklidir. Ürün kalite karakteristikleri içerisinden seçilen performans karakteristikleri müşteri ihtiyaçlarını yeteri derecede karşıladıklarından birincil derecede önemli kalite karakteristikleridir. Televizyondaki görüntünün niteliği performans karakteristiklerine örnektir. Gerek tasarım ve imalat aşamalarında değişik işlemler esnasında ve kullanım ömrü süresince ürünün performans karakteristiklerinin ideali olan hedef değere yakın performans göstermesi istenir. Hedef değer civarındaki değişim azaldıkça kalite yükselir [12].

Üretilmiş ürünün kalitesi ve maliyeti ürünün mühendislik tasarımı ve imalat prosesi tarafından kontrol edilir. Ürün geliştirmenin ürün tasarımı, proses tasarımı ve imalat aşamalarından oluştuğu kabul edilir ve bir adımın çıktısı diğer adıma girdisi olacağı düşünülürse tüm adımlar ve aşamalar arasındaki geçişler ürün kalite ve maliyetini etkilerler. Bu amaçla ürün tasarımı yapılmadan önce üründen beklenen karakteristikleri belirlenmeli ve malzeme seçimi iyi yapılmalıdır [12].

Taguchi kalite karakteristikleri hedef değerden sapmayı ölçer ve bu sapmaya neden olan gürültü faktörlerini ortadan kaldırmayı veya etkisini azaltmayı öngörürken gürültü faktörlerine yapılan müdahalelerin yetersiz kalması veya maliyeti yükseltmesi durumunda ürünü veya prosesi bu faktörlere karşı güçlendirmeyi ve hedef değerlere ulaşma yolunda kalite karakteristikleri üzerinde olumlu etki yapan kontrol faktörlerinin ise düzeyini belirler.

Bir prosesin anlaşılabilirliği kalite araçlarının oluşturulması ve sonuçlarından doğru faydalanılması ancak bir takım çalışmasıyla ile sağlanabilir. Çalışan takım çalışma amaçlarında ve anlamlı kalite karakteristiklerinin oluşturulmasında hem fıkır olmalıdır [13].

Problemin çözümüne yönelik amaçlara ulaşmada ve kalite karakteristiklerinin belirlenmesinde, verimli takım çalışması gereklidir. Bu tür bir takım çalışmasında dikkat edilmesi gereken temel kurallar aşağıda belirtilmiştir [13].

1. Amaçlar, açıkça herkesin anlayabileceği şekilde tanımlanmalıdır,
2. Bütün takım üyeleri seçilen ilkeleri desteklemelidir,
3. İlkeleri oluşturmak için Ölçü kriterleri üzerinde anlaşmayı sağlamalıdır,
4. Kalite karakteristikleri veya ilkelerdeki değişikliklerden etkilenen tüm personelin haberdar olduğundan emin olunmalıdır,
5. Her değişikliğe cevap fırsatı sağlanmalıdır. Böylece tüm takım üyeleri arasında devamlı anlaşma ve destek sağlanmalıdır [13].

III.7.3.1. Kalite Karakteristiklerinin Sınıflandırılması

Kalite karakteristikleri ölçüm yeteneklerine ve büyüklüklerine bağlı olarak İki sınıf altında incelenirler. Bunlar;

A. Ölçüm yeteneklerine göre;
    1. Ölçülebilen karakteristikler,
    2. Sembolik karakteristikler,
    3. Dinamik karakteristikler,
B. Büyüklüklerine göre;
    1. Büyük olan iyidir,
    2. Küçük olan iyidir,
    3. Nominal en iyidir, olarak sıralanabilir.

III.7.3.1.1. Ölçüm Yeteneklerine Göre Kalite Karakteristikleri

III.7.3.1.1.1. Ölçülebilen Karakteristikler

Sürekli skalada ölçülebilen karakteristiklerdir. Boyut, ağırlık örnek olarak verilebilir.

Ölçülebilen kalite karakteristikleri çerçevesinde bu sınıflandırma nominal en iyi, küçük değer iyidir ve büyük olan iyidir karakteristiklerine ayrılabilir[13].

III.7.3.1.1.2. Sembolik Karakteristikler

Sürekli skalada ölçülemezler. Sembol verilerinin en önemlileri Git/Gitme veya Geçer/Geçmez olanıdır. Döküm ürünlerinin sevkıyattan önce incelenmesi sonucunda sevk edilmesi (git) ve hurdaya ayrılan veya tamire gönderilmesi (gitme) örnek olarak alınabilir. Hurda oranı ve kazanç kalite ölçümünde genelde yaygın olarak kullanılır. Sembolik karakteristikler diğerlerinden daha fazla tercih edilirler. Çünkü bu tür veriler daha basit ve anlaşılırdırlar [13].

Sembolik karakteristiklerin en önemli dezavantajı, ölçülebilir karakteristiklerden alınan aynı düzeydeki bilginin elde edilebilmesi için daha büyük bîr örnek kitlesine gerek olmasıdır [13].

Sembolik karakteristiklerin sonuca katkısı da problem yaratabilir. Her bir faktörün etkisi 1 ise iki faktörün birlikte etkisi yine 1 olabilir. Diğer bir dezavantaj ise sembolik veri temelinde deney faktörlerinin her bir deneysel çalışma için aynı sonuçlan üretmesidir. Bu yanlış bir yaklaşım olup her bir deneysel çalışmanın farklı sonuçlar vermesi gerekmektedir. Diğer taraftan kayıp fonksiyonu açısından bakıldığında spesifikasyon limitleri içinde kalan kalite karakteristikleri iyidir ancak bu karakteristiklerin hedef değere uzaklığı ile de ilgilidir fakat sembolik karakteristiklerde hedef değere olan uzaklık söz konusu değildir [13].

III.7.3.1.1.3. Dinamik Karakteristikler

Dinamik karakteristik fikri çok karmaşıktır. Amerika'da yeni uygulanmamakla beraber Japonya'da örnekleri mevcuttur. Bu araç anlaşılan bir konu üzerinde proses bilgisini kolaylaştırmak için güçlü ve etkilidir. Dinamik karakteristikler çalışılan prosesin fonksiyonel gösterimidir. Bu anlayışta proses sistem olarak düşünülüp girdi ve çıktının sistemin enerji transferi olduğu varsayılmalıdır [13].

Dinamik karakteristikler prosesin bileşenleri arasındaki ilişkilerin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olur.

Giriş ve çıkış değerlerinin belirlenmesi özellikle sistem açısından çıkış değerin bilinmesi ve aralarındaki lineer ilişkinin varlığı girişte ayarlama yaparak çıkış değeri elde etme şansı verir [13].

III.7.3.1.2. Büyüklülerine Göre Kalite Karakteristikleri

III.7.3.1.2.1. Büyük Olan İyidir

Negatif olmayan ve yükseltilebildiği kadar yükseltilen karakteristiklere denir. Mukavemet, ateşleme sıcaklığı, operasyon sıcaklık aralığı, korozyon direnci, titreşim, ergime noktası örnek olarak verilebilir [13].

III.7.3.1.2.2. Küçük Olan İyidir

Negatif olmayan ve mümkün olduğu kadar azaltılabilinecek karakteristiklere küçük olan iyidir karakteristiği denir[14]. Örnek olarak % çekilme, aşınma, % kirlilik, kalıntı, sessizlik, ürün bozulması, ısı dağılımı verilebilir [13].

III.7.3.1.2.3. Nominal En İyisidir

Hedef değerden çok az sapan karakteristiklere nominal en iyî karakteristikleri denir [20]. Spesifik sayısal amaç ve hedef değer karakteristiklerini gösteren terimlerdir. Boyutlar, yükseklik, basınç, voltaj, akım, kapasitans, genişlik, kalınlık, zaman, çap, alan, hacim, temizlik, viskozite, düzen, frekans, pH, % nem bu kategoriye girer [13].

III.7.3.2. Kalite Karakteristiklerinin Seçiminde İzlenmesi Gereken Yol

1. Ürün veya proses için ideal girdi/çıktı İlişkisini ve ideal fonksiyonu tanımlamak. Kalite karakteristikleri ürün veya prosesin temel mekanizması ile birleştirilmiş enerji transferi ile doğrudan ilgili olmalıdır ve enerjinin boşa harcandığı yollardan kaçınılmalıdır.
2. Kalite karakteristikleri olarak mümkün olduğunca sürekli karakteristikler arasından seçilmelidir.
3. Kalite karakteristikleri tek düze olmalıdır. Bunun anlamı güçlendirme üzerine her kontrol faktörünün etkisi kontrol faktörleri değişse de uygun yönde olmalıdır. Bazı durumlarda deneyi başlatmadan kalite

karakteristiklerinin tekdüzeliğine karar vermek zordur. Bu durumda deneylerden sonra kalite karakteristiklerinin tek düze olup olmadığı, doğrulayıcı prosesler aracılığıyla belirlenir [11].

Uygun kalite karakteristiklerinin seçiminde önemli olan birkaçı üzerinde durulmalıdır. Çalışılan kalite karakteristikleri açık, anlamlı ve ölçülebilirse faydalıdır. Kalite karakteristiklerinin ölçü birimi önemlidir. Mesela bir yerin nem içeriğinin ölçümünde test alanı dışarıdaki nemden etkileniyorsa doğru sonuç elde edilmez. Kontrollü ortam gereklidir. Bu durumda nem kalite karakteristiği olamaz [13].

Ölçüm aleti de oldukça önemlidir. Eğer uygun Ölçü aleti varsa doğruluk oranı nedir? Ölçü aleti yeteneği ± 0.005 mm ise ve 0.001 mm.lik boyut değişikliği ölçülmek isteniyorsa faydasızdır [12].

Diğer bir seçim kriteri katkıdır. Bir faktöre kalite karakteristiği diyebilmek için diğer faktörlerin katkıları araştırılmalı ve katkılı olan faktörler seçilmelidir. Fakat faktörlerde belli seviyeden sonra sonuçlar tersine veya farklı değişiyorsa böyle bîr değerlendirme yapılamaz[13].

III.7.4. Faktörlerin Sınıflandırılması

Deneylerde prosesi veya ürün kalite karakteristiklerini etkileyen ve kontrol edilebilen parametrelere faktör adı verilir. Taguchi tarafından proses ve ürün performansına etkiyen iki tür faktör tanımlanmıştır. Bunlara Taguchi sistem girdileri de denmektedir [11].

1. Kontrol Faktörleri
2. Gürültü Faktörleri

III.7.4.1. Kontrol Faktörleri

İmalat ve tasarım proseslerinde kararlılık için en iyi şartların seçiminde kullanılır. Bağ mukavemetini geliştirmek için bağlayıcı malzeme tipi veya malzemenin kaplamasının tabaka sayısı kontrol faktörlerine örnektir [20].

Kontrol faktörleri imalatçı tarafından belirlenen ve müşteri tarafından direk olarak değiştirilemeyen faktörlerdir [21]. Kontrol faktörleri kontrol edilebilen faktörlerdir ve iki temel grupta kategorize edilirler [11].

III.7.4.1.1. Belirleyici Faktörler (Değişken Kontrol Faktörleri)

Değişken kontrol faktörleri veya kontrol faktörleri, sonucu etkileyen faktörlerdir [11]. Teknik anlamda kontrol faktörleri gibi davranırlar ama onların en iyi seviyelerinin seçiminde kullanılmazlar. Alternatiflerin seçiminde kullanılırlar. Kullanım şartları, ürün tipi ve boyut değişikliği örnek olarak verilebilir. S/G oranının yüksek değerleri ürün kullanım şartları tarafından ürün fonksiyonlarının kolayca etkilenmeyeceğini gösterir. Bu durumda belirtici faktörler gürültü faktörleri gibi davranırlar [20]

III.7.4.1.2. Sinyal Faktörleri (Hedef Kontrol Faktörleri)

Hedef veya sinyal kontrol faktörleri sonucun sadece ortalamasını etkiler [11]. Sinyal faktörü giriş sinyal değerlendirilmesinde kullanılırlar ve S ile gösterilirler. Dinamik karakteristikler için çıkışın gereksinimlerini gerçekleştirmekte kullanılan sinyal karakteristikleri aktif sinyal faktörleri olarak isimlendirilirler [20].

III.7.4.2. Gürültü Faktörleri

Değişime sebep olan tüm faktörlere gürültü faktörleri denir. İç gürültü faktörleri bileşenlerin hedef değerden sapmasına veya kullanım esnasında bozulmasına sebep olur. Dış gürültü faktörleri ürünü kullanıldığı çevre şartlarını içerir[20].

Gürültü faktörleri doğrudan İmalatçının kontrolünde olmayıp kullanımla ve müşterinin kullanım ortamı ile ilgilidir [21]. Gürültü faktörleri imalat veya operasyon esnasında kalite karakteristiklerinde ve ölçülen sistemin performansındaki değişime sebep olan ve kontrol edilmesi pahalı veya İmkansız olan faktörlerdir. Sistemi ortalamada istenen hedef seviyesinde oluşturacak birçok kontrol faktörü ayarlamaları bu aşamada yapılabilir. Bunların arasında gürültü değişkenlerindeki değişime duyarsız sistemler oluşturmak da yer alabilir. Parametre tasarımındaki temel fikir kontrol ve gürültü faktörleri arasında oluşan

etkileşimleri kontrol edilemeyen faktörlerin yarattığı değişimleri uygun kontrol parametrelerini ayarlayarak gerçekleştirmektir. Bu yüzden bu yaklaşıma parametre tasarımı denir. Burada sözü edilen tasarım kelimesi istatistiksel deney tasarımı anlamında değildir [11].

Parametre tasarımının başarısı kontrol ve gürültü faktörleri arasındaki etkileşimlerin varlığına ve mühendisin etkileşimde yer alan faktörleri tanımlamasına bağlıdır. Kontrol ve gürültü faktörleri arasındaki etkileşimler değişkenliği azaltmak için kullanılırlar. Çok sayıda gürültü faktörünün olması durumunda gürültü değişkenlerinin durumlarını ölçen birleşik gürültü faktörleri kullanılır. Birleşik gürültü faktörlerine karşı güçlendirilmiş tasarımlar tüm gürültülere karşı da güçlenirler [11].

Güçlendirilmiş tasarım, İstatistiksel deney tasarımının matematiksel temel ilkelerini oluşumunu kullanır fakat proses fikri etkileşimlerin rolü, kalite karakteristiklerinin seçimi ve S/N oranının gürültü faktörlerine karşı duyarlılıkların ölçümü için kullanılması bakımından matematikten farklıdır [11].

Kararlı şartların keşfinde iki grup faktör oluşturulur. Kontrol ve belirtici faktörler bir grup içinde gözlenirken, sinyal ve gürültü faktörleri diğer grup altında ele alınırlar [20]. Bu grupların oluşumu çevrim dışı kalite kontrol çalışmaları içerisinde yer alır ve belirlendikten sonra deneylerin tasarımı aşamasında oluşturulan ortogonal kolonlara yerleştirilirler. Kontrol ve belirtici faktörler iç kolonlarda yer alırken, sinyal ve gürültü faktörleri dış kolonlarda yer alırlar.

Küçük olan iyidir, büyük olan iyidir karakteristiklerinin S/G oranını belirlemek için gürültü faktörleri bilinmelidir. Nominal en iyi karakteristikleri için ise sinyal ve gürültü faktörleri bilinmelidir. Bazı durumlarda sinyal faktörleri bilinmez sadece gürültü faktörleri önemsenir. Kontrol ve belirtici faktörler ikinci grup faktörlere dahildir ve S/G oranına göre değişir ve ona göre karşılaştırılırlar [20].

Küçük olan iyidir karakteristikleri için gürültüler karakteristiklerin seviyelerinin artmasına yol açar. Büyük olan iyidir karakteristiklerinde ise tam tersine karakteristiklerin seviyelerinde azalmaya sebep olur. Çekme mukavemetinde büyük olan iyidir karakteristiği söz konusu iken sıcaklık bunu düşürür. Sıcaklık burada gürültü faktörüdür [20].

Nominal en iyisidir karakteristiklerinde sistem hedef şartlarını oluşturmak için tasarlanır. Sistem performansını dağıtan sebepler gürültü faktörleridir. Araba kullanmada, yolun durumu, lastiğin hava basıncı gürültü faktörleridir [20].

Küçük olan iyidir karakteristikleri için gürültü faktörlerinden küçük değer ve küçük değişim istenirken, büyük olan iyidir karakteristikleri için büyük değer küçük değişim istenir. Nominal en iyisidir karakteristikleri için sistemi sürdürmek için değişik gürültülerden etkilenmeyen kesin çıktılar istenir [20].

Faktörleri, kontrol ve gürültü faktörleri olarak ayırdıktan sonraki adım her faktörün kaç seviyede ele alınacağını belirlemek ve her seviye için söz konusu değerleri tanımlamaktır [13].

III.7.4.3. Faktörler Arası Etkileşimler

Her faktör diğer faktörlerden bağımsız olarak sonuç değişimine katkıda bulunur. Ama bazen faktörler birbirlerinden etkilenirler. Örneğin antioksidanlar düşük sıcaklıkta yüksek sıcaklıktan daha verimlidirler. Bir faktörün etkisi diğer faktörlerin seviyeleri tarafından etkilendiğinde iki faktör arasında etkileşim vardır denir [15].

Parametre tasarımında faktörler arası etkileşimlerin varlığının bilinmesi ve faktörlerin tanımlanması önemlidir. Ürün özelliklerinde etkili faktörler kontrol ve gürültü faktörleri olarak bilinirler. Bunların aralarındaki etkileşimler kontrol X kontrol (KXK), kontrol X gürültü (KXG) ve gürültü X gürültü (GXG) olmak üzere üç kategoride incelenebilir [11].

Parametre tasarımında gürültü faktörlerine çok az duyarlı ve hedef değere uygun olarak ayarlanabilen kontrol faktörlerinin seviyelerinin seçimi önemlidir. KXG etkileşimi bu amacı oluşturmak için ele alınır. GXG etkileşimleri ürün performansının gürültü faktörlerine duyarlılığı üzerinde çok küçük rol oynarlar.

Çok sayıda KXK etkileşimleri aşağıdaki sebepler nedeniyle istenmezler. Çünkü;

1. Etkileşimlerin varlığı aynı sayıda kontrol faktörü ile çalışma gerekliliği nedeniyle çok sayıda deney gerektirir,

2. Çok sayıda KXK etkileşiminin varlığı kompleks ürün tasarımında değişik mühendis grupları tarafından aynı anda incelenen küçük görevlerin oluşturulması zordur. Bu şekilde yapılan çalışmalarda Ar-Ge maliyetleri ve ürün geliştirme aralıkları artar.
3. Tasarımı laboratuar aşamasından imalata ve kullanıcıya ulaştırmak çok önemlidir. Bu durumda deneyleri üç aşamada yapmak gereklidir. (Laboratuar, İmalat, kullanıcı). Eğer güçlü KXK etkileşimleri laboratuar deneyleri esnasında gözlenirse bu kontrol faktörleri deney şartları ile etkileşebilir. Bu durumda laboratuardaki optimum ayarlamalar imalat ve kullanımdaki optimumu yakalayamaz. Bu da ürünün geri dönmesine yeniden işleme miktarının ve maliyetin artmasına yansırken tasarımın değişmesine sebep olabilir.

Sonuç olarak KXK etkileşimleri elimine veya minimize edilerek güçlü tasarımın gerçekleştirilmesi olasıdır ve kalite karakteristiklerinin, istenildiği şekilde optimizasyonu ancak kontrol faktörleri ve seviyelerinin akıllıca seçimi ile gerçekleştirilebilir [11]

III.7.5. Ortogonal Dizinler

Ortogonal dizin İngiltere'de Sir Ronald Fisher tarafından ortaya çıkarılmış olup ilk çalışmaları deneylerdeki hataları kontrol etmek için kullanmıştır. Dr. Taguchi ortogonal dizini sadece ortalama sonuçlar üzerine faktörlerin etkisini ölçmekle kalmayıp aynı zamanda ortalama sonuçlardan değişimi irdelemiştir. Taguchi deneysel faktörleri haritalamak için lineer grafik geliştirmiştir [13].

Ortogonal dizini açıklamadan önce ortogonallik denge olarak tanımlanırsa deneysel matriste ortogonalın anlamı istatistiki olarak bağımsızlık anlamındadır.

Buradan tipik ortogonal dizinlerde her sütunda her seviyenin aynı sayıda incelendiği anlaşılır [13]. Tablo III.1.' de birinci kolonda A faktörünün birinci seviyesi dört defa oluşurken aynı kolonda A'nın ikinci seviyesi de dört defa tekrarlanır. B faktörünün yer aldığı ikinci kolonda A'nın birinci seviyesinin dört tekrarına rağmen ikinci kolonda yer alan B faktörünün birinci seviyesi iki kez

ardından da ikinci seviyesi iki defa tekrarlanmıştır. A faktörü için aynı yaklaşım diğer kolonlarla da yapılabilir. A faktörü ile ortogonal kolonun son faktörü olan G faktörü arasında dahi bu tür bir ilişki söz konusudur[13].

Tablo III.1. $L_8 2^7$ Ortogonal Dizini

Ortogonal Kolon $L_8 2^7$								
Deneme	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**Sonuç**
1	1	1	1	1	1	1	1	
2	1	1	1	2	2	2	2	
3	1	2	2	1	1	2	2	
4	1	2	2	2	2	1	1	
5	2	1	2	1	2	1	2	
6	2	1	2	2	1	2	1	
7	2	2	1	1	2	2	1	
8	2	2	1	2	1	1	2	

Ortogonalliğin dizinler halinde gösterilmesi deneysel sonuçlarının tekrarlanabilir olmasını sağlar. Ayrıca bunun yanında ortogonal dizinler mali yönden verimlidirler [13].

Her kolon $L_A(B)^C$ şeklinde gösterilir. (29) Ortogonal dizin Latin kareden türetildiği için L Latin kareyi gösterir[17]. A, deneylerin sayısını veya deneyde kullanılan faktörlerin kombinasyonlarını içerir. B her kolondaki seviyelerin sayısını gösterir. C ise ortogonal dizindeki kolonların sayısını gösterir [13].

Tablo III.2.' deki ortogonal kolon 12 işlem ve 11 faktör içerir. Bu kotanda tüm faktörler aynı seviyede olduğu için L_{12} (2^{11}) şeklinde gösterilir.

Tablo III.2. $L_{12}(2^{11})$ Ortogonal Dizini[17]

	Kolon No										
Deneme No	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
4	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2
5	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1
6	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1
7	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1
8	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2
9	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1
10	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2
11	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2
12	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1
	Grup 1	Grup 2									

Faktörlerin aynı seviyede olmadığı deney tasarımlarının oluşturulması söz konusu olabilir. Örneğin L_{54} (2^1 x 3^{25}) ortogonal kolonunda 2 seviyeli bîr faktör ve 3 seviyeli 25 faktör yer alır. Bu da bir kolonun 2 seviyeli, 25 kolonun 3 seviyeli olarak oluşturulması anlamındadır[13].

III.7.5.1. Ortogonal Dizin Serileri

En az iki seviyeden en çok beş seviyeye kadar değişen seviyelerde ortogonal dizinler mevcuttur. Amaca göre iki veya üç seviyeyi içine alan dizinler yeterlidir. Fakat bazen ilkelere ve belirlenen stratejiye göre iki ve üç seviyeyi beraber ele alan dizinler de kullanılabilir[13].

III.7.5.1.1. 2^n Serisi Ortogonal Dizinler

Tüm sütunlarında iki seviye yer alan dizinler 2^n serileri olarak anılır. L_4 (2^3), L_8 (2^7), L_{12} (2^{11}), ve L_{16} (2^{15}) en sık kullanılan dizinlerdir. Daha büyük kolonlarda mevcuttur. Fakat deney matrisinin boyutunun büyümesi karışıklık yaratacağı için yanlış veri veya yanlış deneysel kombinasyonların kurulmasına neden olacaktır [12].

L_4 (2^3); temelde tam faktöriyel deney tasarım matrisi olup iki temel faktör ve aralarındaki etkileşimi ele alır. Eğer mühendis etkileşimin zayıf olduğuna karar verirse yerine üçüncü bir faktörü alabilir [12].

L_8 (2^7); faktörler arası etkileşimlerin görüntülenmesinde esnek bir matristir. Yedi faktöre kadar olan faktörleri ve etkileşimleri matriste yer alabilir [13].

L_{12} (2^{11}); etkileşimlerin etkileri tüm dizinler arasında uygun olarak dağıldığı için özel bir ortogonaldır. Bu özelliği ile faktörlerin ve etkileşimlerinin karışması en aza indirilir. Diğer taraftan etkileşimler bu ortogonal dizine dahil edilmezler. Eğer deney matris boyutu olarak $L_{12}(2^{11})$ yeterli fakat faktörler arası etkileşimler söz konusu ise bu durumda L_{16} (2^{15}) ortogonal dizinin kullanılması gereklidir [13].

L_{16} (2^{15}) ve L_{32} (2^{31}) ortogonal dizinleri büyük matrislerdir ve faktörler ve etkileşimleri bir arada kullanma imkanı verirler [12].

III.7.5.1.2. 3^n Serileri

Genelde üç seviyeli sütunları içeren dizinlerdir.L_9 (3^4), L_{18} (2^1x 3^7) ve L_{27} (3^{13}) en sık kullanılan çeşitleridir [13].

L_9 (3^4); dört faktörün veya iki faktör ve bir etkileşimin incelenebileceği bir ortogonal kolondur [13].

$L_{18}(2^1 \times 3^7)$; birkaç durumdan dolayı tekdir. Birincisi ilk sütun iki seviyelidir ama diğer 7 si üç seviye içerir. İkincisi L_{12} (2^{11}) ortogonal dizinine

benzer olarak birinci ve ikinci sütun arasındaki ilişki haricinde etkileşimlerin etkisi diğer sütunlar arasında dağılmıştır. Üçüncüsü sütun bir ve iki arasında özel bir ilişki mevcuttur. Bu iki kolonun yerleşimi açısından aralarındaki etkileşim bir başka sütuna ihtiyaç duymaksızın kendi sütunlarından birinde ele alınır[13].

$L_{27}(3^{13})$; çok kullanılan bir ortogonal dizin olup her sütununda üç seviye ele alınır. Maksimum 13 faktör yer aldığı kolonda en çok 3 etkileşim yer alabilir. etkileşim sayısının artması faktörlerin azalması anlamına gelir[13],

III.7.6. Serbestlik Derecesi

Serbestlik ilgilenilen kavramlarla ilgili bilginin miktarının ölçüsüdür. Genel anlamda ise sonucu saptırmaksızın yapılan karşılaştırmaların sayısıdır [13].

Faktörler için serbestlik derecesi aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır,

faktör (temel etki)= seviyelerin sayısı - 1
(3.1.)

seviye= 1 serbestlik derecesi

seviye= 2 serbestlik derecesi

seviye = 3 serbestlik derecesi

n seviye= n-1 serbestlik derecesi

A ve B faktörleri arasında etkileşim olduğu düşünülürse AB etkileşimi için serbestlik derecesi;.

AB= (A faktörünün seviyesi-1) x (B faktörünün seviyesi -1)
(3.2.)

İki seviyeli iki faktör arasındaki etkileşimin serbestlik derecesinin hesabı ve AB etkileşiminin ortogonal dizinlerde gösterimi oldukça kolaydır. Üç seviyeli veya farklı seviyelerde faktörlerin ele alındığı deney tasarımlarında serbestlik derecesinin hesabı Tablo III.3.' de gösterilmiştir.

Tablo III.3. Etkileşimler için serbestlik derecesi hesapları [13]

A=2 seviyeli, B=2 seviyeli (2-1)*(2-1)=1 serbestlik derecesi
A=2 seviyeli, B=3 seviyeli (2-1)*(3-1)=2 serbestlik derecesi
A=3 seviyeli, B=3 seviyeli (3-1)*(3-1)=4 serbestlik derecesi
A=4 seviyeli, B=2 seviyeli (4-1)*(2-1)=3 serbestlik derecesi
A=m seviyeli, B=n seviyeli (m-1)*(n-1)=mn-m-n-1 serbestlik derecesi

Serbestlik dereceleri direk olarak ortogonal kolonlardaki sütunların sayısı ile ilişkilidir. Deneyde yer alan faktörlerin serbestlik derecelerinin ve etkileşimlerinin serbestlik derecelerinin toplamı sütun sayısını verir [13].

III.7.7. Lineer Grafikler

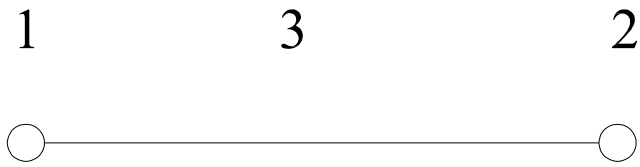
Etkileşimlerin ortogonal kolonlara rast gele yerleştirilmesi doğru olmayan analizlere ve hatalı sonuçlara yol açar. Dr. Taguchi deneysel tasarım hatalarının oluşumunu önlemek için ortogonal kolonların uygun sütunlarında faktörleri ve faktörler arası etkileşimleri görüntülemek için bir sistem geliştirmiştir. Deneyi yapan kişi faktörler arası temel faktörleri ve etkileşimleri grafik olarak oluşturarak karmaşadan korkmadan ortogonal kolonlardaki sütunlara sistematik olarak atar. Bu grafik gösterimlere lineer grafikler denir [13].

Lineer grafikler birbirine bağlı noktalar veya çemberlerden oluşur. Her nokta veya çember ortogonal kolondaki temel etkileri veren faktörlerin atandığı sütunu gösterir. Bu noktaları birbirine bağlayan çizgiler ise iki faktör arasındaki etkileşimleri gösterir. Şekil III.7.' de iki faktör arasındaki etkileşim lineer grafik olarak gösterilmiştir [13].



Şekil III.7. L_4 İçin Lineer Grafik [13].

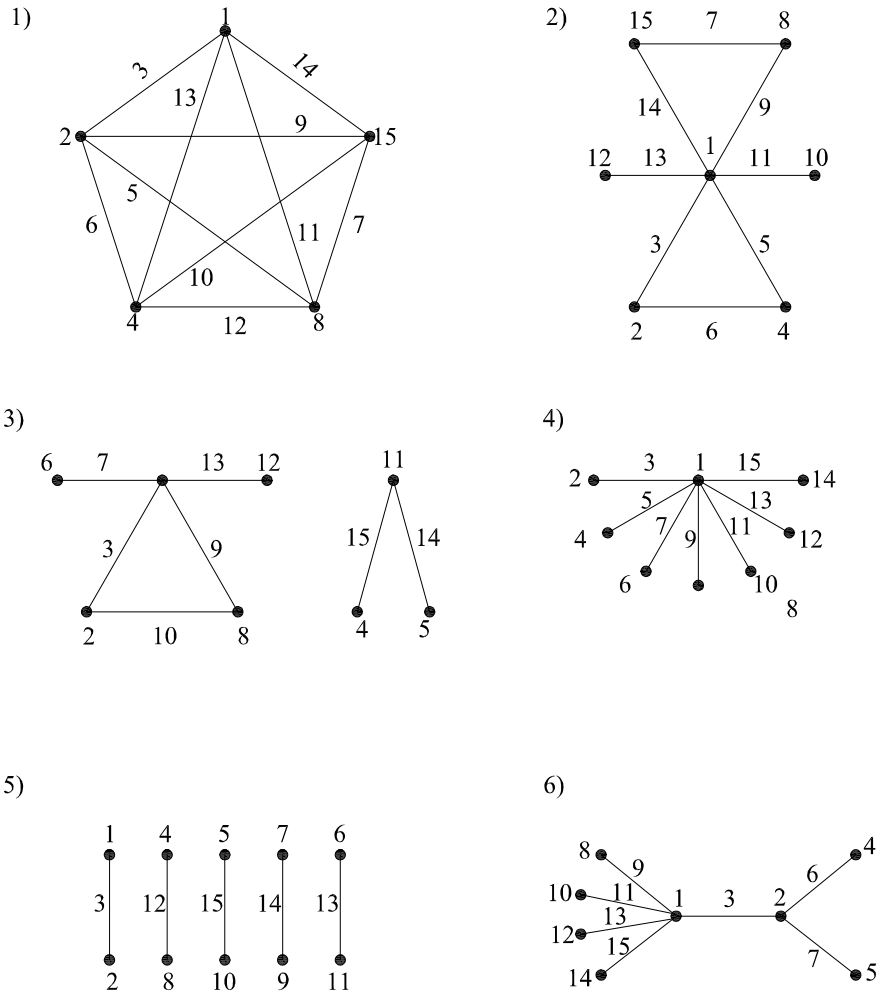
Ortogonal kolonların büyüklüğüne göre lineer grafiklerin karmaşası değişir. En basit ortogonal kolon olan L_4 (2^3) olduğu için lineer grafik Şekil III.8.' deki gibidir [13].



Şekil III.8. L_4 (2^3) İçin Lineer Grafik [13]

Ortogonal dizinin boyutuna göre bir veya daha çok lineer grafik olabilir. L_4 (2^3) için bir grafik olmasına rağmen L_{16} (2^{15}) için birkaç değişik grafik mevcuttur. Büyük ortogonal kolonlardaki ek bir özellikte aynı lineer grafiğin değişik gösterimlerinin mevcudiyetidir. Şekil III.9.' da aynı şekle sahip lineer grafiklerde her sütunu ifade eden noktaların veya çizgilerin numaralarının değiştiği görülür. Bu değişik gösterimler deneylerin daha verimli olarak gerçekleştirilmesini sağlar[13].

Bu ayrıcalık faktörlerden seviyelerinin değiştirilmesi zor, zaman alıcı ve pahalı olanının deney esnasında işlemden işleme değişimin en az olmasını sağlar[13].



Sekil III.9. L_{16} (2^{15}) İçin Lineer Grafikler [13].

Faktörlerin lineer grafiğe atanma aşamaları aşağıdaki gibidir [13]:

Adım 1: Ortogonal kolon seçimi

Etkileşim ve faktörlerin için serbestlik derecesi hesaplanır ve ortogonal kolon seçimi bulunan serbestlik derecesine bağlı olarak yapılır.

Adim 2: İstenen lineer grafiğin çizimi

Belirlenmiş faktör ve etkileşimlere bağlı olarak lineer grafik oluşturulur.

Adım 3: Standart lineer grafik ile istenen grafiğin karşılaştırılması

Standart lineer grafiklerle çizilen lineer grafikler karşılaştırılır.

Adım 4: İstenen grafiğin tekrar çizimi

Üçüncü adımdaki standart lineer grafiğe göre istenen grafik modifiye edilir

Adım 5: Faktör ve etkileşimleri atama

Her faktör ve etkileşimi grafiğe yerleştirilir. Lineer grafikteki bağ çizgileri için etkileşim söz konusu değilse bu çizgi faktöre atanır.

Adım 6: Standart grafikle alternatif çizimler karşılaştırılır

Standart grafikle deneyi yapan kişi tarafından oluşturulmuş grafikler karşılaştırılır. Standart lineer grafiklerde kendi içinde değişik gösterimlere sahip olanlar arasında alternatifler incelenir ve seçim yapılır.

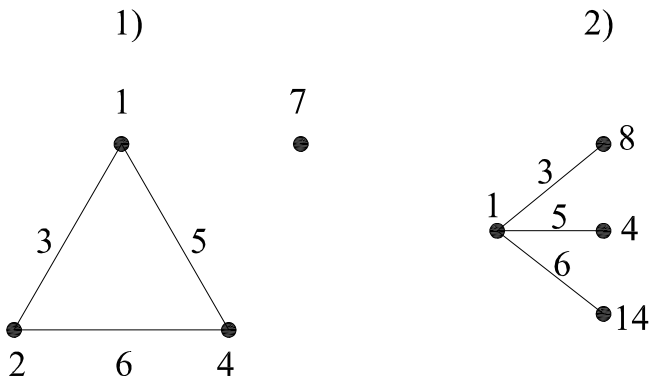
III.7.7.1. Standart Lineer Grafikler

III.7.7.2. L_4 (2^3) Lineer Grafik

Üç kolonla sınırlı ve bir etkileşim içerir.

III.7.7.3. $L_8(2^7)$ Lineer Grafik

Bu tip ortogonal dizin için iki çeşit lineer grafik vardır. Tüm etkileşimler tek bir ortak faktör içerirse sağdaki grafik daha uygundur (Şekil III.10.) Eğer tasarımda 3 etkileşim aynı üç faktörü içeriyorsa soldaki seçilmelidir. Bir ortak faktörle iki etkileşim içeren deney için istenen grafik varolan grafiklerden modifiye edilemeyebilir. Bu durumda daha büyük ortogonal dizine geçilmelidir.



Şekil III.10. $L_8 2^7$ İçin Lineer Grafikler

III.7.7.4. $L_{16}(2^{15})$ Lineer Grafik

Altı değişik lineer grafik ve her biri için 3 değişik lineer grafik gösterimi mevcuttur [13].

III.7.7.5. $L_9(3^4)$ Lineer Grafik

Bu grafik L_4 (2^3) lineer grafiği ile aynıdır fakat aralarındaki fark L_9 (3^4) lineer grafiğin ortogonal kolonda serbestlik derecesi yüzünden bir faktör için iki sütun kullanmasıdır [13].

III.7.7.6. L_{18} $(2^1 3^7)$ Lineer Grafik

Eğer L_{18} $(2^1\ 3^7)$ için uygun ortogonal kolon seçilmişse faktörlerin atanması şekildeki lineer grafik tarafından atanır. (Şekil III.11.) Birinci sütunda iki seviyeli faktör ve iki numaralı sütuna 3 seviyeli faktör atanır.



Şekil III.11. L_{18} $(2^1 3^7)$ İçin Lineer Grafik [13].

III.7.7.7. L_{27} (3^{13}) Lineer Grafik

İki lineer grafik mevcuttur. İkinci lineer grafik için de ikî ayrı gösterim mevcuttur[13].

Bazı özel durumlarda istenen lineer grafiklerle standart grafikler uyuşmaz veya daha büyük kolona gerek duyulur. Çoğu durumda deney matrisinin boyutunu büyütmeksizin standart lineer grafikleri modifiye etmek mümkündür [13].

Bu modifikasyonu sağlayarak ortogonal kolondaki etkileşimler ve faktörlerin uygun kolonlarını veren etkileşim tabloları oluşturulmuştur. Bu hızlı referans tabloları karmaşayı önler ve bu sonuç lineer grafiklerin modifikasyonunu hızlandırır ve tekrar üretilebilen deneylerin geliştirilmesini temin eder[13].

Tablo III.4.' deki sütunlar arası etkileşimlere bakılırsa tabloların üçgen şeklinde olduğu görülür. Her sütun ve her satır ortogonal kolonda bir sütuna eşdeğerdir. Matristeki bu sütun sayısı ilgili etkileşimleri atamak için uygun yeri seçer. Örneğin A 3.sütuna ve B 9.sütuna atanırsa 3. Satır ve 9. Sütuna ilerlenir ve kesim noktalarında AxB etkileşimi 10. sütuna atanır.

Tablo III.4. $L_{27}(3^{13})$ Ortogonal Kolonunda İki Kolon Arasındaki Etkileşimler [13].

Kolon NO												
Kolon NO	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**
1	3	2	2	6	5	5	9	8	8	12	11	11
	4	4	3	7	7	6	10	10	9	13	13	12
2		1	1	8	9	10	5	6	7	5	6	7
		4	3	11	12	13	11	12	13	8	9	10
3			1	9	10	8	7	5	6	6	7	5
			2	13	11	12	12	13	11	10	8	9
4				10	8	9	6	7	5	7	5	6
				12	13	11	13	11	12	9	10	8
5					1	1	2	3	4	2	4	3
					7	6	11	13	12	8	10	9
6						1	4	2	3	3	2	4
						5	3	12	11	10	9	8
7							3	4	2	4	3	2
							12	11	13	9	8	10
8								1	1	2	3	4
								10	9	5	7	6
9									1	4	2	3
									8	7	6	5
10										3	4	2
										6	7	7
11											1	1
											13	12
12												1
												11

Tablo III.4.' de $L_{27}(3^{13})$ için etkileşim tablosunda her satır ve her sütun bir yerine iki sütunu temsil eder. Bu faktörler arası etkileşimler 4 serbestlik derecesine sahiptir ve ortogonal kolonda iki sütuna gerek duyar. Faktör A sütun 4 de yer alır B faktörü de 12'ye yerleştirilirse 5, 10 AB etkileşimi için uygundur [13].

III.7.8. Sinyal/Gürültü (S/G) Oranı

Taguchi yönteminde S/G oranı incelenen sistemde faktörlerin sonuç değişken olarak belirlenmiş kalite karakteristiğinin öngörülen büyüklüğü (en küçük iyidir, en büyük iyidir ve nominal en iyisidir) hedef alınarak hesaplanmış oranıdır.

Gerek faktörlerin sınıflandırılmasında rol alan ve gerekse kayıp fonksiyonun değerlendirilmesinde kullanılan S/G oranı Taguchi ve diğer deneysel tasarım yöntemlerinde problemin analizinde kullanılan bir değerlendirme kriteridir [22].

Taguchi kırktan fazla S/G oram önermiştir. Bunlardan üçü kalite karakteristikleri statik olduğu zaman kullanılır [23].

1. Küçük olan iyidir
2. Büyük olan iyidir
3. Nominal en iyisidir [12].

S/G analizi kalite karakteristiklerini ölçmek için tasarlanmıştır. S/G oranın hesaplanmasında ilk adım ortalama kare sapmaların hesaplanmasıdır (MSD, OKS). Daha sonra kalite karakteristiklerinin istenen büyüklüğüne göre S/G oranları hesaplanır [22],

$$S/G = -10\,\mathrm{Log}\,(MSD) \qquad (3.3.)$$

MSD= Kalite karakteristiklerinin hedeften ortalama kare sapması.

Mühendislik ve bilimsel uygulamalarda S/N oranının büyük olması istenir. Bu MSD' nin küçük olmasını gerektirir. Böylelikle üç kalite karakteristiğinin her biri için değişik MSD tanımlanmıştır [22].

Küçük olan iyidir kalite karakteristikleri için dökme demir üründe çekilme boşluğu alınırsa çekilmenin mümkün olduğu kadar düşük olması istenir. Bu durumda (3.3.) formülünde aşağıdaki (MSD) kullanılır

$$MSD= (y_1^2+y_2^2+y_3^2 \ ..... \ +y_n^2)/n \qquad (3.4.)$$

y_1, y_2 = deney sonuçlan veya sonuç değişken ölçümleri

n: tekrar sayısı.

Nominal en iyisi kalite karakteristikleri için bu döküm parçalarının boyutsal kararlılığı verilebilir. Kararlılığın istenen değere oldukça yakın olması istendiğinde (3.3.) formülünde aşağıdaki (MSD) kullanılır.

$$MSD= ((y_1-m)^2+(y_2-m)^3+(y_3-m)^2 \ ..... \ (y_n-m)^2)/n \qquad (3.5.)$$

m: sonuçların hedef değeri

Büyük olan iyidir kalite karakteristikleri için; döküm parçalarının ömrü verilebilir. Mümkün olduğu kadar uzun ömür istenildiği için (3.3.) formülünde aşağıdaki (MSD) kullanılır.

$$MSD= (l/y_1^2+l/y_2^2+l/y_3^2 \ ..... \ +l/y_n^2)/n \qquad (3.6.)$$

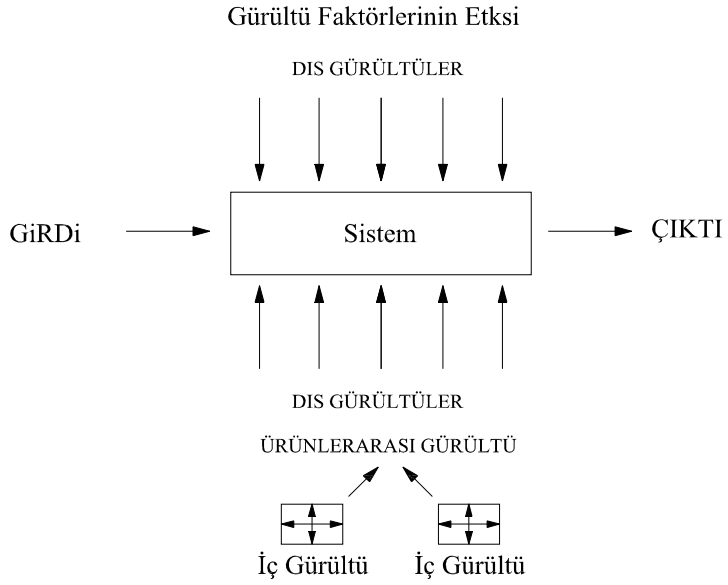
Sistemin değişimlere karşı duyarsız kılabilmek için kullanılan ölçüm olan S/N oranı parametre tasarım safhasının temel bileşenidir. S/N oranında payda bulunan sinyal oranının yorumlanması ile prosesin iyi ürün üretimini ve aynı zamanda ürün veya proses üzerinde paydadaki değerinin etkisinin ele alınmasıyla S/N oranı sistemde barometre görevi görüp gürültünün etkisiyle iyi ilişki oluşturulur [13].

S/G oranı ölçüm yöntemlerinin değerlendirilmesinde kullanılır. İyi ölçüm sistemlerinin varlığı girdilerin doğru değerleri ile orantılıdır ve değişik sapmalardan

etkilenmezler. Girdi gerçek değerlerini değiştiren ilgili faktörlere sinyal faktörleri ve ölçüm sistemini dağıtan faktörlere gürültü faktörleri denir [20].

S/G oranı veri analizinde performans ölçümü olarak kullanılır. S/G oranını maksimize etmek kalite kaybını minimize etmektir [11].

Taguchi gürültü faktörlerinin azaltılmasına dikkat çekmiştir. Ona göre bu durum ürün performansında değişime sebep olur. Çıkış karakteristiklerinin sapması veya fonksiyonel değişimlerin sebepleri Şekil III.12.' de görüldüğü gibi üç sınıfta ele alınan gürültü faktörlerinden kaynaklanmaktadır[25].



Şekil III.12. Fonksiyonel değişimlerin sebepleri [14]

III.7.8.1. Dış Gürültüler

Sıcaklık, nem, pas, giriş voltajı gibi çevresel koşullardır [20]. Dış gürültü faktörleri dış kuvvetler tarafından oluşturulan değişimlerden kaynaklanır. İmalat açısından düşünülürse oda sıcaklığı, bağıl nem ve pas ürünü etkileyen faktörlerden üretimin dışında kullanım esnasında ürünün maruz kaldığı çevre şartlan ürün performansını etkilerler [13].

III.7.8.2. İç Gürültüler

Bileşenlerin veya elemanların bozulmasından kaynaklanan başlangıç periyodu ve değişim periyodu sürecindeki değişikliklerdir [20]. İç gürültüler ürünü oluşturan elemanlarla ilgilidir. Bitmiş ürünü oluşturan elemanların fonksiyonel sapması iç gürültüleri oluştururlar [13].

III.7.8.3. Birimden Birime Gürültü

İmalat prosesinin sebep olduğu değişimlerdir [20]. Bitmiş birim ve diğeri arasındaki farklar imalat hatalarından kaynaklanır ve parçadan parçaya değişim olarak bilinir [13].

Ürün performansının değişim kaynaklan ürünün tasarım fazı esnasında ele alınmalıdır. Tablo III.5. değişimin azaltılabileceği yerleri gösterir [25]

Tablo III.5. Değişimin Azaltılabileceği Yerler

Proses/Gürültü	**Dış**	**İç**	**Birimlerarası**
Ürün Tasarımı	Yüksek	Yüksek	Düşük
Üretim Prosesi Tasarımı	Düşük	Orta	Yüksek
Üretim	Düşük	Düşük	Orta
Satış/Servis	Orta	Düşük	Düşük

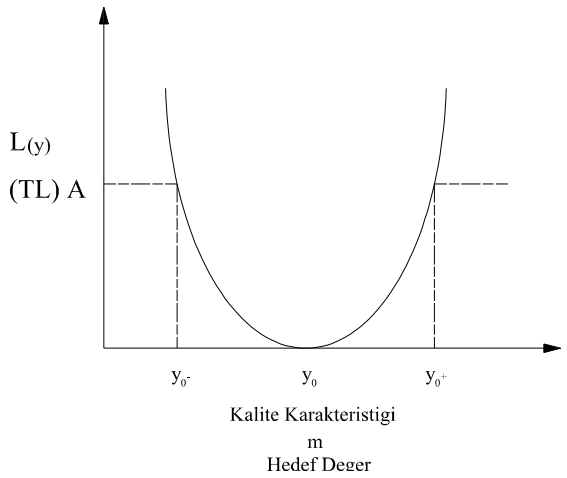
Ürün tasarım ve üretim proseslerinin tasarım fazı esnasında kalitenin gelişimi büyük olacaktır. Ürün çevriminde bu fazlardaki gelişmenin kaldıraç kuvveti ürün üretimi esnasından daha fazladır. Mühendisler değişiklikleri ürün geliştirme safhasında ele aldıklarında gelişme en düşük maliyette gerçekleşir. Üretim maliyetinin büyüklüğü (hurdayı da içeren) ünün tasarımında ve üretim prosesinin tasarımının başlangıcında belirlenir [25].

Deney sonuçlarının analizinde sonuçların ortalama değerlerinin hesaplanması yerine S/G oranının kullanılması tercih edilir. Analizlerde S/G oranının tercih edilmesi iki büyük avantaj getirir[22]

1. En az değişim ile optimum seviyenin ve hatta ortalamanın hedef değerine en yakın değerinin seçilmesini sağlar [22].
2. Hedef değer civarındaki değişime ve ortalamanın hedef değerden sapmasına bağlı olarak iki deneysel veri arasında karşılaştırma imkanı verir [22].

III.7.9. Kayıp Fonksiyonu

Taguchi kalitenin önemli bîr boyutu olan ürünün sebep olduğu kayıplara dikkati çekmiştir. Taguchi'ye göre kalite ürünün toplumda sebep olduğu kayıp olarak tariflenirken, kalite kelimesi isteği, kayıp kelimesi isteksizliği anlatmaktadır. Kayıbın az olması ürünün daha fazla istenmesine sebep olmaktadır. Ürünün sebep olduğu kayıplar müşteri istekleri ile kullanım uygunluğun uyuşmamasından, ürünün gerek üretimi sırasında gerek kullanımı sırasında sebep olduğu kayıpları içine almaktadır [12].



Şekil III.13. Kalite Kayıp Fonksiyonu[14].

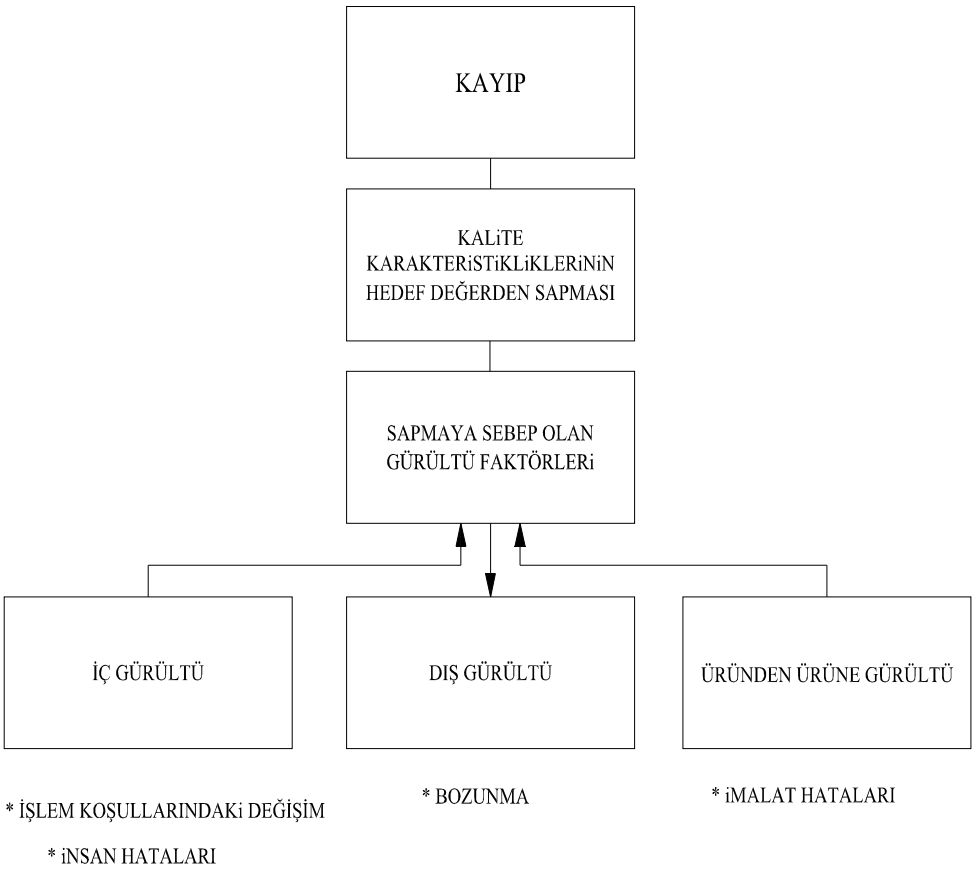
Taguchi'ye göre ürünün performans değişiminin sebep olduğu kayıplar performans karakteristiklerin hedef değerden sapmasının karesi ile orantılıdır [12].

Performans karakteristiklerinin hedef değerden sapması ürün performansına doğrudan yansırken dolaylı yoldan kalitede kayıplara sebep olmaktadır. Taguchi kayıp fonksiyonu ile geleneksel yaklaşım arasındaki fark Şekil III.13.' de gösterilmiştir. Geleneksel yaklaşımda belirli bir spesifikasyon aralığı tanımlanırken Taguchi bu sınırlar arasına bîrde hedef değer tanımlamıştır [16].

Birçok imalatçı firma kalite değerlendirmesi için hatalı/hatasız oranını kullanmakta ve spesifikasyonlar dışındaki ürünleri ıskartaya ayırmakta veya tamir etmektedir. Bu firma için ek maliyet demektir. Kayıp fonksiyonunun temelinde yer alan yeni yaklaşım ürünlerin spesifikasyonlar dahilinde üretimini reddetmekte ürün spesifîkasyonlarının orta değerine yakın üretimi üzerinde durmaktadır [20].

Taguchi Kayıp fonksiyonu kalite mühendisliği kapsamında yer alan tolerans tasarımında kullanıldığı gibi parametre tasarımı safhasında S/G oranına bağlı olarak kaliteyi güçlendirmek amacıylada kullanılır. S/G oranı kalitenin güçlendirilmesi için bir göstergedir[15]. Bu anlamda kayıp fonksiyonu ile S/G oranının bileşenleri arasındaki ilişki Şekil III.14.' de gösterilmektedir [19].

Devamlı skalada ölçülen performans karakteristiği y ve y ' nin hedef değeri m olduğu varsayılırsa (m aynı zamanda spesifikasyon aralığının orta değeridir.) m ′ den y nin sapması durumunda herhangi bir ürünün kullanım süresince bîr müşterinin şikayeti Türk lirası olarak L(y) olarak gösterilir. Genel olarak performans karakteristiklerinin hedef değerden sapması ne kadar büyük olursa müşteri o kadar fazla kaybeder. L(y) nin gerçek durumunu saptamak genelde çok zordur. Taguchi bu kaybı Gauss'un geliştirdiği en küçük kareler yöntemini temel alan quadratik, fonksiyonla tanımlamıştır[16] Çoğu zaman L(y) için yapılan quadratik yaklaşım: m ' den y sapması nedeniyle oluşan ekonomik kaybı yeterince gösterir [12].



Şekil III.14. Kayıp Fonksiyonu İle Gürültü Faktörleri Arasındaki İlişki[19].

Taguchi metodunda tanımlanan kayıp fonksiyonuna göre [20].

$$L(y) = L(m) + \frac{L^{I}(m)}{1!}(y-m) + \frac{L^{II}(m)}{2!}(y-m)^2 + ... \qquad (3.7.)$$

y, m ' ye eşit olduğunda kayıp minimumdur. Kayıp olmaksızın L(m)=0 olsun. Diferansiyel katsayı sıfıra eşit olduğu için L'(m)=0 ve burada σ^2 , $(y-m)^2$ nin ortalaması olarak ele alınırsa kayıp quadratik olarak yaklaşır [20].

$$L(y) = \frac{L^{II}(m)(y-m)^2}{2!} = k(y-m)^2$$

$$L(y) = k\sigma^2 \qquad (3.8.)$$

Buna göre kayıp fonksiyonu m den y nin sapmasının karesi ile orantılı bir değerdir ve kalite seviyesi kalite kaybını minimize etmek için mümkün olduğunca spesifikasyon sınırlarının orta değerine yakın olmalıdır [20].

$L = k(y-m)^2$ dir. (3.9.)

k: sabit

L: kayıp

y: performans karakteristiği

m: hedef değer[20]

Kayıp fonksiyonu içinde S/N oranının hesaplanmasında olduğu gibi üç durum söz konusu olmaktadır. Bunlar ;

1. Küçük olan iyidir
2. Büyük olan iyidir
3. Nominal en iyisidir

olarak kalite karakteristiklerinin büyüklüklerine göre ele alınır[12].

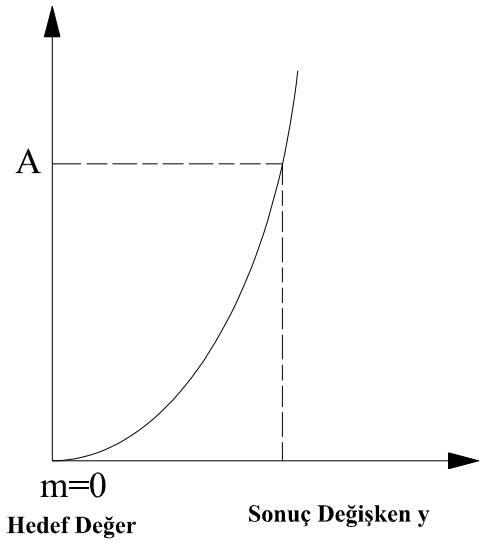
III.7.9.1. Küçük Olan İyidir Karakteristikleri

Küçük olan iyidir karakteristiklerinin hedef değeri gibi sıfır olduğu için bunların m den sapmalarının karesi y^2 aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanır.

$$L=k\,\sigma^2 \qquad (3.10.)$$

n gözlem sayısında küçük olan iyidir karakteristiği için σ^2;

$$\sigma^2 = \frac{1}{n}(y_1^2 + y_2^2 + ... + y_n^2) \qquad (3.11.)$$



Şekil III.15. Küçük Olan İyidir Durumu İçin Kayıp Fonksiyonu[20].

Kalite mühendisliğinde σ^2 tersi S/G (sinyal/gürültü) oranı olarak gösterilir. S/G oranının logaritması 10 ile çarpılırsa S/G oranı ondalık olarak ;

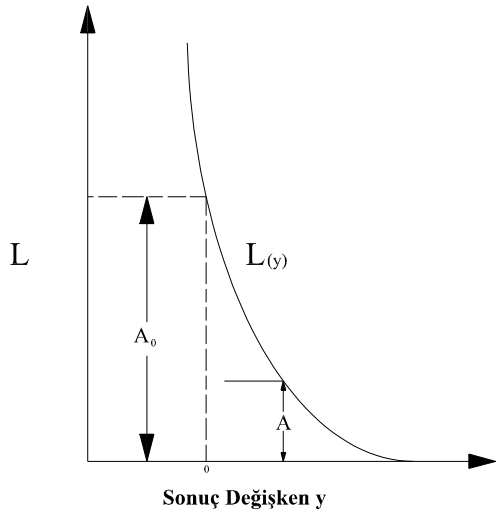
$$\eta=10\text{Log}\,(1/\,\sigma^2)= -10\text{Log}\,\sigma^2 \qquad (3.12.)$$

olarak verilir. η, σ^2 nin tersidir veya S/G oranının ters logaritmasıdır [20]

S/G oranı devrelerde sinyal gürültü oranının tanımlandığı komünikasyon mühendisliğinde kullanılan terminolojidir. Kalite mühendisliğinde kalite birim başına değişkenliğin tersi ile ölçülür. Küçük olan iyidir anlayışında S/G oranı birim başına değişimin oranıdır[20].

III.7.9.2. Büyük Olan İyidir Karakteristikleri

Kalite seviyesi arttığında büyük olan iyidir karakteristiği için kayıp azalır [20].



Şekil III.16. Büyük Olan İyidir Durumu İçin Kayıp Fonksiyonu [20].

Şekil III.16.' da verilen büyük olan iyidir durumu için kayıp fonksiyonuna göre imalat toleransları dışında kalan (Δ) ürün üretimi için kayıp A dır [20].

$L(\infty)=0$

$L'(\infty)=0$

Kayıp fonksiyonu; $L(y)= l/y^2$ $y=\Delta_0$ olduğunda L(y) kayıp A_0 dır [20].

$$A_0 = k \frac{1}{\Delta_0^2}$$

Buradan k= $A_0\Delta^2$ kayıp, l/y^2 , σ^2 olarak algılanırsa;

$$L(y) = A_0 \Delta_0^2 \frac{1}{y^2}$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n}\left(\frac{1}{y_1^2} + \frac{1}{y_2^2} + \ldots\ldots + \frac{1}{y_n^2}\right) \qquad (3.14.)$$

$$L(y) = k\sigma^2$$

olarak yazılır[20].

Küçük olan iyidir yaklaşımında olduğu gibi S/N oranı σ2 nin tersini temsil eder ve ondalık birime çevrildiğinde;

$$\eta = l0Log(1/\sigma^2) = -10Log\sigma^2 \qquad (3.15)$$

elde edilir [20]

III.7.9.3. Nominal Değer En İyidir Karakteristikleri

Kalite karakteristiği y, hedef değer m ise kayıp fonksiyonu ;[20]

$$L=k\,(y-m)^2 \qquad (3.16)$$

$$L=k\,\sigma^2 \qquad (3.17)$$

olarak elde edilir[20].

Kaliteyi geliştirmek için, $(y-m)^2$ nin ortalaması olan σ^2 yi minimize etmek önemlidir. Ancak -10 Logσ^2 yi S/N oranı olarak tanımlamak, S/N oranının kalite gelişimlerini saptamakta kullanılması nedeniyle yetersizdir. Prosesi optimize etmek için σ^2 yi minimize etmek yeterli değildir, özel hedef değerler eklenmeksizin proses için gerekli optimum imalat veya tasarım şartların) belirlemek önemlidir. Hedefin sınırlaması olmazsa hedef değer minimum değişken ile bulunur. Hedeften sapma olduğunda önceden belirlenen hedeften sapmayı azaltmak için prosesi ayarlamak gerekli olacaktır. Genelde böyle ayarlamalar ayarlama faktörü adı verilen tek değişken kullanılarak yapılır [20].

y kalite karakteristiği için örnek değer y_1, y_2 ,y_3 .... ve y ' nin hedef değeri y_0 olarak alındığında ayarlamadan sonra proses hedef değere yönlendirir ve tek değer y':

$$y_i^{\prime} = y_i \frac{y_0}{m} \qquad (3.18.)$$

m: y' nin ortalaması elde edilir. Tasarım ve imalatın birlikte yapıldığı imalatlarda özellikle kesici takımlardaki ayarlamalar küçüktür. Bu yüzden y' nîn ayarlamadan sonraki değeri;

Ayarlamadan sonra kayıp fonksiyonu L_1 halini alır.

$$L_1 = k\,\sigma^{2'} = k y_0^2(\sigma^2/m^2) \qquad (3.19.)$$

Proses tasarımı safhasında L1 proses şartlarını karşılamak için kullanılır. Ancak σ2/m2 nin kullanılması karşılaştırmanın temeli olarak önemlidir. Bu eşitliğin tersi S/N oranıdır ve logaritmik değeri 10 ile çarpılarak ondalık oran haline getirilir [20].

$$\eta = l0Log\ (m^2/\ \sigma^2) \qquad (3.20.)$$

Ayarlamadan önce σ^2 $(y-m)^2$ ye eşitken ayarlamadan sonra σ^2 $(y_i-y_{ort}^{1})^2$ nin ortalamasıdır. Ayarlamadan sonraki kayıp fonksiyonu :

$$L_2 = k(y_i - \bar{y})^2$$

$$L_2 = k\sigma^2 \qquad (3.21)$$

S/N oranı σ^2 nin tersinin ondalık değeridir.

$$\eta = -l0Log\ \sigma^2 \qquad (3.22.)$$

Ortalamadan sapmanın çok küçük olması halinde (3.18.) eşitliği kullanılabilir. Nominal en iyidir yaklaşımında ise (3.22.) eşitliği kullanılır.

Ayarlama yapılamadığı durumlarda kayıp fonksiyonu L_0 şeklinde ele alınır[14].

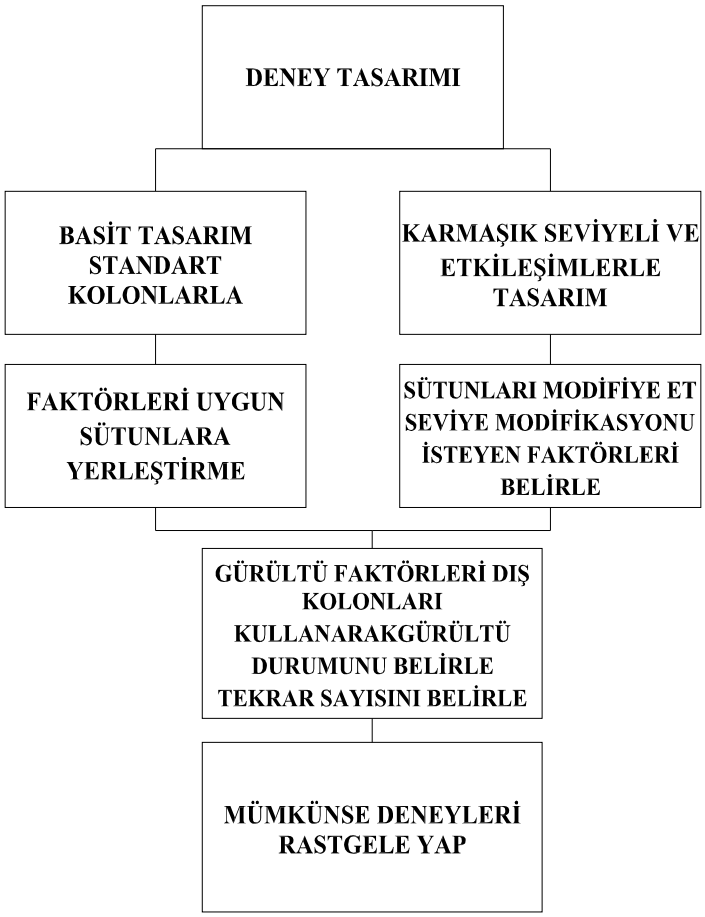
$$L_2 = k(\bar{y}_i - y_0)^2 \qquad (3.23.)$$

S/G oranı (yi- yo)2 nin tersidir, σ2 (y1 -yo)2 nin ortalaması olmak üzere ondalık olarak (6.24.) elde edilir.

Nominal en iyidir karakteristiklerinde dinamik karakteristikler yer alır. Arabanın sürülebilirliği, hadde tezgahının haddeleyebilirliği vs. Bu durumlarda karakteristiklerin operasyonda hedef değerde verilmesî gerekir. Dinamik karakteristiklerde hedef değer zaman zaman değişebilir[20].

III.7.10. Özel Tasanın Teknikleri

Deneylerin tasarımı çalışmaları sırasında bazen standart ortogonal dizinlerini kullanılamazlar. Bunun bir sonucu olarak özellikle ortogonal dizinlerin oluşturulması aşamasında özel tasarım teknikleri ele alınır.



Şekil III.17. Özel Teknikleri İçine Alan Deneylerin Tasarımı Akış Şeması[22].

Özel tasarım tekniklerinin amaçları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

1. Aynı deneyde değişik seviyelerdeki faktörleri bir araya getirmek
2. Bir faktörün seviyesinin diğer faktörün seviyesine bağlı olduğu durumları ele almak
3. Deneyin boyutunu azaltmak için faktör seviyelerini modifiye etmek

Taguchi metodunda özel tasarım tekniklerini de içine alan deneylerin tasarımı akış şeması Şekil III.17.' de verilmiştir. Buna göre ön hazırlık safhasından sonra, deneylerin tasarım yöntemi Taguchi yöntemi olarak belirlemek yeterli değildir, aynı zamanda deneylerin standart kolonlara göre mi yoksa karmaşık seviyeli ve etkileşimlerle mi yürütüleceğinin de yanıtlanması gerekmektedir [13].

III.7.10.1. Çok Seviyeli Düzenlemeler (Yükseltme)

Deneylerin tasarımı çalışmaları esnasında bazen bir faktörün seviyesinin diğer faktörlerin seviyelerinden farklı olması gerekebilir. Eğer söz konusu deneyler sırasında incelenmesi gereken seviyesi diğerlerinden yüksekse ortogonal kolonda yükseltme işlemi gerçekleştirilir [13].

A 4 seviyeli bir faktör ve, B, C, D ve E , 2 seviyeli faktörler ise yükseltme işlemi aşağıdaki şekilde uygulanır.

Adım 1: Faktörler ve etkileşimler için serbestlik derecesinin hesaplanır [13].

4 seviyeli faktör için serbestlik derecesi sd= 3

2 seviyeli dört faktör için serbestlik derecesi sd= 4(2-1)=4

Toplam sd=7

Adım 2: Toplam serbestlik derecesine uygun ortogonal kolon seçilir [13].

$L_8(2^7)$=7x(2-1)=7sd

Adım 3: Dört seviyeli faktör 3 serbestlik derecesine sahip olduğu için bu faktör için ortogonal kolonda 3 sütun gereklidir. Bu durumda lineer grafiği iki nokta ve bunları

birleştiren bir çizgiden ibarettir. L_8 ortogonal kolonunda var olan iki lineer grafikten en uygun olanına göre 1, 2, ve 3 ile numaralandırılmış sütunlar seçilir [13].

Adım 4: Adım 3 den herhangi iki sütunu seçimi. Seçilen sütunlar faktörün bulunacağı sütunu dört seviyeye yükseltme için kullanılırlar (Tablo III.6.)

Tablo III.6. L_8 Ortogonal Dizini [13].

Deneme	A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	1	1	2	1	2
6	2	1	1	2	1	2	1
7	2	2	2	1	2	2	1
8	2	2	2	2	1	1	2

L_8 (2^7) ortogonal kolonundan 1 ve 2 sütunlar seçilirse dört seviyeli sütunun yapısı aşağıdaki şekilde belirlenir [13].

Sütun 1	**Sütun 2**	**Sütun 3**
1	1	1
1	1	1
1	2	2
1	2	2
2	1	3
2	1	3
2	2	4
2	2	4

Birinci ve ikinci sütunda satır başına oluşan kombinasyonlardan (1,1) yerine 1, (1,2) için 2, (2,1) için 3 ve (2,2) için 4. seviye uygulanır [13].Aynı kural diğer ortogonal kolonlarda da aynı mantık ile uygulanır. Sütün seviye yükseltmede önemli olan serbestlik derecesinin korunmasıdır. Dört seviyeye sahip bir faktörün serbestlik derecesi 3, 2 seviyeli bir diğer faktörün serbestlik derecesi ise 1' dir.

Diğer bir değişle ortogonal kolona 4 seviyeli bir faktörü yerleştirmek için 3 tane, 2 seviyeli faktörler için bir sütun gereklidir [24].

Adım 5: Modifiye edilmiş 4 seviyeli sütunu yerleştir [13],

Adım 6: Kalan sütunlara iki seviyeli faktörleri ata [13].

Çok seviyeli teknikler kullanılarak 9 seviyeli faktör L_{27} 'ye, 6 seviyeli faktör . L_{18} in ilk iki sütununa yerleştirilir. Faktör seviyeleri lineer grafikte gruplanan sütunların kümesine bağlanabiliyorsa çok seviyeli düzenlemelere uygundur. Diğer yandan eğer uygun lineer grafik yoksa çok seviyeli teknikler ortogonal kolona atanmazlar. Bu yüzden L_{12} lineer grafiğe sahip olmadığından çok seviyeli teknikler yer almaz. L_{18} de sadece ilk iki faktör arasında lineer grafik olduğundan 6 seviyeli faktörler ele alınır. 9 seviyeli bir faktör deneyde yer alacaksa L_{27} kullanılmalıdır [13].

BÖLÜM IV.

ALÜMİNYUM KOMPOZİT LEVHALARIN İŞLENMESİNDE, CNC FREZE KESİCİ TAKIMLARININ KAPLAMA SEÇİMİNİN VE İŞLEM PARAMETRELERİNİN TAGUCHI METODUYLA OPTİMİZASYONU

IV.1. PROBLEMİN TANIMI

Problem Alüminyum Kompozit levhaların işlenmesinde kullanılan CNC Freze kanal çakısının kaplama yapılarak ve CNC Freze parametrelerinin de optimizasyona dahil edilerek ömrünün arttırılması olarak tanımlanabilir. Bu problemde amaç kanal çakısının ömrünü arttırmak amacıyla kaplama ve CNC Freze parametrelerinin optimizasyonunu sağlamak, ilke ise bu amaca yönelik olarak belirlenecek parametrelerin Taguchi metodu yardımıyla optimizasyonunu gerçekleştirmektir.

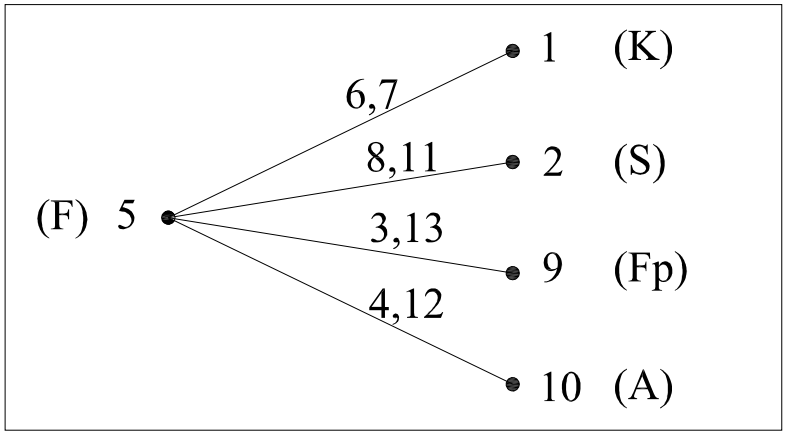
Taguchi Metodunun bir karar aracı olarak kullanımına örnek olması için yaptığımız bu uygulama çalışmasında kaplama türü ve CNC Freze parametreleri ve bu parametreler arasındaki etkileşimler ele alınmış ve bu faktörlerin ve etkileşimlerin kesici takım ömrü üzerindeki etkileri incelenmiştir.

IV.2. FAKTÖRLERİ VE/VEYA ETKİLEŞİMLERİ TANIMLAMAK

5 faktör ve her faktör için 3 düzeyin seçildiği bu projede Tam Faktöriyel Deney Tasarımı gereğince 3^5=243 deney yapmamız gerekirken, Taguchi L_{27} ortogonal dizinini kullanarak 27 deney sayısı ile aynı sonuca ulaşmak mümkün olmaktadır.Tablo IV.1.' da deneyde kullanılan faktörlere ait bilgiler verilmiştir.

Tablo IV.I. Deneyde Kullanılan Faktörlere Ait Bilgiler

FAKTÖRLERLER	**1. Seviye**	**2. Seviye**	**3. Seviye**
Kaplama (K)	Kaplamasız	AlTiN	ZrN
Devir (S) d/dk	14000	16000	18000
İlerleme Hızı (F) mm/dk	4000	4500	5000
Dalma Hızı (Fp) mm/dk	200	400	600
Takım Ağız Açısı (A) derece	10	12.5	15



Şekli IV.1. Taguchi L_{27} Ortogonal Dizinine Ait Doğrusal Grafik

Faktörlerin ve etkileşimlerin L_{27} ortogonal dizinine yerleştirilmesi Şekil IV.1'deki doğrusal grafiğe göre yapılmıştır.

IV.3. FAKTÖR VE /VEYA ETKİLEŞİMLERİN SERBESTLİK DERECELERİNİN HESAPLANMASI

Tablo IV.2. Faktör ve Etkileşimlerinin Serbestlik Dereceleri

Faktör/Etkileşim	Serbestlik Derecesi
K	$V_K=K_K-1=3-1=2$
S	$V_S=K_S-1=3-1=2$
F	$V_F=K_F-1=3-1=2$
Fp	$V_{Fp}=K_{Fp}-1=3-1=2$
A	$V_A=K_A-1=3-1=2$
F*F$_P$	$V_{F*Fp}=(V_F)*(V_{Fp})=2*2=4$
F*A	$V_{F*A}=(V_F)*(V_F)=2*2=4$
K*F	$V_{K*F}=(V_K)*(V_F)=2*2=4$
S*F	$V_{S*F}=(V_S)*(V_F)=2*2=4$
Toplam Serbestlik Derecesi = 26	

Faktör grubunun toplam serbestlik derecesi; gruptaki tüm faktörlerin ve etkileşimlerinin ayrı ayrı serbestlik dereceleri toplamıdır. Tablo V.2.' de gösterildiği gibi toplam serbestlik derecesi 26 olarak bulunmuştur.

Deneyin serbestlik derecesi, seçilecek ortogonal dizinin serbestlik derecesinden küçük veya eşit olmalıdır. L_n ortogonal dizininin serbestlik derecesi n-1 dir. Bu çalışmada faktörlerin serbestlik dereceleri toplamı 10 dur. Bu demek oluyor ki seçilecek ortogonal dizinin serbestlik derecesi en az 10 olmalıdır. L_{27} ortogonal dizininin serbestlik derecesi $L_n=L_{27}= 27-1= 26$ olduğundan bu çalışmaya uygundur.

IV.4. FAKTÖR VE /VEYA ETKİLEŞİMLERİN ORTOGONAL DİZİNE YERLEŞTİRİLMESİ

Öncelikle faktörler 1, 2, 5, 9 ve 10' uncu kolonlara yerleştirilir. Daha sonra 5 ile 1 arasındaki etkileşimler 6 ve 7 nolu kolona, 5 ile 2 arasındaki etkileşimler 8 ve 11 nolu kolona, 5 ile 9 arasındaki etkileşimler 3 ve 13 nolu kolona, 5 ile 10 arasındaki etkileşimler 4 ve 12 nolu kolona yerleştirilir. Faktör ve etkileşimlerin kolonlara atanması Tablo IV.3.' de verilmiştir. L_{27} ortogonal dizini Tablo IV.4.' de verilmiştir.

Tablo IV.3. Faktör ve Etkileşimlerinin Kolonlara Atanması

Faktörler/Etkileşimler	Atanacağı kolon
K	1
S	2
F	5
Fp	9
A	10
$F*F_P$	3,13
F*A	4,12
K*F	6,7
S*F	8,11

Tablo IV.4. L_{27} Ortogonal Dizini

	Kolon no												
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13
Deney no	K	S	FpF1	AF1	F	KF1	KF2	SF1	Fp	A	SF2	AF2	FpF2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2

Tablo IV.5. Taguchi L_{27} Tasarımının Deneye Uygulanmış Hali

DENEY NO	KAPLAMA	S	F	Fp	AÇI	MESAFE
1	Kaplamasız	14000	4000	200	10	320
2	Kaplamasız	14000	4500	400	12,5	305
3	Kaplamasız	14000	5000	600	15	230
4	Kaplamasız	16000	4000	400	12,5	363
5	Kaplamasız	16000	4500	600	15	480
6	Kaplamasız	16000	5000	200	10	535
7	Kaplamasız	18000	4000	600	15	463
8	Kaplamasız	18000	4500	200	10	447
9	Kaplamasız	18000	5000	400	12,5	251
10	AlTiN	14000	4000	400	15	617
11	AlTiN	14000	4500	600	10	725
12	AlTiN	14000	5000	200	12,5	1234
13	AlTiN	16000	4000	600	10	1357
14	AlTiN	16000	4500	200	12,5	1527
15	AlTiN	16000	5000	400	15	2090
16	AlTiN	18000	4000	200	12,5	935
17	AlTiN	18000	4500	400	15	1095
18	AlTiN	18000	5000	600	10	1430
19	ZrN	14000	4000	600	12,5	882
20	ZrN	14000	4500	200	15	896
21	ZrN	14000	5000	400	10	1192
22	ZrN	16000	4000	200	15	980
23	ZrN	16000	4500	400	10	937
24	ZrN	16000	5000	600	12,5	1305
25	ZrN	18000	4000	400	10	752
26	ZrN	18000	4500	600	12,5	1500
27	ZrN	18000	5000	200	15	523

IV.5. DENEY SONUÇLARININ ANOVA TEKNİĞİ İLE ANALİZİ

Tasarım deneyleri sonucunda elde edilen veriler Minitab Release 13 paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. L_{27} ortogonal dizinine göre gerçekleştirilen deney sonuçları Tablo IV.5'te verilmiştir. ANOVA ile yapılan analizden elde edilen sonuçlar Tablo IV.6.' da gösterilmiştir. Burada kareler ortalaması bulunurken F ve P değerlerine ulaşılamamıştır. Bunun sebebi hatanın kareler toplamının sıfır çıkması ve serbestlik derecesinin sıfır olmasıdır. Hatanın kareler toplamının hesaplanabilmesi için Tablo IV.6.' da toplam kareler toplamına yüzde katkısı en az olan faktör ve etkileşimlerin ihmal edileceği kabul edilir. Analiz sonuçlarından en az etki yapan faktör ve etkileşimlerinin çıkarılması Tablo V.7.' de gösterilmiştir.

Kareler toplamı aşağıdaki formül ile hesaplanır;

$$SS = \frac{k}{N \times n} \sum_{t=1}^{k} T_t^{\,2} - \frac{T^2}{N \times n}$$

SS = Kareler Toplamı

k = Ortogonal Dizindeki Seviye Sayısı

t = Her Faktörün Seviyesi

T_t = Her Faktöre Ait toplam

T = Deney Sonuçlarının Toplamı

N = Deneme Sayısı

n = Deneme Tekrar Sayısı

ve Her Faktöre Ait Kareler Toplamı;

$SS_K = \frac{3}{27\times1}(T_{K1}{}^2 + T_{K2}{}^2 + T_{K3}{}^2) - \frac{T^2}{27\times1}$ buradan Tablo IV' deki değerler yerine konulursa,

$$T_{K1} = 320 + 305 + 230 + 363 + 480 + 535 + 463 + 447 + 251 = 3394$$

$$T_{K2} = 617 + 725 + 1234 + 1357 + 1527 + 2090 + 935 + 1095 + 1430 = 11010$$

$$T_{K3} = 882 + 896 + 1192 + 980 + 937 + 1305 + 752 + 1500 + 523 = 8967$$

$$T = 3394 + 11010 + 8967 = 23371$$

$SS_K = \frac{3}{27\times1}(3394^2 + 11010^2 + 8967^2) - \frac{23371^2}{27\times1} = 3453172$ diğer faktörler ve etkileşimler için de aynı formül uygulanırsa;

$SS_S = 585246$ $SS_{F\times F_P} = 405095$

$SS_F = 252392$ $SS_{F\times A} = 263614$

$SS_{F_P} = 58724$ $SS_{K\times F} = 461635$

$SS_A = 49358$ $SS_{S\times F} = 335428$ ve

değerleri bulunur. $SS_T = 5864663$

$$SS_T = SS_K + SS_S + SS_F + SS_{F_P} + SS_A + SS_{F\times F_P} + SS_{F\times A} + SS_{K\times F} + SS_{S\times F} + SS_{Error}$$

$$\frac{SS_K}{SS_T} + \frac{SS_S}{SS_T} + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots + \frac{SS_{S\times F}}{SS_T} + \frac{SS_{Error}}{SS_T} = 100\%$$

Tablo IV.6. ANOVA İle Yapılan Analiz Sonuçları

Faktörler ve Etkileşimler	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplam(SS)	Adj (SS)	Varyans (MS)	F Değeri	P Değeri
K	2	3453172	3453172	1726586	**	**
S	2	585246	585246	292623	**	**
F	2	252392	252392	126196	**	**
Fp	2	58724	58724	29362	**	**
A	2	49358	49358	24679	**	**
F*Fp	4	405095	405095	101274	**	**
F*A	4	263614	263614	65903	**	**
K*F	4	461635	461635	115409	**	**
S*F	4	335428	335428	83857	**	**
HATA(e)	0	0	0	0		
Toplam	26	5864663				

Tablo IV.7. Analiz Sonuçlarından En Az Etki Yapan Faktör Ve Etkileşimlerinin Çıkarılması

Faktörler ve Etkileşimler	**Kareler Toplam(SS)**	**% Katkı**					
K	3453172	58,88					
S	585246	9,98					
F	252392	4,3					
Fp	58724	1					
A	49358	0,84	A faktörü yüzde katkısı az olduğu için ihmal edilebilir.				
F*Fp	405095	6,91					
F*A	263614	4,49	A faktörü ihmal edildiği için etkileşimi de ihmal edilir.				
K*F	461635	7,87					
S*F	335428	5,72					
Toplam	5864663						

Tablo IV.7.' de anlaşılacağı gibi sonuç değere en az etki yapan faktör % 0,84 etki ile A (Ağız Açısı) faktörüdür. Bu faktörün göz ardı edilmesinden dolayı etkileşimi olan F*A da göz ardı edilir. Bu faktör ve etkileşimlerinin çıkarılması sonucu ortaya çıkan hata değerleri Tablo IV.8.' de görülmektedir.

Tablo IV.8. F ve P Değerleri

Faktörler ve Etkileşimler	Kareler Toplam(SS)	% Katkı	Serbestlik Derecesi(DF)	Varyans(MS)	F Değeri	P Değeri
K	3453172	58,88	2	1726586	33.10	0.001
S	585246	9,98	2	292623	5.61	0.042
F	252392	4,3	2	126196	2.42	0.170
Fp	58724	1	2	29362	0.56	0.597
F*Fp	405095	6,91	4	101274	1.94	0.223
K*F	461635	7,87	4	115409	2.21	0.184
S*F	335428	5,72	4	83857	1.61	0.287
HATA(e)	312972	5,34	6	52162		
Toplam	5864663					
% 95 Güven düzeyinde etkili olan faktörler $F_{(0.05);2;6} = 5,14$						
% 95 Güven düzeyinde etkili olan faktörler $F_{(0.05);4;6} = 4,53$						

En az etki yapan faktör ve etkileşimlerinin çıkarılması sonucunda hatanın kareler toplamı (312972) ve serbestlik derecesi(6) bulunmuş olur. Bu aşamada her faktör ve etkileşimler için $\alpha = 0,05$ anlamlılık düzeyi için Tablo IV.9.' dan F_{kritik} değerleri bulunur.

Tablo IV.9. α = 0,05 Anlamlılık Düzeyi İçin F_{kritik} Değerleri

v/u	1	2	3	4	5
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05
6	5.99	**5.14**	4.76	**4.53**	4.39
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33

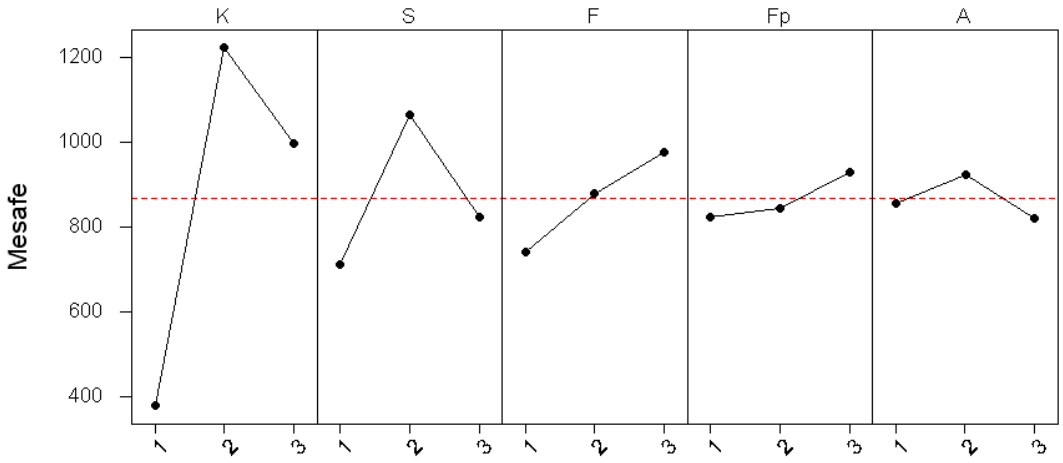
Tablo IV.10. F ve F_{kritik} Değerlerinin Karşılaştırılması

Faktörler ve Etkileşimler	F Değeri	F_{kritik} Değeri	P Değeri
K	33.10	5,14	0.001
S	5.61	5,14	0.042
F	2.42	5,14	0.170
Fp	0.56	5,14	0.597
F*Fp	1.94	4.53	0.223
K*F	2.21	4.53	0.184
S*F	1.61	4,53	0.287

F ve F_{kritik} değerlerinin karşılaştırılması sonucu yalnız iki faktörün takım ömrü üzerinde istatistiksel olarak öneminin olduğu görülmüştür (Tablo IV.10.). Bu faktörler ;

K faktörü 33,10 >5,14 ve S faktörü 5,61 > 5,14 dür. Diğer faktörlerin ve etkileşimlerin takım ömrü üzerine istatistiksel olarak önemli etkisi yoktur.

Faktör etkilerinin Grafiksel gösterimi ile faktörlerin en uygun seviyeleri seçilir. Faktör etkilerinin grafikleri Şekil IV.2.' de verilmiştir.



Şekil IV.2. Mesafe İçin Ana Etki Grafikleri

BÖLÜM V.

SONUÇLAR

Alüminyum levhaları işlemek amaçlı kullanılan derz bıçaklarının kullanım ömrünü arttırmak için yapılan bu çalışmada, derz bıçakları üzerine ayrı ayrı Alüminyum Titanyum Nitrür ve Zirkonyum Nitrür uygulanmış ve takımın yüzey özellikleri değiştirilerek aşınmaya karşı direnci artırılmaya çalışılmıştır. Bu işlemin yanı sıra CNC freze parametrelerinin en uygun seviyeye getirilmesi hedeflenmiştir. Takımın talaş kaldırma özelliğini artırmak amacıyla kesici ağız açısının değişik seviyeleri incelenmiştir.

Toplamda kesici takım üzerinde etkisi olduğu düşünülen beş faktör ve etkileşimleri incelenmeye çalışılmıştır. Beş faktörün üç seviyesi inceleme konusu yapıldığında toplamda kombinasyonlarının incelenmesi için 3^5=243 deneme yapılması gerekirken Taguchi L_{27} ortogonal dizini kullanılarak 27 eneme ile optimum değer elde edilmeye çalışılmıştır. Bu etkileri incelemek amaçtı Minitab Release 13 paket programı kullanılmıştır.

Ana etki grafiğinden K faktörünün 2. seviyesi ve S faktörünün 2. seviyesi en yüksek ortalama mesafeyi verdiği için seçilir. Diğer faktörler için F faktörü 3. , F_p faktörü için 3. ve A faktörü için de 2. seviye en yüksek ortalama mesafeyi vermekle birlikte istatistiksel olarak önemli etkileri olmadığı için en ekonomik seviyeleri de seçilebilir.

Sonuç olarak Alüminyum Titanyum Nitrür kaplı takımı 16000 d/dak. devirle , 5000 mm/dak. ilerleme hızı ile 600 mm/dak. dalma hızı ile ve 12,5 derecelik ağız açısı ile kullanıldığında optimum takım ömrünü veren şu sonuç çıkmaktadır; **$K_2S_2F_3Fp_3A_2$.**

BÖLÜM VI.

TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRMELER

Alüminyum levhaları işlemek amaçlı kullanılan derz bıçaklarının kullanım ömrünü arttırmak için yapılan bu çalışmada, derz bıçakları üzerine ayrı ayrı Alüminyum Titanyum Nitrür ve Zirkonyum Nitrür uygulanmış ve takımın yüzey özellikleri değiştirilerek aşınmaya karşı direnci artırılmaya çalışılmıştır. Bu işlemin yanı sıra CNC freze parametrelerinin en uygun seviyeye getirilmesi hedeflenmiştir. Takımın talaş kaldırma özelliğini artırmak amacıyla kesici ağız açısının değişik seviyeleri incelenmiştir.

Yapılan bu çalışma öncesinde CNC frezede kullanılan 90 derecelik derz bıçağının özellikleri ve CNC freze parametreleri parametreleri şöyle idi:

Kaplamasız, 18000 devir/dakika devirde , 5000 mm/dakika ilerleme hızında, 600 mm/dakika dalma hızında ve 10 derecelik ağız açısında idi. Bu değerlerle yaklaşık takım ömrü 300 ila 400 metre arasında idi.

Optimizasyon sonrası Alüminyum Titanyum Nitrür (AlTiN) kaplı takımı 16000 d/dak. devirle , 5000 mm/dak. ilerleme hızı ile 600 mm/dak. dalma hızı ile ve 12,5 derecelik ağız açısı ile kullanıldığında optimum takım ömrünü veren şu sonuç çıkmaktadır; $\mathbf{K_2S_2F_3Fp_3A_2}$**.**

Deney kapsamında bulunan ve optimum takım ömrünü veren bu parametre kombinasyonu ile takım ömrünün 2000 metre olması beklenmektedir. Sonuç olarak takım ömrü üzerine yapılan bu çalışmada takımın ömrü yaklaşık altı katına çıkarılmıştır.

Bu çalışma sonrasında takım maliyetinde azalma meydana gelirken zamandan da tasarruf sağlanacaktır. Şöyle ki, bu çalışma öncesi bir takım 4 günde aşınıyor ve

tekrar bilenmesi gerekiyorsa, bu çalışma sonrası takım 24 günde aşınacak ve bilenmesi gerekecektir. Bu da maliyeti azaltırken zamandan da tasarruf sağlayacaktır.

Sonraki aşamalarda geometrik şekli ve kimyasal bileşimi farklı kesici takımlara değişik kaplama türleri ve hatta seramik çok katlı ince film kaplamalar da optimizasyona dahil edilerek takım ömrü üzerindeki etkileri incelenebilir.

KAYNAKLAR

[1] ROOS,J.P., CELIS,J.P., VANCOILLE, E.;" Interrelationship Between Processing, Coating Properties and Functional Properties of Steered Arc Physically Vapour Deposited (Ti,AL)N and (Ti,Nb)N Coatings, Thin Solid Films", 193/194, **1990.**

[2] BUNSHAN, B., GUPTA, B.K.;" Handbook of Tribology-Materials, Coatings and Surface Treatment", Mcgra-Hill Inc. New York, **1991.**

[3] RONKAINEN, H., NIEMINEN, I., HOLDBERG, H.G., LEYLAND, A., MATTHEWS, A., MATTHES, B., BROSZEIT, E. ;" Evaluation of some Titanium Based Ceramic Coatings on High Speed Cutting Tools", Surface and Coatings Technology, 49, **1991** sf. 468-473

[4] COOL, B.F., FONTANA, R., GATES, A., SATHRUM, R.;" (Ti.Al)N Advanced Films Prepared by Arc Process", Material science and Engineering, A 140, **1991**, Sf. 816-824

[5] SMITH, D.L.;" Thin Film Deposition-Principles and Practise", Mcgraw-Hill Inc. New York,**1995.**

[6] TÜRKÜZ, M.C.;" Ark PVD Yöntemiyle Tin Kaplanmış Kesici Takımların Karakterizasyonu ve Performanslarının İncelenmesi",Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Ens., Sf. 55-98, Haziran **1997.**

[7] http://www.ionbond.com/detail.cfm?themalID=244&beitragID=140

[8] COOL, B.F., SATHRUM, P., FONTANA, R., PEYRE, J.P., DUCHATAU, D., BENMALEK, M.;" Optimization of Ark Evaporated (Ti,Al)N Film Compozition for Cutting Tool Applications", Surface and Coatings Technology, 5, Sf 57-64,**1992.**

[9] MAYRHOFER, P.H., HORLİNG, A., KARLSSON, L., SJOLEN, J., LARSSON, T., MITTERER, C., HULTMAN, L.;" SELF Organized Naostructures in the Ti-Al-N System", Applied Physics Letters, Vol:83, No:10, Sf. 2049-2051,**2003.**

[10] ZAIRI, M.; "Total Quality Management", Gulf Publishing Company, **1993.**

[11] TAM, S:C.,NOOR, Y.M., L.J.;"Maximizing the Qutput Power of CO_2 Laser Using The Taguchi Technique", IEEE Journal of Quantum Electronics, VOL. 29, No.1, January **1993**.

[12] NACKAR, R.N.;"Taguchi's Quality Philosopy ", Analysis and Comentary, Quality Progress, December **1986**.

[13] PEACE, G.S.;"Taguchi Methods", Addison Wesley Publishing Company,**1994.**

[14] KUSIAK, A.; "Concurrent Engineering", John Wley&Sons, **1993.**

[15] LOCHNER, R.H., MATAR, J.E.;"Designing for Quality, Chapman and Hall, **1990.**

[16] BENDEL, A., DISNEY,J.,PRIDMORE, W.A.; "Taguchi Methods", IFS Publication, U.K., **1989.**

[17] SHOEMAKER, A.C., TSUI, K.L., JEFF WU, C.F.;"Economical Experimentation Methods for Roboust Design", Technometrics, Vol. 33, November **1991.**

[18] SADRİ, H., YANG, K.; "Desing of Experiment", An Ivaluable Production, February **1994.**

[19] LANCHE, A.E.;"Quality By Desing", American Supplier Instıtute Pres, **1994**

[20] TAGUCHI, G., YOKOHAMA, Y., WU, Y.;"Taguchi Methods", American Supplier Instıtute, **1993.**

[21] ROSS, F.J.;"Taguchi Tecniques for Quality Engineering", McGraw-Hill Book Company, **1989**.

[22] ROY, R.K.;"Primer on Taguchi Methods", Van Nostran Reinhold Newyork, **1990.**

[23] LIN, P.K.H., SULLIAN, L.P., TAGUCHI, G.;"Using Taguchi Methods in Quality Engineering", Quality Progress, September,**1990.**

[24] CONDRA, L.W.;"Reliabity Improvement With Design of Experiments", Edward g. Schilling Center for Quality and Applied Statistics Rochester Instıtute of Technology Rochester Newyork,**1993.**

[25] RONALD, D., THOMAS, W.N., LIOYD, P.P.;"Improving Quality Through Planned Experimentation", McGraw-Hill, **1991.**

[26] KARADAYI, Ö.;"PVD Tekniği ile AlTiN(Alüminyum Titanyum Nitrür) Çok Katlı Sert Seramik Kaplamaların Üretimi ve Karakterizasyonu", Yüksek

Lisans Tezi, Marmara Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, **2004.**

[27] KELEŞ, Ö.;"Matkap Uçlarının Ark PVD ile TiN Kaplanmasında Proses Parametrelerinin Taguchi Metodları ile Optimizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, **1996.**

[28] SELEK, B.;"PVD Yöntemi İle Üretilmiş Çok Katlı AlTiN Kaplamaların Sürtünme ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, **2004**.

[29] CANYILMAZ, E., KUTAY, F.;"Taguchi Metodunda Varyans Analizine Alternatif Bir Yaklaşım", Gazi Üniv.Müh.Mim.Fak. Der. Cilt 18, No 3, 51-63, **2003.**

[30] HAMZAÇEBİ, C., KUTAY, F."Taguchi Metodu:Bir Uygulama", Gazi Üniv.Müh.Mim.Fak. Endüstri Müh. Böl. Teknoloji, Yıl 6(2003), Sayı 3-4, 7-17, Ankara, **2003.**

[31] MOTORCU, A.R., ŞAHİN, Y.;"Sertleştirilmiş AISI 1040 Çeliğinin Seramik Kesici Takımla İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün Taguchi Metodu İle Değerlendirilmesi", Gazi Üniversitesi, On Birinci Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi 13-15 Ekim **2004**,Antalya.

EK 1

Kompozit malzeme işlemekte kullanılan üç eksenli CNC frezeye ait fotoğraf aşağıda görülmektedir. Bu frezenin işlem kapasitesi 1550*3400 mm olup kompozit levhalar vakum ile çalışan tutucular ile makineye sabitlenmektedir. Markası Tekna SRL olan makine İtalyan malıdır.



EK 2

Alüminyum kompozit malzemeye kanal açmakta kullanılan kanal 90 derecelik kanal frezesi şekillerde görülmektedir. Sap kısmı takım çeliğinden olup uç kısımları sinter teknolojisi ile üretilmiş malzemedir. Bu çalışmada kesici yüzeyler üzerine Alüminyum Titanyum Nitrür ve Zirkonyum Nitrür ayrı ayrı uygulanarak deneyler yapılmıştır.





ÖZGEÇMİŞ

Zafer KESKİN 1979 yılı Çorum' da doğmuş olup 1996 yılında Ankara' da Yıldırım Beyazıt Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi'ni bitirmiş, 1999 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi'nde yüksek öğrenimine başlamıştır. 2003 yılının Haziran ayında Teknik Öğretmen olarak mezun olmuştur. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Metal Eğitimi Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisansa başlamıştır.