MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKILLI BİNALARDA TALEP TARAFI ENERJİ YÖNETİMİ

NAZLI HASANOVA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elektrik Elektronik Mühendisliği
Anabilim Dalı
Elektrik Elektronik Mühendisliği Programı

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Seçil Varbak Neşe

İSTANBUL, 2021

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKILLI BİNALARDA TALEP TARAFI ENERJİ YÖNETİMİ

NAZLI HASANOVA

(523117931)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elektrik Elektronik Mühendisliği
Anabilim Dalı
Elektrik Elektronik Mühendisliği Programı

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Seçil Varbak Neşe

İSTANBUL, 2021

TEŞEKKÜR

Yapmış olduğum tez çalışması süreci boyunca tüm aşamalarında değerli bilgi ve desteklerini esirgemeyen, çalışmalarımı gayret ve özveri ile inceleyen kendi gözetiminde çalışma şansına sahip olmaktan onur duyduğum danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Seçil VARBAK NEŞE'ye ve araştırmalarımda emeği geçen yardımcı olmaya çalışan tüm değerli hocalarıma ve arkadaşlarıma,

Olumlu teşvikleri ile motivasyonumu sürekli arttıran, her zaman destek olan emeklerinin karşılığını ömrüm boyunca ödeyemeyeceğim başta annem babam olmak üzere tüm aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Nazlı HASANOVA **Temmuz 2021**

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜRLER.....i
İÇİNDEKİLER.....ii
ÖZET.....iv
ABSTRACT.....v
SEMBOLLER.....vi
KISALTMALAR.....viii
ŞEKİL LİSTESİ.....x
TABLO LİSTESİ.....xii

1 GİRİŞ 1

2 AKILLI BİNALAR 3

2.1 Akıllı Bina Kavramı 3

2.2 Akıllı Binanın Tarihisel Gelişimi 5

2.3 Akıllı Bina Özellikleri 7

2.4 Akıllı Binalarda Alt Sistemlerin Entegrasyonu 9

2.5 Akıllı Binalar ve Enerji Verimliliği 11

2.6 Akıllı Bina Sistemleri 15
2.6.1 Fiziksel sistemler 16
2.6.2 Bilgi ve iletişim teknoloji sistemleri 17
2.6.3 Bina kontrol sistemleri 17
2.6.3.1 Bina otomasyon sistemleri (BOS) 18
2.6.3.2 İklimlendirme sistemleri 21
2.6.3.3 Akıllı aydınlatma kontrol sistemleri 22
2.6.3.4 Yangın alarmı ve güvenlik sistemleri 23
2.6.3.5 Güvenlik ve geçiş kontrol sistemleri 26
2.6.3.6 Video gözetim sistemleri 27
2.6.3.7 Otopark rehberliği yönetim sistemleri 27
2.6.3.8 Asansör sistemleri 28
2.6.3.9 Bina yönetim sistemi 29
2.6.4 Talep tarafı yönetimi 31
2.6.5 Kontrol yöntemleri 33
2.6.5.1 Konvansiyonel denetleyici sistemleri 33
2.6.5.2 Model öngörülü kontrol sistemleri 34
2.6.5.3 Ajan tabanlı kontrol sistemleri 36
2.6.5.4 Sayısal optimizasyon yöntemleri 37

3 MATERYAL VE YÖNTEM **45**

3.1 Cihaz Modelleri 46

3.1.1. İklimlendirme sistem modeli 47

3.1.2. Şofben modeli 49

3.1.3. Işık şiddeti ayarlanabilir lamba modeli 50

3.1.4. Çamaşır makinesi ve bulaşık makinesi modeli 50

3.1.5. Fırın, buzdolabı, ütü, tv ve pc modeli 52

3.2 Enerji Maliyet Modeli 53

3.3. Yenilenebilir Enerji 54

3.4. Bulanık Mantık Denetleyici 55

3.4.1. Bulanık mantık denetleyicinin tasarlanması 56

3.4.1.1. Bulanık mantık yük denetleyicisi 59

3.4.1.2. Bulanık üyelik fonksiyonları 60

3.4.1.3. Bulanık kurallar 62

4 BULGULAR **63**

4.1. Denetleyici İçermeyen AB 63

4.2. BM Tabanlı Yük Denetleyicili AB 64

4.3. Denetleyici İçermeyen YEK ile Entegre AB 66

4.4. BMD ile Birlikte YEK İçeren AB 68

4.5. Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması 69

5 SONUÇ **74**

6 KAYNAKLAR **75**

ÖZGEÇMİŞ **87**

ÖZET

AKILLI BİNALARDA TALEP TARAFI ENERJİ YÖNETİMİ

Elektrik enerjisi gelişen teknoloji ile birlikte günlük yaşantımızda vazgeçilemezdir. Elektrik enerjisinin tüketicilere güvenilir ve sürdürülebilir şekilde iletilmesinde en önemli özellik arz-talep dengesinin gerçek zamanlı olarak sağlanmasıdır. Elektrik enerjisi talebinin sürekli artması ve talebi karşılamak için doğal kaynakların giderek tükenmesi ve dışa bağımlılığı arttırması, elektrik üretim tesislerinin çeşitlenmesi, elektrik depolama sistemlerinin öneminin ve enerji tasarrufu bilincinin de artması ile arz-talep dengesinin sağlanmasında talep tarafı yönetimi büyük önem arz etmektedir. Talep tarafı yönetimi, arz ve talep arasındaki dengesizliği düzeltmek için üretimi artırmak yerine tüketimin zamanlanması ile gerçekleştirilirken aynı zamanda maliyet düşürülmektedir. Talep tarafı yönetimi, tüketicinin konforunu etkilemeden kullanıcının ihtiyaç durumuna ve katılımına göre kısıtlama yaparak ilgili zamanda kısıtlama kadar güç kazancı sağlamaktadır. Dünya genelinde enerji tüketiminin büyük bir kısmını konutlar oluşturduğundan binalarda talep tarafı yönetiminin uygulanması enerjinin verimli kullanımını arttırmaktadır.

Bu tez çalışmasında Matlab/Simulink ortamında bir konut modeli oluşturulmuş ve elektrikli cihazlar bulanık mantık denetleyicisiyle kontrol edilerek enerji tüketiminin yönetim problemi ele alınmıştır. Konut modeline rüzgar ve güneş kaynaklı enerji üretimi dahil edilmiş ve günlük tüketim senaryoları oluşturulmuştur. Talep tarafı yönetimi ile tarifeye göre tüketimin yoğun ve elektriğin birim fiyatının yüksek olduğu saatleri belirlenerek bu saatlerdeki yük talebini fiyatın daha düşük ve yoğun olmayan saatlere ya da yenilenebilir enerji kaynaklı üretimin olduğu saatlere kaydırarak hem maliyetten hem de enerji tüketiminden tasarruf edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Akıllı binalar, Enerji yönetim sistemi, Talep tarafı yönetimi, Bulanık mantık denetleyici.

Temmuz, 2021 **Nazlı HASANOVA**

ABSTRACT

DEMAND-SIDE ENERGY MANAGEMENT in SMART BUILDINGS

With the developing technology, electrical energy is indispensable in our daily life. The most important feature in the reliable and sustainable transmission of electrical energy to users is to provide the supply-demand balance in real time. Demand side management is of great importance in ensuring the supply-demand balance with the continuous increase in the electrical energy demand, the gradual depletion of natural resources and thus increment the foreign dependency to meet the demand, the diversification of electricity power plants, the importance of electricity storage systems and the awareness of energy saving. Demand side management is performed by timing of consumption instead of increasing generation to correct the imbalance between supply and demand, while reducing costs at the same time. Without affecting the comfort of the users, demand side management makes restrictions according to need and participation of user and provides power gain as much as the restriction at the relevant time. Since residences constitute large part of energy consumption worldwide, the application of demand-side management in buildings increases energy efficiency.

In this thesis, a housing model is created in the Matlab/Simulink environment and energy consumption management problem is handled by controlling the electrical devices with a fuzzy logic controller. Wind and solar energy generation are included in the housing model and daily consumption scenarios are created. Both cost and energy consumption is saved with demand side management as hours when consumption is intense and unit price of electricity is high are determined according to tariff, and then by shifting the load demand in these hours to times of lower, off-peak or renewable energy-based generation.

Keywords: Smart buildings, Energy management system, Demand side management, Fuzzy logic controller.

July, 2021 **Nazli HASANOVA**

SEMBOLLER

P_t(t) : Termal güç [W]

P (t) : Çıkış gücü [W]

$\boldsymbol{P_e(t)}$: Elektrik gücü [W]

$\boldsymbol{\Delta T}$ **:** İç ortam sıcaklıkları arasındaki fark

K : Isı transfer katsayısını ve yüzey alanını içeren oransal kazanç $\left[m^2 * \frac{W}{m^2 * C^0}\right]$

COP : Performans Katsayısı (Coefficient of Performance)

EER : Enerji Verimliliği Oranı (Energy Efficiency Ratio)

$\boldsymbol{P_{loss}(t)}$: Termal güç kaybı [W]

$\mathbf{R_{th}}$ **:** Termal direnç $\left[\frac{m^2 * C^0}{W}\right]$

$\boldsymbol{T_{in}\,(t)}$ **:** İç ortam sıcaklığı [C^0]

$\boldsymbol{T_{in,set}}$ Referans iç ortam sıcaklığı [C^0]

$\boldsymbol{T_{out}(t)}$: Dış ortam sıcaklığı [C^0]

M : Hava ağırlığı [kg]

c : Sabit hava basıncında spesifik ısı $\left[\frac{J}{Kg * K}\right]$

$\boldsymbol{P_{t,max}}$: En yüksek termal güç [W]

G_gündüz : Gündüz döneminde enerji maliyeti

G_puant : Puant dönemde enerji maliyeti

G_gece : Gece döneminde enerji maliyeti

C : Tanktaki suyun termal kapasitesi [J/C^0]

$\boldsymbol{T_{hw}(t)}$: Tanktaki sıcak su sıcaklığı [C^0]

$\boldsymbol{T_{air}}$: Tankın dışındaki hava sıcaklığı [C^0]

$\boldsymbol{T_{cw}\,(t)}$: Girişteki soğuk su sıcaklığı [C^0]

$\boldsymbol{W_d(t)}$: Ortalama sıcak su çekim hızı $[1/sec]$

$\boldsymbol{\rho}$: Suyun yoğunluğu $\left[\frac{kg}{J}\right]$

$\boldsymbol{V_l}$: Tankın hacmi $[l]$

$\boldsymbol{C_p}$: Suyun özgül ısısı $\left[\frac{J}{k} * C^0\right]$

SA : Tankın yüzey alanı $[m^2]$

$\boldsymbol{T_{hw,set}}$: Tanktaki sıcak suyun referans sıcaklığı $[C^0]$

$\boldsymbol{T_{inc}}$: Cihaza giriş sıcaklığı $[C^0]$

T(t) : Cihazın iç sıcaklığı $[C^0]$

Q(t) : Nominal Güç [W]

$\boldsymbol{P_f}$: Tahmini güç üretimi [W]

$\boldsymbol{V_{max}}$: En yüksek kaynak gerilimi [V].

KISALTMALAR

AB : Akıllı Bina

ABD : Amerika Birleşik Devletleri

AAAS : Analog Adresli Alarm Sistemleri

BM : Bulanık Mantık

BMD : Bulanık Mantık Denetleyici

BOS : Bina Otomasyon Sistemi

BİT : Bilgi ve İletişim Teknolojileri

CCTV : Kapalı Devre Televizyon (Closed-Circuit Television)

ÇAS : Çok Ajanlı Sistemler

ÇAO : Çok Amaçlı Optimizasyon

EBYS : Entegre Bina Yönetim Sistemleri

GS : Güvenlik Sistemleri

GKS : Geçiş Kontrol Sistemleri

GA : Genetik Algoritma

İP : İnternet Protökolü

KYAS : Konvansiyonel Yangın Alarm Sistemleri

KTSDOP : Karışık Tam Sayılı Doğrusal Olmayan Programlama

KTSDP : Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama

LAN: Yerel Ağ (Local Area Network)

MÖK : Model Öngörülü Kontrol

PI : Oransal İntegral (Proportional İntegral)

PID : Oransal-İntegral-Türevsel (Proportional İntegral Derivative)

PV : Fotovoltaik

PSO : Parçacık Sürüsü Optimizasyonu

PAR : En Yüksek Ortalama Oran (Peak-To-Average Ratio)

TTY : Talep Tarafı Yönetimi

TK : Talep Katılımı

TSDP : Tam Sayılı Doğrusal Programlama

TOU : Kullanım Süresi (Time Of Use)

VG :Video Gözetim

WAN: Geniş Alan Ağı (Wide Area Networks)

YEK : Yenilenebilir Enerji Kaynakları

YAS :Yangın Alarm Sistemleri

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 ABD'nin AB sistem şeması [14] 4
Şekil 2.2 Performansın dört E'leri (Efficiency, Effectiveness, Efficacy, Economy) [14] 5
Şekil 2.3 AB'lerin 1980 sonrası gelişim piramidi [16] 6
Şekil 2.4 AB Özellikleri [22] 8
Şekil 2.5 AB sistemleri piramidi [16] 9
Şekil 2.6 Bilgisayarla entegre bina sistemleri [15] 11
Şekil 2.7 Türkiye'nin 2020 yılı lisanslı elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı (%) [25] 12
Şekil 2.8 Ülkelerin bina enerji tüketimi [5] 13
Şekil 2.9 2020 yılında faturalanan elektrik tüketiminin tüketici türüne göre dağılımı (%) [25] 13
Şekil 2.10 AB sistemleri [33] 16
Şekil 2.11 Bireysel kontroller ve BOS arasındaki fark [21] 19
Şekil 2.12 AB otomasyonu [36] 21
Şekil 2.13 ABD'de ticari binaların toplam enerji tüketimi, 2012 [40] 23
Şekil 2.14 KYAS Bağlantı Örneği [43] 24
Şekil 2.15 Bina geçiş kontrol bileşenleri 26
Şekil 2.16 Bina giriş kamerası-diafon 27
Şekil 2.17 Entegre bina enerji yönetim sistemi [33] 30
Şekil 2.18 TTY stratejileri [58] 32
Şekil 3.1 Konut cihazlarının ve kontrol sisteminin simulink modeli [2] 45
Şekil 3.2 İklimlendirme sisteminin simulink model [2] 47
Şekil 3.3 Isıtma ve soğutma sistemlerinin simulink modeli [2] 47
Şekil 3.4 Binanın termodinamik simulink modeli [2] 48
Şekil 3.5 Elektrikli şofbenin simulink modeli [2] 49
Şekil 3.6 Ayarlanabilir lambaların simulink modeli [2] 50
Şekil 3.7 Çamaşır makinesinin simulink modeli [2, 54] 51
Şekil 3.8 Bulaşık makinesinin simulink modeli [2, 54] 52
Şekil 3.9 Fırın, ütü ve buzdolabı simulink modeli. 53
Şekil 3.10 TV ve PC'nin Simulink modeli [2] 53
Şekil 3.11 Enerji maliyetinin simulink modeli [2] 54
Şekil 3.12 PV ve rüzgar enerji sistemlerinin simulink modeli [2] 55

Şekil 3.13 BMD'nin şeması [118] 56
Şekil 3.14 BMD'nin blok diyagramı. 60
Şekil 3.15 Elektrik fiyatının bulanık üyelik fonksiyonu (Giriş 1). 60
Şekil 3.16 Güç talebinin bulanık üyelik fonksiyonu (Giriş 2). 61
Şekil 3.17 Yenilenebilir enerji bulanık üyelik fonksiyonu (Giriş 3). 61
Şekil 3.18 Yük planlamasının bulanık üyelik fonksiyonu (Çıkış 1). 61
Şekil 3.19 Çalışan yüklerin bulanık üyelik fonksiyonu (Çıkış 2). 61
Şekil 4.1 Denetleyici içermeyen AB'nin (a) kış günü ve (b) yaz günü için güç tüketimi. 63
Şekil 4.2 Denetleyici içermeyen AB'nin (a) kış günü ve (b) yaz günü için maliyeti. 64
Şekil 4.3 BMD'li AB'nin (a) kış günü ve (b) yaz günü için güç tüketimi. 65
Şekil 4.4 BMD'li AB'nin (a) kış günü ve (b) yaz günü için maliyeti. 65
Şekil 4.5 YEK'in günlük enerji üretim eğrisi. 66
Şekil 4.6 Denetleyici içermeyen YEK ile entegre AB'nin (a) kış günü ve (b) yaz günü için güç tüketimi. 67
Şekil 4.7 Denetleyici içermeyen YEK ile entegre AB'nin (a) kış günü ve (b) yaz günü için maliyeti. 67
Şekil 4.8 YEK içeren BMD'li AB'nin (a) kış günü ve (b) yaz günü için güç tüketimi. 68
Şekil 4.9 YEK içeren BMD'li AB'nin (a) kış günü ve (b) yaz günü için maliyeti. 69
Şekil 4.10 Kış günü için denetleyicisiz ve BMD'li binanın (a) güç tüketimi ve (b) maliyet karşılaştırması. 70
Şekil 4.11 Yaz günü için denetleyicisiz ve BMD'li binanın (a) güç tüketimi ve (b) maliyet karşılaştırılması. 71
Şekil 4.12 Kış günü için YEK ile entegre denetleyicisiz binanın ve YEK içeren BMD'li binanın güç tüketimi (a) ve maliyet (b) karşılaştırılması. 72
Şekil 4.13 Yaz günü için YEK ile entegre denetleyicisiz binanın ve YEK içeren BMD'li binanın güç tüketimi (a) ve maliyet (b) karşılaştırılması. 72

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Ülkelerde ve dünyada tasarruf potansiyeli ile enerji tüketimi ve sera gazı emisyon oranları [5]. 14
Tablo 3.1 Ev içi yüklerin kış ve yaz günü için verileri. 46
Tablo 3.2 İklimlendirme sistem modelinin parametreleri. 48
Tablo 3.3 Fırın, ütü ve buzdolabının parametreleri [2]. 52
Tablo 3.4 Tarifelere göre elektriğin birim fiyatı [112]. 54
Tablo 3.5 Bulanık kurallar. 62
Tablo 4.1 Enerji tüketimi ve maliyetin karşılaştırmalı analizi (Kış). 73
Tablo 4.2 Enerji tüketimi ve maliyetin karşılaştırmalı analizi (Yaz). 73

1 GİRİŞ

Dünya nüfusundaki artış ile birlikte elektrik enerjisi tüketimi de sürekli olarak artmaya devam etmektedir [1]. Yakın gelecekte karşılaşılabilecek ana sorunlardan biri de artan güç talebinin karşılanabilmesidir. 2028'e kadar elektrik talebinin %19 oranında, mevcut altyapının verimliliklerinin ise sadece %6 artırabileceği tahmin edilmektedir [2]. Dolayısıyla ekonomik gelişmeler, nüfus artışı, fosil yakıtların tükenmesi ile ilgili artan endişeler nedeniyle etkili ve verimli enerji kullanımı önemli hale gelmektedir [3]. Son yıllarda artan kentleşmeyle birlikte, artan bina sayısı enerji tüketiminin artmasına neden olmaktadır [4]. Binalarda kullanılan enerji, dünya genelinde enerji tüketiminin yaklaşık %40'ını, toplam birincil enerji arzının üçte birinden fazlasını ve küresel karbon emisyonunun ise %30'nu oluşturmaktadır [3, 5]. Özellikle enerji krizi ve çevre kirliliği durumlarında, binalarda enerji tasarrufu ve verimliliği önem taşımaktadır [6]. Bu sebepler bina ve işletme sahiplerini enerji tüketimini ve çevre kirliliğini azaltmak için yeni teknolojiler kullanmaya teşvik etmektedir [2].

Son zamanlarda Akıllı Bina (AB) terimi ortaya çıkmıştır. AB'lere yönelimin sebebi enerji verimliliğini ve tüketicinin konforunu sağlayan sistemler barındırıyor olmasıdır [7]. Binalarda enerjinin etkin bir şekilde yönetilmesi için akıllı Enerji Yönetim Sistemi (EYS) uygulanmaktadır [8, 9]. Binalarda EYS'nin ana işlevi, işletme güvenliğini, güvenirliğini ve ekonomiyi sağlamak için binadaki enerji akışını farklı bilgi türleri aracılığıyla yönetip kontrol etmektir. Bina enerji sistemi yapı, hizmet ve yönetim açısından bir bütün olarak düşünülerek optimize edilmelidir. Modern binalarda çevre dostu ve ekonomik özellikleri ile yaygın olarak benimsenen Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının (YEK) uygulanmasıyla sistem daha da karmaşık olmaktadır [4].

Bina enerji performansı hakkındaki en son araştırmalar, geçmişe dayalı olmayan gerçek zamanlı enerji yönetimi üzerinedir. Gelişmiş bina EYS gerçek zamanlı hava durumu ve enerji kullanım verilerini toplayarak analiz etmekte, daha sonra enerji akışını dinamik olarak optimize etmek için uygun bir kontrol sistemi uygulamaktadır [10].

Bu tez çalışmasının birinci bölümünde giriş ve çalışmanın amacı hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölümünde AB kavramı, tarihi gelişimi, AB'lerin genel özellikleri, alt sistemlerin entegrasyonu, AB'nin önemi ile enerji verimliliği ve AB sistemleri hakkında genel bilgiler

verilmiştir. Ayrıca EYS'ler ve Talep Tarafı Yönetimi (TTY) ile ilgili literatür araştırması yapılmıştır. Üçüncü bölümde ise çalışmada kullanılan ev aletlerinin ve YEK'lerinde bulunduğu model ve parametreler, Bulanık Mantık Denetleyicinin (BMD) Matlab/Simulink yazılımı aracılığı ile modellenmesi anlatılmıştır. Son olarak güç tüketimi performansını ve maliyeti değerlendirmek için 4 durum genelinde denetleyici içermeyen, BMD'li, denetleyici içermeyen YEK ile entegre ve BMD ile birlikte YEK içeren AB'nin güç tüketimleri karşılaştırmalı analizi yapılmıştır.

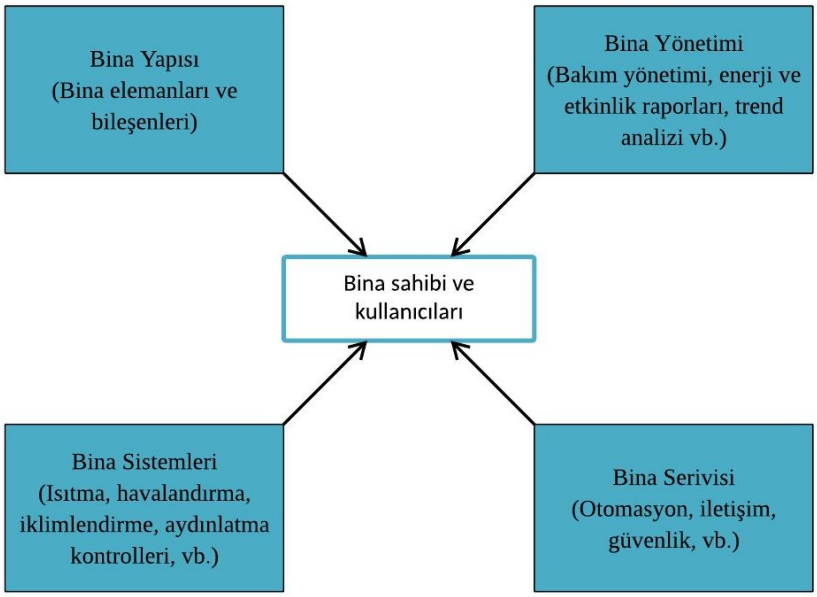
2 AKILLI BİNALAR

2.1 Akıllı Bina Kavramı

Dünyada fosil yakıtların tükenir nitelikte olması ve çevre kirliliği gerçeğinden yola çıkarak enerjinin verimli kullanımı kaçınılmazdır. Enerjinin etkin kullanılması hedefi birçok teknolojiyi de beraberinde getirmiştir [11]. AB'nin en önemli özelliği daha az enerji ile yüksek konfor elde etmek, enerji tüketimini en aza indirerek sürdürülebilirliği sağlamak ve çevre kirliliğini önlemektir [7].

AB'ler kullanıcıların konforundan ödün vermeden enerji verimliliğini en üst seviyeye çıkaran, haberleşme sistemlerine sahip, havalandırma, ısıtma, aydınlatma, güvenlik gibi sistemlerin izlenmesi için geliştirilmiş otomatik kontrol sistemi içeren binalar olarak tanımlanabilmektedir [12]. Tekbir tanımı olmayan AB'ler için birçok ülkede ve alanda kabul edilmiş birçok yaklaşım bulunmaktadır. İlk tanımlarda, kullanıcının gereksinimlerini göz önünde bulundurmadan yalnızca teknolojik yönlere odaklanılmış, son tanımlarda ise kullanıcı ihtiyaçları ve çevre ile olan ilişkileri göz önünde bulundurulmuştur. Örneğin ilk tanımlardan biri 1983 yılında Cardin tarafından yapılan "tamamen otomatik bina servis kontrol sistemlerine sahip" bina tanımlamasıdır.

Amerika Birleşik Devletleri'nin (ABD) Akıllı Bina Enstitüsü AB'leri, yapı, sistemler, hizmetler ve yönetim (Şekil 2.1) olmak üzere dört temel unsurun optimizasyonu, aralarındaki karşılıklı ilişkiler yoluyla kullanıcılara verimli ve düşük maliyetli bir ortam sağlayan binalar olarak tanımlamıştır. Essex Akıllı Binalar Grubu AB'leri, bina sakinlerinin konforunu, enerji tüketimini, iş verimliliğini ve güvenliğini en üst seviyeye çıkarmak amacıyla bina ortamını özerk olarak yönetmek için bilgisayar teknolojilerini kullanan binalar olarak tanımlamışlardır [13].



Şekil 2.1 ABD'nin AB sistem şeması [14]

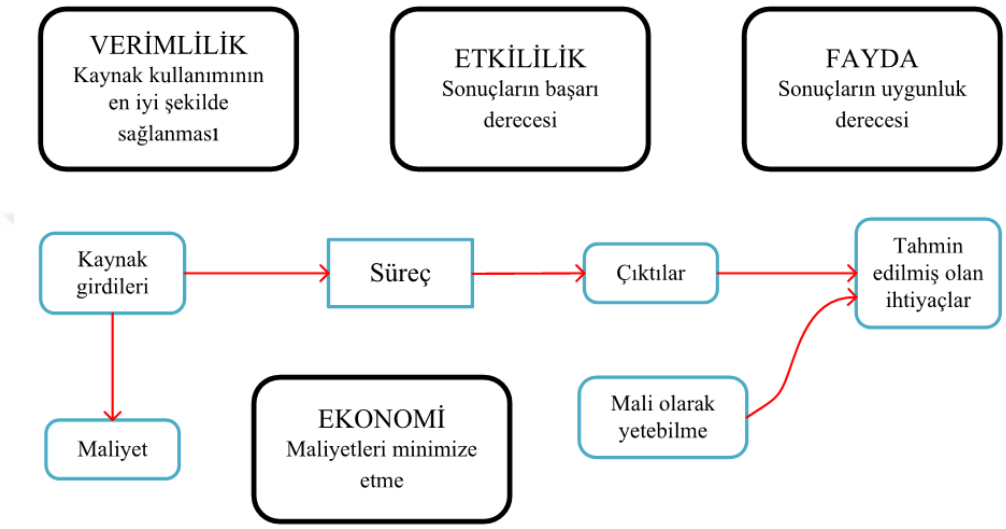
İngiltere merkezli Avrupa Akıllı Bina Grubu AB'leri, "bina sakinlerinin etkinliğini en üst düzeye çıkarırken aynı zamanda donanım ve tesislerin ömür boyu asgari maliyeti ile kaynakların verimli yönetimini sağlayan bir ortam yaratan" binalar olarak tanımlamıştır. Avrupa'daki AB tanımının, teknolojilerden çok kullanıcıların gereksinimlerine göre olduğu görülmektedir.

Singapur Hükümeti Kamu Çalışmaları Bakanlığı ise AB'nin üç şartını; bina sakinlerine rahat bir çalışma ortamı sağlamak amacıyla, klima, sıcaklık, aydınlatma, güvenlik, yangın vb. dahil çeşitli tesisleri izlemek için binada gelişmiş otomatik kontrol sistemlerin bulunmasını, katlar arasında veri akışını sağlamak için iyi bir ağ altyapısına sahip olmasını ve binanın yeterli telekomünikasyon tesisleri sağlaması gerektiğini belirtmiştir [15]. Asya ülkelerinden özellikle 1.2 milyarı aşkın nüfusa sahip olan Çin AB'leri kendi kültür ve yaşam şartlarına göre tanımlaması ile dikkat çekmiştir. Çin AB'ler için doğru tanım yapılmadığı sürece yeni binaların gelecek neslin ihtiyaçlarını karşılayabilecek şekilde tasarlanmasının mümkün olmayacağını belirtmiştir.

Türkiye'de AB'lerle ilgili mimarlar ve mühendisler birçok yaklaşım öne sürmüşlerdir. Örneğin Doğan Tekeli, İstanbul'da inşa edilen Metrocity Millenium Tower mimarı, AB tanımını "binalardaki söylenen akıllılık; aklın niteliği; bir karar alabilme ve duruma uyma yeteneğidir" diyerek ifade etmiştir [13]. AB olma özelliği Türkiye'de genel algıya bakıldığında kısacası aydınlatma, kartla geçiş sistemi, iklimlendirme, havalandırma, alarm, yangın algılama gibi sistemlerin tek bir noktadan kontrol edilmesi veya otomatik olması

olarak tanımlanabilmektedir [16].

Sonuç olarak dünyada bu yönde yapılmış tanımlardan sahiplerine "konforlu", "güvenli", "verimli" ve "uygun maliyetli" bir ortam sağlayan binaların tasarlanması üzerine çalışıldığı anlaşılmaktadır. Binanın yapılabilirlik açısından en önemli unsuru performanstır ve performansın dört E'leri (Efficiency, Effectiveness, Efficacy, Economy) Verimlilik, Etkililik, Fayda, Ekonomi Şekil 2.2'de gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Performansın dört E'leri (Efficiency, Effectiveness, Efficacy, Economy) [14]

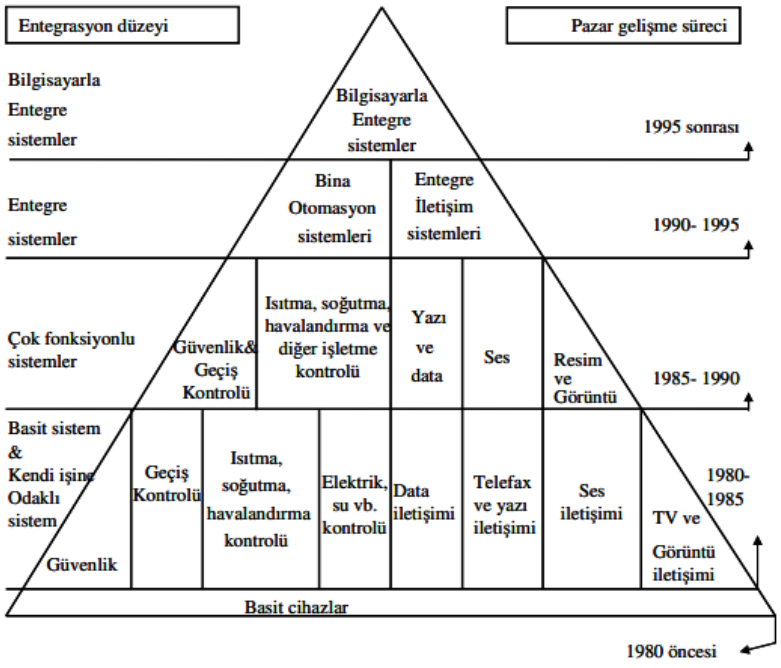
2.2 Akıllı Binanın Tarihisel Gelişimi

Geçmişten bu yana tüm alanlardaki gelişmelerin altında insanın kendini geliştirmesi ve hayatını daha konforlu ve rahat düzeye getirme çabası yatmaktadır. İlk dönemlerde insanın kendini tehlikelerden korunmasının yanı sıra barınma ve sığınması için bir ev yapma ihtiyacı söz konusuydu. Geçtiğimiz her dönemde yaşam şartlarına bağlı olarak insanların beklentileri, ihtiyaçları değişiklik göstermiştir [11].

Özellikle II. Dünya Savaşı'ndan sonra yapı sektöründe önemli ölçüde ilerleme olmuştur [16]. İleriki zamanlarda makina gücünün kullanılmaya başlanılması ve "Sanayi Devrimi" yeni teknolojilerin gelişmesine bunun beraberinde inşaat ve mimarlık alanında yeni stillerin ve malzemelerin oluşmasına sebep olmuştur. İlk kez bu gelişmeler 1970'lerde "Yüksek Teknoloji " binalarında bir araya gelmiştir. Yüksek teknoloji binaların beraberinde getirdiği birçok olumlu gelişmelerle birlikte büyük miktarda enerji kaybı gibi olumsuzluklar da ortaya

çıkmıştır. Sonuç olarak büyük enerji kayıpları maliyet artışına ve 1973-1974 senelerindeki enerji krizine neden olmuştur [13]. 1973'teki ilk enerji krizi, insanları kullanılan enerji yöntemlerini yeniden incelemeye yöneltmiş ve enerji tasarrufu konusunda farkındalık yaratmıştır. Buna bağlı olarak AB'ler 1981'li yılların başlarında ABD'de ortaya çıkmıştır [13]. İlk defa AB 1981 yılında ABD'de bulunan Birleşik Teknoloji Bina Sistemleri Şirketi (United Technology Building Systems Corporation) tarafından desteklenmiş ve 1983 yılında Connecticut eyaletinin merkezi olan Hartford'da "City Place" AB'si inşa edilmiştir [15, 17]. City Place binasından daha önce her ne kadar iletişim ve otomatik tesisler başka binalarda kullanılmış olsa da "akıllı bina" terimi kullanılmamıştır [17].

1985 senesinde Kuzey Amerika'da Fortune, Forbes ve Business Week gibi dergilerde "İş Dünyasında Akıllı Binalar" isimli yayınlarıyla AB fikri mimaride yerleşmeye başlamıştır. Bu da yeni binalarda son teknolojilerin uygulanmasını arttırmış ve sonuçta bu binaların kolay bir şekilde pazarlanmasını sağlamıştır [18].



Şekil 2.3 AB'lerin 1980 sonrası gelişim piramidi [16]

Şekil 2.3'te AB'lerin 1980 yılı sonrasında pazar gelişimini ve entegrasyon düzeyini gösterilmiştir. 1980'den sonra AB sisteminin 5 aşaması:

- Tek fonksiyonlu özel sistemler (1980-1985),
- Çok fonksiyonlu sistemler (1985-1990),

- Bütünleşik sistemler (1990-1995),
- Bilgisayarla bütünleşik bina (1995'ten sonra),
- Akıllı alanlar (2005+).

Bu sistemler önceki yıllarda çok basit uygulanmış daha sonra birbiriyle ortak şekilde çalışan karmaşık yapılar haline gelmiştir [16].
Harrison ise AB'lerin gelişim sürecini 3 farklı kategoride:

- Otomatik binalar (1981-1985),
- Uyumlu binalar (1986-1991),
- Efektif binalar (1992-….) olarak incelemiştir [18].

Genel olarak AB'lerin gelişimini birkaç aşamaya ayrılabilir:

1. 60'lı yıllarda AB, çalışma zamanından tasarruf etme yeteneği olan Bina Otomasyon Sistemi (BOS);
2. 1973'teki ilk enerji krizi, insanları enerji kullanımı ve enerji tasarrufu üzerine farkındalık;
3. 80'li yıllarda entegre tek işlevli / özel sistemler;
4. 90'li yıllarda entegre çok işlevli ve yapı düzeyli sistemler;
5. 2000'li yıllarda bilgisayarla entegre binalar;
6. Bugünlerde ise kurumsal ağa entegre sistemler [18].

21. yüzyılın başından itibaren AB'ler ve bina otomasyonu için teknolojiler ivme kazanmıştır. AB teknolojisi pazarı gittikçe daha fazla büyümeye devam etmekte, işletme sahipleri evlerine, yapılarına enerji verimli ve sürdürülebilir sistemler eklemenin faydalarını görmektedir. Günümüzde AB teknolojisi, otomatik ve akıllı iklimlendirme sistemlerinden kimlikli Güvenlik Sistemlerine (GS) kadar uzanmakta olup, bu özelliklerin çoğu, akıllı telefonlar, tabletler ve bilgisayarlar üzerinden uzaktan çalıştırılabilmektedir [19]. Günümüzde de AB örnekleri çoğu bina ve ofis projelerinde yer almaktadır. Geleneksel binaların aksine AB'lerin daha konforlu ve düşük enerji maliyetli olması, özellikle çok katlı binaların güvenlik kontrolü açısından daha çok tercih edilmektedir.

2.3 Akıllı Bina Özellikleri

AB'ler enerji verimliliğini artırmak için binadaki gereksiz enerji harcamalarını önleyen, bina içinde otomatik olarak kontrol edebilecek donanımların bulunduğu sistemdir [20]. Ayrıca çeşitli karmaşık adaptif ve akıllı teknolojiler kullanan, insan ihtiyaçlarına ve çevresel

değişikliklere uyumlu enerji verimli binalardır [21]. Kullanıcıların hayatlarını kolaylaştıracak, esnek, etkili, konforlu ve güvenli bir ortam sağlayacak teknik ve teknolojik birçok sistemden ibaretdir. Son zamanlarda AB bünyesinde büyük oranda gelişim görmüş konutlar, ofisler, hastaneler, okullar, oteller, iş merkezleri, spor salonları, merkezi bankalar, AVM'ler, Holding binaları vb mevcuttur.

AB'lerin temel özellikleri (Şekil 2.4) GS'lerin (alarm, yangın alarmı vd), kartla geçiş, ısıtma, havalandırma, akıllı aydınlatma, akıllı asansör ve otomasyon sisteminin olması ve özellikle problemsiz bir şekilde çalışarak, tek noktadan kontrol edilebilmesidir [20].



Şekil 2.4 AB Özellikleri [22]

Bina İşletim ve Yönetim Birliği en son yaptığı araştırmalara göre AB'nin aşağıda belirtilen özellikleri sağlaması gerekmektedir [14].

- Fiber optik kapasite,
- Tüm binada internete ulaşım olanağı,
- Yüksek hızda bilgisayar ağı,
- Yerel Ağ Bağlantı (Local Area Network (LAN)) ve Geniş Alan Ağı (Wide Area Networks)(WAN)) haberleşme,
- Uydu erişimi,
- Yedek güç kaynağı,
- Akıllı sensörler,
- İklimlendirme sistemi,
- Sensörlü aydınlatma sistemi,

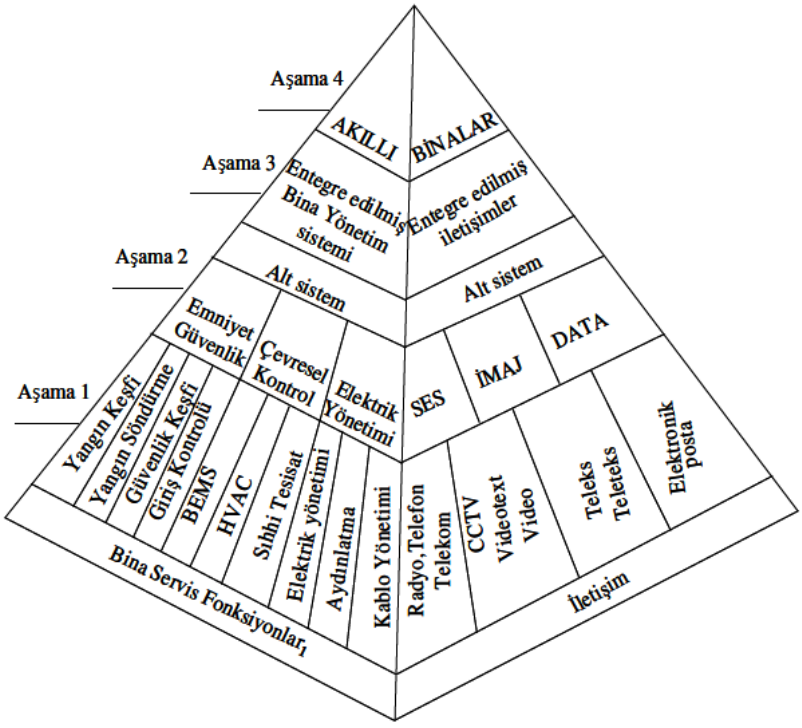
- Tuvaletlerde ve lavabolarda sensör uygulaması,
- Bilgisayar destekli bina yönetimi.

Bina sakinlerinin en çok tercih ettikleri özellikler [14]:

- Binanın internet erişimi,
- İklimlendirme sistemi,
- Yüksek hızda internet ağı,
- LAN ve WAN haberleşme,
- Fiber optik kapasitedir.

2.4 Akıllı Binalarda Alt Sistemlerin Entegrasyonu

Gelişen teknolojilerle birlikte bilgisayar tabanlı sistemler, AB'lerin temelini oluşturan sistemlerin entegrasyon seviyesini artırarak binanın enerjiyi etkin ve verimli kullanması için birbirleri ile etkileşim halinde çalışmasını zorunlu kılmaktadır. AB'lerdeki alt sistemlerin entegrasyonu bir bütün olarak düşünülmeli sadece binada bulunan elektro-mekanik sistemler değil, binanın yapı bileşenlerinden oluşan pasif sistemlerin ve ek servislerden oluşan aktif sistemlerin birbirlerini tamamlamaları gerekmektedir. Şekil 2.5'te AB'lerdeki aktif alt sistemlerin entegrasyon seviyelerinin aşamalarının gelişimi gösterilmektedir.



Şekil 2.5 AB sistemleri piramidi [16]

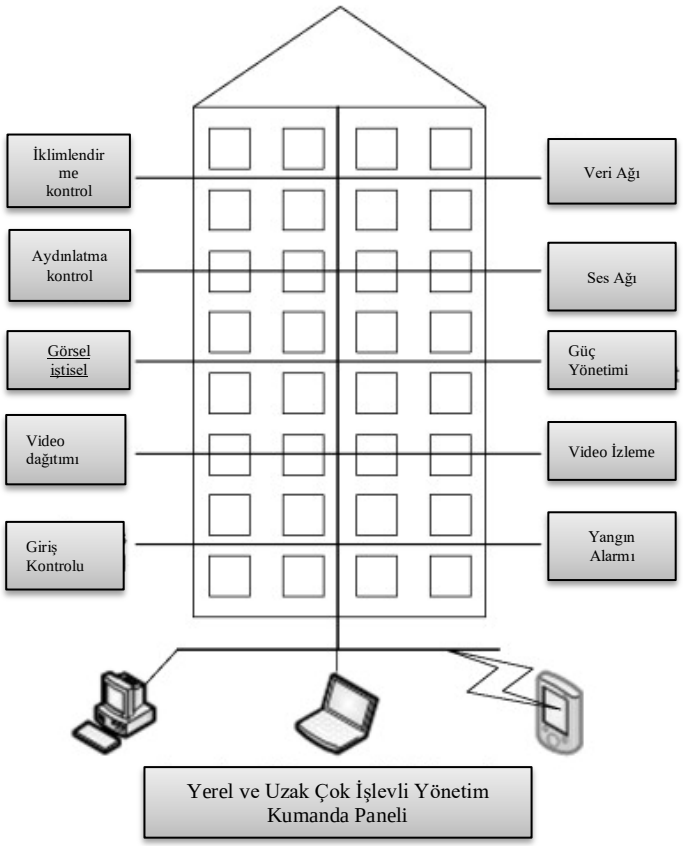
AB'lerde sistemlerin entegrasyonu tek merkezli sistem bütünlüğüne, birbirinden farklı cihaz

ve sistemlerin birbirleriyle iletişim kurmasına veri alışverişi yapmasına olanak sağlamaktadır. Binanın yapısında bulunan tüm bileşenlerin geçmiş ve gerçek zamanlı verilerine sahip tek bir sistem, binalarda enerji verimliliği ve optimizasyonu, dönemsel bakımlarda ve arızalar olmadan müdahale edilerek önlem alınması gibi hususlarda mükemmel bir imkan sunmaktadır [14]. Entegrasyonun diğer avantajlarından biri de sistemler arası karmaşık otomatik senaryoların kolay bir şekilde uygulanabilmesidir. Örneğin entegrasyon sağlanmayan binalarda Yangın Alarm Sistemi'nden (YAS) gelen alarm ile havalandırmada kolay komutlar gerçekleştirilebilirken, entegrasyon sağlanan binalarda ise yangınla ilgili olarak LCD duyuru panolarında kaçış yollarının yayınlaması, tanımlanmış aydınlatma senaryosuna geçmesi, otellerde oda dahilinde TV'lerde yangınla ilgili duyuru yapılabilmesi, kartla girişli kapıların çıkışların kartlı geçişin deaktif edilmesi, asansörlerin otomatik olarak zemin kata çağrılması deprem gibi doğal afetlerde bulunduğu en yakın katda kapılarının açılması gibi işlemler aynı zamanda gerçekleştirilebilmektedir [23].

Travi (2001) dört aşamada entegre sistem kategorilerini aşağıdaki gibi belirtmiştir.

- Sistem yönetim alanı: enerji (iklimlendirme sistemi, aydınlatma, enerji yönetimi); teknik sistem (dikey ulaşım, kamu hizmetleri)
- Kontrol ve güvenlik alanı: güvenlik (erişim kontrolü, varlık dedektörleri, izinsiz giriş, hırsızlık önleyici, video gözetim (VG)); güvenlik (yangından korunma, gaz ve su tespiti, elektrik güvenliği, deprem tespiti, tahliye yönetimi)
- Bilgi alanı: ofis otomasyonu (kelime işlem, elektronik dosyalama, e-posta, masaüstü yayıncılık; belirli hizmetler (CAD/CAM (Bilgisayar Destekli Tasarım / Bilgisayar Destekli Üretim), yönetim, kayıtlar); elektronik veri işleme (ağ bağlantısı, yedekleme ve arşivler)
- İletişim Alanı: ses-fonik (kelime işlem, telefonlar, telekomünikasyon, teleks, faks, veri tabanı erişimi, mesaj gönderimi, internet); görüntüler (giriş görüntülü telefon, yavaş tarama video, video konferans, kapalı devre video kontrolü)

Travi kullanıcıların ihtiyaçlarına ve iş gereksinimlerine göre tüm entegre sistemler arasında bağlantının kurulması için insan beyni gibi hareket eden merkezi kontrol bilgisayarının önemini de vurgulamıştır [21]. Bina sistemlerinin bilgisayarla entegrasyonu Şekil 2.6'da gösterilmektedir.



Şekil 2.6 Bilgisayarla entegre bina sistemleri [15]

2.5 Akıllı Binalar ve Enerji Verimliliği

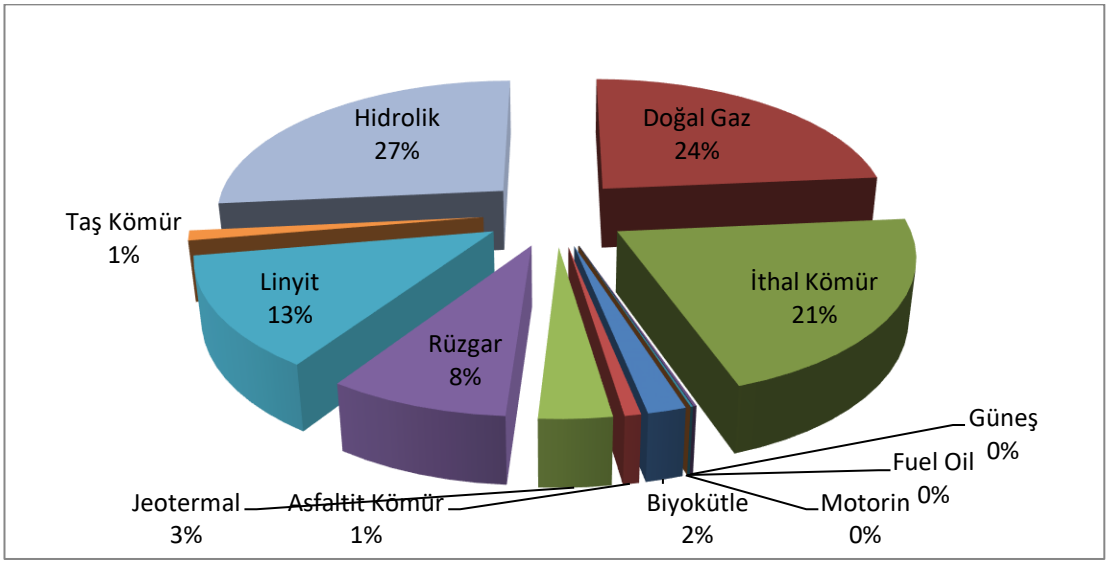
Hayatımızın en önemli bir parçası ve fizikteki tanımlanması en zor olan enerji, en basit "maddede bulunan ısı ve ışık şeklinde ortaya çıkan güç" olarak tanımlanabilir. Enerji kaynakları doğada var olmasına göre birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak 2 gruba ayrılır. Herhangi bir işlemden geçmeyen, bir enerji dönüşümüne uğramayan enerji kaynaklarına birincil enerji kaynağı, birincil enerjinin belirli bir işlemlerden geçerek, enerji dönüşümüne uğramış ve çevrilmiş enerji kaynaklarına ise ikincil enerji kaynakları denir [24].

- Birincil enerji kaynakları: fosil yakıtlar: kömür, petrol, doğalgaz; nükleer enerji ve YEK: biyokütle: hidrolik, güneş, rüzgar ve dalga,
- İkincil enerji kaynakları: Elektrik, benzin, mazot, hava gazı, motorin ve sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG).

Toplam ve kişi başına tüketilen enerji miktarı ülkelerin gelişmişlik seviyesinin göstergesidir. Dünyadaki nüfus artışı, sanayileşme ve teknolojik gelişmelerin hızla ilerlemesi enerji tüketiminin artmasına neden olmaktadır. Dünya nüfusunun artması ile insanların enerji

ihtiyaçları her yıl yaklaşık olarak %4-5 aralığında artış göstermektedir [12]. Buna karşılık olarak dünyanın fosil kaynakları, son yirmi yılda enerji kaynaklarının aşırı kullanımı nedeniyle tükenmenin eşiğine gelmektedir.

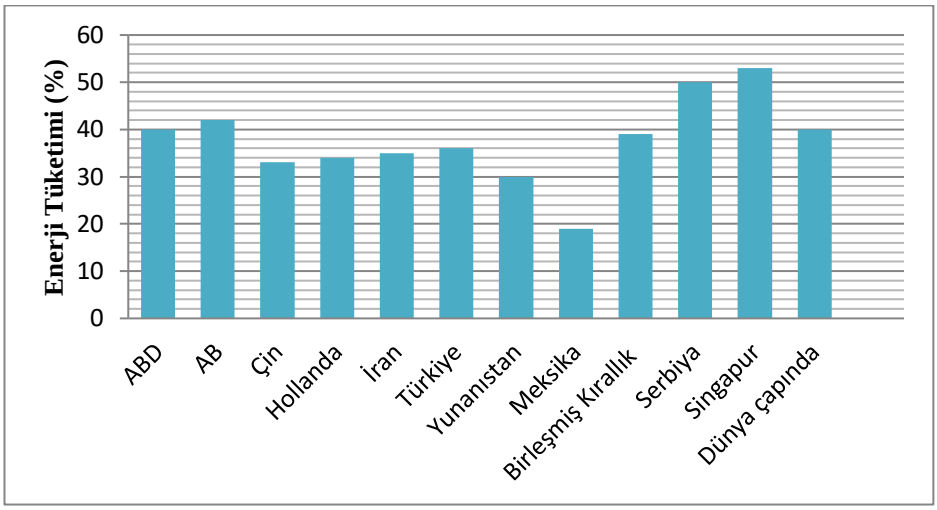
Türkiye'de 2019 yılında lisanslı elektrik enerjisi üretiminde kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı doğal gaz yakıtlı santrallerin payı %19, 21 iken 2020 yılında %23,56'ya, ithal kömür santrallerin %20,52 iken %21,24'e, rüzgar santrallerin payı %7,35 iken %8,35'e, jeotermal santrallerin payı %3,03 iken %3,38'e yükselmiştir. Öte yandan, hidroelektrik santrallerin payı 2019 yılında %30,20 iken %26,55'e, yerli kömür (linyit, taş kömürü ve asfaltit) santrallerinin payı %17,92'den %14,89'a azalmıştır [25]. Elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı ve kurulu kapasite Şekil 2.7'de gösterilmektedir.



Şekil 2.7 Türkiye'nin 2020 yılı lisanslı elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı (%) [25]

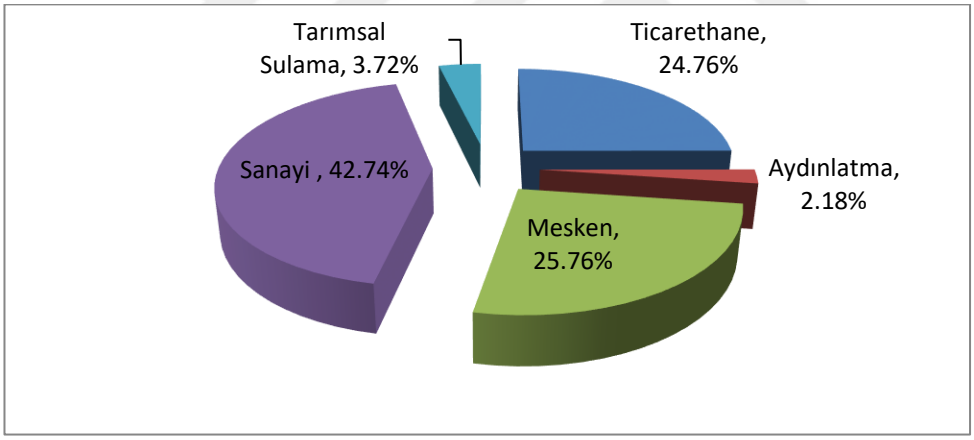
Araştırmacılar, politikacılar ve bilim insanları arasında değişen iklim koşulları (yani küresel ısınma, ozon tabakasının tükenmesi, vb.), enerji güvenliği ve olumsuz çevresel etkiler konusundaki endişeler artmıştır. Özellikle küresel iklim değişikliği çevre sorunları ile ilgili olarak Avrupa Birliği 1 Ocak 2005 tarihinde üye devletleri arasında CO_2 emisyon seviyelerini azaltmak için Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemini başlatmıştır [26]. En önemli konulardan biri olan enerji verimliliği, dünyanın karşı karşıya olduğu ekonomik, gelişimsel ve çevresel sorunların sonucu olarak bir alternatif olmak yerine bir zorunluluk haline gelmiştir. Dünya genelinde binalar, enerji tüketiminin yaklaşık %40'ını ve küresel karbon emisyonunun %30'nu oluşturmaktadır [3, 5]. Bu nedenle binalarda enerji verimliliğinin sağlanması önemli konulardan biridir [21]. Özellikle ABD'de, her yıl toplam enerji tüketiminin yaklaşık %40'ı ve elektrik tüketiminin %70'i binalara harcanmaktadır

[27]. Şekil 2.8'de bazı ülkelerde binaların enerji tüketim oranları gösterilmektedir.



Şekil 2.8 Ülkelerin bina enerji tüketimi [5]

Türikeye'de ise 2018 yılının başlarında Elektrik Piyasası Sektör raporuna göre elektrik enerjisi tüketiminin yaklaşık %30'u konut ve aydınlatma amaçlı gerçekleşmiştir [28]. 2020 yılıda faturalanan elektrik tüketiminin tüketici türü bazında dağılımı Şekil 2.9'da gösterilmektedir.



Şekil 2.9 2020 yılında faturalanan elektrik tüketiminin tüketici türüne göre dağılımı (%) [25]

California Ticari Son Kullanım Anketi sonuçlarına göre ise, ticari binalardaki enerji kullanımının %85'e kadarı ısıtma ve soğutma, havalandırma, aydınlatma ve ofis ekipmanları tarafından tüketildiği belirtilmektedir [29]. Tablo 2.1'de bazı ülkelerde ve dünyada tasarruf potansiyeli ile enerji tüketimi ve sera gazı emisyonları oluşturma oranları verilmektedir. Tablodan ABD'nin karbon emisyonunun yaklaşık olarak %40-48 ile en büyük oranı oluşturduğu görülmektedir [5]. Binalardaki akıllı otomasyonla Tablo 2.1'deki gibi yaklaşık %30'luk potansiyel tasarruf sağlanabilmektedir. Başka bir çalışmada yalnızca düşük maliyetli bina yönetimi stratejileri uygulanarak, modern iklimlendirme sistemleri

sistemlerinin enerji verimliliğinin %5'ten daha fazla artırılabileceğini ortaya konmuştur. Ayrıca, iklimlendirme sistemlerinin enerji verimliliğinin yakından izleme ve gelişmiş kontrolü ile %40'a kadar iyileştirilebileceği belirtilmiştir [27].

Tablo 2.1 Ülkelerde ve dünyada tasarruf potansiyeli ile enerji tüketimi ve sera gazı emisyon oranları [5].

Ülke	Bina enerji tüketimi (%)	CO_2 emisyonları (%)	Potansiyel tasarruf (%)
Amerika Birliği Devletleri	40	40-48	20
Avrupa Birliği	40-42	35-40	27-30
Çin	33	-	-
Hollanda	34	-	-
İran	35	-	-
Türkiye	36	32	30
Yunanistan	30	40	-
Meksika	19	-	-
Birleşik Krallık	39	-	-
Sırbistan	50	-	20
Singapur	53.2	21.4	-
Batı ülkeleri	40	-	-
Dünya çapında	40	30	5.30

Ülkemizde 5 Aralık 2009 yılında binalarda enerji verimliliğini artırma ve fosil yakıtların kullanımının azaltılmasına ilişkin olarak "Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği" yürürlüğe girmiştir. Yönetmeliğinin en önemli amaçları [30]:

- Verimlilik tedbirleri ile enerji tüketimini düşürmek,
- Karbon ayak izini azaltmak,
- Çevre ve ekolojik koşulları muhafaza etmek,
- Enerji stratejisi ve politikasını izleyerek enerji tüketimi ile enerjinin maliyet üzerindeki oranını düşürmek,
- Enerji Kimlik Belgesi hazırlayarak binalarda enerji tasarrufunu yönlendirmek ve insan üzerinde enerji kültürü oluşturmak.

Enerji Performans Yönetmeliğinde binaların enerji kimlik belgesinin olması ve 2000 m^2'den büyük konut dışı binalarda merkezi soğutma sisteminin, 1000 m^2'den daha büyük binalarda ise merkezi ısıtma sisteminin kurulması en önemli maddelerinden biridir. Bu kapsamda binaların fosil yakıtları kullanmalarına göre A, B, C, D, E, F ve G olarak sınıflandırılmaktadır. En az fosil yakıt tüketen ve en az sera gazı salan bina A sınıfı olarak sertifikatlandırılmaktadır. Yönetmenlikte daha sonra enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik YEK kullanımının incelenmesi, güneş ışığından yararlanma ve bina otomasyon sistemlerinin kurulması gibi konular yer almaktadır.

Enerji verimliliği konusunda AB'ler iyi bir seçenek olarak ortaya çıkmıştır. AB'ler binadaki değişikliklere minimum maliyetle uyum sağlayabilecek şekilde tasarlanırken, enerjiyi etkin kullanan ve aynı zamanda gerektiği miktarda YEK'leri kullanıp fosil enerji kaynaklarının kullanımının azaltmasına olanak tanıyan en önemli yapı birimleridir [31]. AB'lerin enerji tasarrufları verimliliğin artmasına ve sürdürülebilirliğe kadar uzanmaktadır. Örneğin, AB'ler BOS, klima sistemini binadaki belirli bir bölge için ne zaman aktif hale gelmesi gerektiğini öğrenmekte, optimum start/stop kullanmakta ve gereksiz enerji kullanımı önlemektedir [32].

AB'lerde kullanılan sistemlerden enerji verimliliği kapsamında aktif ve pasif sistemler ehemmiyet kazanmaktadır. Pasif sistemler elektrik ve mekanik sistemler kullanmadan yapı ve bileşenlerinden oluşan sistem, aktif sistemler ise ek servislerden oluşmaktadır. AB'lerde aktif sistemler, pasif sistemler yeterli olmadıkları zamanlarda yardımcı olmaları için tasarlanmaktadır. Pasif sistemler hava koşullarına bağlı olarak oda sıcaklığını akıllıca ayarlayan sıcaklık açısından binada en uygun şartları sağlama özelliğine sahiptir. Dayanıklı ve bakımları kolay pasif sistemler ayrıca YEK'lerden yeterince yararlanmakta olup, binanın enerji verimliliği açısından çok önemlidir [14]. Aktif sistemler, minimum enerji kullanarak konforlu bir ortam sağlamak için iç ve dış ortamlara göre kendi kendini ayarlayan mekanik elemanlar ve akıllı teknolojilerdir. Dış faktörlere karşı duyarlı aktif sistemler ise pasif sistemlerden farklı olarak dönemsel bakıma ihtiyaç duyar ve işlemleri enerji sarf ederek gerçekleştirirler. Her iki çeşidin de bina sisteminin enerji performansı üzerinde büyük etkisi vardır [14, 21].

2.6 Akıllı Bina Sistemleri

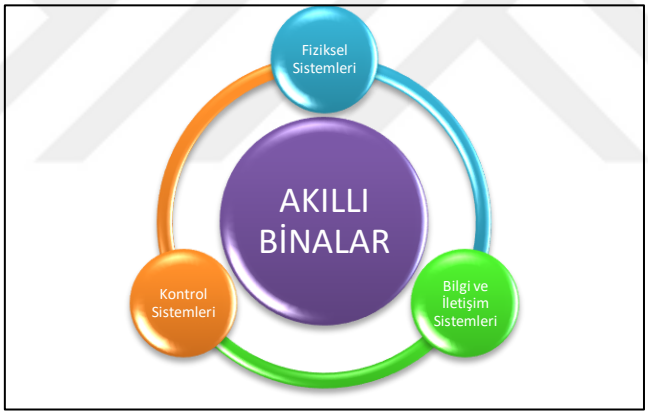
Tasarımcılar, mimarlar, mühendisler AB kullanıcıların yaşam ve çalışma koşullarının iyileştirilmesi için daha verimli ve uygun çerçevelerin oluşturulması üzerine çalışmaktadırlar. Binalarda 4 temel özellik olan görsel konforun, termal sıcaklığın, nem ve iç

hava kalitesinin en üst seviyede olması gerekmektedir. AB'lerde bulunan teknik-teknolojik sistemler bina sahiplerinin yaşam koşullarına, konfor ve ihtiyaç gereksinimlerine, hava şartlarına, bina kalite ve gereksinimlerine göre değişiklik göstermektedir. Örnek olarak, hastanelerin elektrik enerjisinin kesintisiz ve güvenli bir şekilde temin edilmesi için haberleşme sistemlerinin üst seviyede olması ve ısıtma-soğutma, aydınlatma gibi sistemlerin çok iyi şekilde çalışması gerekmektedir. Ofis binalarında ise büyük ve küçüklüğüne göre ısıtma ve soğutma cihazları değişebilmektedir. Küçük ofislerde pencere tipi split klimalar kullanılabilirken, büyük ofislerde aydınlatma, ısıtma, soğutma, havalandırma sistemi merkezileştirilmiş tek noktadan kontrol edilen bilgisayar kontrollü olması gerekmektedir.

Tipik bir AB genel olarak 3 sisteme ayrılabilir [33]:

- Fiziksel
- Bilgi ve İletişim Teknolojileri (BİT)
- Bina Kontrolü

Bu geniş sistemlerin entegrasyonu Şekil 2.10'da gösterildiği gibi akıllı bir binayı oluşturmaktadır.



Şekil 2.10 AB sistemleri [33]

2.6.1 Fiziksel sistemler

Fiziksel altyapı bir binanın akıllı olup olmadığından bağımsız olarak var olacak sistemlerdir.

- İklimlendirme Sistemleri;
- Aydınlatma Sistemleri;
- Asansör Sistemleri;
- Su ve Tesisatı;
- Elektriksel Güç Sistemleri;
- Yangın Alarmı ve GS'leri;
- Dış ve İç Dekorasyon [33].

2.6.2 Bilgi ve iletişim teknoloji sistemleri

AB'nin en önemli yönlerinden biri, farklı alt sistemlerin birbirleriyle iletişim kurma yeteneklerine sahip olmasıdır. Bu iletişim BİT altyapısı üzerinden gerçekleştirilmektedir [33]. BİT bilginin toplanmasında, işlenmesinde, depolanmasında kablolu ve kablosuz ağ yardımı ile bir yerden başka bir yere ve kullanıcılara iletilmesinde kullanılan bilgisayarda dahil tüm teknolojiler olarak tanımlanabilmektedir [34]. Veri/BİT altyapısının bir parçası olan tipik teknolojiler aşağıdakilerdir.

- LAN altyapısı;
- Çekirdek Yönlendirmeli Anahtarlama (Core Routing Switching);
- Erişim Anahtarlama (Access Switching);
- Kablosuz Ağ İletişimi;
- Güvenlik Duvarları ve Ağ Yönlendiricileri (Firewalls and Network Routers).

BİT altyapısı farklı sistemlerin birbiriyle iletişime geçmelerini sağlamak ve yazılım tabanlı akıllı sonuçlar elde edilmesi için çok önemlidir. BİT altyapısı sadece ses, video, kablosuz veri, veri güvenliği vb. BİT ile ilgili sistemlerin kurumsal yazılım uygulamaları için değil, farklı kontrol sistemlerinin de birbiriyle iletişim kurabilmesinin temeli oluşturur [33]. Bu nedenle, birçok AB, erişim kontrolü, video izleme, bina otomasyonu ve binadaki diğer fonksiyonlar gibi farklı sistemler arasında BİT altyapısının kullanımını optimize etmeye çalışmaktadır.

AB'nin yalnızca güvenli, birleştirilmiş bir veri ağına değil, aynı zamanda aşağıdaki özelliklere sahip olması gerekmektedir:

- Ses entegre, video ve veri,
- Veri güvenliği önlemleri: şifreleme, giriş ve izinsiz giriş tespiti;
- Hizmetin veri kalitesi,
- Kesintisiz güç kaynağı da dahil olmak üzere yedeklilik (arıza durumları için yedeklilik),
- Bant genişliği yönetimi,
- BİT cihaz yönetimi [33].

2.6.3 Bina kontrol sistemleri

Binalarda otomatik kontrol sistemleri 1970'lerde yaşanan enerji krizinden sonra ivme kazanmış ve günümüzde enerji tasarrufu, konfor ve görsellik açısından uygun bir ortam sağlamasından dolayı birçok ofis ve binada kullanılmaktadır. Kontrol sistemleri, özellikle

büyük binalarda kullanılmakta olup, karmaşık ve büyük enerji tüketimine sebep olan iklimlendirme, yangın alarmı, güvenlik gibi sistemlerini verimli ve iyi bir şekilde çalışmasını tek bir noktadan yönetmektedir. AB sistemlerinden biri olan bina kontrol sistemleri akıllı donanım sistemleri olarak da adlandırılmaktadır [18].

AB'de bulunan kontrol sistemleri:

- BOS,
- İklimlendirme Kontrol Sistemleri,
- Akıllı Aydınlatma Kontrol Sistemi,
- Yangın ve Can Güvenliği Kontrol Sistemleri,
- Giriş Kontrolü,
- VG Sistemleri,
- Otopark Rehberliği Yönetim Sistemleri,
- Asansör Sistemleri,
- Entegre Bina Yönetim Sistemi (EBYS) [33].

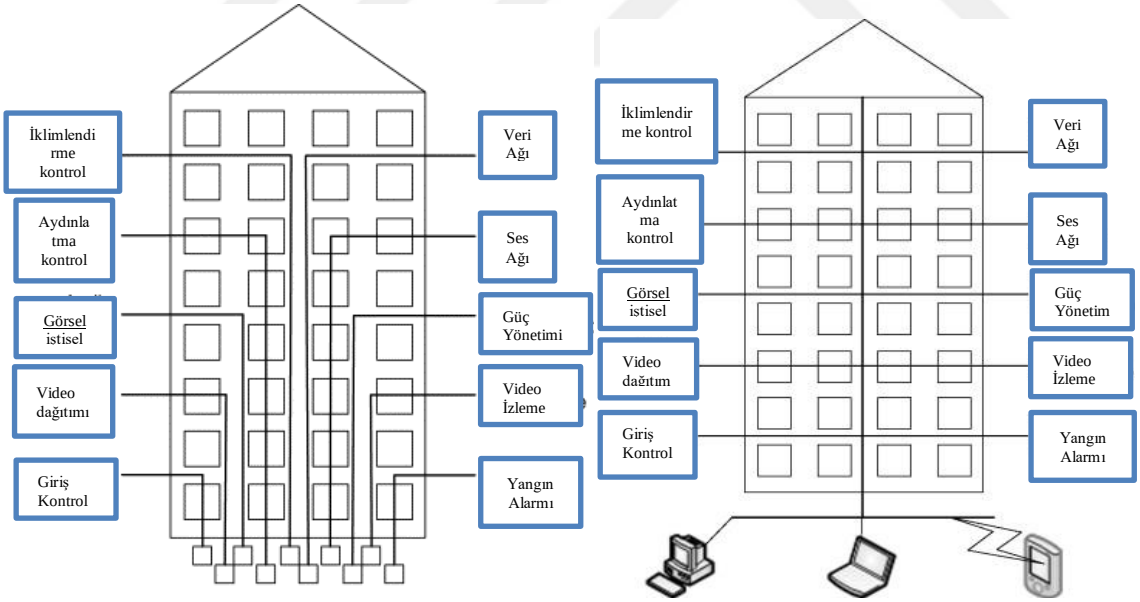
2.6.3.1 Bina otomasyon sistemleri (BOS)

BOS, binada bulunan bileşenleri daha iyi yönetmek ve enerji tüketimini optimize etmek için binadaki çeşitli sistemlere bağlı mikroişlemci tabanlı, kablolu veya kablosuz denetleyicilerden oluşan bir ağdır. BOS en büyük AB sistemlerinden biridir [21]. BOS binada otomatik kontrol ve izleme sağlayan merkez kontrollü sistem olarak da tanımlanabilir [35]. BOS binada bulunan cihazların çalışması ve ölçümü hakkındaki bilgiye erişmekte ve kullanıcıların cihazı kolay bir şekilde planlamasını ve kontrol etmesini daha ayrıntılı bir seviyede sağlamaktadır [21, 35].

BOS ilk olarak 1950'lerde ortaya çıkmış ve 1970'li yılların başlarında seri bilgi taşıma sistemleri ve elektronik ekipmanlar sayesinde ivme kazanmıştır. Bu da 2 telli haberleşme sistemi üzerinden binanın farklı noktalarına erişmesini sağlamıştır. Bu sistemlerde saha bilgi toplama panelinde ortamdaki sıcaklık, basınç, aydınlık gibi veriler toplanarak ana merkeze iletmekte ve ana merkez bu bilgilere dayanarak yorumlamakta, gerekeni yapmakta ve tekrar saha bilgi toplama paneline iletmektedir. 1970'lerden tibaren mini bilgisayarlar ana merkezde kullanılmaya başlanılmıştır. Merkezde bilgisayarların kullanılması merkezi izlemeye ve yazıcı gibi arabilimlerin bağlanabilmelesine olanak tanımıştır. Ancak bu sistemler yüksek eğitimli işletmeci ihtiyaçlarından ve maliyetin yüksek olmasından ötürü bir çok binada kullanılmamış sadece büyük ofis binalarında, askeri ve endüstriyel alanlarla

sınırlı kalmıştır [12, 14]. 1975'lerden itibaren kişisel bilgisayarların ortaya çıkması ile BOS sistemleri ilerleme kaydetmiş, tüm binalar için elverişli bir yatırım haline gelmiştir. 1980'lerden sonra bilgisayar teknolojilerinin gelişmesi ile saha bilgi toplama alanları akıllandırılmış ve ortamdaki sıcaklık ve basınç gibi bilgileri alıp, yorumlayıp ve karar vererek kontrol etmesi için merkeze iletir hale gelmiştir.

İlk defa olarak 1980'lerin başlarında mikroişlemci tabanlı doğrudan sayısal kontrollü sistemler kullanılmaya başlanmış ve bu teknolojilerin binalarda kullanım alanlarından en başarılısı ve öne çıkanı iklimlendirme sistemleri olmuştur. Bu kontrol sistemleri elektronik ve pnömatik kontrol sistemleriyle karşılaştırmada daha uyarlı kontrolü ve uygulama zamanı açısından sağladığı esneklik özellikleri ile kullanıcıların konforunu maksimum düzeyde tutarak enerji tüketimini ve maliyeti düşürmede etkili olması nedeniyle kullanımları yaygınlaşmıştır. Sonuç olarak iklimlendirme sistemi, aydınlatma, güvenlik, yangın algılama ve asansör gibi sistemlerin birbirleri ile iletişime geçmesini gerçekleştiren bu kontrol ağı "akıllı bina" terimini meydana getirmiştir. Böylece binadaki tüm uygulamalar hem birbirinden bağımsız yapılabilir olup hem de binadaki tüm bina ve alt sistemlerin tek noktadan kontrol ve izleme olanağı sağlanmıştır [12, 14, 21]. Şekil 2.11'de bireysel kontrol sistemleri ile BOS kıyaslaması bulunmaktadır.



Şekil 2.11 Bireysel kontroller ve BOS arasındaki fark [21]

Binalarda otomasyon sistemleri, kullanıcıların konforunu dikkate alarak olası bazı durumlarda uyumlu bir şekilde yorumlayarak gereken değişiklikleri daha aktif yerine getirmesi ve günümüzde sıkça yapılan işlemlerin otomatik yapılması gibi birçok avantaj sağlanmaktadır. Bir başka avantajı da binada bulunan mekanik ve elektrik sistemlerinin

sürekli olarak kontrol edilmesi ile bakım maliyetlerini azaltmak ile birlikte arıza durumlarının daha hızlı fark edilmesi, böylece bina sahiplerinin ve çalışanların konforuna etkisini minimum düzeye indirmesidir. Çalışanların verimliliklerini ve sağlığını iyileştirmek, insanları ve ekipmanları korumak, işletme maliyetlerini azaltmak, tesis ve hizmetlerin güvenilirliğini arttırmak, BOS'un sağladığı avantajlardan bazılarıdır. Şekil 2.11'de görüldüğü gibi tüm bu avantajlara sahip BOS çevrimiçi olarak mevcut olup, BOS entegrasyonuna ve bilgilere internet üzerinden erişilebilmekte, izlenebilmekte ve yönetilebilmektedir. İklimlendirme kontrolü, aydınlatma kontrolü, güç yönetimi ve ölçümü, işletme binasının enerji performansı açısından BOS'un önemli bileşenlerindendir. Ayrıca, iklimlendirme ve mekanın aydınlatılması, bina işletmeciliğinde en büyük harcamalardan birini oluşturmaktadır. Programlanmış start/stop düğmesi, görev döngüsü, ayar noktası sıfırlama ve ısıtma-soğutma sistemlerinin optimizasyonu gibi yeteneklere sahip BOS temel olarak enerji tüketimini ve ilgili maliyetleri mümkün olduğunca azaltmayı hedeflemektedir [12, 14, 21].

Programlamaya uygun bir BOS aşağıda gösterilmiş örneklerdeki kontrollerden tümünü, birçoğunu ya da bazılarını yerine getirebilir:

- Kullanıcı odanın sıcaklığını kendi gereksinimine göre ayarlayabilir, saati ayarlayarak sabah uyandığında otomatik olarak panjurları istediği düzeyde açabilir, çay ve kahve müzik ve haberleri arzu ettiği saatte hazırlanabilir,
- Telefon ve internete entegre olduğundan bina sahibi evde olmadığı zamanlarda sıcaklık durumunu kontrol edebilir ve değiştirebilir. Bu da kullanıcı dışarıda olduğunda gereksiz enerji tüketimini önler,
- Işık sensörleri odada güneş ışınları yeterli olmadığı durumlarda perdeyi kapatarak arzu edilen yapay aydınlatmanın açılmasını sağlar,
- Binada yangın gibi durumlarda alarm harekete geçerek, hareket sensörleriyle güvenlik ışıklarının yanmasını ve alarmın tetiklemesini gerçekleştirir,
- Bu sistemlerle uzun seyahat edildiği zamanlarda uzaktan panjurlar ve pencereler açılarak ev güneşlendirilir ya da havalandırılır, bahçe sulama işlemi aktif edilerek bahçenin sulanması gerçekleştirilebilir.

Kullanıcıların evde olmadıkları veya uyudukları zamanlarda birçok sistem aktif olur ve konutlar kontrol altına alınır. Örneğin eve hırsız girdiğinde alarm sistemleri çalışır, kameralar kayıt altına geçer, otomatik olarak emniyet güçlerine mesaj gönderilerek haber verilir. Evlerde yangın gibi olaylarda kullanıcı evde olduğu zamanlarda sesli uyarı verirken,

evde olmadığı durumlarda telefonla arayarak uyarır, itfaiyeye haber verir, havalandırma sistemini deaktif eder yangın alanından çıkışı kolaylaştırmak için ışıkları açar [14]. Şekil 2.12'de örnek AB otomasyon sistemi gösterilmektedir.



Şekil 2.12 AB otomasyonu [36]

Özetle AB'lerde bulunan direk kontrol edilen sistemlerden başka, diğer sistemlerin bina yönetim sistemlerine birleştirilerek tek bir protokol ile haberleşmesi halinde bütünlük temin edilerek büyük oranda enerji tasarrufunu, güvenliği ve konforu arttırarak maliyeti de azaltmaktadır.

2.6.3.2 İklimlendirme sistemleri

İklimlendirme sistemleri, iç iklim koşullarını kontrol ederek kullanıcının rahatını sağlamaktan sorumlu sistemlerdir. Binadaki sıcaklık, nem, hava akımı ve genel hava kalitesi iklimlendirme sistemleri tarafından sağlanmaktadır [21]. İklimlendirme ekipmanı bir binanın en karmaşık yönlerinden biridir, çünkü soğutma grupları, kazanlar, klima santralleri, fanlı ısıtıcı üniteleri, elektriksel ve mekanik sistemler gibi birçok bileşene sahiplerdir.

Günümüzde binalarda iklimlendirme sistemleri özellikle ticari binalarda tüketilen toplam enerjinin %50'ini oluşturmaktadır [37]. Genellikle iklimlendirme sistemleri binanın sıcaklığını ayarlamak için ortamın sıcaklık ve nem bilgilerini almaktadır. Bu enerji verimliliği açısından çok iyi bir çözüm olmayıp, evde biri olmadığında evin sıcaklığını 22 derecede tutarak gereksiz enerji tüketimine yol açmaktadır [38]. Sinapoli iklimlendirme sistemlerinin binadaki enerji tüketiminin önemli bir kısmından sorumlu olduğunu ve

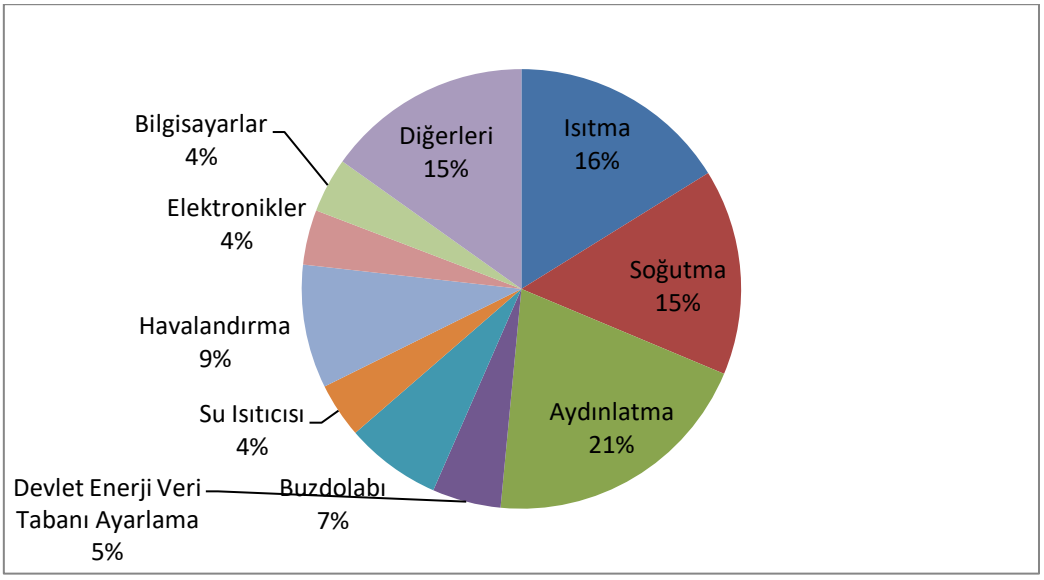
çalışmalarını optimize etmek için hava durumu, günün saati, çeşitli alan ve kullanım gibi farklı iç ve dış koşullara cevap vermesi gerektiğini belirtmektedir [21].

Binaların iklimlendirme sistemlerin de enerji tüketimini en aza indirmek, kullanıcıların konfor ve refahının sağlamak için BOS ile entegre edilmesi iyi bir çözüm olmuştur. Modern iklimlendirme sistemleri BOS'ye arayüz sağlamaktadır [33]. Bu tür sistemler ısıtma ve soğutma birimleri üzerinde kontrol sağlamakta, birçok parametreyi ölçmekte, analiz etmekte ve ardından uygun eylem veya kontrolü gerçekleştrimektedir. Örneğin odanın doluluk, sıcaklık, nem, hava kalitesi, havalandırma gibi iç ortam parametreleri, sıcaklık, güneş ışını ve diğer hava değişkenleri gibi dış ortam parametrelerine göre ayarlanabilmektedir. İklimlendirme sistemleri ayrıca planlı ve gerçek doluluk oranlarına bağlı olarak çeşitli programlara göre de uygulanabilmektelerdir. Bunlar enerji kullanımını en aza indirmek için iklimlendirme sisteminin çalışmalarını optimize etmektedir [15, 33].

2.6.3.3 Akıllı aydınlatma kontrol sistemleri

Aydınlatma, her bir bina için hem estetik ve pratik hem de kritik bir unsurdur. Binalarda kullanıcıların çalışabilmesi ve görevlerini etkin bir şekilde yerine getirebilmesi için görsel algılamaya uygun ve yeterli aydınlatma sağlanması gerekmektedir [33]. Akıllı aydınlatma ise insanların yaşam ve konfor kalitesini etkilemeden enerjiyi tasarruf etmekle birlikte ev güvenliğine de olumlu katkısı olan merkezi olarak izlenmesi ve kontrolü mümkün olan sistemler olarak tanımlanmaktadır. İstatistiklere göre dünyada toplam tüketilen elektrik enerjisinin %20'sini aydınlatma amaçlı kullanım oluşturmaktadır [33, 39]. Ofis ve iş merkezi gibi yerlerde bu oran %60'a kadar çıkmaktadır [39]. 1970'lerde yaşanan enerji krizinden sonra otomatik kontrol sistemlerinin gündeme gelmesiyle bu sistemlerin enerji tasarrufu ile birlikte konforlu bir ortam sağladığından dolayı özellikle ofis ve işyerlerinde sıkça kullanılmıştır.

Ofis ve iş merkezlerinde aydınlatma için tüketilen enerjiden %10 tasarruf edilmesi dünya genelinde tüketilen enerjinin %1,2 oranında tasarruf sağlanması anlamına gelmektedir. Akıllı aydınlatma sistemleri kurulumu maliyetli olsada geri dönüşü göze alındığında daha ekonomik ve karlı sistemlerdir [39]. ABD'de ticari binalardaki cihazların toplam enerji tüketim oranları Şekil 2.13'te gösterilmektedir.



Şekil 2.13 ABD'de ticari binaların toplam enerji tüketimi, 2012 [40]

Akıllı bir bina tipik olarak, kullanılabilir alanlarının tamamında bir aydınlatma yönetim sistemine sahiptir. AB'de aydınlatma elemanları, enerji açısından verimli olma (örneğin LED), kısma özelliği, ağa bağlanabilme ve hemen hemen her yerden kontrol edilebilme ve aynı zamanda yerel, bölgesel geniş bir zamanlama ve gerek duyulmadığı zamanlarda dimlenebilme gibi özelliklere sahiptir. Yapay aydınlatmayı en aza indirgemek için güneş ışığının kullanımını en üst düzeye çıkaran gündüz hasatları da önemlidir. Bu genellikle manuel veya otomatik, aydınlatma bölgelerinde foto sensörleri ve çatı katındaki güneş yoğunluk sensörleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Son olarak, akıllı bir bina diğer sistemleri kontrol etmeye yardımcı olmak için aydınlatma sisteminden gelen bilgileri de kullanabilmektedir. Örneğin, eğer bir bina zemini karanlıksa, ofiste hiç kimse olmadığını algılayabilmekte ve iklimlendirme sistemi de kapatılabilmektedir [33].

2.6.3.4 Yangın alarmı ve güvenlik sistemleri

Tamamı camla kaplanmış binaların özellikle yüksek gökdelenler olması dolayısıyla bu binalarda yaşayan ve çalışan insanların sayısının çok olması yangın ve güvenlik tedbirlerine daha çok dikkat edilmesini gerektirmektedir. Yangın GS'lerin ana amacı yangın anında bina sakinlerinin can güvenliğini sağlamak, yangının etrafa dağılmasını önlemek,tüm maddi kayıp ve zararları en az seviyede tutabilmektir [14].

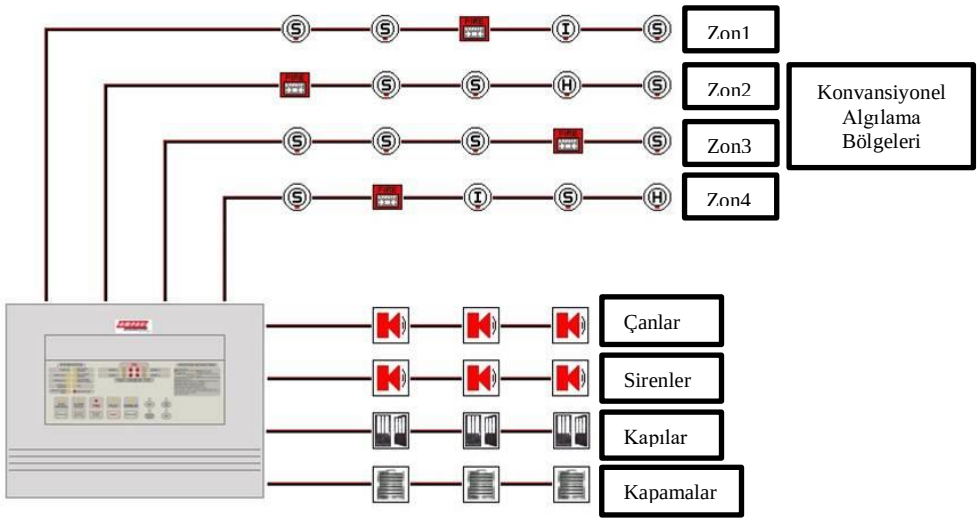
YAS yangın durumunda kısa sürede yangını algılayarak çeşitli önlemlerin erken alınmasını sağlayan sistemlerdir. YAS kontrol paneli, dedektörler, alarm butonları ve uyarı ekipmanlarından oluşmaktadır. Dedektör yangın anında binadaki duman, sıcaklık, alev ve gaz gibi oluşacak öğeleri otomatik bir şekilde algılayıp değerlendirerek panele bildirmektedir

[14]. Alarm butonları ise yangının insanlar tarafından manuel olarak haber verilmesini gerçekleştirmektedir. Son olarak kontrol panelleri yangın alanından gelen bilgiler ve alarmları değerlendirerek kullanıcıya bildirmektedir [41]. YAS çeşitleri:

- Konvansiyonel Yangın Alarm Sistemleri (KYAS)
- Analog Adresli Alarm Sistemleri (AAAS) [41, 42]

A. Konvansiyonel yangın alarm sistemleri

KYAS'ler zon adı verilen yangının bölgesel tespit edilmesi için çalışan sistemlerdir. Bu sistemler zonlara bağlanmış yangın algılama dedektörlerinin sinyalleriyle yangını tespit etmekte ve gerekli uyarıyı vermektedir. KYAS'ler daha basit yapıları ve ekonomik olmalarından dolayı daha küçük ve yangın olasılığı daha düşük binalarda kullanılır. KYAS'lerin dezavantajı ise sıcaklık ve hava değişikliklerinden etkilenerek yanlış alarmlar vermesidir [42]. KYAS'in bağlantı örneği Şekil 2.14'te gösterilmektedir.



Şekil 2.14 KYAS Bağlantı Örneği **[43]**

KYAS sistem içerisinde aşağıdaki ekipmanları kullanmaktadır.

- Duman algılayıcıları,
- Isı algılayıcıları,
- Işın tipi duman algılayıcıları,
- Yangın butonları,
- Yangın alarm sirenleri,
- Yangın flaşörleri [41].

B. Analog adresli alarm sistemleri

AAAS, konvansiyonel sistemlerden farklı olarak noktasal bir şekilde yangın algılama özelliğine sahip olduğundan genellikle çok katlı ve kompleks binalarda kullanılmaktadır [41, 42]. AAAS'i gelişmiş sistemler olup, sistemdeki her dedektör döngü hattına birleştirmektedir. Dedektörler sürekli olarak ısı ve duman değerlerini iletmekte, alarm durumunda panele iletilen değerler kontrol edilmekte, yangın alarmının doğru olup olmadığı belirlenmektedir [41]

AAAS içerisinde aşağıdaki ekipmanları kullanmaktadır.

- Duman algılayıcıları,
- Isı algılayıcıları,
- Işın tipi duman algılayıcıları,
- Çoklu sensörler,
- Yangın butonları,
- Yangın alarm sirenleri,
- Yangın flaşörleri [41].

Günümüzde manuel algılama hala yaygın olmasına rağmen binalar ısı (termal) dedektörleri, duman dedektörleri, alev dedektörleri, hatta kameralar gibi otomatik başlatma cihazlarına sahiplerdir. AAAS büyük sahalarda rahat bir şekilde kullanılabilmektedir. AAAS'ler yanlış alarm gibi durumlarda yangının gerçekten olup olmadığını tespit etmede daha yüksek seviyede kontrol yeteneğine sahiptir. Dedektörlerin gece yada gündüz vakitlerinde koruma hassasiyeti artırılabilmekte olup, zonun otomatik bir şekilde daha hassas veya tam tersi düşük hassasiyette ayarlanarak çalışması gerçekleştirilebilmektedir [14].

Binalarda bir yangını tespit etmek önemli olduğu kadar yangını söndürmek de çok önemlidir ve bu nedenle çoğu AB, otomatik bir yangın söndürme sistemine de sahip olması gerekmektedir [33]. AB'deki YAS'nin diğer özellikleri arasında aşağıdakiler de olabilmektedir:

- Adreslenebilir sensörler,
- Akıllı yangın söndürücü başlıklar,
- Flaş ışıklar ve genel seslendirme sistemleri ile entegre geri bildirim cihazları,
- Duman yönetimi, sınırlandırma ve önleme,
- 24 saat alarm izleme ve cevap kaydı,
- Diğer bina alt sistemleri ile entegrasyon,

- İklimlendirme sistemleri, damperler/fanlar aracılığıyla dumanın kısıtlanmasına izin verilmesi,
- Kapıların otomatik olarak açılması, açılmasını sağlayan erişim kontrolü ile entegrasyon [33].

2.6.3.5 Güvenlik ve geçiş kontrol sistemleri

GS adındanda belli olduğu gibi, öncelikle insanlar olmak üzere bütün canlıların can ve mal varlıklarının korunmasının sağlanması maksadıyla kurulan sistemlerdir [14]. Gün geçtikce gelişen koşullar ve artan değerler zarfında GS'lerin ehemmiyeti gittikçe artmaktadır. Wang (2010) GS'leri, insanların hayatını, mülkiyetini, malzemeleri ve binaları korumak amacıyla yangına, hasara, izinsiz girişlere, hırsızlığa, yasa dışı veya suç işlerine karşı direnen sistemler olarak yorumlamıştır [21].

GS'ler dört gruba ayırabilir:

- Giriş çıkış GS'i,
- Alarm sistemleri,
- Otopark sistemleri,
- Kapalı Devre Televizyon (Closed-Circuit Television (CCTV)) kamera sistemleri

GS örneklerinden güvenlik kameraları, yangın ve hırsız alarm sistemleri yoğun uygulanmaları ve gerekli olmalarından dolayı en önde gelen sistemlerdir. AB'lerde en önemli konulardan biri GS'lerin mevcut elektronik sistemler ile entegre olması ve sistemlerin tek bir noktadan kontrol edebilmesidir. Çok katlı AB'lerde genellikle Geçiş Kontrol Sistemleri (GKS), YAS, CCTV, metal kapı ve X-Ray cihazları, hırsız alarm sistemleri gibi GS'ler kullanılmaktadır [14].

Kişi ya da grupların belirli bir alana giriş çıkışlarını kontrol altına almak, takip etmek ve sınırlandırmak için uygulanan sistemlere GKS'ler denir [44]. Bu sistemler (Şekil 2.15, Şekil 2.16) büyük bir çoğunlukla geçiş kontrol yerlerinde turnikeler, kapılar, asansörler, otoparklar gibi girişin sınırlandırıldığı diğer noktalarda bulunmaktadır [33].



Şekil 2.15 Bina geçiş kontrol bileşenleri



Şekil 2.16 Bina giriş kamerası-diafon

2.6.3.6 Video gözetim sistemleri

Neredeyse tüm binalarda artık VG veya CCTV bulunmaktadır. VG ve CCTV sistemleri tipik olarak binanın güvenlik sisteminin bir parçasıdır [33]. Görüntülenmesi arzu edilen alanların, kameralar vasıtası ile bir ve daha çok noktadan takip edilebilmesiyle elde edilen görüntülerin belli bir noktaya iletildiği sistemlere CCTV sistemleri denir. CCTV'nin iki ana birimi kameralar ve monitörlerdir [14]. CCTV sistemlerindeki gelişmeler sonucunda VG şu anda var olan en iyi koruma vasıtası olarak göze çarpmaktadır. Pazardaki teknolojilere yönelik eğilimlerin yanı sıra, VG teknolojisi analogdan dijital teknolojiye geçmiştir. Daha sonra İnternet Protokol (İP) tabanlı sistemler yaygınlaşmış ve bu nedenle veriler standart bina BİT ağı üzerinden iletilmeye başlanmıştır [33, 45].

İP tabanlı video izlemenin mevcut BİT ağ altyapısını kullanması ile maliyetler düşmektedir. BİT altyapısı, gelişmiş ağ güvenliği, sistemlere uzaktan erişim, video iletimi için kablolu ve kablosuz teknolojilerin entegrasyonu, olayların ve alarmların uzaktan bildirimini gerçekleştirmektedir. Ayrıca, VG sistemlerinin geçiş kontrolü gibi diğer bina teknoloji sistemleri ile entegrasyonu sayesinde daha fazla işlevsellik sağlanmaktadır [33].

2.6.3.7 Otopark rehberliği yönetim sistemleri

AB'nin sadece kullanıcılar için kolaylık açısından değil aynı zamanda güvenlik ve ücret tahsilatı için de gelişmiş bir park kontrol mekanizmasına sahip olması gerekmektedir. Park rehberliği ve yönetim sistemleri, sürücülerin araçlarını hızlı, güvenli ve kolay bir şekilde park etmelerini sağlamaktadır. Aynı zamanda park yerlerini güvenli ve emniyetli bir şekilde tutmalarına yardımcı olacak bir yol sunmaktadır. İyi bir park yönetim sistemi diğer bina sistemlerine de bağlanmaktadır. Bu sistemler genellikle geçiş kontrolü ve VG sistemleridir [33].

AB'lerin otopark sistemine aşağıdakiler dahil edilmektedir [33].

1. Park yönetim sisteminin tüm bileşenlerini bağlamak için bir yazılım,
2. Otomatik geçiş kontrol sistemi–Otomatik kapılar, bariyer kontrolleri, bilet sistemleri,
3. Güvenlik–VG, araç taramasına (izlemesine) bağlı sistem, plaka tanıma sistemleri,
4. Otomatik ücret sistemleri,
5. Gerçek zamanlı araç sayma ve boş alanları her seviyede gösteren gerçek zamanlı park rehberliği.

2.6.3.8 Asansör sistemleri

Asansörler, merdivenler, yürüyen merdivenler, rampalar binalarda insanları ve yükleri taşımada kullanılan vasıtalar olup, dikey sirkülasyon sistemi meydana getirmekte ve bunlar çoğunlukla belirli yerlerde toplanarak binanın çekirdeğini oluşturmaktadırlar . Şehirlerdeki artan arsa fiyatlarından dolayı çok katlı binaların yapılmasıyla, bina sakinlerinin üst katlara ulaşabilmesi için asansör kullanımını kaçınılmaz kılmıştır [18]. İlk olarak 1875 yılında New York'da E.V.Haughwout & Company tarafından buhar gücüyle çalışan asansörler yapılmıştır [14, 18]. 1900'lü yıllara kadar genellikle hidrolik asansörler kullanılmış, 1890'lı yıllardan sonra elektrikli motorların yaygın duruma gelmesi ile elektrikli asansörlere geçiş gerçekleşmiştir. Günümüzde kullanılan asansörlerin hemen hemen tamamı elektrikli asansörlerdir [46].

20. y.y.'dan itibaren çok yüksek katlı iş merkezlerinin yaygınlaşması ile, burdaki insanların asansörlerden beklentileri artmış ve daha nitelikli hizmet vermesi, kısacası bekleme ve hizmet süresinin minimal olması gibi talepleri oluşmaya başlamıştır. Bu tür yüksek binalar için çok kabinli (altı, sekiz ve daha fazla) asansör sistemleri geliştirilmiştir. Geliştirilen sistemlerin verimli çalışması ve kontrol edilmesi için bilgisayar kontrollü algoritma yöntemi en uygunu olmuştur. Genel olarak asansörlerin kontrolü düşük ve yüksek seviye olmak üzere iki seviyeye ayrılabilmektedir. Düşük seviyeli kontrol, kendi kendine kabini yukarı-aşağı doğru hareket ettirmesi, kapıları açıp kapamayı ve durdurmayı kumanda etmesiyle alakalıdır. Yüksek seviyeli kontrol ise birden çok kabinli sistemlerde uyum elde etmek için kullanılmaktadır. Bunların tamamı "asansör kontrol algoritması" adlanmaktadır [18]. Son zamanlarda özellikle çok yüksek katlı binaların birden fazla kabinli asansörlerinin kontrolünde "mikro işlemcili grup izleme" ve "bilgisayar kontrollü sistemler" uygulanılmaktadır [18, 46]. AB'lerdeki asansör otomasyonu, çalışma zamanını ve nasıl çalışacağını elektronik kumanda yardımıyla belirleyen, tehlike zamanı nasıl hareket

edeceğini mevcut yazılımlarla gerçekleştiren, tüm güvenlik tedbirlerine sahip makina ve motorlara komut veren sistemlerdir [18].

2.6.3.9 Bina yönetim sistemi

Dünya Enerji Konseyi son zamanlarda yapılan çalışmalarda konut ve ofis binalarındaki elektrik enerjisi tüketiminin önemli bir bölümünün, elektrikli ve mekanik cihazların yanlış kullanımından kaynaklandığını vurgulamışlardır. Günümüzde enerji tasarrufu gerek konutlarda gerekse şirketlerde, kamu ve özel alanlarda zorunluluk haline gelmiştir. Bu gereksiz enerji tüketimin bilişim ve teknolojinin az kullanımıyla doğrudan bağlantılı olduğu belirtilmektedir. Yeni nesil AB'lerde araştırmacılar bu sorunu çözmek için algılanan konfor seviyesini korurken enerji atıklarını azaltabilen otomatik bilgisayar tabanlı merkezi EYS'lere yönelmişlerdir.

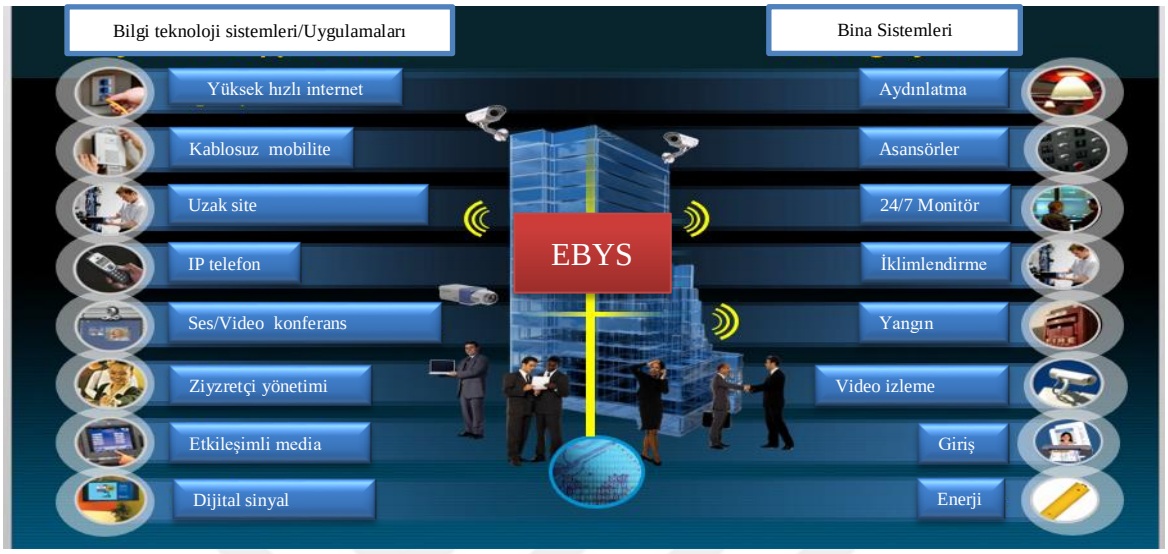
EBYS'ler, AB'nin merkezi olarak görev yapmaktadır. Bina EYS'i, elektrik sistemler, mekanik sistemler, asansörler, iklimlendirme, aydınlatma, güvenlik, izleme, erişim ve acil durum alarmları gibi bir binadaki tüm ayrı sistemlerin işlevlerini izleyen, kontrol eden ve kaydeden bilgisayar tabanlı merkezi sistemlerdir [33, 47]. Ana işlevi, işletme güvenliği, güvenirliği ve ekonomiyi sağlamak için binadaki enerji akışını farklı bilgi türleri aracılığıyla yönetip kontrol etmektir [4]. Böyle bir yönetim sistemi, bir binanın tüm gözlemlenen bölgelerini kapsar ve gerekirse, gerekli elektrik gücünü azaltarak, mümkün olan en yüksek genel rahatlığı sağlar [8].

Binalarda büyük bir yatırım yapmadan uygulanan etkili bir EYS ile %7-15 oranında bir enerji verimliliği elde edilebilir. Birçok özelliği dikkate alarak daha etkin EYS ile bu oran %30-%50'ye ulaşılabilir. Kanada'da EYS kullanılan bir tesiste ilk 18 ayda %10 4 yılın sonunda toplam %20 tasarruf elde etmişlerdir [48].

Bina EYS'nin sağladı diğer faydalar:

1. İç konfor koşullarının iyi kontrolü,
2. Bireysel oda kontrolü imkanı,
3. Artan personel verimliliği,
4. Geliştirilmiş tesis güvenilirliği ve ömrü,
5. İklimlendirme ile ilgili şikayetlere etkin cevap,
6. Bakım sırasında zamandan ve paradan tasarruf,
7. Enerji tüketiminin etkin şekilde izlenmesi ve hedeflenmesi,
8. Geliştirilmiş tesis güvenilirliği ve ömrüdür [49].

EBYS binanın iç ortamı kontrol etmenin yanı sıra, bazen erişim kontrolü binaya giriş ve çıkış izni veren turnike ve giriş kapıları, CCTV ve hareket dedektörleri gibi diğer GS'lerle bağlantılıdır [33]. EBYS'i binalarda Şekil 2.17'de gösterildiği gibi mevcut sistemleri kontrol ederek izlenmektedir.



Şekil 2.17 Entegre bina enerji yönetim sistemi [33]

EBYS'nin yapı taşları aşağıdakilerden oluşmaktadır.

- Sensörler: Sıcaklık, nem, aydınlatma seviyeleri ve oda doluluk gibi parametreleri ölçmek amacıyla kullanılır.
- Denetleyiciler: Sistemin tepki yanıtını geliştirir- yanıt, sensörler tarafından toplanan verilerden uygun optimizasyon algoritmaları kullanılarak sentezlenir.
- Çıktı cihazları: denetleyiciden alınan komutları uygular.
- Haberleşme medyası ve destekleyici protokoller.
- Veri analizi.
- Kontrol paneli: verileri görüntülemek ve kullanıcı sorularını veya komutlarını kabul etmek için kullanıcının grafiksel kullanıcı ara birimidir [47].

EYS'nin konuşlandırılması, 1970'lerde mikroişlemcinin kullanımından itibaren doğrudan dijital kontrol sistemlerin geliştirilmesiyle başlamıştır [50]. Honeywell, 1970'lerin sonunda mikroişlemci tabanlı ve enerji krizinin çözülmesine önemli katkı sağlayan bir güneş enerjisi yönetim sistemi geliştirmiştir. 1980'lerdeki teknolojik gelişmeler, özellikle kişisel bilgisayarların ortaya çıkması EYS'i daha da geliştirmiştir. General Electric, Hitachi, Siemens ve Toshiba gibi üreticilerden gelen EYS'nin ilk gelişmeleri, tescilli donanım ve işletim sistemlerine dayanmıştır. UNIX, LINUX ve Windows tabanlı yazılım sistemleri,

2000'li yılların başlarında EYS'nin çözümlerine birçok olanak eklemiştir. Gömülü sistemlerdeki son teknolojik gelişmeler de EYS işlevlerini daha da arttırmıştır. Katı hal teknolojilerinin çoğu, daha küçük ve verimli gömülü veya çip tabanlı sistemlere yol açmıştır [51].

Binalarda EYS'lerinin geliştirilmesinin, binanın genel enerji tüketimini en aza indirdiği, bunun da kullanıcılara teknoloji maliyetine rağmen bir avantaj sağladığı görülmektedir [50]. Özellikle son zamanlarda enerji verimliliği konusundaki farkındalığın sonucu olarak modelleme ve optimizasyon tekniklerine dayanan yenilikçi enerji yönetimi yaklaşımlarının uygulanması artan bir ilgi görmektedir. Binalar için bu hem sermaye hem de işletme maliyetlerini içerirken, karbon emisyonlarını azaltmayı, nükler santrallerin kullanımını azaltmayı ve genel enerji verimliliğini teşvik etmeyi amaçlamaktadır [52].

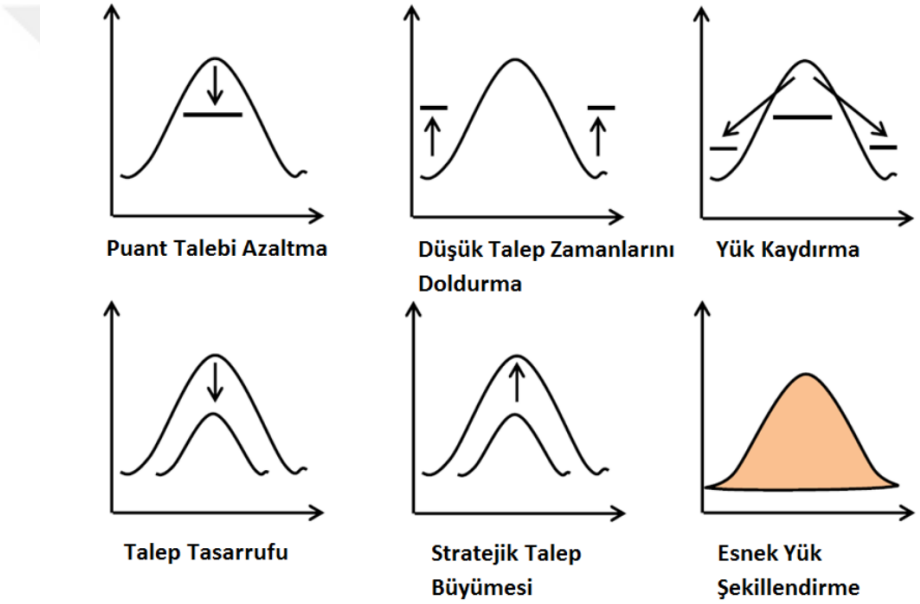
2.6.4 Talep tarafı yönetimi

Enerji üretimini, dağıtımını ve tüketimini optimize etme konusunda çok fazla deneyim olsa da akademi ve endüstri tarafından artan ilgi gören talep tarafı olmuştur. TTY, tüketim tarafında enerji sistemini iyileştirmeye yönelik bir tedbirler portföyüdür [53]. TTY, EYS'nin bir fonksiyonudur. TTY, şebekenin değişken çalışma koşullarına yanıt olarak enerji tüketimini kontrol etmek için elektrik hizmetleri kuruluşları tarafından uygulanan programları ifade etmektedir. TTY planını yürütmenin hedefleri, son kullanıcı işletme maliyetlerinin azaltılmasından, iletim ve dağıtım kayıplarının ve sera gazı ayak izinin azaltılması gibi ekolojik ve çevresel etkinin azaltılmasına kadar uzanmaktadır [52].

1970'lerden beri TTY'e odaklanılmış ve halen en son enerji şebekesi araştırmaları konusudur [54]. Birçok ülkenin hükümetleri talep yönetimi için çeşitli programların performansını zorunlu kılmıştır. Bunun ilk örneği ABD'de 1978 tarihli "Ulusal Enerji Koruma Politikası Yasası" olmuştur [55]. TTY, 1980'lerde Elektrik Enerjisi Araştırma Enstitüsü (EPRI) tarafından halka tanıtılmıştır [56]. Dahası, günümüzde geliştirilmekte olan mevcut standart teknolojilerin entegrasyonuna dayanan gelecekteki akıllı şebekenin önemli bir unsuru olarak kabul edilmektedir. Aynı zamanda enerji tasarrufu teknikleri ve paydaşların davranışları konusunda gerçek bir enerji tasarrufu potansiyeli oluşturan önemli bir alan akıllı ev enerji optimizasyonu ve verimliliğini sağlamak için cihazların modellenmesi ve kontrol edilmesi gereken konut sektörüdür [54]. İşlevselliği, elektrik tüketimini azaltmaya ve elektriği tüketiciler için daha verimli bir şekilde kullanmaya yardımcı olmaktadır. Genellikle TTY'nin amacı, tüketiciyi yoğun saatlerde daha az enerji

kullanmaya teşvik etmek veya enerji kullanım süresini gece ve hafta sonları gibi yoğun olmayan saatlere taşımaktır. TTY yük kaydırma uygulaması, yükün elektrik piyasalarının yoğun saatlerinden, yoğun olmayan saatlerine kaydırılarak kullanılmasını sağlamaktadır. Elektrik piyasasında, yoğun saatlerde elektrik kullanımı daha pahalı olduğundan TTY kullanımıyla, yoğun saatlerde elektrik kullanımından kaçınılabilmekte ve böylece maliyet tasarrufu sağlanabilmektedir. Kısacası, TTY tüketicilerin daha az harcama yapmasına ve elektriği daha verimli kullanmalarına yardımcı olmaktadır [57].

Temel olarak, TTY elektrik tüketicilerini, sürekli enerji tedariği için talebi azaltmak amacıyla elektrik kullanım modellerini değiştirmeleri konusunda eğitmeyi amaçlamaktadır. TTY'de özellikle puant talebi azaltma ve yük kaydırma başta olmak üzere Şekil 2.18'de gösterilen değişik stratejiler kullanılmaktadır [58].



Şekil 2.18 TTY stratejileri [58]

Talep Katılımı (TK), tüketicilerin enerji fiyat dalgalanmalarına, talep ücretlerine veya elektrik şebekesi kritik seviyelere ulaştığında talebi azaltmak için tüketimi azaltabilecek bir elektrik piyasası mekanizmasıdır. Kullanıcılara tüketimin yoğun olduğu zamanlarda, şebekeden gönderilen bir kontrol sinyaline yanıt vererek talep değişmesine olanak tanıyan programlara TK denir. Talebin %5 oranında azalmasının yoğun saatlerde %50 fiyat düşüşüyle sonuçlanacağı tahmin edilmektedir [48]. TTY'i TK ve enerji verimliliğini kapsayan kavramdır. Uygulanan önlemlerin zamanlamasına ve müşteri sürecine etkisine bağlı olarak, TTY aşağıdaki sınıflara ayrılabilir:

1. Enerji Verimliliği,

2. Kullanım Süresi,
3. TK,
4. Döner Rezerv [53].

TTY stratejilerinin adaptif planlama algoritmalarının çoğu, TK programlarını kullanarak yük profilini değiştirmekte ve talep modelini optimize etmektedir. Bu, elektrik tüketicisini fiyat tarifesine göre yükte değişiklik yapmaya teşvik etmektedir [59]. TTY ayrıca yoğun olmayan saatlerde enerjiyi depolamak ve yoğun saatlerde deşarj etmek için enerji depolama birimlerini kullanmaktadır. TTY için nispeten yeni uygulamalarda, şebeke operatörlerinin kesintili üretimi olan rüzgar ve güneş ünitelerinin, özellikle enerji talebinin zamanlaması ve büyüklüğü ile dengelemelerine yardımcı olmaktadır [60].

2.6.5 Kontrol yöntemleri

Literatürde enerji yönetim şemaları oluşturmak için çeşitli gelişmiş stratejiler bulunmaktadır. Genel bir uygulama, enerji sisteminin kısıtlamaları ve zaman içinde değişen perakende fiyatları dikkate alınarak enerji maliyetlerinin en aza indirilmesini amaçlamaktadır. Bina enerji yönetimi için stratejiler arasında optimizasyon yöntemleri ve Model Öngörülü Kontrol (MÖK), doğrusal programlama, Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama (KTSDP), Karışık Tam Sayılı Doğrusal Olmayan Programlama (KTSDOP), Çok Ajanlı Sistemler (ÇAS)), oyun teorisi, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) vb. kontrol yöntemleri yer almaktadır [61].

2.6.5.1 Konvansiyonel denetleyici sistemleri

Bina kontrol sistemleri, enerji verimliliği ve sürdürülebilirliği sağlamak için bina enerji yönetiminde temel unsurlardandır. Açma-kapama, oransal integral (PI) ve oransal integral türevsel (PID) gibi çeşitli standart kontrol şemaları binalarda yoğun olarak kullanılmıştır. Açma-kapama denetleyicileri öncelikle iç ortam sıcaklık düzenlemesi için kullanılmıştır. Fakat düşük performans göstermiş ve genel olarak optimal kontrol stratejisi olarak kabul edilmemiştir [5]. Bu tip denetleyicilerin ana dezavantajlarından biri, daha fazla enerji tüketimine yol açabilecek kontrollü sıcaklıkların aşırı artışının önlenememesidir. Bu sorunu çözmek için PID denetleyici kullanılmıştır [62].

PID denetleyici endüstriyel kontrol sistemlerinde ve sürekli modülasyonlu kontrol gerektiren çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılan geri bildirimi kullanan bir kontrol döngüsüdür. PID kontrol cihazının ayırt edici özelliği, kontrol ünitesi çıkışı üzerinde doğru

ve optimal kontrol uygulamak için orantı, integral ve türev etkilerinin kullanılmasıdır. Bir PID denetleyicisi sürekli olarak bir hata değeri hesaplar, referans noktası ile ölçülen değişken arasındaki farka orantı, integral ve türev terimlerini ifade eden bir düzeltme uygular. PID denetleyici ilk defa 1939'larda ortaya çıkmış ve günümüzde de yayın bir biçimde kullanılmaktadır [63, 64]. Fakat PI ve PID denetleyiciler kontrol edilecek sistem hakkında doğrudan bilgi sahibi değillerdir ve sabit parametrelere sahiplerdir. Yalnız kullanıldığında yüksek zaman gecikmeleri olan gürültülü ve doğrusal olmayan prosesler için düşük kontrol performansı sergilemektedirler. Birden fazla PID kontrol cihazının ardarda dizilmesiyle veya geri besleme ve ileri besleme kontrol cihazlarının bağlanması ile kontrol performansı artırılabilmektedir. Bununla birlikte, bu kontrol sistemlerinin kontrol şemaları iyileştirilmiş, ancak yanlış kazanç değerlerinin seçimi bütün sistemi dengesiz hale getirmiştir. Bu nedenle kontrol tasarımcıları ve mühendisleri optimum, öngörücü ve uyarlanabilir tekniklere yönelmişlerdir.

2.6.5.2 Model öngörülü kontrol sistemleri

Termal konforun sağlanması ve ayar noktalarının enerji tasarrufuyla sınırlandırılmasını sağlamak için 1980'lerde tahmini adaptif ve optimal denetleyiciler üzerine önemli araştırmalar yapılmıştır. O zamanlar çeşitli engeller ve uygulama zorlukları nedeniyle, bu programlarla devam eden endüstriyel bir gelişme olmamıştır [5]. Her bina yapısı, yapı malzemesi, konumu, kullanımı ve iklim koşulları ile ilgili belirsiz doğrusal olmayan termal davranışa sahiptir. Bu doğrusal olmayan dinamik sistemler, ölçülen sistem sinyallerini kullanarak belirsiz kontrol parametrelerini tahmin etmektedir. Kontrol sistemleri de belirsizlik ve kontrol parametrelerinin sürekli değişimlerinde devamlı olarak performans göstermeye çalışmaktadır. Birçok araştırmacı binanın özelliklerini ve çevresel durumunu öğrenebilen uyarlanabilir teknikler üzerine çalışmalar gerçekleştirmiştir.

Mbungu vd., Wu vd., Sharma vd., Mirakhorli ve Dong, Jin vd., yaptıkları çalışmada binanın özelliklerini ve çevresel durumunu öğrenebilen MÖK kullanmışlardır [50, 65-68]. MÖK'ün temel avantajı, gelecekteki zaman dilimlerini hesaba katarken mevcut zaman diliminin optimize edilmesine izin vermesidir. MÖK, güçlü etkileşimli döngülere sahip gecikmelerde ve çok değişkenli süreçleri ele almak için kısıtlamaları, ileri besleme ve geri bildirimleri kullanarak kontrol çözümleri sağlama yeteneğine sahip kontrol yöntemidir [5, 69]. MÖK sistemleri binalardaki termal kontrol için önemli olup, sıcaklık sınırlarını uygulamada komutların maksimum potansiyelini sağlamaktadır. Ayrıca doğrudan optimizasyon

sürecindeki dengesizlikleri de içererek iç mekan hava tahminlerine yardımcı olmaktadır. Kural tabanlı kontrol sistemlerinin aksine dinamik modelleme ve doluluk tahminleri hakkında bilgi içerdiğinden, daha fazla enerji tasarrufu sağlamaktadır. Bu tip denetleyicilerin popülerliği, özellikle 2000'li yıllarda çeşitli mühendislik alanlarında araştırmacılar ve endüstri arasında artmıştır [5]. MÖK yönteminin kullanımı ile birçok problem endüstriyel uygulamada başarıyla ele alınmıştır. Örneğin Sharma vd. özellikle fotovoltaik (PV) panellerinin ve enerji depolama sistemlerinin, dağıtık jeneratörlerin bulunduğu bir evin tüm bileşenlerinin modellenmesinde parametre ayarlarını, dış bilgileri ve kullanıcı tercihlerini kullanan merkezi kontrol sistemi entegre etmişlerdir. Talep ve hava tahminindeki belirsizliklerin varlığında gerçek zamanlı olarak en uygun çözümü elde etmek için ise MÖK uygulamışlardır. Merkezi bir EYS ile kullanıcıların enerji faturasında ve enerji tüketiminde bir günde sırasıyla %17 ve %8 oranında azalma olduğunu göstermişlerdir [66]. Bir başka çalışmada ise Mirakhorli ve Dong TK kapsamında PV üretimini, batarya depolama sistemini ve tüm cihazları dikkate alarak geçmiş kullanım bilgisine dayanan su ısıtıcısı kullanımında minimum enerji tüketimi sağlamak ve ev sahibinin giriş-çıkış saatlerini tahmin etmek için MÖK kullanılarak EYS geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri sistemde denetleyicinin TK yeteneklerini üç farklı elektrik fiyat listesinde: TOU (Time Of Use), saatlik ve gerçek zamanlı 5 dk fiyatlandırmasında test etmişlerdir. Mirakhorli ve Dong bir yıllık simülasyon sonuçlarında, konut binalarının geleneksel açma/kapama kontrollerine kıyasla TOU ile %26'ya, gerçek zamanlı fiyatta %42'ye ve saatlik fiyatlandırmada ise %17'ye kadar maliyet tasarrufu sağlamışlardır [67]. Mbungu vd. şebekeden güç tüketim maliyetini en aza indirmek için, güneş enerjisi üretimi ve enerji depolama sistemlerini yalıtılmış bir elektrik şebekesine entegre gerçek zamanlı bir elektrik fiyatlandırma ortamında, uyarlamalı bir TOU-MÖK yönetim sistemi tasarlamışlardır. Önerdikleri strateji ile düşük talep periyodunda toplam enerji talebinin %49,059'u, yüksek talep periyodunda ise %46,072'si olarak enerji maliyet optimizasyonu gerçekleştirmişlerdir. TOU-MÖK yönetim sistemi tasarımının verimliliği arttırdığını ve iyi bir performans gösterdiğini belirtmişlerdir [50]. Wu vd. ise güneş enerjisinden yeterince yararlanmak ve kullanıcılara talep ettikleri enerjiyi temin etmek için şebekeye bağlı bir PV batarya içeren hibrit sistem için optimum EYS önermişlerdir. PV çıkışında ve kullanıcı talebinde belirsizlikler olduğundan, hibrit sistemin ekonomik, sağlam ve güvenli bir şekilde çalışması için kapalı devre kontrolü olarak MÖK uygulamışlardır. Yaptıkları simülasyon çalışmasında kapalı döngü kontrolü ile açık döngü kontrolünü karşılaştırmışlar, MÖK'ün doğruluk ve sağlamlık açısından iyi bir kontrol performansı

gösterdiğini belirtmişlerdir [65]. Jin vd. ise kullanıcı tercihlerini göz önünde bulundurarak daha etkin yönetim ve TK hizmetleri sağlamak amacıyla bina yükleri, pil depolama ve PV ile entegre bir ev için EYS tasarlamışlar ve MÖK'ü konut aletlerinin planlamasında ve koordinasyonunda çok amaçlı problem olarak modellemişlerdir. Simülasyon çalışmalarını Kuzeybatı Pasifik'te bir konuttan toplanan veriler üzerinde yapılmışlar ve geliştirdikleri öngörü sistemi ile %7.6'ya kadar enerji tasarrufu sağlandığını belirtmişlerdir [68].

Sonuç olarak, MÖK henüz tamamen keşfedilmemiş olan optimizasyon alanı ile birlikte enerji ve maliyet fonksiyonlarında azalma potansiyeline sahiptir. Fakat MÖK teknolojisi, modelleme, veri toplama, profesyonel izleme ve dağıtım için büyük maliyetler içerdiğinden dolayı orta büyüklükteki binalar için kullanımı uygun değildir.

2.6.5.3 Ajan tabanlı kontrol sistemleri

ÇAS veya "kendi kendine organize sistem", etkileşimli çok sayıda akıllı ajandan oluşan sistemlerdir [70]. ÇAS, akıllı şebekeye uygulama potansiyelini gösteren hesaplamalı bir akıllı tekniktir. Ajan ortamdaki değişikliklere yanıt verebilecek bir yazılım veya donanım varlığıdır [71]. ÇAS'nin önemli özellikleri, üretim süreçleri çerçevesinde planlama, çizelgeleme, karar verme ve kontrol gibi sorunların çözümüdür. ÇAS'nin tercih edilmesinin en önemli avantajları [72]:

1. **Modülerlik:** ÇAS'de her ajan özerk bir modül olup, dış dünyanın müdahalesi olmadan çalışabilmektedir. Her ajan farklı yeteneklere veya işlevlere sahip olabilmekte ve iş birlikleri sayesinde çeşitli hedeflere ulaşabilmektedir.
2. **Paralelcilik:** ÇAS yaklaşımı paralel çalışmayı mümkün kılmaktadır. Karmaşık bir problemi, kabul edilebilir bir zamanda, örneğin farklı yerlere tahsis edilen çeşitli kaynaklardan bilgi toplayarak, birkaç ajanı kullanarak çözebilmektedir.
3. **Esneklik:** ÇAS ortamdaki her değişikliğe esnek bir şekilde tepki verebilmektedir. Ajanlar iş birliği yoluyla, kapasite veya bilgi eksikliğini telafi etmek için birbirlerine yardımcı olmaktadır. Bir ajan bunu yapamazsa, yeni ortaya çıkan bir durumu çözmek için bilgileri veya kendi kapasitesini paylaşabilmektedir. Bunun yanı sıra, her akıllı ajan, etkin performansı elde etmek için kiminle ve ne zaman iş birliği yapması gerektiği konusunda muhakeme yapabilmektedir [72].

Bu önemli özelliklere sahip ÇAS'lerin AB'lerin enerji yönetimi için uygulanması, tüketicilerin elektronik sayaçlarla ya da akıllı sayaçlarla kullanılan enerji miktarını kontrol etmelerini ve sorunlar olduğunda çözmelerini sağlamaktadır [71].

Bir ÇAS çerçeveli bina akıllı kontrolü, binanın doluluk eğilimleri ve enerji kaynağı koordinasyonunun yanı sıra gerçek zamanlı iç ortam koşullarına cevap verme yeteneğinin öğrenilmesini sağlayabilmektedir [5]. Anvari-Moghaddam vd. YEK'lerin yanı sıra kontrol edilebilir yüklere sahip evlerin, binaların ve mikro şebeke sisteminin izlenmesi ve optimum kontrolünün yapılması için ÇAS kullanmışlardır. Özellikle ajan bazlı depolama seçeneklerinin kontrolü yoluyla sistemin güvenli ve optimum çalışmasını garanti etmenin mümkün olduğunu belirtmişlerdir [73]. Li vd. ise TTY stratejisi ile entegre akıllı ev EYS'de maksimum enerji verimliliği ve minimum elektrik faturası elde etmek amacıyla enerji kaynakları ve cihazları ile iletişim kurma, etkileşimde bulunma ve pazarlık yapma olanağı sağlaması için ÇAS tekniği kullanmışlardır. Ek olarak TTY aracısında, günde saatlik güç talebi miktarını anlamak için algoritmalı bir simülasyon uygulamışlardır. Simülasyon sonuçlarında, TTY stratejisi ile geliştirilen çok etmenli sistemin, oluşturulan algoritmalara dayalı olarak analiz ve optimize edilmiş bir çözüm sunabildiğini, bu sistemle enerji verimliliğini ve enerji faturalarını optimum şekilde sağladığını kanıtlamışlardır [57]. Bir başka çalışmada bu araştırmacılar yüksek konfor seviyesine, enerji verimliliğine ve enerji tasarrufuna sahip bir akıllı ev modelinin enerji yönetiminde ÇAS tekniği kullanmışlardır. Yaptıkları çalışma aynı zamanda akıllı bir evin otomatik enerji yönetimi ile sisteme yüksek verimlilik ve sürdürülebilirlik getiren akıllı güç dağıtımı elde etmek için akıllı bir şebeke arasındaki etkileşimle de ilgilidir. Çalışmalarında akıllı bir evdeki akıllı cihazlar etmen olarak modellemiş ve etmenlerin karar vermesinde optimizasyon algoritmaları kullanmışlardır. Yaptıkları proje optimum çözümler sağlama potansiyeline sahip olmasının yanı sıra arz ve TTY'i birleştirmiştir [71].

2.6.5.4 Sayısal optimizasyon yöntemleri

Zaman ve para gibi sınırlı kaynaklar sonucu optimizasyon uygulamasına ihtiyaç duyulmaktadır [5]. Sayısal optimizasyon, geniş bir uygulama yelpazesi ile önemli bir paradigmadır. Mühendisler ve araştırmacılar, maliyetleri ve enerji tüketimini en aza indirmek veya alternatif olarak, çıktı, verimlilik, kar ve performansı en üst düzeye çıkarmak için sistemleri sürekli olarak optimize etmeye çalışmaktadır [74]. Modelleme, hesaplama ve araştırma algoritmaları, bir optimizasyon işleminin entegre bileşenleridir [5].

Optimizasyon teknolojisinin gelişiminde incelemeler ilk olarak modelleme üzerine olmuştur. Modelleme gerçek hayatta rastlanan problemin matematiksel olarak ifade edilmesi olarak tanımlanmaktadır. İlk olarak 1933-1936 yıllarında Leontief tarafından ABD'nin dış ticaretini ve ekonomik yapısını modellemek için çalışma yapılmıştır [75]. Son zamanlarda özellikle enerji verimliliği konusundaki farkındalığın artmasının sonucu olarak optimizasyon tekniklerine, modellemeye dayanan yenilikçi enerji yönetimi yaklaşımları artan bir ilgi görmektedir [52]. Enerji talebindeki sürekli artıştan dolayı çok sayıda YEK binalara entegre edilmektedir [61]. Binalarda güneş enerjisinden yeterince yararlanmak ve kullanıcılara talep ettikleri enerjiyi sağlamak için şebekeye bağlı bir PV batarya hibrit sistemi içeren ev enerji modelleri tasarlanmaktadır [65, 66, 76, 77].

Fakat YEK elektrik üretiminde bilindiği üzere üretimin meteorolojik şartlara bağlı olmasından dolayı üretim belirsizliği ortaya çıkmaktadır. YEK'lerin kullanımının getirdiği bu zorluklar EYS'i de etkilemektedir. YEK sistemlerinin kesintili yapısından dolayı oluşan arz-talep belirsizliğini ve planlama problemlerini, evde optimum enerji kullanımını ve planlamayı, entegrasyon zorluklarını, enerji tasarrufunu ve rahat bir yaşam tarzı arasındaki dengeyi göz önünde bulundurarak birçok çalışma gerçekleştirilmiştir [61, 66, 78-86].

Setlhaolo ve Xia; Hemmati ve Saboori PV ve enerji depolama sistemlerinden oluşan konutlarda kesintili ve tahmin edilemez YEK'lerin yol açtığı zorluklarla başa çıkmak için çalışmalar yapmışlardır. Setlhaolo ve Xia yenilenebilir enerji üretimindeki belirsizliği KTSDOP problem olarak modellemişlerdir. KTSDOP optimizasyon problemini Matlab optimizasyon (OPTI) araç kutusunda mevcut olan bir optimizasyon çözücüsü SCIP ile çözmüşlerdir [86]. Hemmati ve Saboori ise yenilenebilir enerji üretim belirsizliğin tahminini KTSDP problemi olarak modellemişlerdir. Batarya, KTSDP problemini Gaussian olasılık dağılım fonksiyonu ile modellemişler ve gelişmiş adaptif PSO algoritması ile çözmüşlerdir. Belirsizliklerle baş etmek için ise Monte-Carlo simülasyonu uygulamışlardır [87]. Bir başka çalışmada Pooranian vd. KTSDP tekniğini akıllı evde elektrik maliyetlerini ve CO_2 emisyonlarını en aza indirmek için kullanırken, Melhem vd. binalarda YEK'in, batarya depolama sistemlerinin ve kapatılabilir araçların entegrasyonunu optimize etmek için kullanmışlardır [81, 82].

Talep belirsizliği ve planlama problemleri üzerine Baldauf, Ghazvini vd., Gruber ve Prodanovic, Xu vd. önerdikleri modelde planlama problemini çözmek KTSDP optimizasyon tekniğini kullanırken, Hasib vd. ise çift yönlü enerji alım satımına sahip hibrit güç sistemi ve enerji depolama birimi olan bir konutun cihaz planlamasını yapmak için TSDP tekniği

uygulamıştır [79, 80, 83-85]. Simülasyon sonuçlarında, Ghazvini vd. enerji maliyetlerinde %29,5-%31,5 oranında azalma, Gruber ve Prodanovic farklı iki enerji yönetimi stratejisi ile karşılaştırdıklarında %19,5 ve (talep esnekliği var olduğunda) %25,6 oranında bir azalma sağlamıştır [80, 83]. Baldauf önerdiği modelin talep tarafı belirsizliğini ortadan kaldırmakla birlikte CO_2emisyonunu azalttığını belirtmiştir [79].

Golpira ve Han binaya entegre rüzgar gücünün sürekli değişmesini ve talep belirsizliğini göz önünde bulundurarak AB EYS'si için risk bazlı bir karar alma çerçevesi oluşturmuştur. Modelledikleri EYS'de KTSDP problemini çözmüşlerdir. Önerdikleri mikro şebeke tabanlı sistemin kullanılmasıyla toplam maliyet, enerji tedarik maliyeti ve toplam emisyon maliyetlerinde sırasıyla yaklaşık %92, %93 ve %85 tasarruf sağlandığı sonucuna varmışlardır [88]. Erdinc vd. çalışmalarında dağıtık küçük ölçekli YEK üretim sistemi, elektrikli araçlar ve enerji depolama sisteminin çift yönlü kullanımı ile dinamik fiyatlandırma ve en yüksek güç sınırlamalı TK stratejilerinin ortak bir değerlendirmesi için KTSDP çerçevesinde ev EYS'nin modellemesini yapmışlardır. Hanehalkı kullanımlarında farklı vaka çalışmalarının elektrik faturaları üzerindeki toplam etkisini değerlendirmek için KTSDP modelini çözücü kullanarak test etmişlerdir. Önerdikleri strateji, yaklaşık %65'e varan maliyet tasarrufu sağlamıştır [89]. Sharma vd. binanın talebini gerçek zamanlı olarak karşılamak ve yerel alt sistemlerin, kontrol edilebilir yüklerin en uygun şekilde çalışmasını sağlamak için önerdikleri EYS modelinde problemi KTSDP olarak modellemişlerdir. Simülasyon sonuçlarında, merkezi bir EYS'nin kullanıcıların enerji faturasında ve enerji tüketiminde bir günde sırasıyla %17 ve%8 oranında azalma olduğunu göstermişlerdir [66]. Erdinc vd. ise EYS modelinde PV ve enerji depolama sistemini tekno-ekonomik olarak boyutlandırmak için KTSDP'yi kullanmışlardır [90].

Gruber vd. ve Anvari-Moghaddam vd. ise yerel enerji sistem bileşenlerinin optimal planlamasını belirlemek için KTSDP'yi kullanmışlardır [61, 78]. Gruber vd. iki aşamalı optimizasyon geliştirmiş (Orta vadeli optimizasyon ve Kısa vadeli optimizasyon), uzak ufuk stratejisine dayanarak ve fiziksel sistem kısıtlamalarını dikkate alınarak enerji maliyetlerini en aza indirmiştir [61]. Moghaddam vd. ise önerdikleri sistem ile sadece ev içi enerji kullanımını azaltılmadığını aynı zamanda sakinler için optimum termal konfor rahatlığı sağladığını göstermişlerdir [78].

Optimizasyon modellerinin özellikle üretim/dağıtım sistemlerinde birçok problemi modellenmiş olmasına karşın teorik özelliklerinin incelenmesi ve umumi çözüm algoritmalarının geliştirilmesi günümüzde de devam etmektedir. Optimizasyon

problemlerinin çözümü yönünde çalışmalar ilk olarak Dantzig tarafından yapılmış ve simpleks algoritması geliştirilmiştir. Genel olarak bir optimizasyon problemi sayısız yolla formüle edilebilmektedir. Bina uygulamalarında optimizasyon yöntemi bir amaç için kullanılır ve çalışmaların neredeyse %60'ını oluşturur. Bu da bir optimizasyon çalışmasında sadece tek maliyet fonksiyonunu optimize edilebileceği anlamına gelmektedir. Bununla birlikte, enerji araştırmaları minimum enerji tüketimi, maksimum konfor, tarife maliyetleri ve yenilenebilir enerji değişimleri vb. bileşenlerin optimizasyonu için çelişkili konularla ilgilenmektelerdir. Genellikle, tüm amaçlar için tek bir optimal çözüm olmamaktadır. Çok Amaçlı Optimizasyon (ÇAO), tek bir çözümden ziyade alternatifler aramaktadır ve haliyle, çok amaçlı bir yaklaşım, tek bir amaçtan daha uygun görülmektedir [75].

ÇAO, çok amaçlı programlama, vektörel optimizasyon veya Pareto optimizasyonu olarak da bilinen, birden fazla objektif fonksiyonun eşzamanlı olarak optimize edilmesini içeren matematiksel optimizasyon problemleriyle ilgilenen çok kriterli karar verme yöntemidir. ÇAO son zamanlarda, uzlaşmacı bir süreç tasarımının seçilebileceği bir dizi baskın olmayan (Pareto) çözüm üreterek karar vermede önemli bir araç haline gelmiştir [91]. ÇAO yöntemi birçok bilim ve mühendislik alanında ve endüstriyel amaçlarla problemlerin çözümü için uygulanmıştır.

ÇAO yöntemleri üzerine literatürde, YEK ve kontrol edilebilir yüklere sahip evlerin, binaların ve sistemin izlenmesi ve optimum kontrolünün yapılması için çalışmalar yapılmıştır [4, 73, 87]. Wang vd.'nin geliştirdikleri EYS binaya entegre PV çıktısının, kontrol edilemeyen yüklerin ve dış ortam sıcaklığının tahminine dayanarak, tüm bileşenlerin çalışmasını, farklı fiziksel kısıtlamalar ve TOU fiyatının varlığında ÇAO kullanarak kaynak-yük-depolama alanının sinerjik dağılımıyla optimize etmiştir [4]. Brahman vd. istenen sıcak su ve hava sıcaklığı açısından kullanıcı tercihlerini göz önünde bulundurarak toplam enerji maliyetini en aza indirmeyi amaçlayan üç farklı vaka çalışması için optimizasyon problemini formüle edip çözmüştür. Ek olarak CO_2, NO_x ve SO_x emisyonlarını azaltmak için şebeke ile daha az güç alışverişi sağlayan ve enerji maliyetini azaltan bir ÇAO gerçekleştirmişlerdir. 1. ve 2. vaka çalışmalarının karşılaştırılma sonuçlarına göre %40 ve %28'e varan maliyet tasarrufu sağlamışlardır[92].

Bir grup araştırmacı da PV ve enerji depolama sisteminden oluşan modellerde optimizasyon problemlerini çözmek için PSO algoritması kullanmıştır. Örneğin Huang vd. önerdikleri PV ve depolama cihazlarının da bulunduğu modelin optimizasyon problemini çözmek için gradyan tabanlı PSO algoritması kullanmışlardır [76]. PSO'yu bir başka araştırmada Ullah

vd. TOU fiyatlandırma şemasına dayanan YEK'inde bulunduğu modelde ev aletlerini verimli bir şekilde planlamak ve günlük elektrik maliyetini en aza indirmek için kullanmışlardır. Simülasyon sonuçlarıyla, tüketicinin faturasını %29'dan daha fazla azaltığını, ayrıca evin sadece şebekeden beslendiği durumda bile faturanın %19,36 oranında azaldığını göstermişlerdir [93]. Bir başka çalışmada Fan vd. PV cihazlarla donatılmış bir evde enerji planlama problemini çözmek için olay tetiklemeye dayanan çevrimiçi enerji yönetim algoritması ve anlık bilgilere dayanarak kontrol edilebilir yükleri planlamak için Lyapunov optimizasyon yöntemi kullanmıştır. Önerdikleri algoritmanın kullanıcının konforundan ödün vermeden elektrik faturasını etkili bir şekilde azaltabileceği göstermişlerdir [94]. Planlama ile ilgili olarak El-Baz ve Tzscheutschler kontrol edilemeyen yüklerin tahmini için, minimum veri ve hesaplama kullanan, herhangi bir ek kullanıcı hareketini algılama sensörü veya dış ortam sıcaklık sensörü olmadan verimli ve doğru çalışabilen basit bir tahmin algoritması sunmuşlardır. Algoritmanın hata değerlendirme analizinde, 24 saatlik tahmin hatasının yaz aylarında %8,2 ile %6,2 kış aylarında ise %11,4 ile %15,9 arasında değiştiğini göstermişlerdir [95]. Anvari-Moghaddam vd. YEK'e ve kontrol edilebilir yüklere sahip evlerde batarya bankası enerji yönetimi sorununu bir Markov karar süreci olarak formüle ederek, batarya bankası gerçek zamanlı çalışmasını optimize etmek için bir Bayesian takviyeli öğrenme metodunu kullanmışlardır [73].

Özkan PV ve batarya sistemlerinin bulunduğu akıllı evin elektrik maliyetini düşürmek ve aynı zamanda akıllı elektrikli ev aletlerinin yüksek tepe talep sorununu önlemek için gerçek zamanlı, kural tabanlı kontrol algoritması önermiştir. Algoritmanın AB'nin güç talebini karşılamak için PV'ye öncelik verdiğini, onu sırasıyla batarya ve şebekenin takip ettiğini ve sonuç olarak elektrik maliyetini önemli ölçüde azalttığını belirtmiştir [96]. Joo ve Choi dağıtılmış enerji kaynaklarına sahip birden fazla akıllı evin toplam elektrik maliyetini en aza indiren aynı zamanda tüketicinin termal konfor seviyesini koruyan iki seviyeli (yerel ve genel ev enerji yönetim sistemine) optimizasyon algoritması önermişlerdir. Önerdikleri dağıtılmış algoritmanın, merkezi elektriksel optimizasyon algoritması ile tüketicinin elektrik maliyeti ve konfor seviyesi açısından neredeyse aynı performansa ulaştığını göstermişlerdir [97]. Mauser vd. PV sistem, depolama sistemi yanı sıra doğalgaz kombi, sıcak su depolama tankı, kontrol edilebilir hibrid cihazlardan oluşan AB küçük kombine ısı ve güç kaynağı (mikro-CHP), soğutucu (Ad-A/C), sıcak ve soğutulmuş su için depolama tankları içeren ticari bina olarak modellenen iki senaryo üzerine çalışmışlardır. Elektrik ve sıcak su gibi

çoklu enerji taşıyıcılarının, maliyet azaltılması optimizasyonunu evrimsel algoritma kullanılarak gerçekleştirmiştir. Performans açısından diğer yaklaşımlarla karşılaştırılmasında, trijenerasyonu optimize ederken benzer maliyette azalmalar olduğunu görmüşlerdir [98].

Khalid vd. ve Zafar vd. maliyet azaltma ve enerji tüketimi ile birlikte en yüksek ortalama oranı (PAR) azaltmak için çalışmalarında birçok optimizasyon tekniği kullanmışlardır [59, 99]. Khalid vd. kısıtlamaya dayalı ÇAO yöntemini gün öncesi planlamaya uygulamışlar, sistemin etkinliğini kontrol etmek için ise bir Hibrit Bakteriyel Yemleme Algoritma ve Genetik Algoritma (GA) optimizasyon tekniği kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar ile, PAR ve elektrik maliyetlerinin sırasıyla %50 ve %40 oranında azaldığını göstermişlerdir [59]. Zafar vd. EYS'nin performans değerlendirmelerini üst sezgisel optimizasyon teknikleri: Uyum Arama Algoritması, Bakteriyel Besin Arama Optimizasyonu ve Farksal Gelişim Algoritması kullanarak yapmışlardır. Planlanladıkları senaryoda maksimum enerji tüketimi 12.0750 kW iken, bu rakam uyum arama algoritması, farksal gelişim algoritması ve bakteriyel besin arama algoritmaları kullanımı durumunda sırasıyla 9.0152, 9.4750 ve 9.7750 kW'a düştüğünü göstermişlerdir [99]. Planlama ile ilgili olarak Khalid vd enerji tüketimini ve TTY'yi optimize etmek için kaydırılabilir cihazların planlamasında üç optimizasyon tekniği; BAT algoritması, Çiçek Tozlaşma algoritması ve önerdikleri hibrit BAT tozlaşma algoritması kullanmışlardır. Tozlaşma algoritması, BAT ve çiçek tozlaşma algoritmalarına göre üstünlük göstermiştir. Planlanmamış yükün elektrik maliyeti 70.76 sent iken, BAT, çiçek tozlaşma ve hibrit BAT tozlaşma algoritması kullanımı durumundamaliyet sırasıyla 66.1914 sent, 66.1782 sent ve 66.4478 sent olmuştur. [100]. Bir başka çalışmada basit optimum planlamanın yapılması, ev aletlerinin sınırlı programlama saatlerinde daha düşük hesaplama karmaşıklığı ile planlanması için bir optimal algoritma geliştirilmiştir. 4 farklı yük senaryosu simule edilmiş, geliştirilen yöntemin mevcut yöntemlere ve optimizasyon olmadan çözüme kıyasla iyileştirilmiş performans sağladığını göstermişlerdir [101]. Ahmed vd. toplam yük talebini sınırlandırmak ve ev aletlerinin çalışmasını planlamak için yeni bir ikili geri izleme arama algoritması önermişlerdir. Önerdikleri kontrol yöntemi ile PSO yöntemini karşılaştırmışlardır.Önerdikleri denetleyici hafta içi günde 4.87 kW, hafta sonunda günde 6.6 kW enerji tasarrufu sağlarken, PSO denetleyicisinin enerji tasarrufu sırasıyla 4.52 kW ve TK dönemlerinde 6.3 kW şeklinde olmuştur [102].

Ma vd. diğerlerinden farklı olarak akıllı şebeke ortamında birden fazla AB'nin çalışması için AB kümesi kavramını ileri sürmüşlerdir. AB kümesinin optimum çalışmasını sağlamak için

işbirliksiz oyun teorisine dayanan çok taraflı bir EYS modeli önermişlerdir. Nash dengesinin oyun modelinde varlığını kanıtlamışlardır. Nash denge stratejisini çözme sürecinde ÇAO probleminin üstesinden gelinmesi için bir yinelemeli yönteme dayanan algoritma ve prosedür önermişlerdir. Tasarladıkları model TK ve YEK'in avantajlarından daha etkin bir şekilde yararlanarak AB'lerin toplam elektrik maliyetini %4,6 azaltmış ve yükün karakteristik optimizasyonunu sağlamıştır [103].

Gerçek yaşam koşullarının gereksinimlerini karşılayabilen ev aletlerinin planlanması için Ruzbahani vd. esnek ve öğrenmeye regresyon analizi ile ÇAO tekniği olan TK mekanizmasına dayanan algoritma geliştirirken, Zhang vd. TK ve ev EYS'si oluşturmak için makine öğrenmesi, optimizasyon ve veri yapısı tasarımını birleştiren disiplinlerarası bir yaklaşım sunmuşlardır. Zhang vd. sinir ağı tabanlı öğrenme ve regresyon tabanlı öğrenme olmak üzere iki öğrenme stratejisi kullanmışlardır [104]. Ruzbahani ve Karimipour'un geliştirdikleri algoritmanın iki seviyesi vardır. Birinci seviyede, belirli bir süre içinde kullanıcıdan bir cevap alınmadığında, istenen yükü başka bir zamana kaydırarak kullanım düzenini düzeltildiği konusunda bilgilendirmektedir. İkinci seviyede algoritma yükü optimum enerji tasarrufu için değiştirmektedir. Her konut için yoğun saatlerde %15'e varan güç faktöründe iyileşme, ek olarak da kullanımda 5 kW/s azalma oluşturmuştur [105].

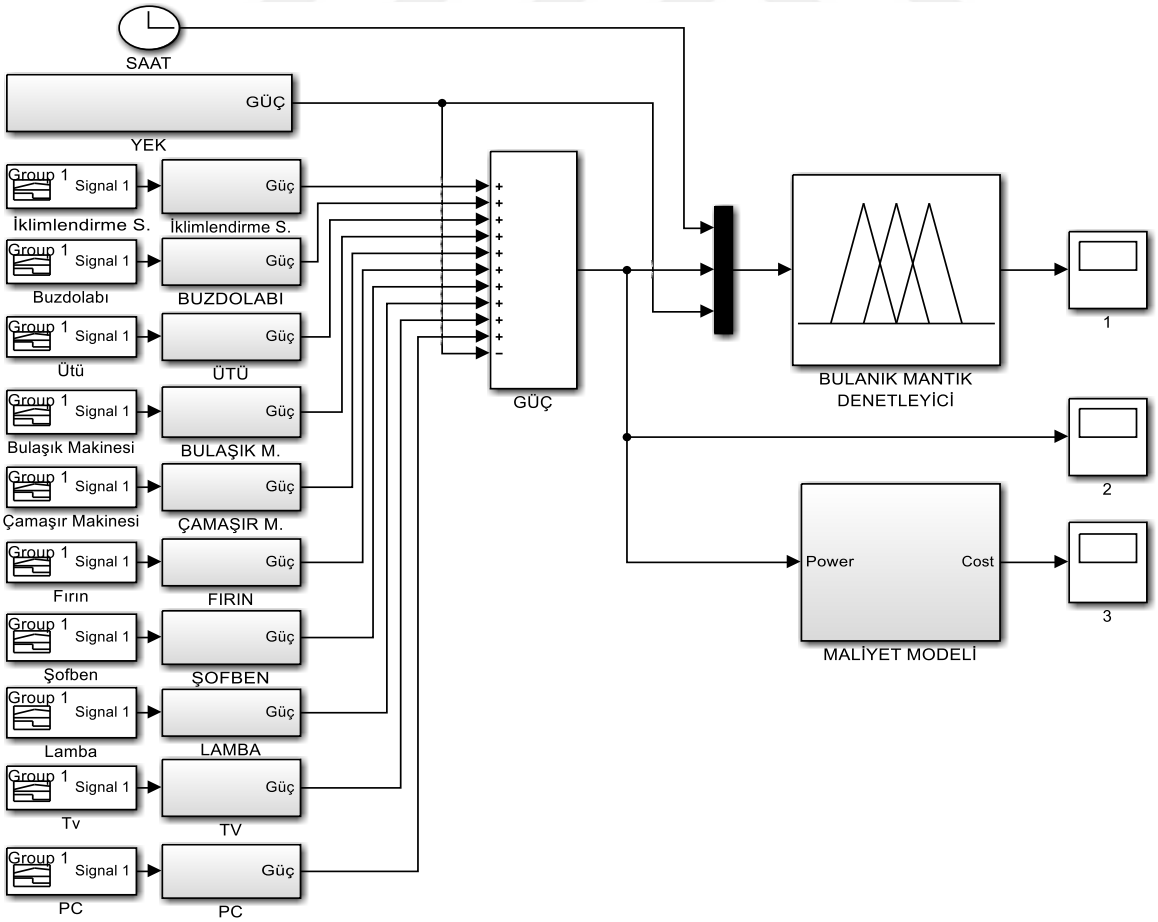
Her ne kadar çeşitli optimizasyon teknikleri belirlenmiş ve gözden geçirilmiş olsa da GA bina performans analizinde en tanınmış tekniktir. Ogunjuyigbe vd. sistem yük tahsisi ve maliyet optimizasyonu açısından yaptıkları çalışmada hafif değiştirilmiş müdahaleci GA kullanarak minimum talep kriterlerini karşılarken kullanıcı tercihlerini ve şebeke durumunu dikkate almışlardır. Kullandıkları yöntemle 4 farklı vaka çalışması sonucunda kullanıcıların tercihi olmadan %98.32-99.60 aralığında, kullanıcı tercihi altında %98.76-99.67 günlük tahsis verimliliği elde edilmiştir [106]. Bir başka çalışmada kaydırılabilir yükleri yenilenebilir enerji üretimine göre planlayarak tüketicilerin elektrik faturasını ve şebeke bağlılığını azaltmak için geliştirdikleri EYS'de, PV panelleri, küçük rüzgar türbinleri ve bataryalar ile minimum enerji maliyeti sağlamak için GA optimizasyonu kullanmışlardır. Bu algoritma ile yıllık elektrik faturasından %25,23'lük bir ortalama kazanç sağlarken boşaltma yükünde harcanan gücü 496,5 kW'dan 191,5 kW'a düşürmüşler ve YEK'den yararlanmayı %61,43 iyileştirmişlerdir [107]. Kullanıcının konforundan ödün vermeden elektrik maliyetini ve PAR'ı düşürmek için geliştirdikleri EYS'de, Rasheed vd. karmaşık enerji optimizasyonu ve cihaz planlama problemini çözmek için GA kullanmışlar, Manzoor vd. ise GA ile birlikte 3 optimizasyon tekniği uygulamış ve GA ile öğrenme öğretme tabanlı

optimizasyonu birleştirerek hibrit bir öğrenme öğretme genetik optimizasyonu algoritması geliştirmişlerdir [108, 109]. Simülasyon sonuçlarına göre, Rasheed vd. önerdikleri algoritmaların ev aletlerini planlayarak enerji tüketimini verimli bir şekilde yönettiğini, elektrik maliyetini ve PAR'ı sırasıyla %22.63 ve %22.77'ye kadar düştüğünü göstermişlerdir [108]. Manzoor vd. ise geliştirdikleri algoritmanın, hesaplama yükünü azaltmasının yanı sıra, elektrik tüketim maliyeti ile kullanıcı rahatsızlığı arasında istenen dengeyi sağlamada yükü en uygun şekilde planladığını belirtmişlerdir [109]. Ahmad vd. YEK ve enerji depolama sisteminin entegrasyonunu kolaylaştıran, aynı zamanda konut sektörünü TYY faaliyetlerine dahil eden optimize ev EYS'si önermişlerdir. Çalışmalarında kısıtlanmış optimizasyon problemini, çoklu sırt çantası algoritması kullanarak formüle etmiş ve daha sonra sezgisel GA, ikili PSO, rüzgarla çalışan optimizasyon, bakteriyel besin arama optimizasyonu ve hibrit GA-PSO algoritmalar kullanarak çözmüşlerdir. Sonuçlar, YEK ve enerji depolama sistemleri entegrasyonunun elektrik faturasını ve PAR'ı sırasıyla %19.94 ve %21.55 oranında azalttığını göstermektedir. Ayrıca, hibrit algoritmaya dayalı ev EYS'si, diğer sezgisel algoritmalardan daha iyi performans göstererek faturayı %25,12, PAR'ı ise %24,88 azaltmıştır [110]. Nadeem vd. çalışmalarında GA ile birlikte sezgisel algoritmalar kullanarak gerçek zamanlı fiyatlandırma sinyaline dayanan ev aletlerinin planlamasını gerçekleştirmişlerdir. Optimizasyon problemini çözmek için optimal durdurma kuralı ile GA'nın, öğrenmeye dayalı optimizasyonun ve ateşböceği algoritmasının birleşmesinden oluşan 3 hibrit teknik uygulamışlardır. Sonuçlarda, önerdikleri algoritmaların maliyet ve bekleme süresi açısından iyi bir performans elde ettiğini göstermişlerdir [111].

3 MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında binalarda enerji verimliliğini arttırma ihtiyacı bir konut modeli üzerinde ele alınmıştır. Hem konutun toplam enerji tüketimini hem de konfor koşullarını dikkate alan bir strateji ile yük kullanımını kontrol etmeye yönelik ayrıntılı bir model önerilmektedir. Konutlarda kullanılan temel elektrikli cihazların her biri günlük kullanım ihtiyaçlarına uygun olarak Matlab/Simulink yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Ayrıca, rüzgar ve güneş YEK'leri ile elektrik enerjisi üretimi modellenerek sisteme entegre edilmiştir. Kontrol prosedürü, mevcut güç profilinin iyileştirilmesi, cihaz konfor tercihlerine göre yöneterek kesintiden kaçınılması ve kullanıcı onayının ön planda tutulması şekilinde ayarlanmıştır.

Tez çalışmasının uygulama aşamasında gerçekleştirilen simülasyon ve kontrol sistemlerinin Simulink modeli Şekil 3.1'de gösterilmekte olup, beş ayrı bölüm içermektedir: Konutlarda en yaygın kullanılan cihazlar, her cihaz tarafından tüketilen güç, toplam güç maliyeti, YEK ve BMD. Bu modelde daha önce Fanti vd. (2018) tarafından geliştirilmiş modeller ve modifiye edilmiş halleri kullanılmıştır.



Şekil 3.1 Konut cihazlarının ve kontrol sisteminin simulink modeli [2]

Denetleyicinin giriş bilgileri cihazların güç tüketimleri, YEK'lerden elde edilen güç ve anlık çalışma saatidir. Türkiye'deki 3 zamanlı fiyat tarifesi baz alındığı Bulanık Mantık (BM) tabanlı denetleyici, tüketicilerin YEK'lerden enerji üretimi olmadığı ve elektriğin birim fiyatı yüksek olduğu saatlerde tüketimlerini arttırdıklarında, kapatılacak öncelikli olmayan yükleri tanımlayarak, enerji birim fiyatının düşük olduğu ve YEK üretimi olduğu saatlere kaydıracak şekilde tasarlanmıştır. Bu durumda, denetleyici YEK üretiminin olmadığı saatlerde ve yoğun saatlerde bazı yüklerin kesilmesini önererek yoğun olmayan ve YEK üretiminin var olduğu saatlere kaydırılmasına teşvik ederek yüksek öncelikli yüklere sağlanan gücün uygun şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Denetleyici ayrıca enerji tüketimini belirli bir sınır dahilinde tutmaktadır, bu da tüketimin yüksek yoğun saatlerde sınırı aşamayacağı anlamına gelmektedir ki tüketici onayı önceliklidir.

3.1 Cihaz Modelleri

Ev ortamında en yaygın kullanılan cihazlar Matlab/Simulink ve Simscape araçları kullanılarak modellenmiştir. Tipik olarak cihazlar kontrol edilebilir ve kontrol edilemeyen cihazlar olarak iki kategoriye ayrılmaktadır. Denetleyici tarafından kontrol edilebilir cihazların kapatılması veya kısmi olarak kullanılması önerilebilmektedir. Kontrol edilemeyen cihazlar ise, kapatılamayan veya kısmi hale getirilemeyen pasif yüklerdir.

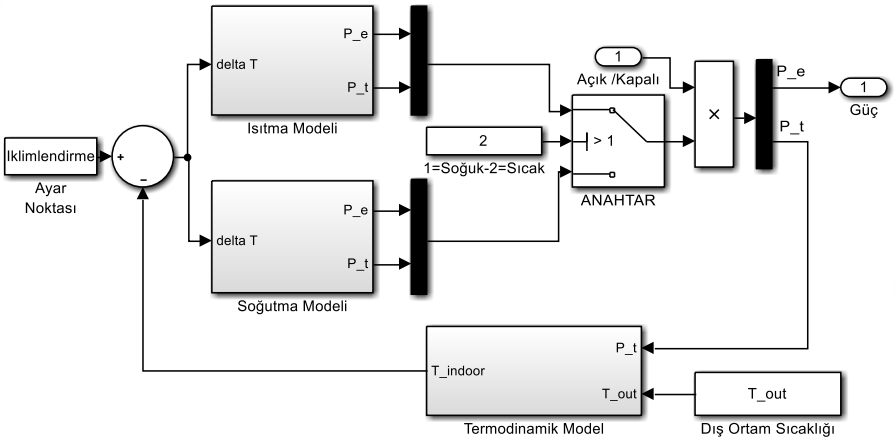
Tablo 3.1 Ev içi yüklerin kış ve yaz günü için verileri.

Cihazlar	Güç tüketimleri	Çalışma süresi (kış)	Çalışma süre aralığı (kış)	Çalışma süresi (yaz)	Çalışma süre aralığı(yaz)
İklimlendirme Sistemi	2500W(kış 1944W(yaz)	3 saat	19:00-21:00; 22:00-23:00	3 saat	10:30-11:00; 13:00-13:30; 14:30-15:00; 16:30-17:00; 19:00-19:30; 22:00-22:30
Şofben	1500W	2 saat	13:30-14:00; 18:00-18:30; 22:00-23:00	2 saat	13:30-14:00; 18:00-18:30; 22:00-23:00
Lambalar	15 W	6 saat	7:00-7:30; 18:00-23:30	4 saat 30 dakika	19:30-24:00
Çamaşır makinesi	303 W	3 saat	10:00-13:00	3	10:00-13:00
Bulaşık makinesi	510 W	2 saat 10 dakika	15:00-17:10	2 saat 10 dakika	15:00-17:10
Fırın	2000 W	1 saat 30 dakika	12:30-13:00; 19:00-20:00	1 saat 30 dakika	14:00-15:00; 19:30-20:00
Buzdolabı	120 W	24 saat	00:00-24:00	24 saat	00:00-24:00
Ütü	350 W	1 saat	13:00-14:00	1 saat	10:00-11:00
TV	100 W	5 saat 30 dakika	8:00-8:30; 11:00-11:30; 13:00-14:00;19:30-23:00	5 saat	8:00-8:30; 11:00-11:30; 13:00-15:00; 21:00-23:00
PC	100 W	4 saat	14:30-16:30; 19:30-21:30	3 saat 30 dakika	10:00-12:00;19:30-21:00

İklimlendirme sistemi, şofben, lambalar, TV, PC, buzdolabı gibi cihazları kontrol edilemeyen, bulaşık makinesi, çamaşır makinesi, fırın, ütü, gibi cihazları ise kontrol edilebilir yükler olarak modellenmiştir. Ayrıca rüzgar ve güneş enerjisi gibi YEK'ler modellenerek sisteme entegre edilmiştir. Kontrol edilebilir ve kontrol edilemeyen yüklerin güç tüketimleri, çalışma saatleri ve çalışma süreleri Tablo 3.1'de gösterilmektedir.

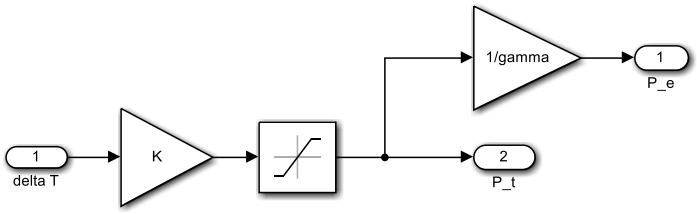
3.1.1. İklimlendirme sistem modeli

İklimlendirme sistemi daha önce bahsedildiği gibi ısıtma, soğutma ve havalandırma birimlerinden oluşan, konutların hava kalitesini ve sıcaklığını kullanıcı tercihlerine göre istenilen düzeyde tutmak için kullanılan sistemlerdir. İklimlendirme sistemi hem kış aylarında ısıtma hem de yaz aylarında soğutma işlevi için modellenmiş ve Şekil 3.2'de iklimlendirme sisteminin modeli gösterilmektedir.



Şekil 3.2 İklimlendirme sisteminin simulink model [2]

Bu modelin ana bileşenleri ısıtma ve soğutma modeli, bina termodinamik modeli olup, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4 gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Isıtma ve soğutma sistemlerinin simulink modeli [2]

Evirici değişken bir güçle çalışmaktadır. Termal güç P_t, referans değer ve ölçülen iç ortam sıcaklıkları arasındaki farkı temsil eden ΔT ile orantılıdır. Ayrıca, bir doygunluk bloğu ile, P_t'nin teknik maksimum değeri (3.1)'deki gibi tanımlanmıştır.

$$P_t(t) = \{K\,\Delta T, \text{eğer } 0 < K\,\Delta T < P_{max,t}\ 0, \qquad (3.1)$$

Burada $P_{max,t}$-en yüksek termal güç, K $[m^2 * \frac{W}{m^2 * C^0}]$ ısı transfer katsayısını ve yüzey alanını içeren oransal kazançtır. Elektrik gücü P_e (t) (3.2)'deki gibi elde edilir:

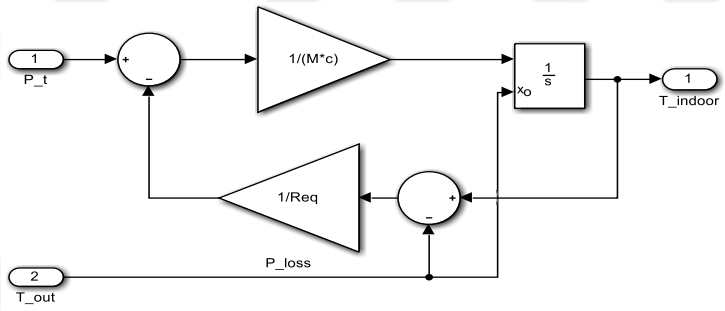
$$P_e(t) = \frac{P_t(t)}{\gamma} \tag{3.2}$$

Burada ısıtma için $\gamma = COP$, COP- performans katsayısı, soğutma için ise $\gamma = -EER$, yani EER- enerji verimliliği oranıdır.

Bina termodinamik modeli (3.3) ve (3.4) denklemlerine göre modellenerek Şekil 3.4'te gösterilmektedir.

$$P_{lost}(t) = \frac{T_{in}(t) - T_{out}(t)}{R_{th}}, \tag{3.3}$$

$$\frac{dT_{in}(t)}{dt} = \frac{1}{M*c}(P_t(t) - P_{loss}(t)). \tag{3.4}$$



Şekil 3.4 Binanın termodinamik simulink modeli [2]

Binanın termodinamik modeli için kullanılan parametreler ve değişkenlerden, $T_{in}(t)$- iç ortam sıcaklığı, $T_{in,set}$- referans iç ortam sıcaklığı, $T_{out}(t)$- dış ortam sıcaklığı, R_{th}- termal direnç, M- hava ağırlığı, c- sabit hava basıncında spesifik ısı, $P_t(t)$ - İklimlendirme sisteminin çıkış termal gücü, $P_{loss}(t)$- termal güç kaybıdır. İklimlendirme modelini ısıtma ve soğutma modunda çalıştırmak için kullanılan parametreler ve değerleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2 İklimlendirme sistem modelinin parametreleri.

Parametreler	Isıtma modu	Soğutma modu
$P_{t,max}[W]$	8000	7000
$K\,[m^2 * \frac{W}{m^2 * C^0}]$	3000	1500
M [Kg]	428.75	428.75
$c\,\left[\frac{J}{Kg * K}\right]$	1005.4	1005.4
COP	1.6	1.8
$T_{in,set}\,[C^0]$	22	22

3.1.2. Şofben modeli

Elektrikli şofben tipik olarak suyu ısıtan bir elektrik direncinden oluşmaktadır. Su sıcaklığı ayar noktası ile manuel olarak ayarlanabilmekte ve bir termostat istenen sıcaklığı korumak için güç kaynağını kontrol etmektedir (açık/kapalı). Şofben modelini oluşturmak için gerekli değişkenler aşağıda verilmiştir:

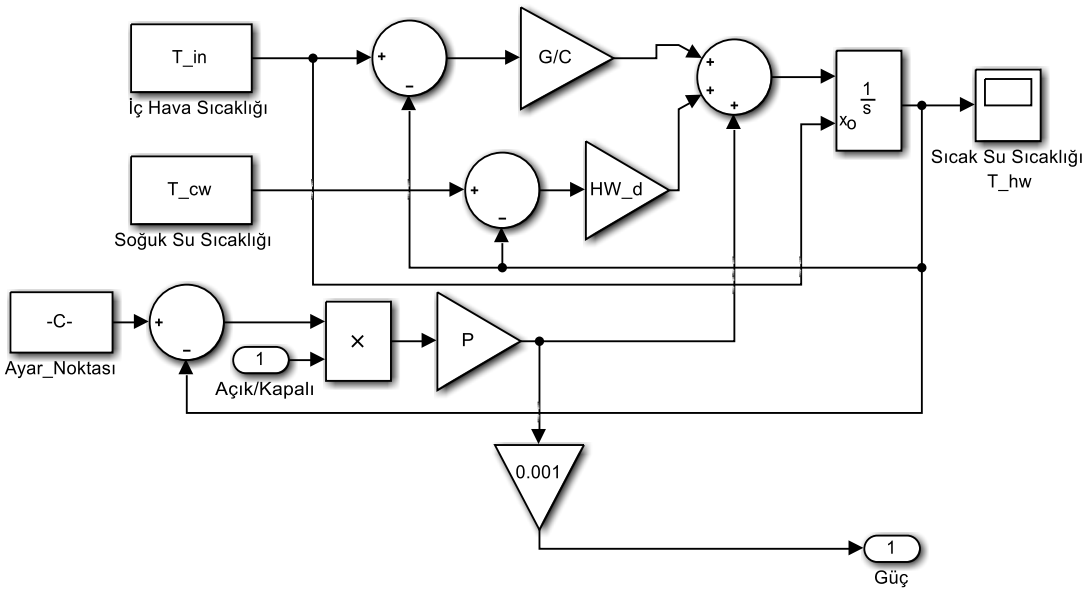
C- tanktaki suyun termal kapasitesi $[J/C^0]$, $T_{hw}(t)$- tanktaki sıcak su sıcaklığı $[C^0]$, T_{air}- tankın dışındaki hava sıcaklığı $[C^0]$, T_{cw}- girişteki soğuk su sıcaklığı $[C^0]$, $W_d(t)$- ortalama sıcak su çekim hızı $[1/sec]$, ρ- suyun yoğunluğu $[kg/J]$, V_l- tankın hacmi [l], C_p- suyun özgül ısısı $[J/k * C^0]$, SA- tankın yüzey alanı $[m^2]$, R_{th}- tankın termal direnci $\left[\frac{m^2 * C^0}{W}\right]$.

V_l=50; SA=1.2; R_{th} =1; ρ=1; C_p=4186; $T_{hw,set}$=50; T_{cw}=15 ve nominal elektrik gücü 1500 W'tır.

Şofben modeli de termodinamik model (3.5)'deki diferansiyel denkleme göre modellenmiştir.

$$C\frac{dT_{hw}(t)}{dt}=G(T_{air}-T_{hw}(t))+HW_d(t)\left(T_{cw}-T_{hw}(t)\right)+P_t(t) \quad (3.5)$$

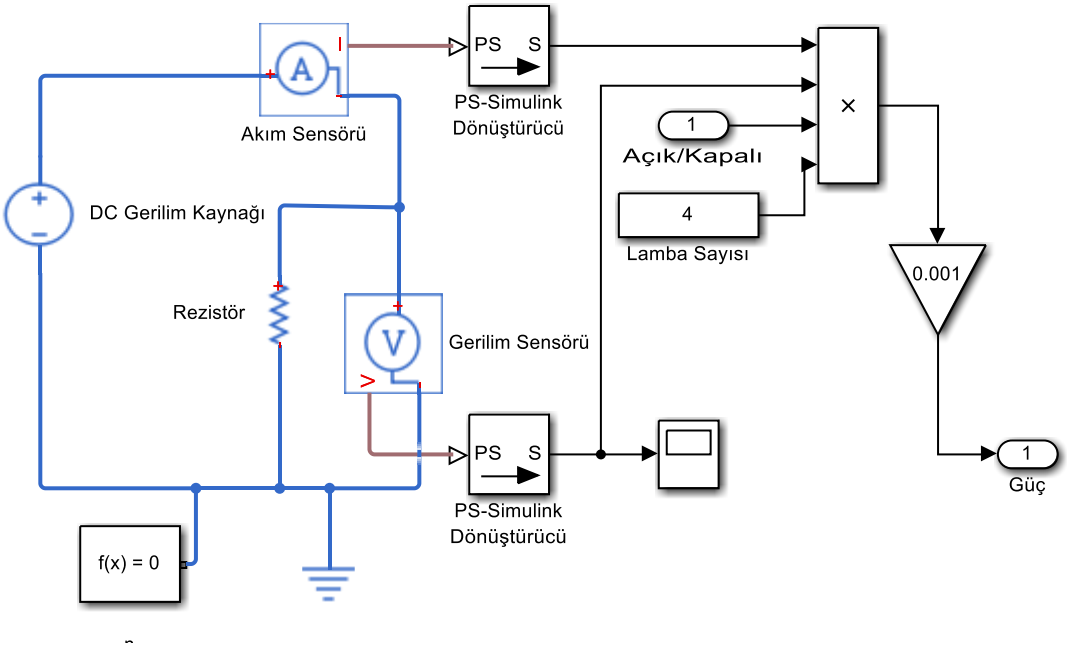
Burada, $C=\rho C_p V_l$; $G=\frac{SA}{R_{th}}$; $H=\rho C_p$; $(T_{air}-T_{hw}(t))-$ tankta kaybedilen ısı ve $H\,W_d(t)\,(T_{cw}-T_{hw}(t)-$ sıcak suyu işlemek için kaybedilen ısıdır. Elektrikli şofbenin Simulink modeli Şekil 3.5'de gösterilmektedir.



Şekil 3.5 Elektrikli şofbenin simulink modeli [2]

3.1.3. Işık şiddeti ayarlanabilir lamba modeli

Ayarlanabilir lamba, çekilen gücü kontrol edebilen ve aydınlatma şiddetini değiştirebilen bir elektronik düzenleyici tarafından kontrol edilmektedir. Bu lamba Simulink ortamında elektrikli cihazlar gibi fiziksel sistemleri hızla oluşturmayı sağlayan Simscape kütüphanesi kullanılarak modellenmiştir. Ayarlanabilir lamba modelinde Simscape kütüphanesi fiziksel bloklarından bir DC gerilim kaynağı, direnç, gerilim sensörü ve bir de akım sensörü kullanılmıştır. Simscape bloklarının çıktıları, fiziksel sinyalleri Simulink sinyallerine dönüştüren PS-Simulink dönüştürücü blokları üzerinden modele alınmıştır. Bunlara ek olarak, kullanıcı lamba sayısı dört ve kaynak gerilimi [$V_{max} = 220V$] olarak ayarlanmıştır. Şekil 3.6'da ayarlanabilir lamba simulink modeli verilmiştir.



Şekil 3.6 Ayarlanabilir lambaların simulink modeli [2]

3.1.4. Çamaşır makinesi ve bulaşık makinesi modeli

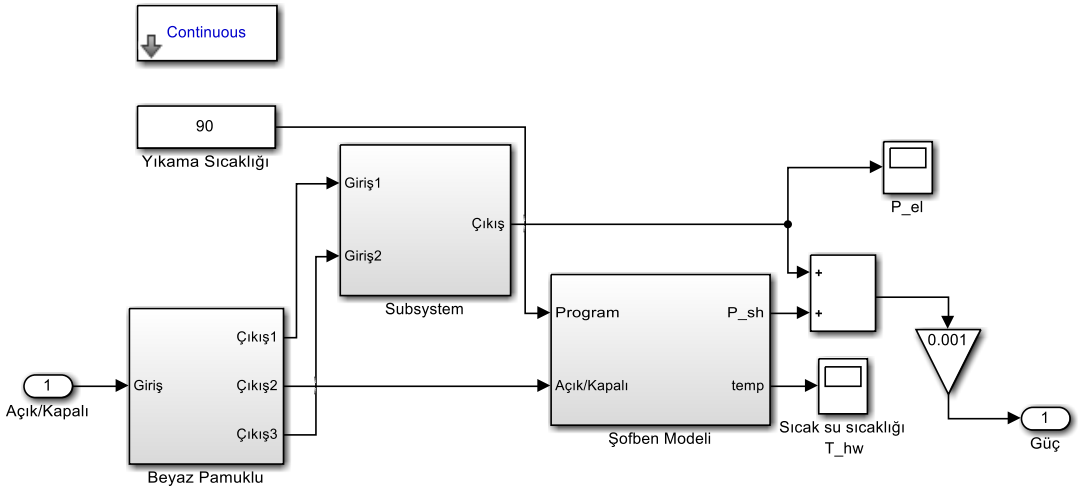
Çamaşır ve bulaşık makinelerini yüksek sıcaklıklarda çalıştırmak amacıyla şofben için Şekil 3.6'daki model eklenmiştir. Ek olarak, termal sistemde suyu kullanıcı tarafından seçilen yıkama programına göre ısıtması için eko program eklenmiştir.

Çamaşır makinesinin nominal gücü 303 W olup, şofbenin çalışma programına göre seçilerek aşağıdaki parametrelerle tanımlanmıştır:

V_l =5 [l]; SA=0.3 [m^2]; R_{th}=1 $\left[\frac{m^2 * C}{W}\right]$; ρ=1 [Kg/J]; C_p=4186 $\left[\frac{J}{Kg * °C}\right]$; $T_{hw,set}$ =50 [°C]; T_{cw}=10 [°C].

Çamaşır makinasının 180 dakika süren beyaz pamuklu programının davranışı

modellenmiştir. Bu programda çamaşır makinesinin motoru 3 dakika sonra çalışmaya başlayarak, sepetin su almasını sağlamakta ve sepeti 550 devir/dakika (rpm)'de hareket ettirerek, yarı güçte çalışmakta ve 162 dakika açık kalmaktadır. Ardından santrifüj, 1100 devir/dakika ile 15 dakika maksimum güçte aktif hale gelmektedir. Makinenin şofbeni, suyu 90 °C sıcaklığa yükseltmek için bir saniye sonra devreye girmekte, 150 dakika boyunca çalışmaya devam etmektedir. Çamaşır makinesinin Simulink modeli Şekil 3.7'de gösterilmektedir.

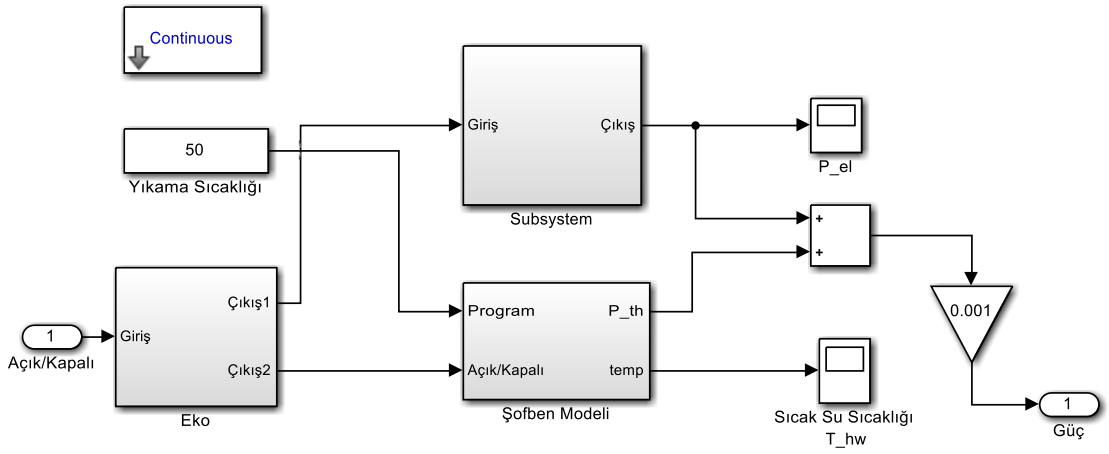


Şekil 3.7 Çamaşır makinesinin simulink modeli [2, 54]

Bulaşık makinesinin gücü 510 W olup, şofben modelinin parametreleri aşağıda tanımlanmaktadır.

$V_l = 3\ [l]\ ;\ SA = 0.3\ [m^2]\ ;\ R_{th} = 1\left[\frac{m^2 * ℃}{W}\right]\ ;\ \rho = 1\ \ [Kg/J];\ C_p = 4186\left[\frac{J}{Kg * ℃}\right]\ ;\ T_{hw,set} = 50\ [℃];\ T_{cw} = 10[℃].$

Bu çalışmada bulaşık makinesinin çalışmasını yıkama programlarından eko programı ucuz ve düşük sıcaklıkta (50℃) çalıştığından enerji tasarrufu sağlamak için tanımlanmış ve simüle edilmiştir. Ayrıca modele diğer yıkama programları da uyarlanalabilir. Eko programı toplam 130 dakika sürmektedir: Elektrik motoru 3 dakika sonra etkinleştirilmekte ve 117 dakika açık kalmaktadır. Nemi ortadan kaldırmak için son 10 dakika da soğuk hava akışı sağlanmaktadır. Şofben ise 30 saniye sonra etkinleşmekte, 85 dakika açık kalmakta ve su sıcaklığının 50°C'ye kadar yükselmesini sağlamaktadır. Şekil 3.8'de bulaşık makinesinin simulink modeli gösterilmektedir.



Şekil 3.8 Bulaşık makinesinin simulink modeli [2, 54]

3.1.5. Fırın, buzdolabı, ütü, tv ve pc modeli

Fırın, buzdolabı ve ütü aşağıdaki denkleme (3.6) göre modellenmiştir.

$$C\frac{dT(t)}{dt} = G\big(T_{inc} - T(t)\big) + Q(t) \tag{3.6}$$

Burada, T_{inc}- cihaza giriş sıcaklığı, T(t)- cihazın iç sıcaklığıdır.

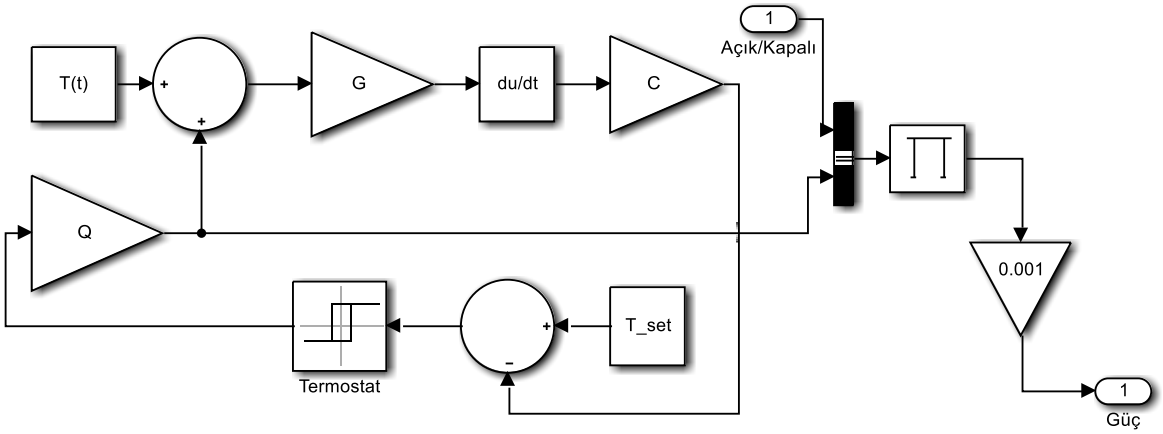
Nominal güç Q(t) ütü ve fırında P(t) çıkış gücüne eşittir. Yani, Q(t)=P(t).

Buzdolabında ise nominal güç Enerji Verimlilik Oranı (EER) ile çıkış gücünün çarpımına eşittir. Q(t)=P(t)EER.

C; T_{inc}; T(t) ve Q(t) cihaz özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Fırın, ütü ve buzdolabının parametreleri Tablo 3.3'te verilmiştir. Fırın, ütü ve buzdolabının Simulink modeli Şekil 3.9'da gösterilmektedir.

Tablo 3.3 Fırın, ütü ve buzdolabının parametreleri [2].

	Fırın	**Ütü**	**Buzdolabı**
Maximum gücü (W)	2000	350	120
$\boldsymbol{T_{set}[C^0]}$	180	140	5
Termostat aralığı $\boldsymbol{[C^0]}$	±10	±10	±1
C	60	10363	35000
G	0.23	3.26	1.16
EER	-	-	3.5

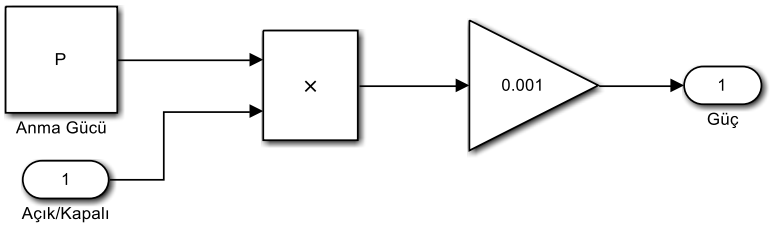


Şekil 3.9 Fırın, ütü ve buzdolabı simulink modeli.

TV ve PC'nin güç tüketimi söz konusu cihaz açık olduğunda sabit kabul edilmektedir, yani denklem (3.7.)'deki gibidir.

$$Q(t)=\{P, \text{eğer cihaz açıksa (on)}\ 0, \text{eğer cihaz kapalıysa (off)}\} \quad (3.7)$$

Ek olarak, TV ve PC sırasıyla 100 W güç tüketimine sahiptir. TV ve PC'nin Şekil 3.10'da simulink modeli gösterilmektedir.



Şekil 3.10 TV ve PC'nin Simulink modeli [2]

3.2 Enerji Maliyet Modeli

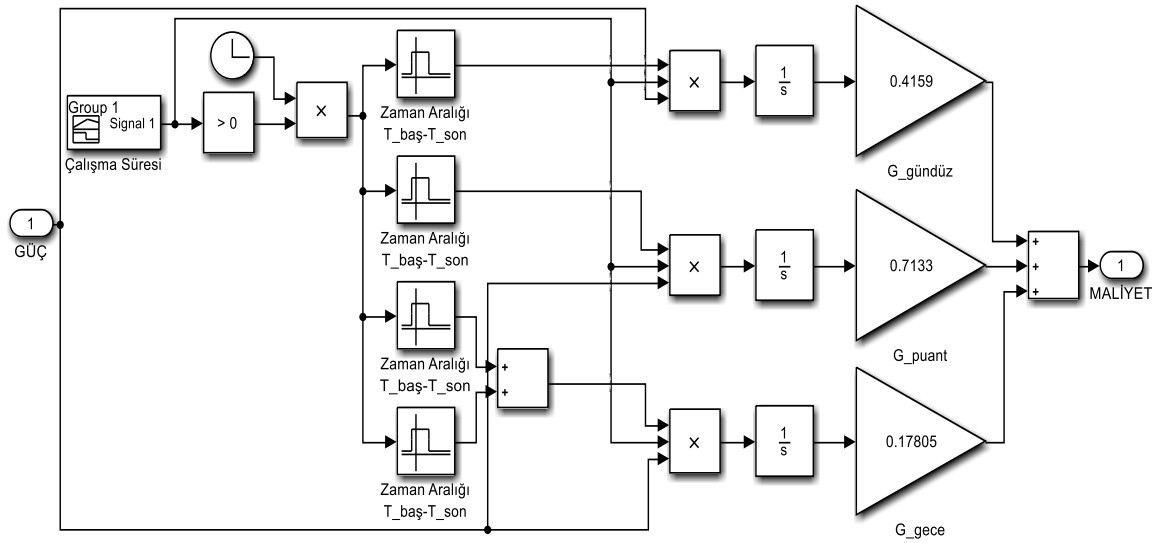
Maliyet modeli Türkiye'deki üç zamanlı tarife fiyatları ve zaman aralıkları dikkate alınarak oluşturulmuştur. Genel olarak elektrik şirketleri, kullanıcılarına tek ve üç zamanlı olmak üzere iki tarife alternatifi sunmaktadır. Tek zamanlı tarifede elektriğin birim fiyatı günün tüm zamanlarında aynıdır. Üç zamanlı tarifede ise günün belirli zaman dilimlerinde elektriğin birim fiyatı değişmektedir. Üç zamanlı tarifede elektriğin birim fiyatı ve zaman dilimleri tüketicinin günlük elektrik talebine göre ayarlanmıştır. Üç zamanlı tarife, gündüz 06:00-17:00; Puant 17:00-22:00; Gece 22:00-06:00 olmak üzere üç döneme ayrılmaktadır. Tarifeye göre, tüketicilerin talebinin yoğun olduğu zamanlarda birim fiyatı yüksek, talepleri düşük olduğu zamanlarda düşüktür. Örneğin puant dönemi 17:00 ile 22:00 arası talebin en

yoğun olduğu saatte tüketici en yüksek birim fiyatından faturalandırılmaktadır. Tablo 3.4'te "Enerji Piyasası Düzenleme Kurumunun" belirlediği 1 Nisan 2021 tarihinden itibaren uygulanan tarifelere göre elektriğin birim fiyatı gösterilmektedir.

Tablo 3.4 Tarifelere göre elektriğin birim fiyatı [112].

	Mesken			Ticarethane		
Tarife adı	Gündüz	Puant	Gece	Gündüz	Puant	Gece
Üç zamanlı	0,4159 TL	0,7133 TL	0,17805 TL	0,6002 TL	0,9935 TL	0,2873 TL
Tek zamanlı	—	0,4077TL	—	—	0,5934 TL	—

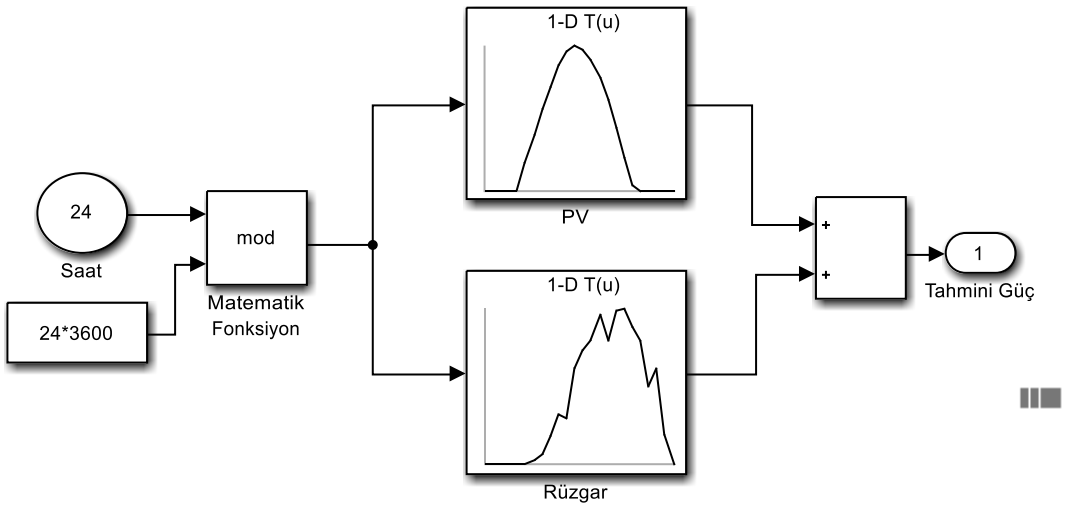
Enerji maliyet modeli Şekil 3.11'de gösterilmektedir. Modelde G_gündüz; G_puant; G_gece ise sırasıyla gündüz, puant ve gece dönemlerinin ücretleridir (TL).



Şekil 3.11 Enerji maliyetinin simulink modeli [2]

3.3.Yenilenebilir Enerji

Bu çalışmada enerji kullanımından tasarruf etmek, elektrik faturasını azaltmak için PV ve rüzgar enerji sistemleri modellenerek sisteme entegre edilmiştir. PV ve rüzgar, 24 saatlik bir süre için değişken yapılarını gösterecek şekilde Göztepe, İstanbul, Türkiye'de Bilgin'in [113] tezi için kurulmuş ölçüm istasyonundan alınan verilerdeki rüzgar ve güneş enerjisi değişimleri temel alınarak modellenmiştir. Modellenen güç üretimi $P_f(t)$ ve zaman grafiği her iki YEK için simulink modelindeki bir arama tablosuna kaydedilmiştir. Modellenen PV ve rüzgar enerji sistemi Şekil 3.12'de gösterilmektedir.



Şekil 3.12 PV ve rüzgar enerji sistemlerinin simulink modeli [2]

3.4.Bulanık Mantık Denetleyici

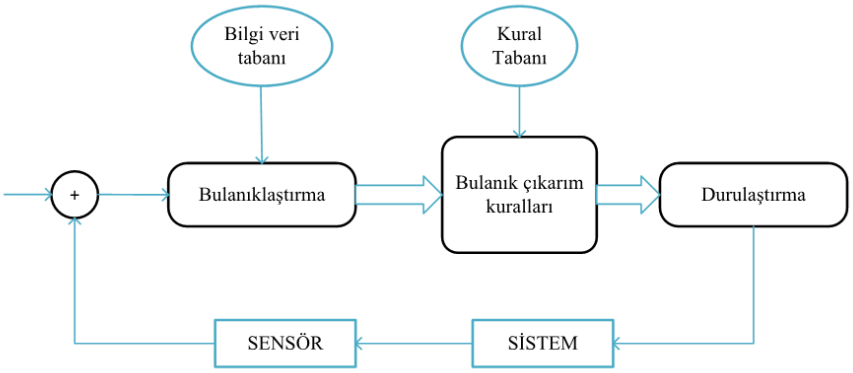
BM, ilk defa 1965 senesinde Azerbaycan kökenli Prof. Lotfi A. Zadeh yayınladığı makale ile ortaya çıkmış ve birçok bilim adamının dikkatini çekmiştir [114, 115]. Yayınladığı bu makalede, insan fikrinin büyük kısmının kesin değil bulanık olduğunu da açıklamıştır. Daha sonra Lotfi Zadeh 1968'de bulanık algoritmaları, 1970'te ise bulanık karar verme yöntemlerini ortaya koymuştur. 1973 yılında yayınladığı makalede insan düşüncesini ve dilsel değişkenleri modellemek için 'EĞER-İSE' kurallarını kullanmayı öne sürmüştür [116].

Bulanık kural tabanlı denetleyiciyi ilk defa Mamdani ve arkadaşları 1975 yılında buhar makinesinin kontrolü için kullanmışlardır. Bu çalışma sonucunda BMD'nin klasik denetleyicilere kıyasla daha kolay tasarlandığı ve daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir. 1980 yılında, endüstriyel süreç için ilk defa Danimarka'daki bir çimento fabrikasının fırınını kontrol etmek için tasarlanmıştır [117]. Daha sonra BMD'i Japonyada birçok çalışmada; 1980 yılında Fuji Electric su arıtma tesisinin kontrolünde, 1987 yılında Sendai metrosunda kullanılmış ve başarılı şekilde uygulanmıştır. Son zamanlarda ise BM yapay zeka alanında yaygın şekilde uygulanmaktadır [114].

BMD, hassas kontrol mekanizmasından ziyade muhakemeye dayanır. BM, herhangi bir ortamda akıl yürütme ve rasyonel kararlar verme yeteneğine sahiptir [115]. BM'nin en önemli avantajlarından biri de insan düşünce biçimini matematiksel formüllere, modellemelere ve karmaşık işlemlere lüzum kalmadan makinelere iletilmesini gerçekleştirmesidir. Klasik mantıkta olduğu gibi sonuçlar net olarak '0 ya da 1' olmasının

aksine, BM'de 0 ile 1 arasında değişen bir doğruluk değerine sahip olmaktadır [114].

BMD genel olarak girdi değerleri, kurallar kümesi ve çıktı değerleri olmak üzere 3 temel aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada gerçek veriler giriş değerleri üyelik fonksiyonlarına atanarak bulanıklaştırılmaktadır. Ayrıca bir giriş değeri aynı anda birden fazla kümeye ait olabilmektedir. İkinci aşamada girdi değerleri, yazılan kuralar tablosuna göre işlenmektedir. İşlenen sonuçlar son olarak ise durulaştırma aşamasından geçirilerek çıktı değeri elde edilmektedir [100, 114]. BMD'nin şeması Şekil 3.13'de gösterilmektedir.



Şekil 3.13 BMD'nin şeması [118]

BMD'de aralarındaki ilişkileri yöneten sözel kuralları tüm girdi ve çıktı değerlerine tanımlamak için bulanık üyelik fonksiyonlarına ihtiyaç vardır. Üyelik fonksiyonlarının üçgen, ikizkenar yamuk, parçalı doğrusal, Gaussian gibi farklı çeşitleri vardır [114, 119].

Yazılan kural sayısı, giriş ve çıkış bloklarında dikkate alınan üyelik işlevlerinin sayısına bağlıdır. Kurallar ne kadar fazla olursa çıktı o kadar kesin olmaktadır. Bulanık kurallar kural düzenleyicide oluşturulmaktadır [119]. BM'nin kural yapıları Mamdani, Takagi-Sugeno ve Tsukamoto olmak üzere üç ana kategoride sınıflandırılabilmektedir [120]. Kural tablosunda giriş ve çıkış değişkenlerine ait üyelik fonksiyonları kategorilere ayırarak isimlendirilmekte ve if ....then (örneğin, eğer giriş 1 ise çıkış o zaman 0.5 olsun) şeklinde ilişkilendirilmektedir. Eğer birden fazla giriş kümesi varsa girişler kendi aralarında 'and'(ve) ya da 'or'(veya) işlemleri ile if... and...and...then şeklinde bağlanmaktadır [120].

3.4.1. Bulanık mantık denetleyicinin tasarlanması

Son zamanlarda birçok çalışmada TTY'i göz önünde bulunduran kullanıcıların konforundan ödün vermeden maliyeti, enerji tüketimini ve PAR'ı azaltmak, akıllı arıza tespiti ile ilgili karar vermeyi daha da iyileştirmek için özellikle BM tabanlı EYS'ler geliştirmişlerdir [100, 121-123]. Örneğin Alfaverh vd. BMD ile elektrik birim fiyatının yüksek olduğu pik

dönemlerden elektrik birim fiyatının düşük olduğu saatlere kaydırarak sabah ve akşam en yoğun dönemlerde elektrik maliyetinde sırasıyla %15 ve %18,5 oranında tasarruf sağlamışlardır [121]. Khalid vd. ise maliyet ve enerji tüketimine ek olarak PAR'ı azaltmak için BM ile birlikte kontrol edilebilir cihazları planlamak için sezgisel optimizasyon teknikleri kullanmışlardır [100]. Waseem vd ile Ghiasi vd. TTY'yi göz önünde bulunduran oyun teorisine dayalı stratejiler önermişlerdir [122, 124]. Waseem vd ilk olarak, ev aletlerini kontrol edilebilir ve kontrol edilemez yükler olarak modelledikten sonra normalize edilmiş kısıtlama stratejisi ile tüketim maliyetini, kullanıcı konforunu ve PAR'ı optimize etmeyi hedefleyen ev aletleri planlama çerçevesi sunmuşlardır. Sundukları çerçevenin toplam enerji maliyetini ve gaz emisyonlarını optimize etmek için bulanık uzlaşma yöntemi uygulamışlardır. Gün içinde 104,30 sent gibi önemli ölçüde düşük bir maliyet elde etmişlerdir [122]. Ghiasi vd. ise binanın talep edilen gücü ile şarjlı elektrikli araçlar ve hibrit güç üretim kaynaklarının çıkış gücü arasındaki dengeyi sağlamak için enerji depolama kontrolüne yönelik bulanık kaydırmalı güç kontrol stratejisi getirmişlerdir [124].

Mpelogianni vd., Esmaeilzadeh vd., Keshtkar ve Arzanpour iç ortam sıcaklığını kontrol etmek ve enerji tüketiminin ekonomik optimizasyonunu sağlamak üzerine yapmış oldukları çalışmada BMD kullanmışlardır [123, 125-127]. Mpelogianni vd. tüketicilerin konforunu artırmak, enerji maliyetlerini düşürmek ve en yüksek talebi kaydırmak için iklimlendirme sistemini BMD'nin çıkarım motorunu temel alarak işletimini optimize etmişlerdir [123]. Esmaeilzadeh vd. açma/kapama ve BMD sistemi ile ayarlanan PID kontrol algoritmalarını hibrid güneş elektrik termal sistemi üzerine uygulamışlardır. BMD sistemi, ortam sıcaklığını %1'den daha az bir hata ile ayarlamasının yanı sıra, enerji tüketim maliyetini %12 oranında düşürmüştür [125]. Keshtkar ve Arzanpour 2014 ve 2017 yıllarında 2 ayrı çalışma gerçekleştirmişlerdir [126, 127]. 2014'teki çalışmalarında konut binalarında TTY için dış ortam sıcaklığı, mevcut yük talebi, mevcut elektrik fiyatı ve kullanıcı varlığı dikkate alaran BMD geliştirmişlerdir. Yöntemlerini mevcut kablosuz programlanabilir termostatlarla karşılaştırdıklarında, güç tasarrufu 387 kW'a eşit olmuştur [127]. 2017 çalışmalarında ise iklimlendirme sistemleri için uyarlanabilir bir otonom EYS önermişlerdir. Kullanıcının otonom sistem tarafından verilen kararı geçersiz kılabileceği durumlarda, kullanıcının yeni tercihlerini tespit etmek, öğrenmek ve uyarlamak için bir uyarlanabilir BM modeli geliştirmişlerdir. Bir aylık simülasyon sonuçlarında termostata eklenen BMD ile enerji tüketiminde %21,3 oranında azalma sağlamışlardır [126].

Yukarıda bahsettiğimiz çalışmalardan farklı olarak Javaid vd. ile Abbas vd BM ve sinir

ağını birleştirerek derin nöro-bulanık optimizasyonu önermişlerdir [128, 129]. Javaid vd. hem yaz hem de kış sezonu için TOU tarifelerini kullanarak tüketicilere enerji ve maliyet tasarrufu sağlamışlardır [128]. Abbas vd önerdikleri müdahalesiz yük izleme tekniklerinde nöro-bulanık ile evin toplam talep verilerinden cihazların çalışma durumunu belirlemişlerdir [129].

Modern binalarda çevre dostu ve ekonomik özellikleriyle yaygın olarak benimsenen YEK uygulanmasıyla tasarruf sağlamak ile birlikte elektrik üretimindeki olağanüstü belirsizlikler yüzünden sistem daha da karmaşık olmaktadır [4]. Bina enerji performansı hakkındaki en son araştırmalarda, geçmişe dayalı olmayan gerçek zamanlı enerji yönetimine odaklanılmıştır. Gelişmiş bina EYS ise gerçek zamanlı hava durumu ve enerji kullanım verilerini toplayarak analiz etmekte, daha sonra enerji akışını dinamik olarak optimize etmek için uygun bir kontrol sistemi uygulamaktadır [100]. Karna vd., Sharma ve Baine, Saidi vd., Elsisi vd., Dong vd., Meje vd. YEK'in aralıklı ve stokastik doğasını göz önünde bulundurarak belirsizliklere karşı yükteki öngörülebilirliği optimize etmek için pil depolama sistemleri ve aktif yük kontrolünü araştırmışlardır [130-135]. Karna vd. YEK'in belirsizliklerini ele alan akıllı sayaç, BM tabanlı algoritmalar kullanan bir akıllı TTY sistemi uygulamış ve sayısal haberleşme sağlayarak %15 enerji tasarrufu sağlamışlardır [130]. Sharma ve Baine ise PV'nin güç üretimin en yoğun olduğu zamanlarda ekstra güç sağlamak için bataryanın şarj ve deşarj olduğunu kontrol eden BM'ye dayalı akıllı bir denetleyici geliştirmişlerdir [131]. Saidi vd. YEK'in kullanımını artırmak ve boşaltma yükü yoluyla enerji tüketimini azaltmak için BM'ye dayalı EYS önermişler ve gerçek meteorolojik veriler ile test etmişlerdir [132]. Elsisi vd., Dong vd. ve Meje vd. yük dalgalanmasının zorluğu nedeniyle güç sistemi kontrolünü başarıyla gerçekleştrimek için BM tabanlı yönetim stratejisi uygulamışlardır [133-135]. Meje vd. çalışmalarında BM yalnızca yükü beslemekle kalmayıp, dizel jeneratörün sistemin öngörülemeyen elektrik kesintisi yaşandığında bataryaların şarjlı tutulmasına yardımcı olduğunu göstermişlerdir [135].

YEK'lerin aralıklı ve değişken üretim karakteristikleri sistemin nominal gerilim ve frekans değerlerini olumsuz yönde etkilemektedir. Krim vd. gerilim ve frekans regülasyonu için şebeke arızası durumunda güç kaynağının sürekliliğini sağlamak adına, Elsisi vd. ise YEK parametrelerinin belirsizliklerine karşı sistem yanıtının özelliklerini iyileştirmek için BM'e dayalı akıllı kontrol stratejisi önermişlerdir. Simülasyon sonuçlarında, Elsisi vd. frekanstaki sapmaları azaltabildiklerini, Krim vd. ise frekans ve gerilimi optimum sınırlarda tutarak stabilitesini sağladıklarını doğrulamışlardır [133, 136].

Ciabattoni vd. ve Ghora vd. PV'den maksimum yararlanarak maliyette tasarruf sağlamak için BM tabanlı çalışma gerçekleştirmişlerdir [137, 138]. Ciabattoni vd. yük planlamanın gerçek ekonomik faydalarını değerlendirmek için maliyet fayda analizi ile birleştirilmiş BMD'li model oluşturmuşlardır. Maliyet fayda analizinde, tüm PV sistemleri boyutları için, üretim ve tüketim modellerinin eşleştirilmesi ile ilişkili ekonomik rahatlık olduğunu doğrulamışlardır [137]. Ghora vd. Ciabattoni vd.'den farklı olarak fişli elektrikli araçları şarj etmek için çoklu toplayıcı tabanlı çevrimiçi bulanık koordinasyon algoritması sunmuşlardır. Ulaşım endüstrisinde bu tür entegrasyon ile temiz enerjiyi uygun şekilde kullanmayla birlikte yük dalgalanmasında azalma sağlayarak yük faktöründe %87 oranında iyileşme sağlandığını belirtmişlerdir [138]. Sonuç olarak bu bahsettiğimiz çalışmalardan da görüldüğü gibi BMD kontrol edilecek sistemin davranışını verimli bir şekilde gözlemleyerek enerji tasarrufu konusunda başarılı sonuçlar vermiştir.

Bu tez çalışmasında da BMD, güç tüketimini planlama amacıyla tasarlanmıştır. BM, verilen öncelik doğrultusunda yükler üzerinde kontrol sağlamaktadır. BM tabanlı yük denetleyicisi, tüketiciler elektriğin birim fiyatının yüksek olduğu saatlerde tüketimlerini artırdıklarında, öncelikli olmayan yükleri tanımlayarak hem elektriğin birim fiyatının düşük olduğu saatlere hem de YEK'den elektrik üretimi olduğu zamanlara kaydırılarak elektrik faturasının azaltılmasına yardımcı olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu durumda, denetleyici YEK'den üretimin olmadığı ve enerji tüketiminin yoğun saatlerde güç tüketimini bazı yüklerin kesilmesini önermekte ve böylece yüksek öncelikli yüklere sağlanan gücün uygun şekilde kullanılması sağlamaktadır. Denetleyici ayrıca enerji tüketimini belirli bir sınır dahilinde tutmakta, bu da elektriğin fiyatının yüksek olduğu saatlerde tüketiminde yoğun olduğu zamanlarda sınırı aşamayacağı anlamına gelmektedir.

3.4.1.1.Bulanık mantık yük denetleyicisi

Bu tez çalışmasında bulanık sistemde giriş sinyalleri olarak: "Elektrik Fiyatı";"Güç Talebi"; "Yenilenebilir Enerji" ve çıkış olarak "İzin Verilen Yük Planlaması" ve "Çalışan Yükler" atanmıştır. Şekil 3.14'te 75 kural, üç giriş sinyali ve iki çıkış sinyaline sahip BMD'nin blok diyagramı gösterilmektedir.

Şekil 3.14'te bahsedilen girişler ve çıkış sinyalleri aşağıdaki gibidir.

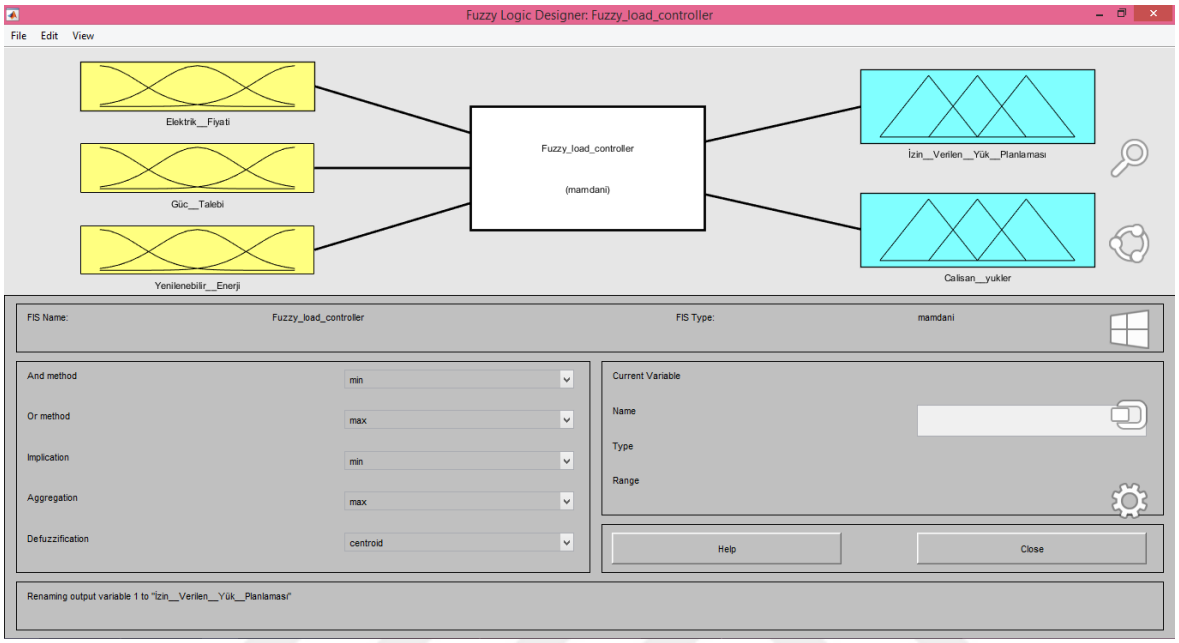
"Elektrik Fiyat": 24 saat saatlik süre boyunca örneklenmiştir. Elektriğin birim fiyatının ucuz veya pahalı olduğu saatleri tanımlamaktadır.

"Güç Talebi": Mevcut cihazların çalışma zamanlarına göre yük tüketim talebidir.

“Yenilenebilir Enerji”: PV ve rüzgar türbininin 24 saatlik üretimidir.

“Yük Planlaması”: kW cinsinden kaydırılacak yük miktarıdır.

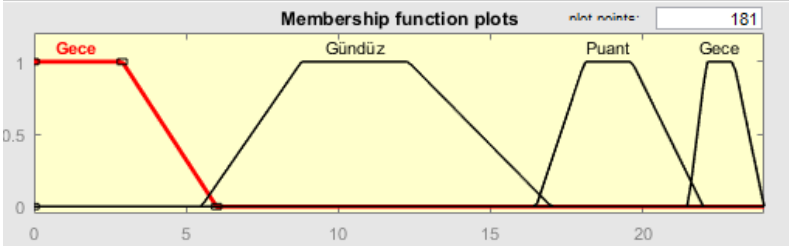
“Çalışan Yükler”: Denetleyicinin belirli bir sürede çalışmaya izin vereceği kW cinsinden toplam yük miktarıdır.



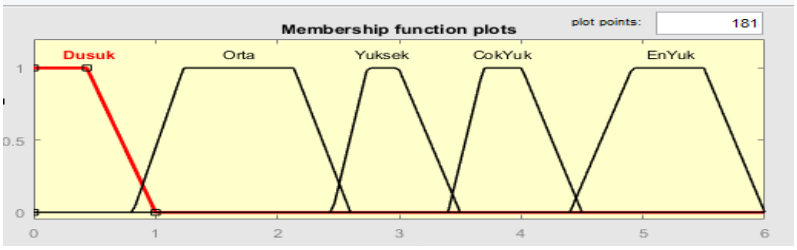
Şekil 3.14 BMD’nin blok diyagramı.

3.4.1.2.Bulanık üyelik fonksiyonları

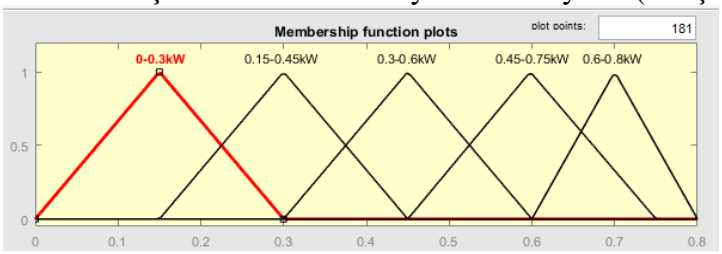
Üyelik fonksiyonlardan BMD’nin girdileri “Elektrik Fiyat” ve “Güç Talebi” için ikizkenar yamuk, “Yenilenebilir Enerji” için üçgen tipi üyelik fonksiyonları deneme yanılma yöntemiyle seçilmiştir. “Elektrik Fiyat” girdisinde üyelik fonksiyonları 3 zamanlı tarifeye göre elektriğin birim fiyatının düşük olduğu zaman aralığı (Gece 22:00-06:00) “Gece”, orta olduğu zaman aralığı (Gündüz 06:00-17:00) “Gündüz”, pahalı olduğu zaman aralığı (Puant 17:00-22:00) ise “Puant” olarak ayarlanmıştır. Öte yandan, çıkış değişkenleri için üçgen üyelik fonksiyonları seçilmiş ve bu değişkenler üzerindeki keskin kısıtlamalar nedeniyle yük planlanmasına izin verilmiştir. Tüm giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları Şekil 3.15; 3.16; 3.17; ve 3.18; 3.19'da gösterilmektedir.



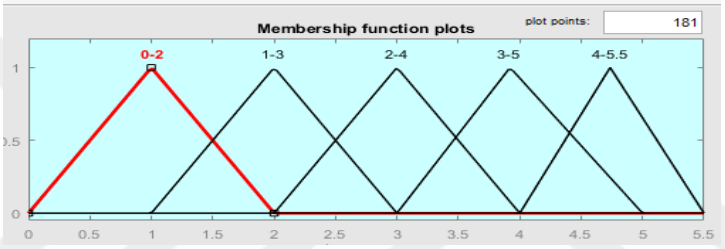
Şekil 3.15 Elektrik fiyatının bulanık üyelik fonksiyonu (Giriş 1).



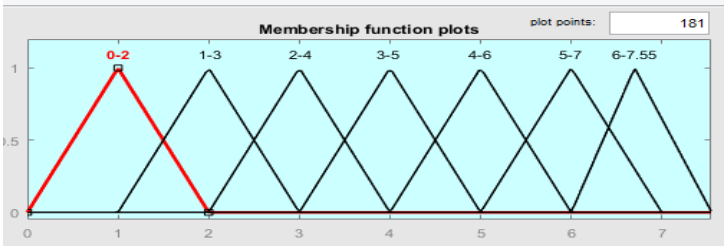
Şekil 3.16 Güç talebinin bulanık üyelik fonksiyonu (Giriş 2).



Şekil 3.17 Yenilenebilir enerji bulanık üyelik fonksiyonu (Giriş 3).



Şekil 3.18 Yük planlamasının bulanık üyelik fonksiyonu (Çıkış 1).



Şekil 3.19 Çalışan yüklerin bulanık üyelik fonksiyonu (Çıkış 2).

3.4.1.3.Bulanık kurallar

Giriş ve çıkış bloklarında dikkate alınan üyelik işlevlerinin sayısına bağlı olarak ihtiyaçlar ve kısıtlamalar dikkate alınarak 75 kural oluşturulmuş ve kural tablosu Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5 Bulanık kurallar.

Fiyat	G.Taleb	YEK	Planlama	Çalışan	Fiyat	G.Taleb	YEK	Planlama	ÇalışanY
Puant	EnYük	0-0.3	4-5.5	0-2	**Gece**	EnYük	0-0.3	4-5.5	0-2
Puant	EnYük	0.15-0.45	3-5	1-3	**Gece**	EnYük	0.15-0.45	3-5	1-3
Puant	EnYük	0.3-0.6	2-4	2-4	**Gece**	EnYük	0.3-0.6	2-4	2-4
Puant	EnYük	0.45-0.75	1-3	3-5	**Gece**	EnYük	0.45-0.75	1-3	3-5
Puant	EnYük	0.6-0.8	0-2	4-6	**Gece**	EnYük	0.6-0.8	0-2	4-6
Puant	ÇokYük	0-0.3	4-5.5	0-2	**Gece**	ÇokYük	0-0.3	4-5.5	0-2
Puant	ÇokYük	0.15-0.45	3-5	1-3	**Gece**	ÇokYük	0.15-0.45	3-5	1-3
Puant	ÇokYük	0.3-0.6	2-4	2-4	**Gece**	ÇokYük	0.3-0.6	2-4	2-4
Puant	ÇokYük	0.45-0.75	1-3	3-5	**Gece**	ÇokYük	0.45-0.75	1-3	3-5
Puant	ÇokYük	0.6-0.8	0-2	4-6	**Gece**	ÇokYük	0.6-0.8	0-2	4-6
Puant	Yüksek	0-0.3	4-5.5	0-2	**Gece**	Yüksek	0-0.3	4-5.5	0-2
Puant	Yüksek	0.15-0.45	3-5	1-3	**Gece**	Yüksek	0.15-0.45	3-5	1-3
Puant	Yüksek	0.3-0.6	2-4	2-4	**Gece**	Yüksek	0.3-0.6	2-4	2-4
Puant	Yüksek	0.45-0.75	1-3	3-5	**Gece**	Yüksek	0.45-0.75	1-3	3-5
Puant	Yüksek	0.6-0.8	0-2	4-6	**Gece**	Yüksek	0.6-0.8	0-2	4-6
Puant	Orta	0-0.3	4-5.5	0-2	**Gece**	Orta	0-0.3	4-5.5	0-2
Puant	Orta	0.15-0.45	3-5	1-3	**Gece**	Orta	0.15-0.45	3-5	1-3
Puant	Orta	0.3-0.6	2-4	2-4	**Gece**	Orta	0.3-0.6	2-4	2-4
Puant	Orta	0.45-0.75	1-3	3-5	**Gece**	Orta	0.45-0.75	1-3	3-5
Puant	Orta	0.6-0.8	0-2	4-6	**Gece**	Orta	0.6-0.8	0-2	4-6
Puant	Düşük	0-0.3	4-5.5	0-2	**Gece**	Düşük	0-0.3	4-5.5	1-3
Puant	Düşük	0.15-0.45	3-5	1-3	**Gece**	Düşük	0.15-0.45	3-5	2-4
Puant	Düşük	0.3-0.6	2-4	2-4	**Gece**	Düşük	0.3-0.6	2-4	3-5
Puant	Düşük	0.45-0.75	1-3	3-5	**Gece**	Düşük	0.45-0.75	1-3	4-6
Puant	Düşük	0.6-0.8	0-2	4-6	**Gece**	Düşük	0.6-0.8	0-2	**5-7**
Gündüz	EnYük	0-0.3	4-5.5	0-2	**Gündüz**	Yüksek	0.3-0.6	2-4	2-4
Gündüz	EnYük	0.15-0.45	3-5	1-3	**Gündüz**	Yüksek	0.45-0.75	1-3	3-5
Gündüz	EnYük	0.3-0.6	2-4	2-4	**Gündüz**	Yüksek	0.6-0.8	0-2	4-6
Gündüz	EnYük	0.45-0.75	1-3	3-5	**Gündüz**	Orta	0-0.3	4-5.5	0-2
Gündüz	EnYük	0.6-0.8	0-2	4-6	**Gündüz**	Orta	0.15-0.45	3-5	1-3
Gündüz	ÇokYük	0-0.3	4-5.5	0-2	**Gündüz**	Orta	0.3-0.6	2-4	2-4
Gündüz	ÇokYük	0.15-0.45	3-5	1-3	**Gündüz**	Orta	0.45-0.75	1-3	3-5
Gündüz	ÇokYük	0.3-0.6	2-4	2-4	**Gündüz**	Orta	0.6-0.8	0-2	4-6
Gündüz	ÇokYük	0.45-0.75	1-3	3-5	**Gündüz**	Düşük	0-0.3	4-5.5	0-2
Gündüz	ÇokYük	0.6-0.8	0-2	4-6	**Gündüz**	Düşük	0.15-0.45	3-5	1-3
Gündüz	Yüksek	0-0.3	4-5.5	0-2	**Gündüz**	Düşük	0.3-0.6	2-4	2-4
Gündüz	Yüksek	0.15-0.45	3-5	1-3	**Gündüz**	Düşük	0.45-0.75	1-3	3-5
Gündüz	Düşük	0.6-0.8	0-2	4-6					

4 BULGULAR

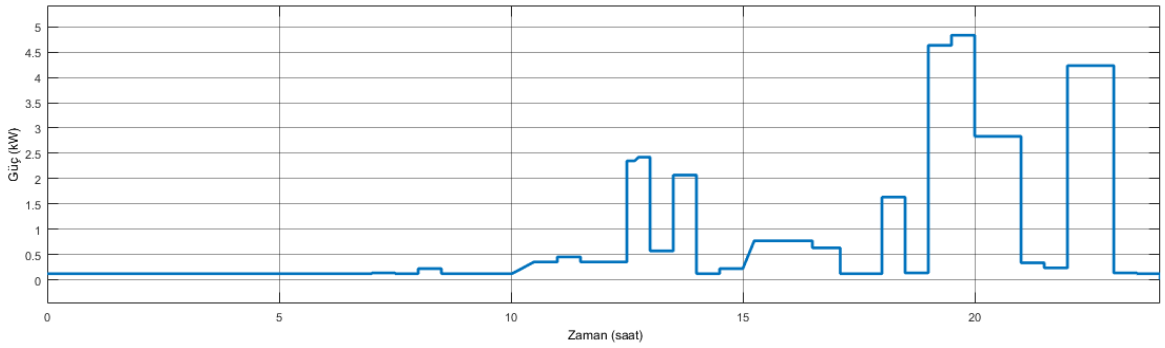
Bu tez çalışmasında AB'lerde enerji yönetimi ve verimliliği 4 durum özelinde incelenmiştir.

1. Denetleyici içermeyen AB'lerde enerji tüketimi
2. BMD'li AB'lerde enerji tüketimi
3. Denetleyici içermeyen YEK ile entegre AB'lerde enerji tüketimi
4. YEK içeren BMD'li AB'lerde enerji tüketimi.

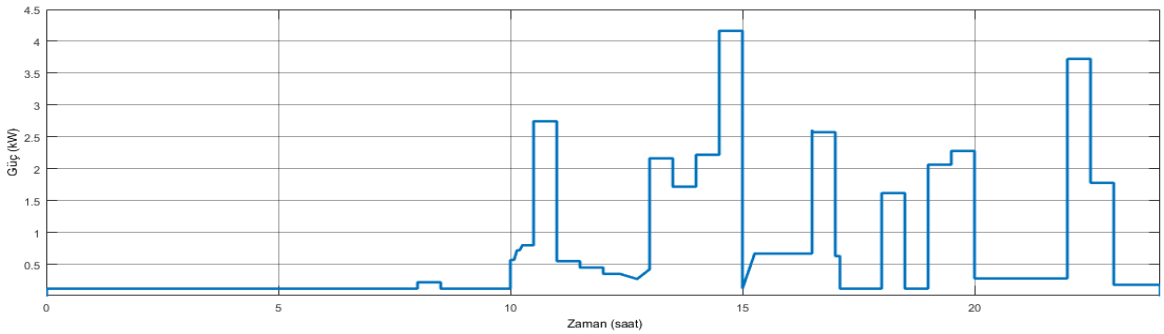
Bu bölümde her 4 durum için yaz ve kış günü dikkate alınarak yapılan analizler ve elde edilen simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır.

4.1. Denetleyici İçermeyen AB

Bu bölümde, mevcut ev aletleriyle denetleyici içermeyen binanın güç tüketimi incelenmiştir. Denetleyici içermeyen bina tipik bir kış ve yaz günü boyunca ev aletlerinin çalışma durumlarına göre ayarlanarak simülasyon gerçekleştirilmiş ve güç tüketimi sonuçları elde edilmiştir. Denetleyici içermeyen AB'nin kış günü ve yaz günü için 24 saatlik süre zarfında güç tüketimi ve maliyetinin simülasyon sonuçları Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de gösterilmektedir.

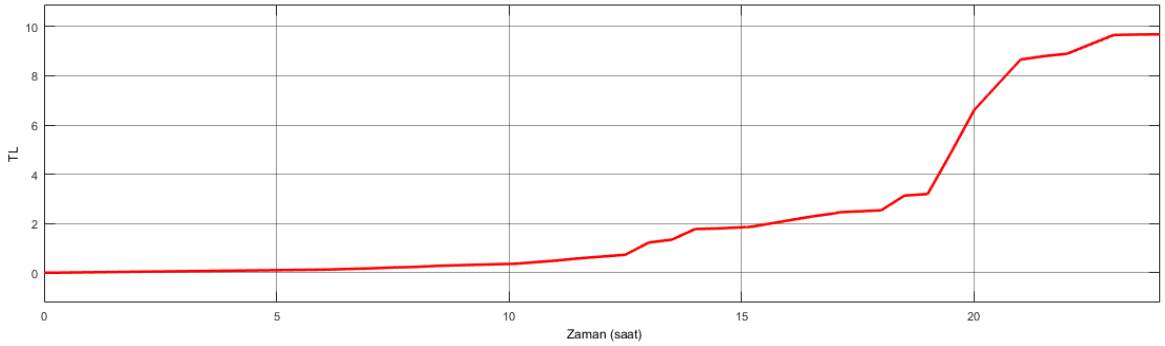


(a)

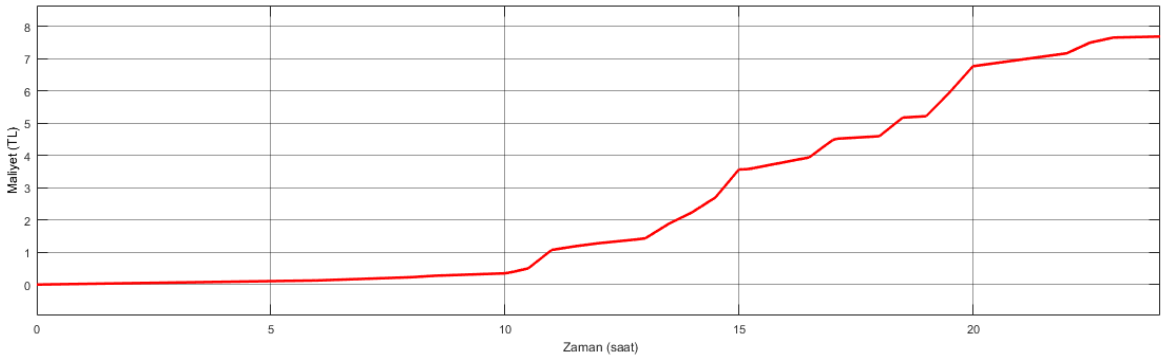


(b)

Şekil 4.1 Denetleyici içermeyen AB'nin (a) kış günü ve (b) yaz günü için güç tüketimi.



(a)



(b)

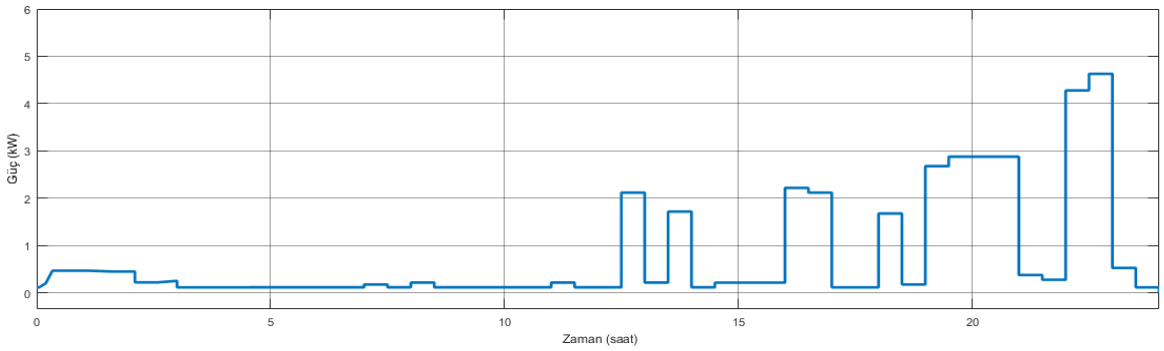
Şekil 4.2 Denetleyici içermeyen AB'nin (a) kış günü ve (b) yaz günü için maliyeti.

Kontrol sisteminin olmadığı kış gününde tüketilen enerji miktarı 19.74 kW maliyeti 9,69 TL, yaz gününde ise 17.88 kW ve 7,69 TL olarak hesaplanmıştır.

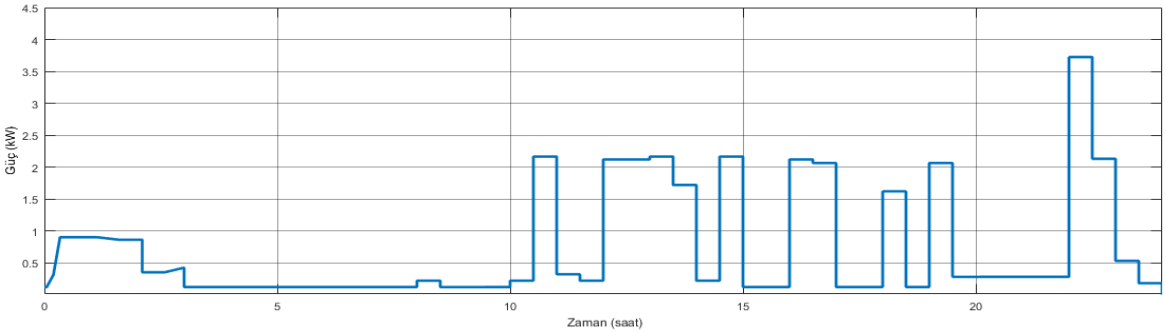
Sayısal değerlerden de anlaşılacağı gibi elektriğin birim fiyatının yüksek olduğu saatlerde tüketim çok olduğundan dolayı maliyet yüksektir.

4.2. BM Tabanlı Yük Denetleyicili AB

Bu bölüm BMD uygulamasının kontrol edilebilir yükler üzerindeki etkisini ayrıntılı olarak göstermektedir. BM tabanlı yük denetleyicisi, tüketiciler yoğun saatlerde tüketimini artırdığında, öncelikli olmayan yükleri kapatarak ve tüketimlerini yoğun olmayan saatlere kaydıracak şekilde tasarlanmıştır. Güç tüketimi, en düşük önceliğe sahip olan kontrol edilebilir yüklerin (bulaşık makinesinden başlayarak çamaşır makinesi, fırın, ütü gibi cihazlar) yoğun saatlerde kesilip yoğun olmayan saatlere kaydırılarak kontrol edilemeyen yüksek öncelikli yüklere uygun şekilde güç sağlanarak kontrol edilmekte ve maliyet tasarrufu sağlamaktadır. BMD'li binanın kış günü ve yaz günü için 24 saatlik güç tüketimi ve maliyetinin simülasyon sonuçları Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te gösterilmektedir.

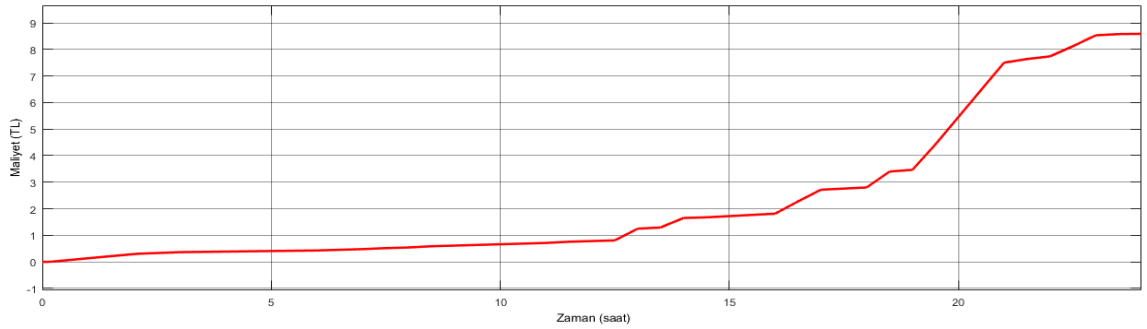


(a)

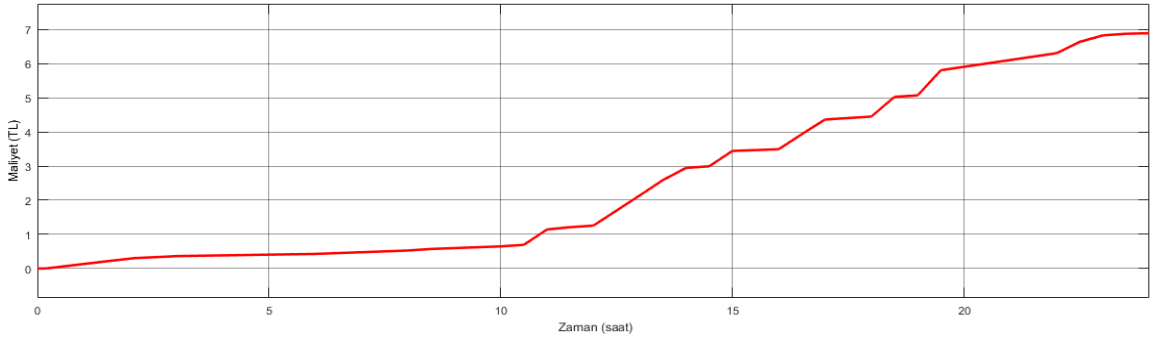


(b)

Şekil 4.3 BMD'li AB'nin (a) kış günü ve (b) yaz günü için güç tüketimi.



(a)



(b)

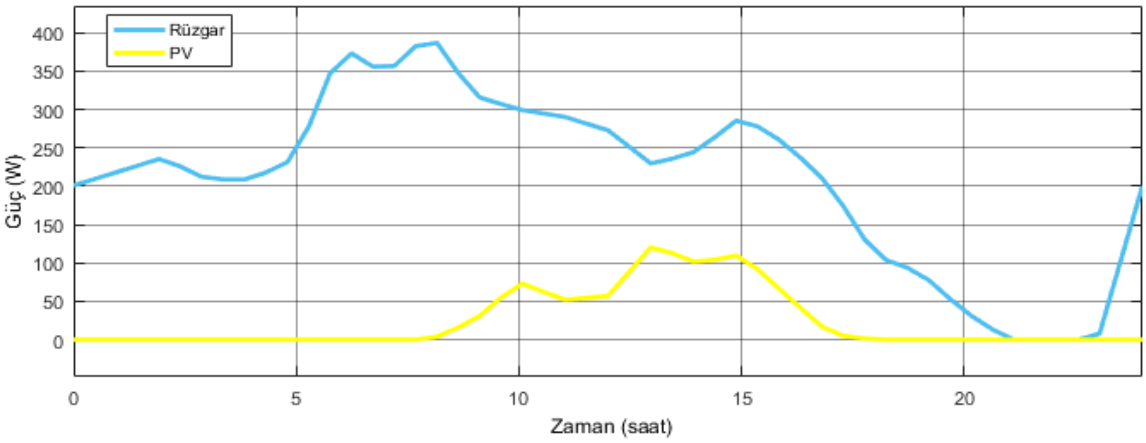
Şekil 4.4 BMD'li AB'nin (a) kış günü ve (b) yaz günü için maliyeti.

Binanın BMD ile kontrolü sonucunda kış gününde tüketilen enerji miktarı 19.74 kW

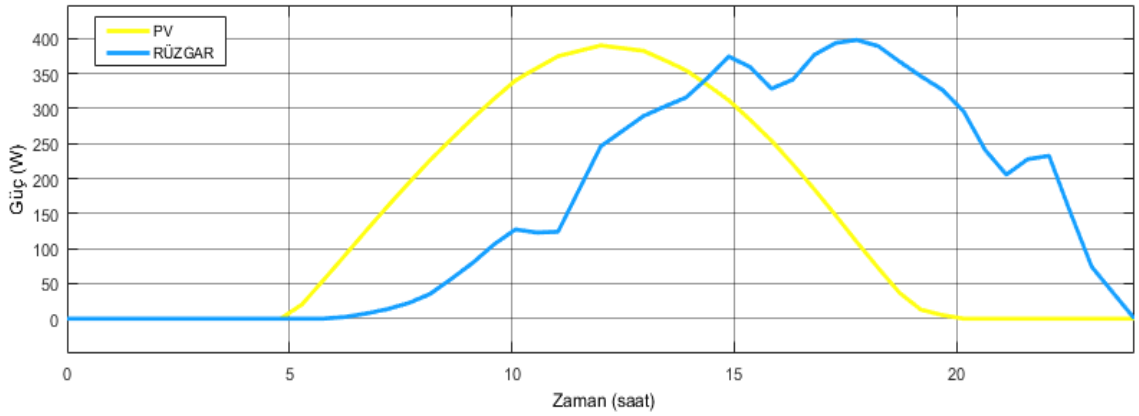
maliyeti 8,59 TL, yaz gününde ise 17.88 kW ve 6,89 TL olarak hesaplanmıştır. Bu bölümde sonuçlarından da göründüğü gibi kontrol edilebilir cihazlar elektriğin birim fiyatının daha ucuz olduğu zamanlara kaydırılarak maliyette kışın (%11,36) yazın (%10,41) tasarruf edilmiştir.

4.3. Denetleyici İçermeyen YEK ile Entegre AB

Denetleyici içermeyen AB'ye ek olarak YEK entegre edilerek güç tüketimi incelenmiştir. Binada YEK olarak 2 adet 195 W'lık toplam 390 W gücünde PV sistemi ve 400 W gücünde rüzgar türbini eklenmiştir. Kış günü (a) ve yaz günü (b) için YEK'in günlük enerji üretim eğrisi Şekil 4.5'te gösterilmektedir.



(a) Kış

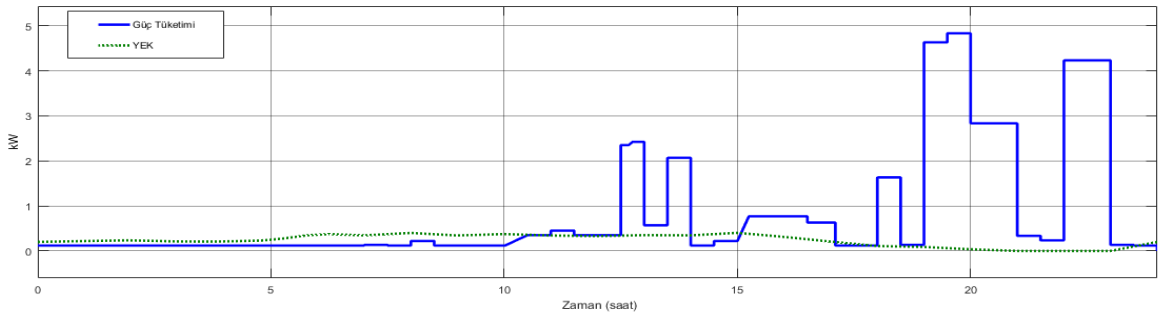


(b) Yaz

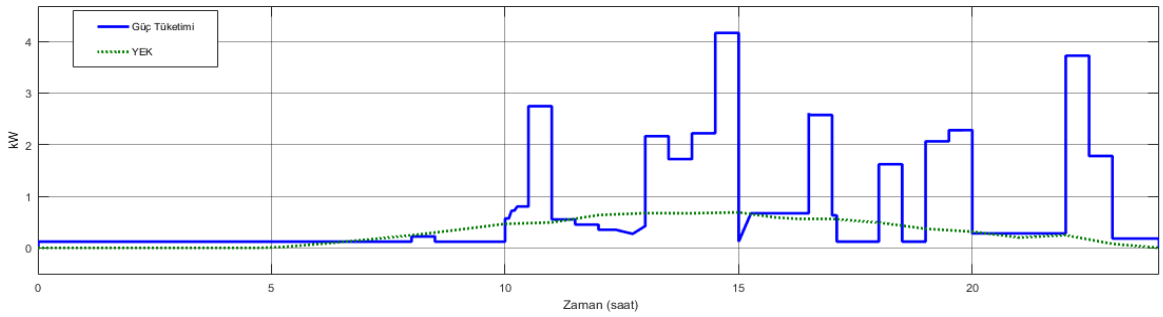
Şekil 4.5 YEK'in günlük enerji üretim eğrisi.

Şekildeki eğrilerden de göründüğü gibi PV öğlen saatlerinde, günün ortasında ürettiği güç en yüksek değerindedir. Bu bölümde binada kontrol planlama ve kaydırma yapılmadan sadece YEK'in güç üretimi yaptığı zamanlarda bina enerji talebini YEK'den sağlamaktadır. Bu durum için 24 saatlik güç tüketimi ve maliyetinin simülasyon sonuçları simülasyon sonuçları

Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de gösterilmektedir.

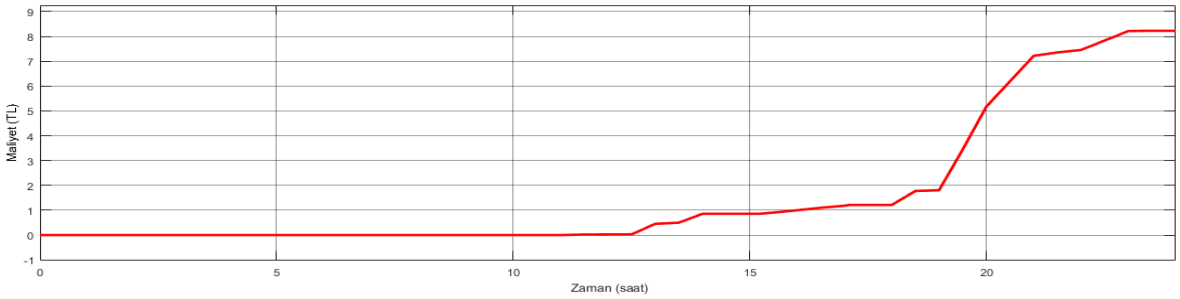


(a)

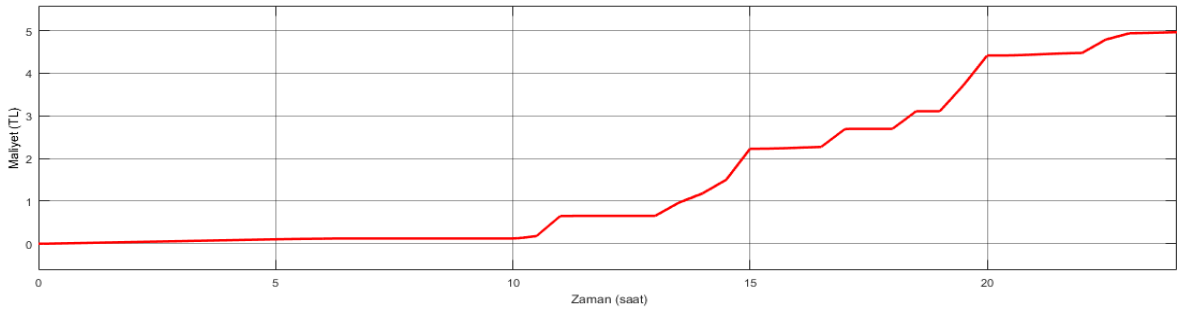


(b)

Şekil 4.6 Denetleyici içermeyen YEK ile entegre AB'nin (a) kış günü ve (b) yaz günü için güç tüketimi.



(a)



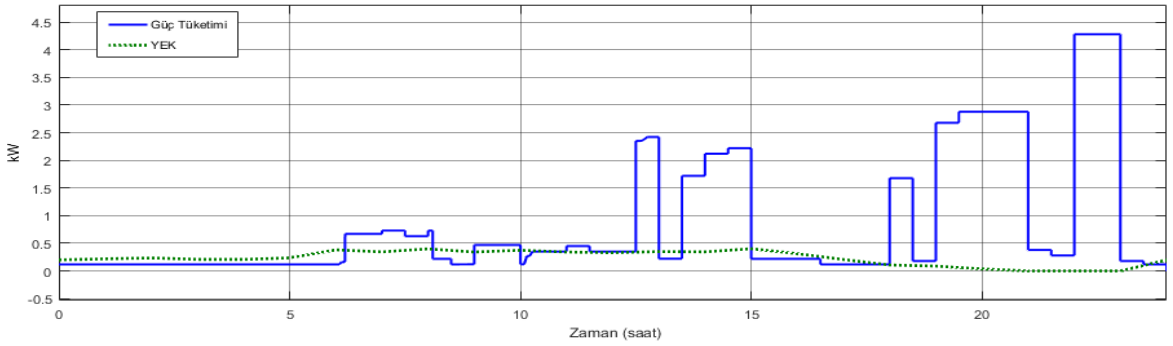
(b)

Şekil 4.7 Denetleyici içermeyen YEK ile entegre AB'nin (a) kış günü ve (b) yaz günü için maliyeti.

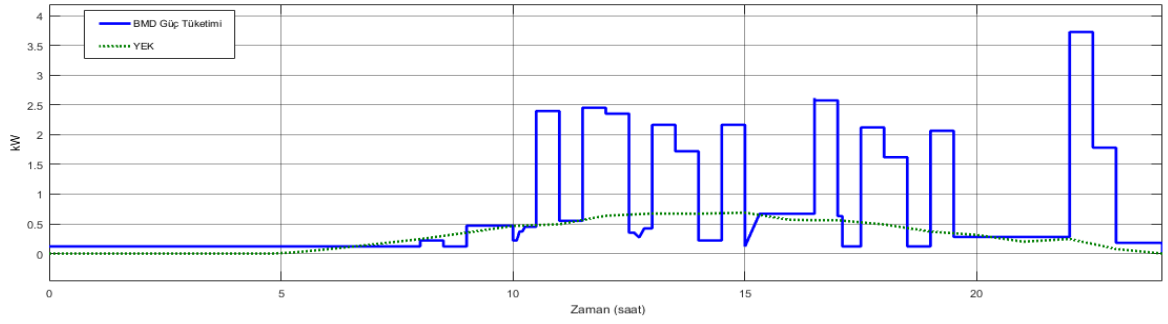
Sayısal değerlere bakıldığında YEK ile entegre kontrol sisteminin olmadığı binalarda kış gününde tüketilen enerji miktarı 15.97 kW maliyeti 8,22 TL, yaz gününde ise 12.11 kW ve 4,97 TL olarak hesaplanmıştır. Bildiği gibi güneş ve rüzgar enerjisi mevsimlere ve günün değişik saatlerine göre farklılık göstermektedir. Yaz gününde de güneş ışınları diğer mevsimlere kıyasla fazla geldiğinden PV daha çok enerji üretimi yapmış ve sistem enerji talebinin büyük kısmını YEK'den sağlamış ve maliyete tasarruf etmiştir. Fakat YEK'in yaz gününde maksimuma yakın güç üretimi yaptığı 12:00 ve 13:00 saatlerinde, kış gününde ise 14:00 ve 15:00 saatlerinde en iyi şekilde yararlanılamamıştır. Buna çözüm olarak ya batarya sistemi eklenmeli ya da yükler o saatlere kaydırılmalıdır.

4.4. BMD ile Birlikte YEK İçeren AB

Bu bölümde ise 3. duruma ek olarak enerji kullanımının daha verimli hale getirilmesi için YEK ve BMD aynı zamanda kullanılarak güç tüketimi incelenmiştir.



(a)

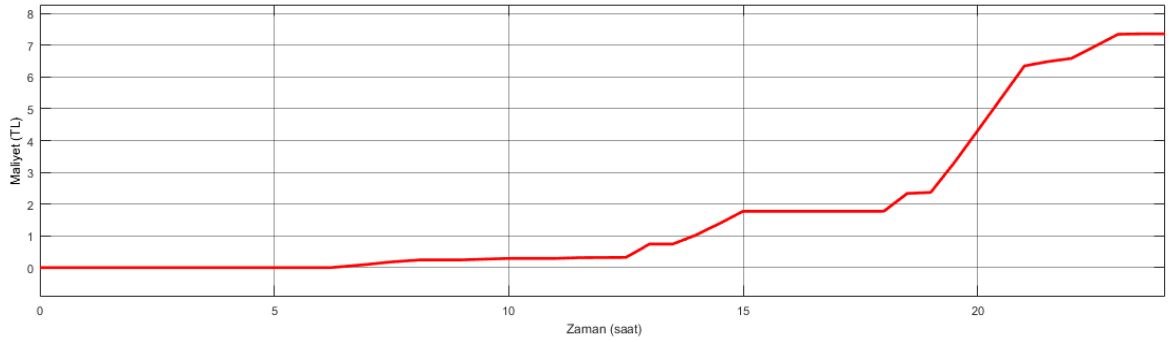


(b)

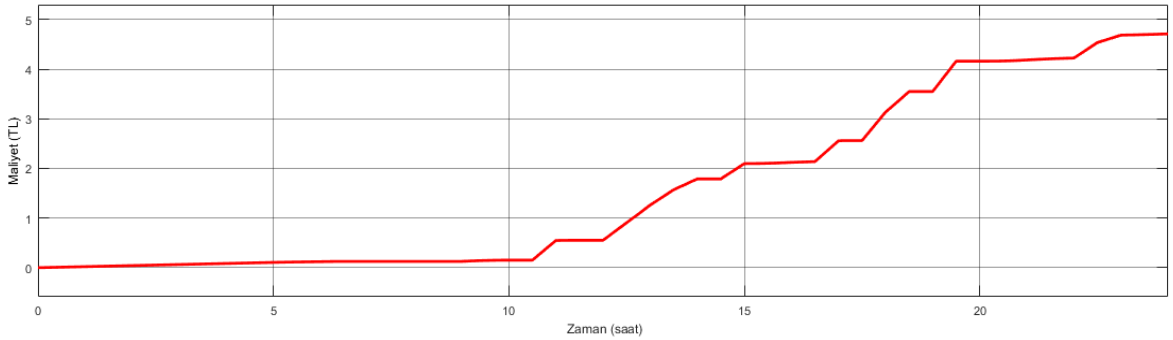
Şekil 4.8 YEK içeren BMD'li AB'nin (a) kış günü ve (b) yaz günü için güç tüketimi.

Bu durumda BMD ve YEK'le donatılmış evde YEK enerji üretimi olduğu zamanlarda sistem yenilenebilir enerjiden beslenmekte, denetleyici yenilenebilir enerjinin olmadığı yoğun saatlerde ise güç tüketimini bazı yüklerin kesilmesiyle sınırlayarak YEK'in enerji üretimi yaptığı saatlere kaydırmaktadır.

Kış günü ve yaz günü için 24 saatlik YEK'in güç üretimi olan BMD ile kontrol edilen binanın maliyetinin simülasyon sonuçları Şekil 4.9'da gösterilmektedir.



(a)



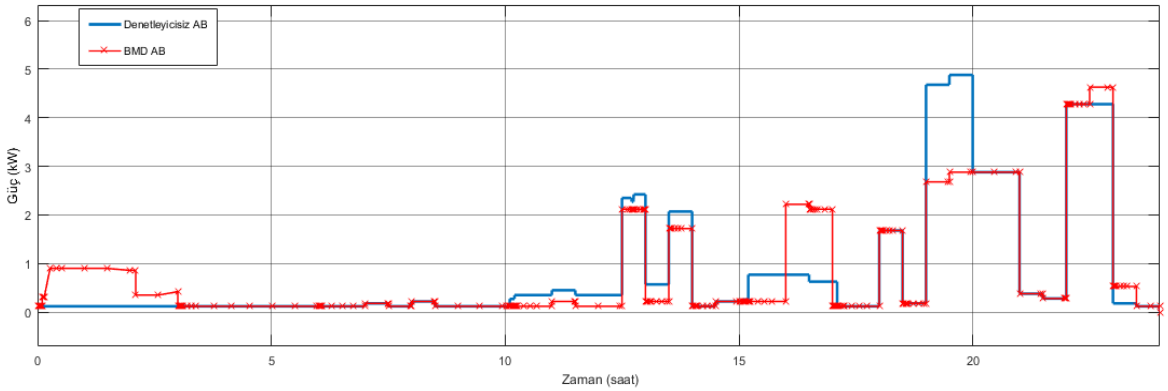
(b)

Şekil 4.9 YEK içeren BMD'li AB'nin (a) kış günü ve (b) yaz günü için maliyeti.

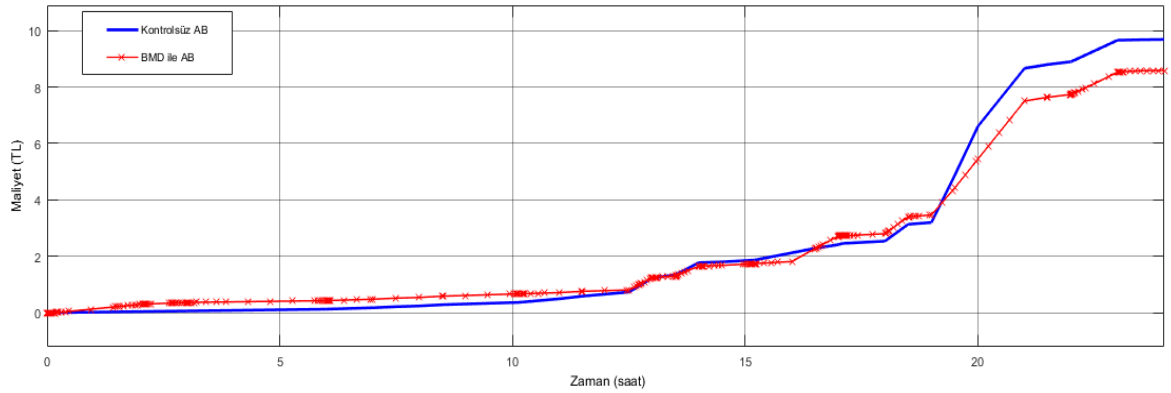
YEK içeren BMD'li AB'nin sayısal değerlerine bakıldığında kış günü için tüketilen enerji. 15.35 kW yaz günü için 11.62 kW, maliyeti ise kışın 7,36 TL yazın ise 4,72 TL olarak hesaplanmıştır. Sayısal değerlerden ve grafiklerden de anlaşıldığı gibi BMD ile kontrol edilebilir cihazlar YEK'in var olduğu saatlere kaydırılarak enerji talebini YEK'den karşılayarak hem güç tüketiminde kış gününde %3,88, yaz gününde %4,05, hem de maliyette kışın %10,46, yazın %5,03 oranında tasarruf edilmiştir.

4.5. Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Son olarak güç tüketim performansını değerlendirmek için 4 durumun karşılaştırmalı analizi yapılmaktadır. İlk önce kontrol sisteminin olmadığı binanın ve BMD'li binanın güç tüketimleri ve maliyeti karşılaştırılmakta ve kış ile yaz günü için sırasıyla Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de gösterilmektedir.

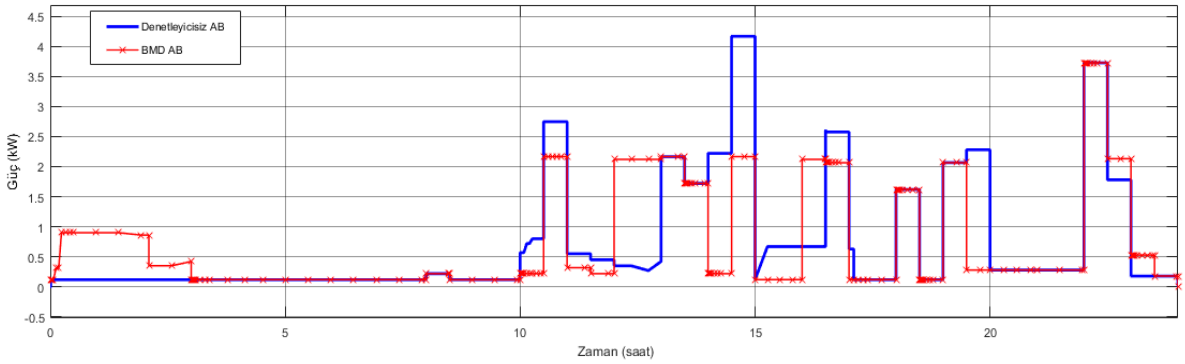


(a)

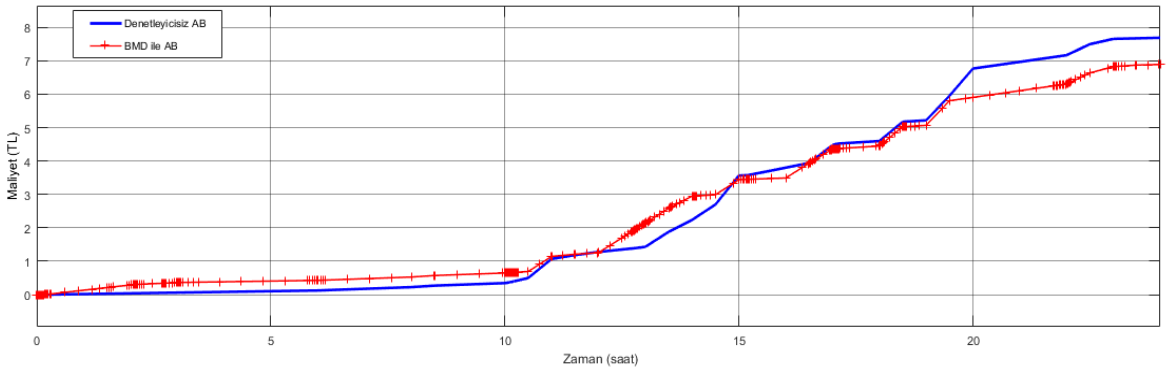


(b)

Şekil 4.10 Kış günü için denetleyicisiz ve BMD'li binanın (a) güç tüketimi ve (b) maliyet karşılaştırması.



(a)

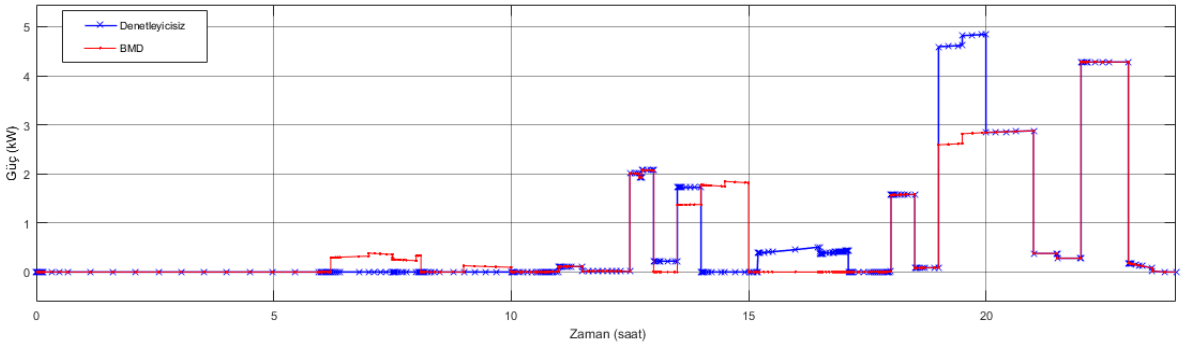


(b)

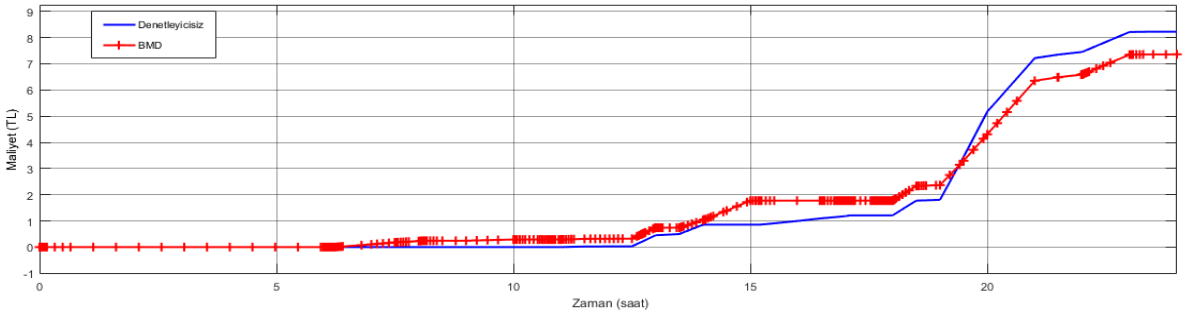
Şekil 4.11 Yaz günü için denetleyicisiz ve BMD'li binanın (a) güç tüketimi ve (b) maliyet karşılaştırılması.

Her 2 mevsim için kontrol edilebilir cihazlar elektriğin birim fiyatının daha ucuz olduğu saatlere kaydırıldığı, tamamen kapatılmadığı için enerji tüketiminde herhangi değişik olmamış fakat kontrol sisteminin olmadığı binanın maliyetine kıyasla BM tabanlı yük denetleyicili bina maliyette günlük kışın 1.10 TL (%11,36), yazın ise 0.80 TL (%10,41) tasarruf edilmiştir.

İkinci olarak ise YEK ile entegre denetleyici içermeyen bina ve BMD ile birlikte YEK içeren binanın güç tüketimleri ve maliyetleri karşılaştırılmakta ve kış ile yaz günü için sırasıyla Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te gösterilmektedir.

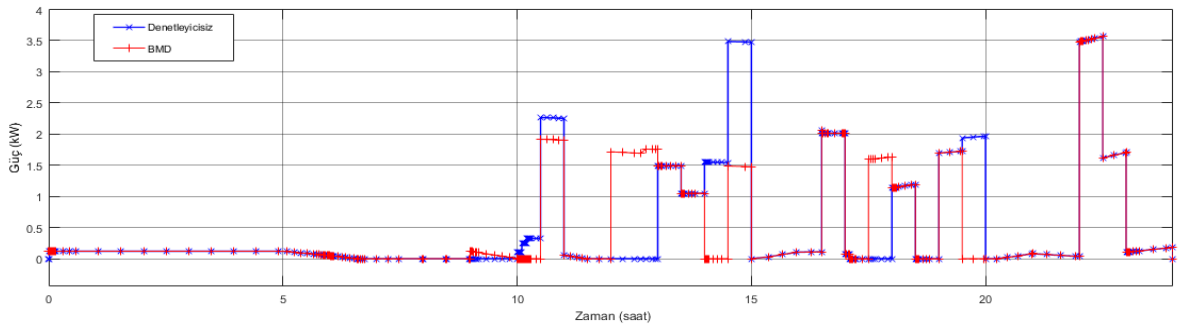


(a)

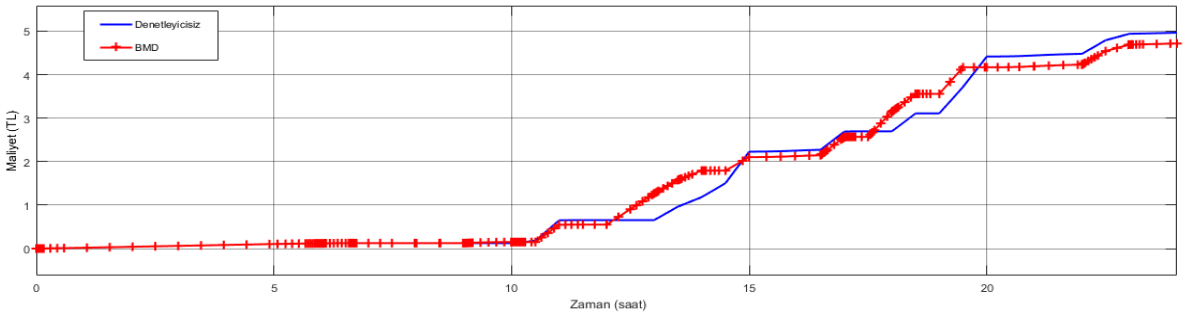


(b)

Şekil 4.12 Kış günü için YEK ile entegre denetleyicisiz binanın ve YEK içeren BMD'li binanın güç tüketimi (a) ve maliyet (b) karşılaştırılması.



(a)



(b)

Şekil 4.13 Yaz günü için YEK ile entegre denetleyicisiz binanın ve YEK içeren BMD'li binanın güç tüketimi (a) ve maliyet (b) karşılaştırılması.

YEK içeren BMD'li binanın YEK ile entegre denetleyicisiz binaya kıyasla kışın 0.62 kW (%3,88) ve 0,86 TL (%10,46), yazın 0.49 kW (%4,05) ve 0,25 TL (%5,03) tasarruf edilmiştir. Enerji tüketimi için farklı durumlar yük yönetim kriterleri güç tüketiminin toplam maliyetini analiz etmek için kullanılmış ve sonuçlar Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'te özetlenmiştir.

Tablo 4.1 Enerji tüketimi ve maliyetin karşılaştırmalı analizi (Kış).

KIŞ	Denetleyicisiz AB'nin güç tüketimi (kW)	Denetleyicisiz AB'nin güç tüketim Maliyeti (TL)	BM ile yük yönetimi (kW)	BM ile yük yönetimi Maliyet (TL)	YEK ile entegre denetleyicisiz AB'nin güç tüketimi (kW)	YEK ile entegre Denetleyicisiz AB'nin enerji tüketim Maliyeti (TL)	YEK'le entegre BMD ile yük yönetimi (kW)	YEK'le entegre BMD ile yük yönetimi Maliyet (TL)
Total	19.74	9,69	19.74	8,59	15.97	8,22	15.35	7,36
Enerjı tasarrufu (kW)	0	-	0	-	3.77	-	4.39	-
Tasarruf edilen maliyet, günlük	-	0	-	1,10	-	1,47	-	2,33

Tablo 4.2 Enerji tüketimi ve maliyetin karşılaştırmalı analizi (Yaz).

YAZ	Denetleyicisiz AB'nin güç tüketimi (kW)	Denetleyicisiz AB'nin güç tüketim Maliyeti (TL)	BM ile yük yönetimi (kW)	BM ile yük yönetimi Maliyet (TL)	YEK ile entegre denetleyicisiz AB'nin güç tüketimi (kW)	YEK ile entegre Denetleyicisiz AB'nin enerji tüketim Maliyeti (TL)	YEK'le entegre BMD ile yük yönetimi (kW)	YEK'le entegre BMD ile yük yönetimi Maliyet (TL)
Yaz	17.88	7,69	17.88	6,89	12.11	4,97	11.62	4,72
Enerjı tasarrufu (kW)	0	-	0	-	5.77	-	6.26	-
Tasarruf edilen maliyet, günlük	-	0	-	0,80	-	2,72	-	2,97

Tabloda sunulan sonuçlardan da göründüğü gibi toplam enerji tüketiminin ve tüketim maliyetinin en yüksek kışın 19.74 kW, 9,69 TL yazın ise 17.88 kW ve 7,69 TL olarak denetleyici içermeyen kontrolün kullanıcıya bağlı olduğu durumdan elde edilmiştir. En düşük tüketim fiyatı ise kışın 7,36 TL, yazın 4,72 TL ve minimum kışın 15.35 kW, yazın 11.62 kW enerji tüketimi ile YEK içeren BMD'li binadan elde edilmiştir.

5 SONUÇ

İnsanlık tarihinde endüstiri ve sanayi devrimi yeni teknoloji ve gelişmeleri de beraberinde getirmiş ve bu gelişmeler insan hayatında da büyük değişimlere yol açmıştır. Kuşkusuz ki bu değişimlerden en çok etkilenenlerden biri de inşaat ve mimarlık alanında yapı sektörü olmuştur. Çağımızda binalar hızla gelişen teknolojilere ayak uyduracak ve insanların beklentilerini karşılayacak şekilde ileri teknoloji sistemleri ile donatılmaktadır. Bunun beraberinde getirdiği olumlu gelişmelerle birlikte büyük miktarda enerji israfı gibi olumsuzluklar da ortaya çıkmaktadır. Günümüzde de gereksiz enerji tüketiminin gerek konutlarda gerekse şirket ve kamu binalarında bilişim ve teknolojinin az ve yanlış kullanımıyla doğrudan bağlantılı olduğu belirtilmektedir. Yeni nesil akıllı sistemlerle donaltılan AB'lerde araştırmacılar bu sorunu çözmek için algılanan konfor seviyesini korurken enerji atıklarını azaltabilen otomatik bilgisayar tabanlı merkezi EYS'lere yönelmişlerdir. Özellikle son zamanlarda enerji verimliliği konusundaki farkındalığın sonucu olarak modelleme ve optimizasyon tekniklerine dayanan yenilikçi enerji yönetimi yaklaşımlarının uygulanması artan bir ilgi görmüştür. Fakat enerji üretimini, dağıtımını ve tüketimini optimize etme konusunda çok fazla deneyim olsa da EYS'nin bir fonksiyonu olan talep tarafı yönetimi akademi ve endüstri tarafından ilgi odağı olmuştur.

Bu tez çalışmasında hem konutun toplam enerji tüketimini hem de konfor koşullarını dikkate alan bir strateji ile yük kullanımını kontrol etmeye yönelik ayrıntılı bir model önerilmiştir. Enerji tüketimindeki yönetim problemi elektrikli cihazlar BMD ile kontrol edilerek ele alınmıştır. TTY ile tarifeye göre tüketimin yoğun ve elektriğin birim fiyatının yüksek olduğu saatler belirlenerek bu saatlerdeki yük talebini fiyatın daha düşük ve yoğun olmayan saatlere ya da YEK üretiminin olduğu saatlere kaydırarak, hem maliyetten hem de enerji tüketiminden tasarruf edilmesi amaçlanmıştır. AB'nin enerji yönetimi ve verimliliği 4 durum özelinde: denetleyici içermeyen AB'nin, mevcut ev aletlerinin BMD ile kontrol edilen AB'nin, denetleyici içermeyen YEK ile entegre AB'nin ve BMD ile kontrol edilen YEK ile entegre AB'nin yaz ve kış günleri için ayrı ayrı enerji tüketimleri incelenmiş ve karşılaştırmalı analizi yapılmıştır.

BMD ve YEK'le donatılmış evde YEK'den enerji üretimi olduğu zamanlarda sistem yenilenebilir enerjiden beslendiği, yenilenebilir enerjinin olmadığı yoğun saatlerde ise güç tüketimini bazı yüklerin kesilmesiyle sınırlayarak YEK'in enerji üretimi yaptığı saatlere kaydırıldığı için YEK'den en iyi şekilde yararlanılmış ve diğer durumlara göre şebekeden en az enerji tüketimi yaptığı için en iyi sonucu vermiştir.

6 KAYNAKLAR

[1] Hurtado, L., Nguyen, P., Kling, W., Zeiler, W. (2013). Building Energy Management Systems—Optimization of Comfort and Energy USE. The 48th International Universities' Power Engineering Conference, 2-5 September, Dublin, Ireland.

[2] Fanti, M. P., Mangini, A. M., Roccotelli, M. (2018). A Simulation and Control Model for Building Energy Management. Control Engineering Practice, 72, 192-205.

[3] Shaikh, P. H., Nor, N. B. M., Nallagownden, P., Elamvazuthi, I. (2018). Intelligent Multi-Objective Optimization for Building Energy and Comfort Management. Journal of King Saud University-Engineering Sciences, 30(2), 195-204.

[4] Wang, F., Zhou, L., Ren, H., Liu, X., Talari, S., Shafie-khah, M., Catalao, J. P. (2017). Multi-Objective Optimization Model of Source–Load–Storage Synergetic Dispatch for a Building Energy Management System based on TOU Price Demand Response. IEEE Transactions on Industry Applications, 54(2), 1017-1028.

[5] Shaikh, P. H., Nor, N. B. M., Nallagownden, P., Elamvazuthi, I., Ibrahim, T. (2014). A Review on Optimized Control Systems for Building Energy and Comfort Management of Smart Sustainable Buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 34, 409-429.

[6] Civan, U. (2006). Akıllı Binaların Çevresel Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

[7] Bhutta, F. M. (2017). Application of Smart Energy Technologies in Building Sector—Future Prospects. International Conference on Energy Conservation and Efficiency, 22-23 November, Lahore, Pakistan.

[8] Altayeva, A., Omarov, B., Im Cho, Y. (2017). Multi-Objective Optimization for Smart Building Energy and Comfort Management as a Case Study of Smart City Platform. The IEEE 19th International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 15th International Conference on Smart City; IEEE 3rd International Conference on Data Science and Systems, 18-20 December, Bangkok, Thailand.

[9] Smitha, S., Savier, J., Chacko, F. M. (2013). Intelligent Control System for Efficient Energy Management in Commercial Buildings. Annual International Conference on Emerging Research Areas and International Conference on Microelectronics, Communications and Renewable Energy, 4-6 June, Kanjirapally, India.

[10] Ock, J., Issa, R. R., Flood, I. (2016). Smart Building Energy Management Systems

(BEMS) Simulation Conceptual Framework. Winter Simulation Conference, 11-14 December, Washington, DC, USA.

[11] Erhan, I. T. (2018). Akıllı Binalarda Aydınlatma Otomasyonunun Enerji Verimliliğine Katkısının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

[12] Karadişoğulları, Ö. (2013). Akıllı Binalarda Kullanılan Sistemlerin Sürdürülebilirlik Bağlamında İrdelenmesi. Yüksek Lisans, Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

[13] Günaydın, H. M., Zağpus, S. Türkiye'de Bina Otomasyon Sistemlerinin Mimarlar Tarafından Algılanması, Akıllı Bina Tasarım Süreci ve Kalitesi. VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi. URL: https://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/28aa8ac200e659d_ek.pdf (15.10.2019).

[14] Gündüz, V. M. (2015). Akıllı Binalarda Kullanılan Otomasyon ve Güvenlik Sistemlerinin Örneklerle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

[15] https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/intelligent-buildings (15.10.2019).

[16] Kılıç, H. (2007). Akıllı Binalar, Kurulmaları ve İşletilmeleri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

[17] Wen, S.-L., Hsiao, C.-P., Chen, C.-T. (2009). Intelligent Buildings. Sustainable Built Environment. Encyclopaedia of Life Support Systems, 1, 209-225.

[18] Çetinkaya, Y. (2016). Akıllı Binalar ve Akıllı Binalarda Asansörler. Mühendis ve Makina, 57(683), 32-40.

[19] https://acssmartbuildings.com/a-brief-history-of-smart-buildings/ (21.10.2019).

[20] https://3dkonut.com/akilli-binalarin-ozellikleri-nelerdir-/haberi/ (21.10.2019).

[21] Tetik, B. (2014). Energy Performance of Smart Buildings: Simulating the İmpact of Active Systems and Passive Strategies. Master's Thesis, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, Turkey.

[22] https://proente.com/yeni-nesil-kablosuz-akilli-ev%E2%80%8B/ (02.11.2019).

[23] http://www.elektrik.gen.tr/wp-content/uploads/2018/01/6.-Ak%C4%B1ll%C4%B1-Binalar.pdf?1520682546 (02.11.2019).

[24] Erdem, K., Kadir, K. (2015). Enerji Kaynakları–Yenilenebilir Enerji Durumu. Mühendis ve Makina, 56(668), 36-47.

[25] T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı.

(2021). Elektrik Piyasası 2020 Yılı Piyasa Gelişim Raporu. http://epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-0-102/yillik-rapor-elektrik-piyasasi-gelisim-raporlari (10.06.2021).

[26] Medina, V., Pardo, Á., Pascual, R. (2014). The Timeline of Trading Frictions in the European Carbon Market. Energy Economics, 42, 378-394.

[27] Manic, M., Wijayasekara, D., Amarasinghe, K., Rodriguez-Andina, J. J. (2016). Building Energy Management Systems: The Age of İntelligent and Adaptive Buildings. IEEE Industrial Electronics Magazine, 10(1), 25-39.

[28] Republıc of Turkey Energy Market Regulatory Authority (2019), Electricity Market Development Report 2018. http://epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-0-102/yillik-rapor-elektrik-piyasasi-gelisim-raporlari (15.11.2019).

[29] Wang, L., Wang, Z., Yang, R. (2012). Intelligent Multiagent Control System for Energy and Comfort Management in Smart and Sustainable Buildings. IEEE Transactions on Smart Grid, 3(2), 605-617.

[30] Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. (2008). Binalarda Enerji Performansi Yönetmeliği. Resmi Gazete, sayı: 27075, https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/12/20081205-9.htm (15.11.2019).

[31] Wang, Z., Wang, L. (2012). Occupancy Pattern based İntelligent Control for İmproving Energy Efficiency in Buildings. IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, 20-24 August, Seoul, Korea (South).

[32] https://www.rcrwireless.com/20160725/business/smart-building-tag31-tag99 (20.11.2019).

[33] Smiciklas, J., Spitzer, F., Hay, A., Delgado, R., Kondepudi, S. (2015). Intelligent Sustainable Buildings. ITU-T Focus Group on Smart Sustainable Cities, Focus Group Technical Report.

[34] https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/information-and-communication-technologies (22.11.2019).

[35] Çimen, L. (2005). Bina Otomasyon Sistemleri, *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi.*

[36] http://www.darkotomasyon.com/bina_otomasyonu.html (24.11.2019).

[37] Vakiloroaya, V., Samali, B., Fakhar, A., Pishghadam, K. (2014). A Review of Different Strategies for HVAC Energy Saving. Energy Conversion and Management, 77, 738-754.

[38] Ulaş M. Bina Entegrasyon Sistemleri ve Verimlilik. URL: https://www.emo.org.tr/ekler/3367343748a3eeb_ek.pdf (25.11.2019).

[39] https://www.eaeaydinlatma.com/blog/akilli-aydinlatma-sistemleri/ (25.11.2019).

[40] http://css.umich.edu/factsheets/commercial-buildings-factsheet (25.11.2019).

[41] https://www.section.com.tr/yangin-algilama-sistemleri-ve-yangin-ikaz-sistemleri-nedir/ (26.11.2019).

[42] S. A. ÇELTEK, M. DURGUN, L. GÖKREM, and Y. DURGUN, "Nesnelerin İnterneti Tabanlı Yangın Alarm Sistemi Tasarımı ve Uygulaması," *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi,* vol. 6, no. 3, pp. 66-72, 2017.

[43] http://www.bekayangin.com/konvansiyonel-yangin-algilama-sistemleri (26.11.2019).

[44] Ezginci, Y., Açıkgöz, A., Özdemir, E. Geçiş Güvenlik, Kontrol ve Takip Sistemleri Deney Seti Tasarımı. URL: https://www.emo.org.tr/ekler/ed83a857dd946f5_ek.pdf (27.10.2019).

[45] https://www.karel.com.tr/bilgi/cctv-guvenlik-kamera-sistemi-cesitleri-nelerdir (27.11.2019).

[46] Ünverdi, N. Ö., Ünverdi, N. A. (2010). Asansör Sistemlerindeki İletişim Mekanizmasi. Engineer & The Machinery Magazine (611).

[47] Minoli, D., Sohraby, K., Occhiogrosso, B. (2017). IoT Considerations, Requirements, and Architectures for Smart Buildings—Energy Optimization and Next-Generation Building Management Systems. IEEE Internet of Things Journal, 4(1), 269-283.

[48] Rahman, M. M., Hettiwatte, S., Gyamfi, S. (2014). An Intelligent Approach of Achieving Demand Response by Fuzzy Logic based Domestic Load Management. Australasian Universities Power Engineering Conference, 28 September, Perth, WA, Australia.

[49] Javadi, S. (2011). Energy Management in Buildings Using MATLAB. In MATLAB-A Ubiquitous Tool for the Practical Engineer. 165-176.

[50] Mbungu, N. T., Bansal, R. C., Naidoo, R., Miranda, V., Bipath, M. (2018). An Optimal Energy Management System for a Commercial Building with Renewable Energy Generation Under Real-Time Electricity Prices. Sustainable Cities and Society, 41, 392-404.

[51] Liu, Y., Qiu, B., Fan, X., Zhu, H., Han, B. (2016). Review of Smart Home Energy Management Systems. Energy Procedia, 104, 504-508.

[52] Batić, M., Tomašević, N., Beccuti, G., Demiray, T., Vraneš, S. (2016). Combined

Energy Hub Optimisation and Demand Side Management for Buildings. Energy and Buildings, 127, 229-241.

[53] Palensky, P., Dietrich, D. (2011). Demand Side Management: Demand Response, İntelligent Energy Systems, and Smart Loads. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 7(3), 381-388.

[54] Ouassaid, M., Maaroufi, M. (2016). Smart Home Appliances Modeling and Simulation for Energy Consumption Profile Development: Application to Moroccan Real Environment Case Study. International Renewable and Sustainable Energy Conference, 14-17 November, Marrakech, Morocco.

[55] Potter, J., Stuart, E., Cappers, P. (2018). Barriers and Opportunities to Broader Adoption of Integrated Demand Side Management at Electric Utilities: A Scoping Study. Energy Analysis and Environmental Impacts Division Lawrence Berkeley National Laboratory, 13 February, Berkeley, CA (United States).

[56] Balijepalli, V. M., Pradhan, V., Khaparde, S. A., Shereef, R. (2011). Review of Demand Response Under Smart Grid Paradigm. ISGT2011-India. 1-3 December, Kollam, India.

[57] Li, W., Logenthiran, T., Woo, W. L., Phan, V.-T., Srinivasan, D. (2016). Implementation of Demand Side Management of a Smart Home Using Multi-Agent System. IEEE Congress on Evolutionary Computation, 24-29 July, Vancouver, BC, Canada.

[58] Zehir, M., Bağrıyanık, M. (2013). Akıllı Şebekelerde Gelişmiş Yerel Talep Yönetimi. V. Enerji verimliliği ve kalitesi sempozyumu, 14-18.

[59] Khalid, A., Javaid, N., Guizani, M., Alhussein, M., Aurangzeb, K., Ilahi, M. (2018). Towards Dynamic Coordination Among Home Appliances Using Multi-Objective Energy Optimization for Demand Side Management in Smart Buildings. IEEE Access, 6, 19509-19529.

[60] Pina, A., Silva, C., Ferrão, P. (2012). The İmpact of Demand Side Management Strategies in the Penetration of Renewable Electricity. Energy, 41(1), 128-137.

[61] Gruber, J. K., Huerta, F., Matatagui, P., Prodanović, M. (2015). Advanced Building Energy Management based on a Two-Stage Receding Horizon Optimization. Applied Energy, 160, 194-205.

[62] Ghadi, Y. Y., Rasul, M., Khan, M. (2016). Design and Development of Advanced Fuzzy Logic Controllers in Smart Buildings for İnstitutional Buildings in Subtropical Queensland. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 54, 738-744.

[63] Çakır, O., Tekin, S. Oransal İntegral Türevsel Denetleyici Parametrelerinin Sezgisel Optimizasyon Yöntemleri ile Ayarlanması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi(23), 9-21.

[64] Keleş, C. (2012). Elektrik Güç Sistemlerinde Güç Bölgeleri Arasındaki Salınımların Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, Türkiye.

[65] Wu, Z., Tazvinga, H., Xia, X. (2015). Demand Side Management of Photovoltaic-Battery Hybrid System. Applied Energy, 148, 294-304.

[66] Sharma, I., Dong, J., Malikopoulos, A. A., Street, M., Ostrowski, J., Kuruganti, T., Jackson, R. (2016). A Modeling Framework for Optimal Energy Management of a Residential Building. Energy and Buildings, 130, 55-63.

[67] Mirakhorli, A., Dong, B. (2018). Market and Behavior Driven Predictive Energy Management for Residential Buildings. Sustainable Cities and Society, 38, 723-735.

[68] Jin, X., Baker, K., Christensen, D., Isley, S. (2017). Foresee: A User-Centric Home Energy Management System for Energy Efficiency and Demand Response. Applied Energy, 205, 1583-1595.

[69] https://new.abb.com/control-systems/features/model-predictive-control-mpc (15.12.2019).

[70] Başaraner, M., Selçuk, M. (2007). Çok Ajanlı Sistemler ve Kartografik Genelleştirme. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 11, 2-6.

[71] Li, W., Logenthiran, T., Woo, W. L. (2015). Intelligent Multi-Agent System for Smart Home Energy Management. IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia, 3-6 November, Bangkok, Thailand.

[72] Frankovič, B., Oravec, V. (2005). Design of the Agent-based İntelligent Control System. Acta Polytechnica Hungarica, 2(2), 39-52.

[73] Anvari-Moghaddam, A., Rahimi-Kian, A., Mirian, M. S., Guerrero, J. M. (2017). A Multi-Agent based Energy Management Solution for İntegrated Buildings and Microgrid System. Applied Energy, 203, 41-56.

[74] Koziel, S., Yang, X.-S. (2011). Computational Optimization, Methods and Algorithms (Vol. 356): Springer.Verlag Berlin Heidelberg.

[75] Türkay, M. (2011). Optimizasyon Modelleri ve Çözüm Metodlari. URL:http://home.ku.edu.tr/~mturkay/indr501/optimizasyon.pdf (17.12.2019).

[76] Huang, Y., Tian, H., Wang, L. (2015). Demand Response for Home Energy Management System. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 73, 448-

455.

[77] Wu, Z., Xia, X. (2015). Optimal Switching Renewable Energy System for Demand Side Management. Solar Energy, 114, 278-288.

[78] Anvari-Moghaddam, A., Monsef, H., Rahimi-Kian, A. (2014). Optimal Smart Home Energy Management Considering Energy Saving and a Comfortable Lifestyle. IEEE Transactions on Smart Grid, 6(1), 324-332.

[79] Baldauf, A. (2015). A Smart Home Demand-Side Management System Considering Solar Photovoltaic Generation. The 5th International Youth Conference on Energy, 27-30 May, Pisa, Italy.

[80] Ghazvini, M. A. F., Soares, J., Abrishambaf, O., Castro, R., Vale, Z. (2017). Demand Response İmplementation in Smart Households. Energy and Buildings, 143, 129-148.

[81] Pooranian, Z., Abawajy, J. H., Conti, M. (2018). Scheduling Distributed Energy Resource Operation and Daily Power Consumption for a Smart Building to Optimize Economic and Environmental Parameters. Energies, 11(6), 1348.

[82] Melhem, F. Y., Grunder, O., Hammoudan, Z., Moubayed, N. (2017). Optimization and Energy Management in Smart Home Considering Photovoltaic, Wind, and Battery Storage System with İntegration of Electric Vehicles. Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering, 40(2), 128-138.

[83] Gruber, J. K., Prodanovic, M. (2014). Two-Stage Optimization for Building Energy Management. Energy Procedia, 62, 346 – 354.

[84] Al Hasib, A., Nikitin, N., Natvig, L. (2015). Cost-Comfort Balancing in a Smart Residential Building with Bidirectional Energy Trading. Sustainable Internet and ICT for Sustainability, 14-15 April, Madrid, Spain.

[85] Xu, Z., Jia, Q.-S., Guan, X. (2014). Supply Demand Coordination for Building Energy Saving: Explore the Soft Comfort. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 12(2), 656-665.

[86] Setlhaolo, D., Xia, X. (2016). Combined Residential Demand Side Management Strategies with Coordination and Economic Analysis. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 79, 150-160.

[87] Hemmati, R., Saboori, H. (2017). Stochastic Optimal Battery Storage Sizing and Scheduling in Home Energy Management Systems Equipped with Solar Photovoltaic Panels. Energy and Buildings, 152, 290-300.

[88] Golpîra, H., Khan, S. A. R. (2019). A Multi-Objective Risk-based Robust

Optimization Approach to Energy Management in Smart Residential Buildings Under Combined Demand and Supply Uncertainty. Energy, 170, 1113-1129.

[89] Erdinc, O., Paterakis, N. G., Mendes, T. D., Bakirtzis, A. G., Catalão, J. P. (2014). Smart Household Operation Considering Bi-Directional EV and ESS Utilization by Real-Time Pricing-based DR. IEEE Transactions on Smart Grid, 6(3), 1281-1291.

[90] Erdinc, O., Paterakis, N. G., Catalão, J. P., Pappi, I. N., Bakirtzis, A. G. (2015). Smart Households and Home Energy Management Systems with İnnovative Sizing of Distributed Generation and Storage for Customers. The 48th Hawaii International Conference on System Sciences, 5-8 January, Kauai, HI, USA.

[91] Serkan, K., Fığlalı, N. (2016). Çok Amaçlı Optimizasyon Problemlerinde Pareto Optimal Kullanımı. Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi, 5(2), 9-18.

[92] Brahman, F., Honarmand, M., Jadid, S. (2015). Optimal Electrical and Thermal Energy Management of a Residential Energy Hub, İntegrating Demand Response and Energy Storage System. Energy and Buildings, 90, 65-75.

[93] Ullah, I., Javaid, N., Khan, Z. A., Qasim, U., Khan, Z. A., Mehmood, S. A. (2015). An İncentive-based Optimal Energy Consumption Scheduling Algorithm for Residential Users. Procedia Computer Science, 52, 851-857.

[94] Fan, W., Liu, N., Zhang, J. (2016). An Event-Triggered Online Energy Management Algorithm of Smart Home: Lyapunov Optimization Approach. Energies, 9(5), 381.

[95] El-Baz, W., Tzscheutschler, P. (2015). Short-Term Smart Learning Electrical Load Prediction Algorithm for Home Energy Management Systems. Applied Energy, 147, 10-19.

[96] Özkan, H. A. (2015). A New Real Time Home Power Management System. Energy and Buildings, 97, 56-64.

[97] Joo, I.-Y., Choi, D.-H. (2017). Distributed Optimization Framework for Energy Management of Multiple Smart Homes with Distributed Energy Resources. IEEE Access, 5, 15551-15560.

[98] Mauser, I., Müller, J., Allerding, F., Schmeck, H. (2016). Adaptive Building Energy Management with Multiple Commodities and Flexible Evolutionary Optimization. Renewable Energy, 87, 911-921.

[99] Zafar, A., Shah, S., Khalid, R., Hussain, S. M., Rahim, H., Javaid, N. (2017). A Meta-Heuristic Home Energy Management System. The 31st İnternational Conference on Advanced İnformation Networking and Applications Workshops, 27-29 March, Taipei, Taiwan.

[100] Khalid, R., Javaid, N., Rahim, M. H., Aslam, S., Sher, A. (2019). Fuzzy Energy Management Controller and Scheduler for Smart Homes. Sustainable Computing: Informatics and Systems, 21, 103-118.

[101] Basit, A., Sidhu, G. A. S., Mahmood, A., Gao, F. (2015). Efficient and Autonomous Energy Management Techniques for the Future Smart Homes. IEEE Transactions on Smart Grid, 8(2), 917-926.

[102] Ahmed, M. S., Mohamed, A., Khatib, T., Shareef, H., Homod, R. Z., Abd Ali, J. (2017). Real Time Optimal Schedule Controller for Home Energy Management System Using New Binary Backtracking Search Algorithm. Energy and Buildings, 138, 215-227.

[103] Ma, L., Liu, N., Wang, L., Zhang, J., Lei, J., Zeng, Z., Cheng, M. (2016). Multi-Party Energy Management for Smart Building Cluster with PV Systems Using Automatic Demand Response. Energy and Buildings, 121, 11-21.

[104] Zhang, D., Li, S., Sun, M., O'Neill, Z. (2016). An Optimal and Learning-based Demand Response and Home Energy Management System. IEEE Transactions on Smart Grid, 7(4), 1790-1801.

[105] Ruzbahani, H. M., Karimipour, H. (2018). Optimal İncentive-based Demand Response Management of Smart Households. IEEE/IAS 54th Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference, 7-10 May, Niagara Falls, ON, Canada.

[106] Ogunjuyigbe, A., Monyei, C., Ayodele, T. (2015). Price based Demand Side Management: A Persuasive Smart Energy Management System for Low/Medium İncome Earners. Sustainable Cities and Society, 17, 80-94.

[107] Arun, S., Selvan, M. (2017). Intelligent Residential Energy Management System for Dynamic Demand Response in Smart Buildings. IEEE Systems Journal, 12(2), 1329-1340.

[108] Rasheed, M. B., Javaid, N., Awais, M., Khan, Z. A., Qasim, U., Alrajeh, N., Javaid, Q. (2016). Real Time İnformation based Energy Management Using Customer Preferences and Dynamic Pricing in Smart Homes. Energies, 9(7), 542.

[109] Manzoor, A., Javaid, N., Ullah, I., Abdul, W., Almogren, A., Alamri, A. (2017). An İntelligent Hybrid Heuristic Scheme for Smart Metering based Demand Side Management in Smart Homes. Energies, 10(9), 1258.

[110] Ahmad, A., Khan, A., Javaid, N., Hussain, H. M., Abdul, W., Almogren, A., Azim Niaz, I. (2017). An Optimized Home Energy Management System with İntegrated Renewable Energy and Storage Resources. Energies, 10(4), 549.

[111] Nadeem, Z., Javaid, N., Malik, A. W., Iqbal, S. (2018). Scheduling Appliances with

GA, TLBO, FA, OSR and Their Hybrids Using Chance Constrained Optimization for Smart Homes. Energies, 11(4), 888.

[112] EPDK Tarafından Onaylanan ve 1 Nisan 2021 Tarihindenden İtibaren Uygulanacak Faaliyet Bazlı Tarifeler. URL: https://www.epdk.gov.tr/ (29.03.2021).

[113] Bilgin, M. (2013). Fotovoltaik Panellerin Verimine Panel Yüzey Sıcaklığı Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

[114] Irak, N. (2019). Akıllı Binalarda Konfor Faktörü ve Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

[115] Panduru, K. K., Riordan, D., Walsh, J. (2014). Fuzzy Logic based İntelligent Energy Monitoring and Control for Renewable Energy, 26-27 June, Limerick.

[116] Şaka, S. (1999). Bulanık Kontrol ve Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

[117] Işıklı, Ş. (2008). Bulanık Mantık ve Bulanık Teknolojiler. URL: https://dspace.ankara.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12575/63396 (27.03.2021).

[118] https://www.tutorialspoint.com/fuzzy_logic/fuzzy_logic_control_system.htm (27.03.2021).

[119] Ravibabu, P., Praveen, A., Chandra, C. V., Reddy, P. R., Teja, M. K. R. (2009). An Approach of DSM Techniques for Domestic Load Management Using Fuzzy Logic. IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 20-24 August, Jeju, Korea (South).

[120] Ciabattoni, L., Grisostomi, M., Ippoliti, G., Longhi, S. (2013). A Fuzzy Logic Tool for Household Electrical Consumption Modeling. The 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 10-13 November, Vienna, Austria.

[121 Alfaverh, F., Denai, M., Sun, Y. (2020). Demand Response Strategy Based on Reinforcement Learning and Fuzzy Reasoning for Home Energy Management. IEEE Access, 8, 39310-39321.

[122] Waseem, M., Lin, Z., Liu, S., Zhang, Z., Aziz, T., Khan, D. (2021). Fuzzy Compromised Solution-based Novel Home Appliances Scheduling and Demand Response with Optimal Dispatch of Distributed Energy Resources. Applied Energy, 290, 116761.

[123] Mpelogianni, V., Giannousakis, K., Kontouras, E., Groumpos, P. P., Tsipianitis, D. (2019). Proactive Building Energy Management Methods based on Fuzzy Logic and Expert Intelligence. IFAC-PapersOnLine, 52(25), 519-522.

[124] Ghiasi, M. I., Hajizadeh, A., Golkar, M. A., Marefati, M. (2017). Demand and

Supply Side Management Strategies for Zero Energy Buildings. IEEE 17th International Conference on Ubiquitous Wireless Broadband, 12-15 September, Salamanca, Spain.

[125] Esmaeilzadeh, A., Zakerzadeh, M. R., Koma, A. Y. (2018). The Comparison of Some Advanced Control Methods for Energy Optimization and Comfort Management in Buildings. Sustainable Cities and Society, 43, 601-623.

[126] Keshtkar, A., Arzanpour, S. (2017). An Adaptive Fuzzy Logic System for Residential Energy Management in Smart Grid Environments. Applied Energy, 186, 68–81.

[127] Keshtkar, A., Arzanpour, S. (2014). A Fuzzy Logic System for Demand-Side Load Management in Residential Buildings. IEEE 27th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 4-7 May, Toronto, ON, Canada.

[128] Javaid, S., Abdullah, M., Javaid, N., Sultana, T., Ahmed, J., Sattar, N. A. (2019). Towards Buildings Energy Management: Using Seasonal Schedules Under Time of Use Pricing Tariff via Deep Neuro-Fuzzy Optimizer. The 15th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference, 24-28 June, Tangier, Morocco.

[129] Abbas, M. Z., Sajjad, I. A., Liaqat, R., Abdullah, M., Shah, M. A., Nadeem, M. F. (2020). Non-intrusive Load Monitoring for Residential Customers Using Adaptive-Neuro Fuzzy Interface System and Fine Tree Classifier. IEEE 23rd International Multitopic Conference, 5-7 November, Bahawalpur, Pakistan.

[130] Karna, D., Vikram, A., Kumar, A., Rizwan, M. (2020). A Novel Fuzzy based Intelligent Demand Side Management for Automated Load Scheduling. The 4th International Conference on Green Energy and Applications, 7-9 March, Singapore.

[131] Sharma, K. P., Baine, N. (2019). Application of a Fuzzy Logic based Controller for Peak Load Shaving in a Typical Household. IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 23-26 June, New Orleans, LA, USA.

[132] Saidi, A., Harrouz, A., Colak, I., Kayisli, K., Bayindir, R. (2019). Performance Enhancement of Hybrid Solar PV-Wind System based on Fuzzy Power Management Strategy: A Case Study. The 7th International Conference on Smart Grid, 9-11 December, Newcastle, NSW, Australia.

[133] Elsisi, M., Bazmohammadi, N., Guerrero, J. M., Ebrahim, M. A. (2021). Energy Management of Controllable Loads in Multi-Area Power Systems with Wind Power Penetration based on New Supervisor Fuzzy Nonlinear Sliding mode Control. Energy, 221, 119867.

[134] Dong, W., Yang, Q., Fang, X., Ruan, W. (2021). Adaptive Optimal Fuzzy Logic

based Energy Management in Multi-Energy Microgrid Considering Operational Uncertainties. Applied Soft Computing, 98, 106882.

[135] Meje, K., Bokopane, L., Kusakana, K., Siti, M. (2020). Optimal Power Dispatch in a Multisource System Using Fuzzy Logic Control. Energy Reports, 6, 1443-1449.

[136] Krim, Y., Abbes, D., Krim, S., Mimouni, M. F. (2018). Intelligent Droop Control and Power Management of Active Generator for Ancillary Services Under Grid İnstability Using Fuzzy Logic Technology. Control Engineering Practice, 81, 215-230.

[137] Ciabattoni, L., Ferracuti, F., Grisostomi, M., Ippoliti, G., Longhi, S. (2015). Fuzzy Logic based Economical Analysis of Photovoltaic Energy Management. Neurocomputing, 170, 296-305.

[138] Ghorai, S., Majumdar, D., Jash, T., Ray, S. (2020). PV Assisted Fuzzy based EV Charge Scheduling for Demand Side Energy Management: A case study. IEEE Calcutta Conference, 28-29 February, Kolkata, India.

ÖZGEÇMİŞ

Nazlı Hasanova orta öğrenimini Şah İsmail adına 13 Nolu okulda tamamladı. 2017 yılında Azerbaycan Devlet Agrar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2017 yılında Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik-Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans programında eğitime başlamıştır.