İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞEBEKE ETKİLEŞİMLİ TÜKETİCİLER İLE TOPLU TALEP YÖNETİMİ

DOKTORA TEZİ

Mustafa Alparslan ZEHİR

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

TEMMUZ 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞEBEKE ETKİLEŞİMLİ TÜKETİCİLER İLE TOPLU TALEP YÖNETİMİ

DOKTORA TEZİ

Mustafa Alparslan ZEHİR
(504122012)

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa BAĞRIYANIK

TEMMUZ 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504122012 numaralı Doktora Öğrencisi Mustafa Alparslan ZEHİR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "ŞEBEKE ETKİLEŞİMLİ TÜKETİCİLER İLE TOPLU TALEP YÖNETİMİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Mustafa BAĞRIYANIK** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Aydoğan ÖZDEMİR** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Dr. Öğr. Üyesi Gürkan SOYKAN Bahçeşehir Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Ömer GÜL İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan CEYLAN Kadir Has Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : 13 Haziran 2019
Savunma Tarihi : 25 Temmuz 2019

Aileme, Hocalarıma ve Arkadaşlarıma,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimimin başından beri değerli emekleri, tecrübeleri, fikirleri, vizyonu, destek ve yönlendirmeleriyle tez çalışmalarıma danışmanlık yapan hocam Prof. Dr. Mustafa BAĞRIYANIK'a çok teşekkür ederim. Yine yüksek lisans eğitimimden beri birçok çalışmasına beni de dahil eden, kıymetli fikirlerini, tecrübelerini paylaşan ve destek olan jüri üyesi hocam Prof. Dr. Aydoğan ÖZDEMİR'e de gönülden teşekkürlerimi sunarım. Doktora tez çalışmamda fikir ve yönlendirmeleriyle önemli katkıları olan jüri üyesi hocam Dr. Öğr. Üyesi Gürkan SOYKAN'a da ayrıca çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasına birçok kurum, yönetici, araştırmacı ve mühendisin desteği olmuştur. Hepsine ayırdıkları zaman, sundukları olanaklar ve paylaştıkları fikir ve tecrübeler için ayrı ayrı teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Ortak çalışmalarımıza emekleri, tecrübeleri ve fikirleriyle önemli katkılar sağlayan Dr. Alp BATMAN'a ve Yük. Müh. Mehmet Ali SÖNMEZ'e gönülden teşekkür ederim. Toplu yönetim simulasyonları ve oyun teorisi yaklaşımlarında beraber çalışma fırsatı bulduğum Martin WEVERS'a da çok teşekkür ederim. Oyunlaştırma yaklaşımları ve saha uygulmalarına yardımcı olan Sezgin ERPAYTONCU, Ege YILMAZ, Didem BALCI, Kadir Barış ORTAÇ, Hakan GÜL ve Negar DASHTI'ye de katkıları için teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım kapsamında, üniversite-sanayi işbirliği yaparak gerçek binalarda saha uygulamaları yapabilmemizi sağlayan MAKEL Ar-Ge Direktörü Dr. Ünal KÜÇÜK ile değerli mühendisler Zafer AYDIN ile João PORTELA'ya ve ekiplerinden emek veren diğer herkese çok teşekkür ederim. Enerji yönetimi ve oyunlaştırma konularında tecrübelerinden faydalanma imkanı bulduğum Portekiz'deki INES TEC Porto baş araştırmacılarından Dr. Filipe Joel SOARES ile dağıtık üretim ve enerji depolama saha testlerine katkı sağlayan araştırmacı Antonio BARBOSA başta olmak üzere, INESC TEC'teki tüm proje ortaklarımıza teşekkürlerimi sunarım. Dağıtım şebekesi odaklı talep yönetimi çalışmalarımızda önemli katkları bulunan Yunanistan'daki Western Macedonia University of Applied Sciences (TEI) akademisyenleri Doç. Dr. Dimitrios TSIAMITROS ile Yrd. Doç. Dr. Dimitris STIMONIARIS'e ve saha testlerine büyük emek veren Araş. Gör. Vaia ZACHARAKI'ye gönülden teşekkür ederim. Dağıtık üretim ve enerji depolama sistemleri saha testleri için İtalya'da, 3 hafta boyunca, büyük ölçekli laboratuvarları DER Test Facility'nin kapılarını bize açan ve tüm imkanlarını seferber eden RSE Active Networks grubunda başta Mauirizo VERGA olmak üzere, Carlo SANDRONI, Luigi PELLEGRINO, Riccardo LAZZARI ve diğer tüm emek veren ekip üyelerine çok teşekkür ederim. Dağıtım şebekesi odaklı talep yönetimi saha testlerimiz için, Danimarka'da, 3 hafta boyunca, kampüs sınırlarını aşan test sistemleri SYSLAB'ı kullanmamıza olanak sağlayan ve destek olan Dr. Hendrik BINDNER, Yrd. Doç. Dr. Kai HEUSSEN, Dr. Anders THAVLOV, Dr. Daniel Esteban MORALES BONDY'e, yararlı tavsiyeleri için Doç. Dr. Mattia MARINELLI ve Antonio ZECCHINO'ya ve aynı çalışma grubundan yardımcı olan diğer herkese çok teşekkür ederim. Bu tesisler

ve araştırma gruplarıyla çalışma yapmamıza destek olan ve bizi yönlendiren Dr. Thomas STRASSER'e de teşekkür ederim.

İstanbul'daki saha uygulamamız için evlerinin kapılarını bize açan, sistemlerimizi kurmamıza izin veren ve aylarca sistemlerimizi kullanan, önerilerde bulunan değerli ÖZDEMİR Ailesi, GÖKMEN Ailesi, PORTELA Ailesi ve ABUŞ Ailesi'nin tüm bireylerine saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım. Birçok ilde yüzyüze yapılan araştırma anketimizi cevaplayan herkese gönülden teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalara finansal destek sağlayan başta TÜBİTAK olmak üzere, ERA-Net Smart Grids Plus girişimine, ERIGrid Projesi ve Uluslararası Erişim çağrılarına, Horizon 2020 programı yürütücülerine ve Avrupa Komisyonu'na çok teşekkür ederim.

Ayrıca, lisans ve lisansüstü eğitim hayatım boyunca emeği geçen tüm hocalarıma, beraber güzel anılar biriktirdiğimiz tüm çalışma arkadaşlarım ve öğrenci arkadaşlarıma gönülden teşekkür ederim.

Bu çalışmayı, tüm bu süreci benimle beraber tecrübe eden ve bana her zaman destek olan, teşekkürlerin en büyüğünü hakeden değerli aileme ithaf ediyorum.

Haziran 2019

Mustafa Alparslan Zehir
(Elektrik Yüksek Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
SEMBOLLER ..... **xiii**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xv**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xvii**
ÖZET ..... **xxi**
SUMMARY ..... **xxiiii**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Genel Bakış 1
1.2 Çalışmanın Amacı 5
1.3 Tezin İçeriği 7
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **9**
2.1 Talep Yönetimi 9
2.2 Toplu Talep Tarafı Yönetimi 13
2.3 Yönetilebilir Cihazların Çalışmalarının İncelenmesi ve Modelleme 15
2.3.1 Klimalar 16
2.3.2 Buzdolapları 17
2.3.3 Çamaşır makineleri 20
2.3.4 Kurutma makineleri 22
2.3.5 Bulaşık makineleri 23
2.3.6 Bir evin toplam tüketim profilinin üretilmesi 24
2.4 Talep Yönetiminde Oyunlaştırma 26
2.5 Dağıtık Üretim ve Enerji Depolama Ünitelerinin Yönetimi 31
2.6 Dağıtım Şebekesi Odaklı Talep Yönetimi 34
3. KULLANICI ETKİLEŞİMLİ TOPLU TALEP YÖNETİMİ **37**
3.1 Talep Yönetimi Farkındalığı Analizi 37
3.1.1 Tekil sorulara verilen yanıtların analizi 39
3.1.2 Çoklu sorulara verilen yanıtlara dayalı analiz 46
3.2 Ev Kullanıcıları için Talep Yönetimi Platformu 47
3.2.1 Esnek yükler için talep yönetimi seçenekleri 47
3.2.2 Oyunlaştırılmış talep yönetimi platformu tasarımı 55
3.2.3 Saha kurulumları 60
3.2.4 Çok zamanlı tarifeye göre talep yönetim potansiyeli ve mali analizi 70
3.2.5 Elektrik piyasalarına göre talep yönetim potansiyeli ve mali analizi 71
3.3 Toplu Talep Yönetimi için Yeni Bir Teşvik Yapısının Geliştirilmesi 79
3.4 Toplu Talep Yönetim Sonrasında Yaşanan Sorunların Azaltılması 90

4. DAĞITIK ÜRETİM VE BATARYALARIN KOORDİNASYONU 99
4.1 Karakteristik Özellik Testleri 100
4.1.1 Kurşun-asit batarya grubu 101
4.1.2 Lityum-iyon batarya grubu 102
4.1.3 Vanadyum redoks batarya grubu 102
4.1.4 Küçük güçlü kombine ısı-güç çevrim elemanı 103
4.1.5 Sodyum nikel klorür batarya grubu 103
4.1.6 Büyük güçlü kombine ısı-güç çevrim elemanı 104
4.1.7 Doğru gerilim şebekesi dönüştürücüsü 104
4.1.8 Diğer elemanlar ve yorumlar 105
4.2 Etkin ve Otonom Güç ve Enerji Yönetimi Testleri 106
4.2.1 Kullanıcılar için tarifeye dayalı koordinasyonsuz yönetim 106
4.2.2 Kullanıcılar için koordine yönetim 107
4.2.3 Toplu yöneticiler için piyasa odaklı koordine yönetim 110
4.2.4 Yerel aşırı/düşük gerilim sorunlarına yönelik yönetim 113
4.2.5 Dağıtım şebekesi bağlantı düzenlemelerine yönelik yönetim 116
4.2.6 Ada çalışmasını desteklemeye yönelik toplu yönetim 118
4.3 Oyunlaştırılmış Kullanıcı Platformu Denemeleri 119
4.3.1 Kullanıcılara yönelik platform içeriği 121
4.3.2 Toplu yöneticilere yönelik platform içeriği 123
4.3.3 Dağıtım şebekesi operatörlerine yönelik platform içeriği 125
4.4 Genel Yorumlar 126
5. DAĞITIM ŞEBEKESİ ODAKLI TALEP YÖNETİMİ 127
5.1 Dağıtım Şebekesi Hizmetleri için Yerel ve Toplu Yönetim Yaklaşımları 127
5.1.1 Düşük gerilim olayına yönelik yönetim testi 128
5.1.2 Aşırı gerilim olayına yönelik yönetim testi 130
5.1.3 Faz yüklenmelerini dengelemeye yönelik yönetim testi 131
5.1.4 Şebeke bağlantı düzenlemelerini destekleyen yönetim testi 133
5.2 Yerel Düşük Gerilim Sırasında Talep Artışının Etkisinin İncelenmesi 135
5.3 Eş Zamanlı Talep Yönetimi 136
5.3.1 Ana şebeke için talep arttırma ve yerel şebeke için talep azaltma 137
5.3.2 Ana şebeke için talep azaltma ve yerel şebeke için talep arttırma 138
5.3.3 Gerilim hassasiyet matrisi testi 140
5.3.4 Gerilim hassasiyeti temelli talep yönetimi 140
5.4 Genel Yorumlar 151
6. SONUÇLAR 153
KAYNAKLAR 157
EKLER 163
ÖZGEÇMİŞ 173

KISALTMALAR

BP : Behavioral Programs
CP : Configurable Programs
CPP : Critical Peak Pricing
ÇZT : Çok Zamanlı Tarife
DLC : Direct Load Control
DP : Değiştirilebilir Programlar
DaP : Davranışsal Programlar
DYK : Doğrudan Yük Kontrolü
GZF : Gerçek Zamanlı Fiyatlandırma
KPF : Kritik Puant Fiyatlandırma
MP : Manual Programs
OOP : Otonom Olmayan Programlar
PTF : Piyasa Takas Fiyatı
P2P : Peer to Peer
RTP : Real Time Pricing
SGS : Sanal Güç Santrali
ToU : Time of Use
VBA : Visual Basics for Applications

SEMBOLLER

$\boldsymbol{AS}$: Toplu yönetim kazancından toplu yöneticinin aldığı pay

$\boldsymbol{c_E}$: Enerji tüketimlerinin maliyeti

$\boldsymbol{C_g}$: Kullanıcıya garanti edilen teşvik miktarı

$\boldsymbol{C_{net}}$: Toplu yöneticinin elde ettiği net kazanç

$\boldsymbol{c_{p_{max}}}$: Puant tüketimlerin maliyeti

$\boldsymbol{CS}$: Toplu yönetim katılımcılarına dağıtılacak kar

$\boldsymbol{E_{ach}}$: Gerçekleştirilen enerji yönetimi

$\boldsymbol{E_{bat}}$: Bataryanın enerji depolama kapasitesi

$\boldsymbol{E_{des}}$: Hedeflenen enerji yönetimi

$\boldsymbol{E_{per}}$: Enerji yönetim performansı

$\boldsymbol{E_{pot-genel}}$: Evin genel enerji yönetim potansiyeli

$\boldsymbol{E_{pot}}$: Yönetilebilir yükün enerji yönetim potansiyeli

$\boldsymbol{E_{pot-yüzde}}$: yükün genel yönetim potansiyeli içerisindeki yüzdesi

$\boldsymbol{E_{puant}}$: Puant periyot enerji tüketimleri

$\boldsymbol{E_{toplam}}$: Toplam enerji tüketimleri

$\boldsymbol{K}$: Toplu yönetim sonrası olumsuzlukların toplam değeri

$\boldsymbol{P_a}$: A fazına ait toplam yük

$\boldsymbol{P_{aggtarget}}$: Aktif güç toplu yönetim hedefi

$\boldsymbol{P_{ayarlanan}}$: Ayarlanan aktif güç değeri

$\boldsymbol{P_b}$: B fazına ait toplam yük

$\boldsymbol{P_{bat}}$: Bataryanın alacağı aktif güç kontrol değeri

$\boldsymbol{P_c}$: C fazına ait toplam yük

$\boldsymbol{P_{çıkış}}$: Cihazın şebeke bağlantı noktasında ölçülen aktif güç değeri

$\boldsymbol{P_{denge}}$: Faz dengesizliği

$\boldsymbol{P_{ort}}$: Tüm fazlardaki ortalama yük değeri

$\boldsymbol{p_B}$: Piyasaya teklif edilen yönetim miktarının kabul edildiği birim fiyat

$\boldsymbol{p_{hata}}$: Hata oranı

$\mathbf{p}_{\boldsymbol{E}}$: Enerji tüketimi miktarı

$\mathbf{p}_{p_{max}}$: Puant miktarı

p_p : Enerji yönetim açığının piyasadan temin edilme maliyeti

p_{puant} : Puant periyot tüketiminin toplam tüketim içerisindeki yüzdesi

Q_{ach} : Gerçekleştirilen reaktif güç kontrol miktarı

Q_{des} : Hedeflenen reaktif güç kontrol değeri

Q_{total} : Toplam reaktif güç kontrol performansı

q : Toplu yönetimde karın dağıtılmaya başlandığı eşik yönetim değeri

r : Korelasyon katsayısı

r_i : Kullanıcılara sağlanan teşviğin birim fiyatı

s : Varyans

V_{anma} : Anma gerilimi

$V_{düzelme}$: Gerilim düzelme miktarı

V_{ilk} : Yönetim öncesinde ölçülen gerilim değeri

V_{son} : Yönetim sonrasında ölçülen gerilim değeri

X : Örnek bir değişken ismi

x_A : Gerçekleştirilen toplu yönetim performansı

x_B : Piyasaya teklif edilen aktif güç yönetim miktarı

x_i : i nolu katılımcının toplu yönetim performansı

Y : Örnek bir başka değişken ismi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Mevcut talep yönetimi programlarının temel özellikleri **14**
Çizelge 2.2 : Dış ortam sıcaklığına göre klima ayar değeri tercihinin değişimi..... **17**
Çizelge 2.3 : Enerjide oyunlaştırma alanında öne çıkan çalışmaların özellikleri..... **33**
Çizelge 3.1 : Geçmiş anket çalışmalarına benzer tespit edilen gruplar ve oranları ... **47**
Çizelge 3.2 : Farklı grupların genel eğilimleri..... **48**
Çizelge 3.3 : Esnek yükler için talep yönetimi yaklaşımlarının karşılaştırılması..... **53**
Çizelge 3.4 : Cihaza göre talep yönetimi seçenekleri..... **54**
Çizelge 3.5 : Türkiye'de ev kullanıcılarına sunulan çok zamanlı tarife detayları **55**
Çizelge 3.6 : İzleme dönemi boyunca evlerin ortalama enerji tüketimleri..... **62**
Çizelge 3.7 : Evlerin ortalama enerji tüketimleri ve izleme dönemiyle kıyaslama ... **66**
Çizelge 3.8 : Etkin kullanıcılar için görevler ile tüketim değişimlerinin ilişkisi..... **69**
Çizelge 3.9 : Evlerin tasarruf potansiyeli ve yönetilebilir yüklerin payı **70**
Çizelge 3.10 : Yönetilebilir yüklerin puant periyotta çalıştığı günler ve miktar..... **71**
Çizelge 3.11 : Yeni teşvik yaklaşımı analizinde kullanılan parametreler **88**
Çizelge 3.12 : Toplu yük analizinde kullanılan değerler..... **88**
Çizelge 3.13 : Yönetim ile puant talep ve enerji tüketimindeki değişimler **92**
Çizelge 3.14 : Önerilen yaklaşımın sıradan toplu yönetimle karşılaştırılması **92**
Çizelge 3.15 : Önerilen yaklaşımın tüm sonuçlarının karşılaştırmalı gösterimi. **96**
Çizelge 4.1 : PID kontrolün kurşun-asit batarya yönetim performansına etkisi..... **106**
Çizelge 4.2 : Bataryaların maksimum güç sağlayabildikleri süreler. **107**
Çizelge 4.3 : Cihaz başına ve toplu yönetim performansı **111**
Çizelge 4.4 : Reaktif enerji toplum yönetim başarısı **112**
Çizelge 4.5 : Cihazların testlerdeki kodları **113**
Çizelge 4.6 : Cihazların gerilim değerlerini düzeltmeye bireysel katkıları. **114**
Çizelge 4.7 : Cihazların aşırı gerilim sorununu düzeltmeye bireysel katkıları..... **115**
Çizelge 4.8 : Reaktif güç yönetimi ile aşırı gerilimi düzeltme başarısı. **116**
Çizelge 4.9 : Cihazların en kritik bara gerilimine etkileri. **118**
Çizelge 4.10 : Bataryaların ada çalışmasını desteklemeye katkıları..... **119**
Çizelge 5.1 : Binaların aktif güç talebindeki değişim **129**
Çizelge 5.2 : Şebekenin farklı noktalarında bara gerilimlerindeki değişim **129**
Çizelge 5.3 : Binaların aktif güç talebindeki değişim **130**
Çizelge 5.4 : Şebekenin farklı noktalarında bara gerilimlerindeki değişim **130**
Çizelge 5.5 : Faz dengeleme amaçlı yönetim hareketleri..... **132**
Çizelge 5.6 : Binaların aktif güç talebindeki değişim **136**
Çizelge 5.7 : Şebekenin farklı noktalarında bara gerilimlerindeki değişim. **136**
Çizelge 5.8 : A fazı tüketicilerinin gerilim hassaslıklarına göre sıralanması. **144**
Çizelge 5.9 : B fazı tüketicilerinin gerilim hassaslıklarına göre sıralanması **145**
Çizelge 5.10 : C fazı tüketicilerinin gerilim hassaslıklarına göre sıralanması **146**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Elektrik güç sistemlerinde başlıca eğilimler ve zorluklar **5**
Şekil 2.1 : Başlıca talep yönetimi stratejileri **9**
Şekil 2.2 : Klima modelinin genel yapısı..... **17**
Şekil 2.3 : Örnek bir (a) iç ortam sıcaklığı değişimi, (b) güç tüketim profili..... **18**
Şekil 2.4 : Örnek diğer bir (a) iç ortam sıcaklığı değişimi, (b) güç tüketim profili... **18**
Şekil 2.5 : Buzdolabı modelinin genel yapısı **19**
Şekil 2.6 : Buzdolabı için bir (a) sıcaklık değişimi, (b) tüketim profili **20**
Şekil 2.7 : Buzdolabı için diğer bir (a) sıcaklık değişimi, (b) tüketim profili **20**
Şekil 2.8 : Çamaşır makinası modeli genel yapısı..... **21**
Şekil 2.9 : Standart yıkama programında çamaşır makinasının günlük tüketimi..... **22**
Şekil 2.10 : Sıkmalı yıkama programında çamaşır makinasının günlük tüketimi..... **22**
Şekil 2.11 : Kurutma makinesi modeli genel yapısı **23**
Şekil 2.12 : Kurutma makinesinin modelinin günlük tüketim profili..... **23**
Şekil 2.13 : Geliştirilen modelin genel yapısı..... **24**
Şekil 2.14 : Modelin örnek bir günlük tüketim profili **25**
Şekil 2.15 : Modelin diğer bir örnek günlük tüketim profili **25**
Şekil 2.16 : Örnek (2 kişilik bir evde, hafta içi) bir günlük tüketim profili..... **26**
Şekil 2.17 : Başka bir örnek (5 kişilik evde, hafta sonu) günlük tüketim profili..... **26**
Şekil 3.1 : Cevap verenlerin (a) cinsiyet, (b) yaş, (c) eğitim, (d) ikamet türleri..... **39**
Şekil 3.2 : Kaynaklar için (a) çevre, (b) küresel ısınma, (c) tükenme, (d) temin **41**
Şekil 3.3 : Talep yönetimiyle ilgili kaygıları olanların sebepleri **41**
Şekil 3.4 : Bağış yapılabilecek kurum türleri. **42**
Şekil 3.5 : Kullanılabilecek iletişim kanalları..... **43**
Şekil 3.6 : Talep yönetiminin tanıtım ve planlamasında güvenilen kurumlar..... **44**
Şekil 3.7 : İlgi çeken ek kazanç yolları..... **44**
Şekil 3.8 : Genel kabul gören oyunlaştırma yaklaşımları..... **45**
Şekil 3.9 : Aylık enerji raporunun (a) şematik gösterimi, (b) ekran görüntüsü **58**
Şekil 3.10 : Platformun etkinlik döngüleri **59**
Şekil 3.11 : Platformun ana sayfasının (a) şematik gösterimi, (b) ekran görüntüsü.. **61**
Şekil 3.12 : İzleme dönemi Ev-1 esnek yüklerinin tarifeye göre tüketimleri..... **62**
Şekil 3.13 : İzleme dönemi Ev-2 esnek yüklerinin tarifeye göre tüketimleri..... **63**
Şekil 3.14 : İzleme dönemi Ev-3 esnek yüklerinin tarifeye göre tüketimleri..... **63**
Şekil 3.15 : İzleme dönemi Ev-4 esnek yüklerinin tarifeye göre tüketimleri..... **64**
Şekil 3.16 : Kullanıcıların aylık hesaba giriş sayıları..... **64**
Şekil 3.17 : Kullanıcıların aylık başarıyla tamamladıkları görev sayıları **64**
Şekil 3.18 : Uygulama döneminde aylık ortalama görev başarılarının değişimi..... **65**
Şekil 3.19 : Uygulama dönemi Ev-1 esnek yüklerinin tarifeye göre tüketimleri..... **67**
Şekil 3.20 : Uygulama dönemi Ev-2 esnek yüklerinin tarifeye göre tüketimleri..... **67**
Şekil 3.21 : Uygulama dönemi Ev-3 esnek yüklerinin tarifeye göre tüketimleri..... **68**
Şekil 3.22 : Uygulama dönemi Ev-4 esnek yüklerinin tarifeye göre tüketimleri..... **68**
Şekil 3.23 : Örnek bir ev için saatlik yönetilebilir talep miktarı **72**

Şekil 3.24 : Örnek bir evde yönetilebilir talebin genel tüketimdeki yüzdesi **73**
Şekil 3.25 : 55 ev için tekil olarak saatlik yönetilebilir talep miktarı **74**
Şekil 3.26 : 55 evde tekil olarak yönetilebilir talebin genel tüketimdeki yüzdesi **74**
Şekil 3.27 : 55 ev için saatlik yönetilebilir toplu talep miktarı **75**
Şekil 3.28 : 55 evde saatlik yönetilebilir toplu talebin genel tüketimdeki yüzdesi ... **75**
Şekil 3.29 : Gün boyunca saatlik yönetim olayına katılabilecek kullanıcı sayısı **76**
Şekil 3.30 : Gün öncesi elektrik piyasası 2018 yılı saatlere göre fiyat aralığı. **77**
Şekil 3.31 : Gün öncesi elektrik piyasası 2018 yılı aylara göre fiyat aralığı. **77**
Şekil 3.32 : Gün içi elektrik piyasası 2018 yılı saatlere göre fiyat aralığı **78**
Şekil 3.33 : Gün içi elektrik piyasası 2018 yılı aylara göre fiyat aralığı **78**
Şekil 3.34 : Örnek bir ev için gün öncesi piyasada saatlik gelir miktarı **79**
Şekil 3.35 : Örnek bir ev için gün içi piyasada saatlik gelir miktarı **79**
Şekil 3.36 : Örnek bir evin gün öncesi piyasada aylara göre saatlik gelir aralığı. **80**
Şekil 3.37 : Örnek bir evin gün içi piyasada aylara göre saatlik gelir aralığı **80**
Şekil 3.38 : 55 evin gün öncesi piyasada saatlik gelir miktarı **81**
Şekil 3.39 : 55 evin gün içi piyasada saatlik gelir miktarı. **81**
Şekil 3.40 : 55 evin gün öncesi piyasada aylara göre saatlik gelir aralığı **82**
Şekil 3.41 : 55 evin gün içi piyasada aylara göre saatlik gelir aralığı **82**
Şekil 3.42 : Teşviğin (a) sabit, (b) bireysel, (c) değişken, (d) genel, (e) toplu türü... **83**
Şekil 3.43 : Örnek bir piyasada enerji miktarına göre arz fiyatının değişimi **84**
Şekil 3.44 : Katılıma göre yönetici kazancı (kırmızı çizgi) ve teşvik (mavi çizgi) ... **85**
Şekil 3.45 : 100 katılımcının sağlayabileceği toplu yönetimin değişimi **86**
Şekil 3.46 : Garanti edilen fiyatın yetersiz kaldığı örnek bir durum **86**
Şekil 3.47 : Yeni teşvik yapısında katılıma göre sunulan birim teşvik **87**
Şekil 3.48 : Yeni teşvik yapısının artış eğilimi (kar topu) **87**
Şekil 3.49 : Kar topu etkisiyle gittikçe büyüyen yönetim performansı **88**
Şekil 3.50 : Katkı sağlayan cihaz türleri **89**
Şekil 3.51 : Artan fiyatla dahil olan (a) katılımcı sayısı, (b) cihaz sayısı **89**
Şekil 3.52 : 55 kullanıcının günlük toplu yük profili **91**
Şekil 3.53 : Bir saatlik bir toplu yönetimin devam eden döneme etkisi **91**
Şekil 3.54 : Çözüm mantığı akış diyagramı **93**
Şekil 3.55 : Yanıt sürelerine göre yönetimin diğer durumlarla karşılaştırması **94**
Şekil 3.56 : 08.00-20.00 arası toplu yönetimin puant talebe etkisi **94**
Şekil 3.57 : 08.00-20.00 arası toplu yönetimin enerji tüketimine etkisi **95**
Şekil 4.1 : Karakteristik özellik testlerinin kurulum şeması **101**
Şekil 4.2 : Aşırı akımdan dolayı açma yapan kesici (mavi daire içinde) **107**
Şekil 4.3 : Kullanılan geçmiş güneş paneli ve rüzgar türbini üretim profili **108**
Şekil 4.4 : Kullanılan bir saatlik ev tüketim profili **108**
Şekil 4.5 : Tekil kullanıcı için koordine yönetim mantığı **109**
Şekil 4.6 : Lityum-iyon batarya grubunun ayar değerlerini izleme başarısı **109**
Şekil 4.7 : Toplu yöneticinin aktif güç yönetim hedeflerini sağlama başarısı **111**
Şekil 4.8 : Bataryaların toplu aktif güç yönetimi başarısı **111**
Şekil 4.9 : Farklı ayar değerleri uygulandığında elde edilen profil **112**
Şekil 4.10 : Düşük gerilim testleri kurulumu **113**
Şekil 4.11 : Yönetilebilir her cihazda 5 kW azalmanın en kritik baraya etkisi **114**
Şekil 4.12 : Aşırı gerilim testleri kurulumu **115**
Şekil 4.13 : Yönetilebilir her cihazda 5 kW artışın en kritik baraya etkisi **116**
Şekil 4.14 : Yönetilebilir her cihazda 5 kVAr değişimin en kritik baraya etkisi **117**
Şekil 4.15 : Düzenleme öncesi bağlantılar. **117**
Şekil 4.16 : Düzenleme sonrası bağlantılar **118**

Şekil 4.17 : Ada çalışması bağlantı şeması **119**
Şekil 5.1 : Düşük gerilim giderme testi kurulumu **129**
Şekil 5.2 : Faz dengeleme testi kurulumu **131**
Şekil 5.3 : Yönetim hareketleri öncesi ve sonrasında faz yüklenmeleri **132**
Şekil 5.4 : Yönetim hareketleri öncesi ve sonrasında toplam yük değeri **133**
Şekil 5.5 : Bağlantı düzenlemesi öncesi kurulum **134**
Şekil 5.6 : Bağlantı düzenlemesi sırasındaki geçici durum **134**
Şekil 5.7 : Bağlantı düzenlemesi sonrası durum **135**
Şekil 5.8 : Bağlantı düzenlemesi sürecinde gerilim düşümlerinin değişimi **135**
Şekil 5.9 : Eş zamanlı talep yönetimi test bağlantıları **137**
Şekil 5.10 : İlk eş zamanlı yönetim senaryosunda güç değerlerindeki değişim **137**
Şekil 5.11 : İlk eş zamanlı yönetim senaryosunda gerilimlerin değişimi **138**
Şekil 5.12 : İkinci eş zamanlı yönetim senaryosunda güçlerin değişimi **139**
Şekil 5.13 : İkinci eş zamanlı yönetim durumunda gerilimlerin değişimi **139**
Şekil 5.14 : Gerilim hassasiyet matrisi çıkarımında izlenilen yöntem **142**
Şekil 5.15 : Ofis binası barasında güç değişikliğinin diğer baralara etkisi **143**
Şekil 5.16 : Mobil yük-2 barasında güç değişikliğinin diğer baralara etkisi. **143**
Şekil 5.17 : Mobil yük-1 barasında güç değişikliğinin diğer baralara etkisi **143**
Şekil 5.18 : Test fiderinin kullanıcı bağlantı noktalarıyla detaylı görünümü **145**
Şekil 5.19 : Yüklerin eş zamanlı toplu yönetim basamakları **146**
Şekil 5.20 : Eş zamanlı toplu yönetimde karşılaşılan en düşük bara gerilimi **147**
Şekil 5.21 : Tüm yüklerin ve sadece yönetilebilir yüklerin günlük talep profili **147**
Şekil 5.22 : Gün boyunca düşük gerilim zamanlarında yük miktarları **147**
Şekil 5.23 : Düşük gerilim zamanlarında yönetilebilir yükün toplam yüke oranı **148**
Şekil 5.24 : Her bir evin düşük gerilim olaylarına cevap verebilme oranı **148**
Şekil 5.25 : Tüm evlerin düşük gerilim olaylarına cevap verebilme oranı **149**
Şekil 5.26 : Düşük gerilim olaylarında cevap verebilecek kullanıcı sayısı **149**
Şekil 5.27 : Toplu yönetimin en düşük bara gerilimine etkisi **150**
Şekil 5.28 : Düşük gerilim sırasında her evin yönetilebilir yük miktarı **150**
Şekil 5.29 : Düşük gerilim zamanlarında eş zamanlı yönetim miktarları **151**
Şekil 5.30 : Farklı eş zamanlı yönetim basamakları ve düşük gerilime etkisi **151**

ŞEBEKE ETKİLEŞİMLİ TÜKETİCİLER İLE TOPLU TALEP YÖNETİMİ

ÖZET

Elektrik güç sistemleri, geçmişten günümüze dek süregelen çeşitli zorlukların yanı sıra, teknolojik gelişmelerin beraberinde getirdiği yeni sorunlar ve tehditler ile karşı karşıyadır. Ayrıca, çevresel, ekonomik ve sosyal yeni eğilimlerin de etkisiyle güç sistemlerinde köklü değişimler yaşanmaktadır. Yeni santraller ve altyapı yatırımlarının yanı sıra, mevcut sistemlerin daha etkin kullanımı da önemli bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Özellikle talep tarafında, alçak gerilim dağıtım şebekelerinde bazı yükler, dağıtık üretim ve enerji depolama elemanları, birincil görevlerinin yanı sıra, ikincil görev olarak ana şebeke ve yerel şebekeye çeşitli hizmetler sağlayabilecek şekilde değerlendirilebilme potansiyeline sahiptir. Bu şekilde kullanılan elemanlar, dağıtık enerji sağlayıcılar olarak nitelendirilmektedir. Bireysel olarak yönetildiklerinde sınırlı etkileri ve esneklikleri olan bu cihazların birçoğu birlikte koordine edilebildiğinde büyük çaplı etki ve faydalar sağlanabilmektedir.

Literatürdeki çalışmaların birçoğunda sadece belirli bir tür esnek yük seçilip, bu yükün az sayıda yaklaşımla yönetimi tercih edilmiştir. Gerçek kullanıcılarla yapılan saha uygulamalarının en uzun süreli olanları birkaç ayı geçmemiştir. Oyunlaştırma tekniklerinin denendiği ilgili çalışmalar, az sayıda oyunlaştırma yaklaşımını bir arada uygulamıştır. Talep yönetiminin oyunlaştırılması süreci birçok çalışmada, yararlanılan sosyal davranış teorileri ve yöntemler yeterince anlatılmadan özet olarak sunulmuştur. Oyunlaştırılmış yönetim uygulamalarında ağırlıklı olarak enerji tasarrufu hedeflenip, talebin farklı zaman dilimlerine kaydırılmasına yönelik esnekliklere pek odaklanılmamıştır. Ayrıca, yönetilebilir yüklerin yönetim performansları detaylı olarak ölçülemeyip, bünyesinde birçok farklı etkeni barındıran bina veya tüketici bazlı genel tüketimler dikkate alınmıştır. Buna ek olarak saha uygulamalarının sonuçları analitik olarak detaylarıyla değerlendirilmemiştir. Kullanıcıların yönetim potansiyelinin mali analizi kısa dönemler için yapılıp genelde bir ayı geçmemektedir. Ayrıca, sunulan ekonomik teşvik mekanizmaları büyük çoğunlukla, kullanıcıları sadece bireysel olarak hareket etmeye teşvik edebilmektedir. Dağıtık üretim ve enerji depolama elemanlarının güç ve enerji yönetimi karakteristiklerinin çıkarımına yönelik genel kabul görmüş bir yaklaşım bulunmamaktadır. Ayrıca, bu cihazların toplu yönetim performanslarının sahada incelenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu cihazların gelişmiş izlenmesi, otonom kontrolü ve kullanıcı dostu arayüzlerle yönetimine yönelik çalışmalar da oldukça başlangıç aşamasında ve sayıca azdır. Yönetilebilir yüklerin yerel şebekenin sorunlarına yönelik yönetimi ile ilgili kavramsal çalışmalar ve kısıtlı kapsama sahip benzetim çalışmaları olsa da, saha denemeleri bulunmamaktadır. Ayrıca, hem ana şebeke, hem de yerel şebekeye yönelik, eş zamanlı, birbiriyle çelişen hedeflerin olduğu durumlarda genel yaklaşım, bu hedeflerden birine öncelik verilerek tüm yüklerin bu hedefe göre yönetilmesi yönündedir.

Bu çalışmada, talep tarafındaki yönetilebilme potansiyeline sahip cihazların toplu yönetimine odaklanılmıştır. Öncelikle, farklı demografik özelliklere sahip birçok kullanıcının elektrik şebekelerindeki zorluklarla ilgili farkındalığını ve talep yönetimi

ile oyunlaştırma uygulamalarına eğilimlerini gözlemlemek amacıyla bir anket yapılmıştır. Bir sonraki aşamada, evlerdeki yönetilebilir yükler için, mevcut altyapılarla uygulanabilecek yönetim seçenekleri irdelenmiştir. Sonrasında yönetim seçeneklerini kullanıcılara tüketim istatistikleri ile birlikte sunan, oyunlaştırma teknikleri ve çok zamanlı tarife fiyatlarından yararlanarak, sosyal ve ekonomik teşviklerle kullanıcıları talep yönetimine yönlendiren bir platform geliştirilmiştir. Bu sistem İstanbul'daki 4 evde, gerçek kullanıcılarla, 4 aylık bir izleme dönemini takiben 9 aylık bir uygulama dönemi boyunca denenmiştir. Kullanıcıların platform ve oyunlaştırılmış sistemle etkileşiminin, elde edilen talep yönetimi performansı ve elektrik tasarrufları ile ilişkisi detaylı olarak değerlendirilmiştir. Sahadan elde edilen veriler ışığında, Türkiye'deki gün öncesi ve gün içi elektrik piyasalarının 2018 yılına ait verilerinden de faydalanılarak yönetim potansiyeli ve ekonomik analizler yapılmıştır. Ayrıca, elektrik piyasasına entegre yeni bir teşvik yapısı geliştirilerek toplu yönetim, kullanıcıları işbirliğine yönelten, artan kar miktarının dinamik ve oransal olarak sunulabileceği bir yapıda incelenmiştir. Buna ek olarak, toplu talep yönetimi olaylarının ilerleyen saatlerinde genellikle rastlanan beklenmedik yeni puant talepler ve enerji tüketimi artışlarının da azaltılması için yükleri sürelerine göre yöneten yeni bir yaklaşım geliştirilmiş ve incelenmiştir.

Dağıtık üretim ve enerji depolama sistemlerinin toplu yönetimiyle ilgili çalışmalar bir sonraki aşamada gerçekleştirilmiştir. Büyük ölçekli bir laboratuvarda, farklı tür ve özelliklerde dağıtık üretim ve enerji depolama elemanının güç ve enerji yönetimi olanaklarıyla ilgili testler yapılmıştır. Öncelikle cihazların karakteristik özellikleri ve çalışma sınırları tespit edilmiştir. Ardından bu cihazların toplu yönetimiyle ilgili çok sayıda senaryo incelenerek, cihazların toplu yönetim performansları gözlemlenmiştir. İlerleyen aşamada, cihazların oyunlaştırma tekniklerinden de yararlanılarak toplu yönetimine yönelik aşamalar belirlenip, kullanıcı-toplu yönetici ve şebeke operatörü etkileşimi detaylandırılmıştır.

Tez çalışmasının bir başka bölümünde, esnek yüklerin dağıtım şebekesindeki yerel sorunlara yönelik çözümü incelenmiştir. Gerilim profilinin iyileştirilmesi, hat aşırı yüklenmelerinin giderilmesi ve faz yüklenmelerindeki dengesizliklerin esnek ev yükleri yönetilerek azaltılmasına yönelik testler yapılmıştır. Alçak gerilim dağıtım şebekelerinde, baralardaki güç değişimlerinin bara gerilimlerine etkilerinin çıkarımına yönelik bir yaklaşım geliştirilmiş ve büyük ölçekli bir laboratuvarda denenmiştir. Elde edilen bara gerilim hassasiyetlerinden yararlanılarak, hem ana şebeke, hem de yerel şebekeye yönelik eş zamanlı ve birbiriyle çelişen hedeflere sahip yönetim uygulamaları için bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşım da hem laboratuvar testleri, hem de kapsamlı benzetim çalışmalarıyla incelenmiştir.

Yapılan çalışma, evlerdeki yönetilebilir yüklerin ana şebeke ve yerel şebeke olaylarında kullanılabilirliği, elde edilebilecek teknik ve mali faydalar, kullanıcıların uzun dönem boyunca talep yönetimine katılımları, elektrik piyasasına entegre ve kullanıcıları toplu katılıma yönelten teşvik yaklaşımları, dağıtık üretim ve enerji depolama elemanlarının toplu yönetim olanak ve performansları, farklı yönetim hedeflerinin alçak gerilim dağıtım şebekelerinde eş zamanlı ve etkin uygulanması ile ilgili faydalı bulgular sunmuştur. Bu çalışmada ortaya konulan yaklaşımlar, aydınlatılan yönetim potansiyelleri-imkanları-olanakları ve edinilen tecrübeler bu alandaki ilerleyen çalışmalar için de yol gösterici niteliktedir.

AGGREGATED DEMAND SIDE MANAGEMENT WITH GRID RESPONSIVE CONSUMERS

SUMMARY

Electric power system are facing emerging problems and threats due to technological advancements, in addition to longstanding challenges. Moreover, there are fundamental changes in power systems due to emerging environmental, financial and societal trends. In addition to establishment of new power plants and infrastructure expansions, more effective utilization of existing systems gains importance. Especially at the demand side, in low voltage distribution networks, some of the loads, distributed generators and energy storage units have the potential to provide a range of services to both the main grid and the local grid, in addition to fulfilling their primary tasks. The units that are used for this purpose are named as distributed energy resources. In case that these units are managed individually, they have limited impact and flexibilities. On the other hand, coordinated management of many of them can provide large scale impacts and benefits.

The majority of the works in the literature prefer to focus on a single flexible load type and explore a few number of management options. The field applications with real users are limited with a couple of months. In studies on gamification of demand response, the number of adopted gamification elements are considerably few. Furthermore, many studies simply summarize gamification of demand management quite briefly, without providing the details of the used social behavior theories and adopted methods sufficiently. In most of the gamified demand management studies, energy savings are solely focused on, without considering the flexibility of shifting demand to different time periods. Additionally, management performance of flexible loads are not monitored in details. Total consumption of a building or a customer is usually taken into account, which may be influenced by many different external factors. More importantly, the results of field applications are not evaluated quantitatively. Financial analysis for customers is done for small periods and it usually does not exceed one month. Moreover, the provided economical incentive mechanisms are majorly motivating customers to act individually without any collaboration with the others. There are not any common methodology for identification of power and energy management capabilities of distributed generation and energy storage devices. There is also need for field testing of their individual and aggregated management performances. Furthermore, the number of studies on advanced monitoring, autonomous control and coordination over user-friendly interfaces is low. Although there are conceptual and simulation studies with limited scope about local grid oriented management of flexible loads, there have not been conducted many field tests about the proposed approaches. Additionally, in case of conflicting simultaneous main grid and local grid related management events with opposite targets, the general approach is to give priority to one of the events and manage all the flexible loads accordingly.

This study focuses on aggregated management of devices with flexibilities at the demand side. Firstly, a survey was conducted with people with different demographics

to observe the public awareness about the challenges in power systems and expectations about possible demand management and gamification options. The survey showed that, there is high awareness about the current challenges in power systems, except environmental negative impacts. Moreover, there is high acceptance of demand management programs, while most of the proposed gamification and additional earning methods were found motivating. Several user groups were identified, highlighting some common and distinctive characteristics. It is important for a demand management program to offer social and financial incentives that carefully address the expectations of the targeted user groups for achieving success. In the next step, the management options for residential flexible loads were discussed. Later on, a platform that provides the management options, together with consumption statistics, social and financial incentives to customers was developed. This system was tested in 4 houses with real residents in Istanbul, for a 4-month of monitoring period, followed by a 9-month of application period. The relation between platform use, achieved demand management performance and energy savings was investigated in details. Active and frequent users of the platform achieved relatively higher demand management performance and savings compared to rare users. The achievable performance and benefits can be improved more by future platforms with deeper consideration of individual consumption habits and management preferences of users, providing them more personalized and adaptive management options and suggestions. Machine learning and artificial intelligence techniques can be useful for this purpose. Larger scale field applications with higher number of customers and buildings can provide more comprehensive observations and findings. Furthermore, similar platforms can be developed for commercial and industrial customers and buildings to highlight and activate their valuable management flexibilities. Using the data gathered from the meters on the field and 2018 statistics of day ahead and intraday electricity markets in Turkey, management potential and financial benefits were analyzed. Close profits were found for day ahead and intraday market participation cases. Moreover, a new market integrated incentive mechanism that motivates customers to collaboratively take part in demand management activities, through incremental dynamic and proportional reflection of guaranteed profits was proposed. The developed mechanism is suitable for all markets that operate with time windows around 15 minutes and higher. It is possible to organize an event at any time of the day. The applicability of these kinds of collaborative mechanisms can be further investigated in pilot demonstrations with large number of customers. Emerging alternative incentive mechanisms can also be compared with the proposed one. A new method that considers load shifting times is developed to reduce generally faced unexpected peaks and extra energy consumptions in the following hours of an aggregated demand response event. The proposed method is tested in stochastic simulation, providing better results compared to ordinary aggregated demand response approach.

In the next stage of the thesis study, aggregated management of distributed generation and storage systems is worked on. In a large scale laboratory, power and energy management capabilities of distributed generation and energy storage units with different types and characteristics were investigated with tests. Firstly, their characteristic features and operational limits were identified. Secondly, several scenarios on their coordinated management is explored to observe their aggregated management performance. After that, a number of steps that should be followed for gamified aggregated management of these units were identified, highlighting device owner-aggregator-grid operator interactions.

In another part of the thesis study, the role of flexible loads to mitigate local problems in distribution grids was explored. Test were conducted in a large scale laboratory for improvement of voltage profiles, prevention of line overloadings, and mitigation of phase imbalances. A methodology to derive the impact of power exchanges at each bus on bus voltages in the local grid was developed and tested. Using the voltage sensitivities of buses, an approach is proposed for simultaneous deployment of utility-driven and local network oriented management activities in the same local system. This approach is tested through both laboratory tests and comprehensive simulations.

The study provided important findings related to potential of residential flexible loads in utility-driven and local network oriented management activities, achievable technical and financial benefits, participation of real customers in long term demand management activities, electricity market integrated collaborative action promoting incentive mechanism, alternative aggregated management method to reduce unexpected peaks and extra energy consumption in the following hours of management events, aggregated management availability and performance of distributed generation and energy storage assets, simultaneous and effective deployment of conflicting management events in low voltage distribution grids. The proposed approaches, highlighted management potentials-capabilities-availabilities and gained experiences are also valuable for future works in this area of study.

1. GİRİŞ

Elektrik güç sistemleri, geçmişten günümüze dek süregelen çeşitli zorlukların yanısıra, teknolojik gelişmelerin beraberinde getirdiği yeni sorunlar ve tehditler ile karşı karşıyadır. Ayrıca, çevresel, ekonomik ve toplumsal yeni eğilimlerin de etkisiyle, güç sistemlerinde köklü değişimler yaşanmaktadır. Bu bölümde elektrik güç sistemlerinin günümüz ve yakın gelecekteki zorluklarına genel bir bakış sunulup tez çalışmasının amacı anlatılmış ve ilerleyen bölümlerin içerik yapısından bahsedilmiştir.

1.1 Genel Bakış

Elektrik güç sistemleri büyük oranda, tüm elemanların birbirine bağlı olduğu, enterkonnekte bir yapıya sahiptir. Şebekede arz ve talep dengesini hem anlık olarak, hem de ileriye dönük tahmin ve planlamalarla sürekli sağlamak, şebeke işletmecilerinin geçmişten günümüze en öncelikli görevlerindendir. Aydınlatma cihazları, motor, generatör, bilgisayar, televizyon ve elektrikli ev aletleri gibi birçok elemanın enerji verimliliği, yeni teknolojik ilerlemeler ile artmakta ve cihaz başına enerji kayıpları ile tüketim miktarları düşüş göstermektedir. Buna rağmen dünya genelinde ve birçok ülke özelinde elektrik güç talebi ve enerji tüketimi, ekonomik durgunlukların yaşandığı kısa dönemler dışında istikrarlı olarak artmaktadır. Bu artışın tek sebebi nüfus büyümesi değildir. Gelişen teknolojilerle hayatımıza giren yeni elektriksel ve elektronik cihazlar, ulaşım ve sanayi sektörlerinin elektrifikasyonu da önemli pay sahibidir.

Her ülkenin kendi özelinde sahip olduğu elektrik şebekelerinde, elektriğin bataryalara doğrudan büyük miktarlarda depolanması ve bu bataryaların uzun süreli enerji sağlamada kullanılması teknolojik, finansal ve çevresel açılardan günümüzde elverişli değildir. Dolayısıyla elektriğin gerçek zamanlı olarak, tüketime ayak uyduracak şekilde üretilmesi başlıca işletme yaklaşımlarından biri olmuştur.

Sürekli artan elektrik talebi ve hizmet ömrü dolduğu için devreden çıkarılan santraller, ülkeleri sürekli yeni santraller yapmaya itmektedir. Diğer yandan ülkelerin elektrik

üretiminde kullandıkları doğal kaynaklar, bu kaynakların erişilebilirliği (ham maddenin temini, işlenmesi, santrallere taşınması vb.), sürekliliği (her an istenilen miktarlarda sağlanıp sağlanamadığı; örneğin baraj doluluk oranlarının yağış miktarlarına göre değişimi vb.), maliyeti ve gelecekteki varlığı (fosil yakıtlar için hammadde rezervleri, yenilenebilir enerji kaynakları için iklimsel değişimler) ile sınırlıdır. Ayrıca, altyapı geliştirmeleri, talebin yıl boyunca erişebileceği en yüksek değeri (puant talep) dahi karşılayabilecek şekilde planlanmaktadır. Diğer yandan puant talep yılın çok kısa bir diliminde (%1, 3 ila 4 gün) görülmektedir. Dolayısıyla, en kötü şartlara göre tesis edilen altyapının önemli bir kısmı, yılın büyük bölümünde tam kapasiteyle kullanılmamaktadır. Her ülkenin elektrik enerjisi ihtiyacını en düşük maliyetle, hiçbir dış kaynağa bağlı olmadan sağlayabilmesi oldukça zordur. Bu nedenle, bir yandan ülkeler arası ikili enerji alışverişi için yeni iletim hattı bağlantıları kurulmakta, bir yandan da Avrupa ve çevre ülke şebekelerinin sürekli birbirine bağlı işletildiği yapılara (ENTSO-E) geçilmektedir. Hatta bu yapıların Batı Asya ve Kuzey Afrika coğrafyasını da kapsayacak şekilde genişlediği "Süper Şebeke" projeleri de planlama aşamasındadır. Elektrik güç sistemlerinin ülkeler ve coğrafyalar arası bağlantılarla büyümesi, diğer ülkelerin kaynaklarından yararlanılabilmesi, fazladan üretimlerin diğer ülkelere ihraç edilebilmesi gibi olumlu yönlere sahiptir. Diğer yandan, ülkelerin enerji alışverişinde bulunduğu komşularına güvenerek, daha çok kesintili enerji kaynağına dayalı santraller kurmaya yönelmesi ve bir ülkenin şebekesinden kaynaklı sorunların diğer ülkelerin şebekelerini etkilemesi gibi riskler de artmaktadır.

Kesintili ve ani değişiklikler gösteren yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı, emre amade olmayan santrallerin üretimde gittikçe daha çok yer alması, yüksek ataletli, emre amade diğer santraller tarafından karşılanması gereken talep miktarında (geleneksel santraller için net talep) gün içerisinde önemli değişimlere sebep olmaktadır. Güneşli günlerde güneş santrallerinden elektrik üretimi öğle saatlerinde en yüksek miktarına ulaşıp, gün batımına doğru hızla azalmaktadır. Diğer yandan, rüzgar enerjisi çoğunlukla gece saatlerinde artış eğilimi göstermektedir. Şebeke genelinde elektrik tüketimi ise sabah ve akşam saatlerinde yüksek miktarlara ulaşmaktadır. Bulutlu havalarda güneş, fırtınalı havalarda ise rüzgardan elektrik üretiminde ani dalgalanmalar kaydedilmektedir Dolayısıyla, güneş ve rüzgardan üretim ile karşılanan talep miktarının dışında, diğer santrallerin karşılaması gereken talep miktarı sıkça

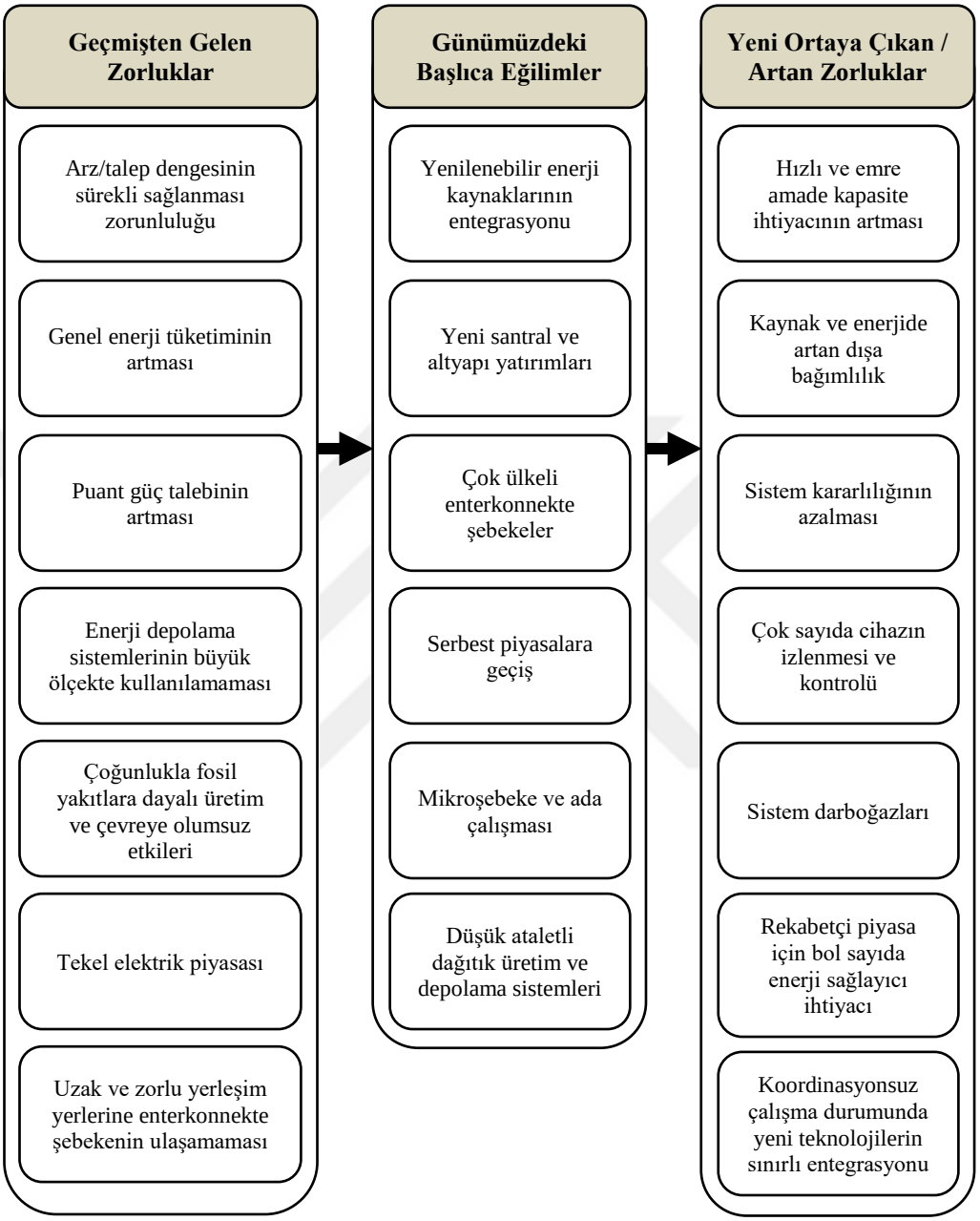
değişebilmektedir. Diğer yandan, geleneksel santraller, güneş ve rüzgar santrallerine göre daha yüksek atalete sahiptir ve ani değişikliklere aynı hızla ayak uyduramamaktadır. Ayrıca, güç sistemindeki bozucu etkiler karşısında, düşük ataletli bu yeni üretim sistemleri hızla devreden çıkabilmekte ve tüm sistemin kararlılığını tehdit eden durumların yaşanması riski de artmaktadır. Bu nedenle, emre amade olmayan, kesintili yenilebilir enerji kaynaklarının üretimdeki payı, arz güvenilirliği ve şebeke kararlılığını riske sokabilecek belirli sınırların ötesine geçememektedir. Ayrıca, bu yeni sistemlerin de, şebekenin zorlandığı durumlarda mümkün olduğunca devreden çıkmayıp, gerilim ve frekans gibi değerlerin tekrar normal işletme sınırları içerisine dönmesine yardımcı olmasına yönelik düzenleme ve çalışmalar yapılmaktadır.

Ülkeler arası enerji hattı bağlantıları ve kaynak temini ile yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretiminde artan payı, ülkelerin dışa bağımlılığını arttırmaktadır. Örneğin, rüzgardan elektrik üretiminde öncü ülkelerden Danimarka, bir yandan üretim fazlasını satabilmek, bir yandan da düşük üretim zamanlarında veya üretimde ani dalgalanmaların yaşandığı durumlarda arz/talep dengesini sağlayabilmek için yakın komşusu Almanya ile enerji alışverişine gittikçe daha bağımlı hale gelmektedir. Danimarka'ya göre çok daha büyük boyutlu bir şebekeye sahip olan Almanya ise, güneş ve rüzgar enerjisinden daha çok faydalanabilmek için yaptığı yatırımların yanısıra, artan üretim dalgalanmalarıyla başa çıkabilmek için hızlı devreye girebilen doğalgaz santralleri tesis etmektedir. Doğalgaz santralleri, kömür ve nükleer gibi üretim seçeneklerinin çevre kirliliği ve küresel ısınma gibi sebeplerle daha az tercih edilmesinden dolayı, dünya genelinde de yaygınlaşmaktadır. Diğer yandan, doğalgaz kaynakları belirli ülkelerde (örneğin Avrupa ülkelerine yakın büyük rezervlerin çoğu Rusya, Azerbaycan ve İran'da) olup, birçok ülke doğalgaz temini açısıdan kendini güvende hissetmemektedir. Ayrıca, doğalgaz bazı ülkelerde doğrudan ısınma amacıyla da kullanıldığı için yılın soğuk zamanlarında arz hem elektrik üretimi, hem ısıtma için yetersiz kalabilmekte, öncelik ısınmaya verilmekte ve elektrik diğer santrallerden çok daha maliyetli bir şekilde sağlanabilmektedir. Enerji sağlama maliyetindeki dalgalanmalar enerji piyasasındaki değişimlerden de kaynaklanmaktadır.

Yakın zamana dek elektrik üretimi ve dağıtımı devlete bağlı tekil kurumlarca yürütülmekteydi. Ülkelerin şebekelerindeki büyüme, işletme, bakım ve

modernizasyon giderlerini finanse etmede ve maliyetleri iyileştirmede yaşadığı zorluklar, üretim ve dağıtım hizmetlerinin çok şirketli ve paydaşlı olarak özelleştirilmesinin tercih edilmesine sebep olmuştur. Birbirinden bağımsız çok sayıda üreticinin ve dağıtım şirketinin sürekli enerji alışverişine dayanan bu yeni yapı, tüm paydaşların şeffaf katılım sağladığı serbest enerji piyasalarıyla işletilmeye başlanmıştır. Farklı enerji sağlayıcılar ve alıcıların ortak bir platformda bulunması rekabeti tetikleyip, en uygun (marjinal fiyat, piyasa takas fiyatı -PTF-) fiyatlarla enerji ticareti yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Diğer yandan, tüm paydaşlar olabildiğince kar elde etmek amacıyla enerji ticareti yaptığı için, kaynak sıkıntılarının yaşandığı dönemlerde piyasa fiyatlarının çok yüksek miktarlara çıkabilmesi riski de bulunmaktadır. Bu nedenle piyasada enerji alışverişine hazır, uygun maliyetli olabildiğince katılımcının yer alması, uygun fiyatların ortaya çıkması için önemli bir unsurdur. Şebekelerin boyutça büyümesine yönelik girişimlerin yanısıra, yerel kaynakların ve depolama sistemlerinin yeterli miktarlarda bulunduğu kritik öneme sahip yerler ile elektrik altyapısının günümüzde dahi coğrafi zorluklar, nüfus merkezlerine uzaklık ve maliyet gibi nedenlerle tesis edilemediği uzak yerleşimler için ana şebekeden bağımsız-ada çalışması yeteneğine sahip "mikroşebeke" kavramı öne çıkmaktadır. Geçmişte yüksek maliyetli dizel generatörlerden üretilen elektriğin doğrudan kullanıldığı bu sistemlerde, daha düşük işletme maliyetli güneş ve rüzgar gibi kesintili yenilebilir enerji kaynaklarının bataryalarla beraber gittikçe daha çok tercih edildiği görülmektedir. Bu sistemlerde, uzaktan izlenebilen ve kontrol edilebilen (örneğin uydu iletişimine sahip eviriciler) sistemler ve kişiler arası (peer to peer -P2P-) enerji alışverişine dayalı yaklaşımlar yaygınlık kazanmaktadır. Hem büyük ve enterkonnekte, hem de küçük ve ada çalışmasına sahip şebekelerde kesintili ve emre amade olmayan güneş, rüzgar gibi kaynakların payının artması, elektrikli araçlar, elektrikli ısıtma-soğutma sistemleri gibi yeni yüklerle elektrik ihtiyacının artması, mevcut cihaz ve altyapıların daha iyi işletilmesinin önemini arttırmaktadır. Şebekeye gelişen teknolojilerle entegre edilen yeni üretim, depolama ve tüketim cihazlarının önemli bir bölümü, alçak ve orta gerilim dağıtım şebekelerinde yer almaktadır. Dolayısıyla, yüksek gerilim iletim sistemlerinde ülke çapında yaşanacak olumsuzluklarla karşılaşılmadan önce, dağıtım şebekelerinin belirli bölümlerinde entegrasyonun az miktarlarda olduğu başlangıç zamanlarından itibaren, yerel sorunlar yaşanabilmektedir. Bu olumsuzluklar, bu yeni cihazların dağıtım seviyesinde kurulma miktarlarının, dolayısıyla şebekeye entegrasyon yüzdelerinin güvenlik amacıyla

sınırlanmasına sebep olmaktadır. Elektrik güç sistemlerinde geçmişten gelen zorluklar, günümüzdeki başlıca eğilimler, yeni ortaya çıkan veya artış gösteren zorluklar Şekil 1.1'de toplu olarak özetlenmiştir.



Şekil 1.1 : Elektrik güç sistemlerinde başlıca eğilimler zorluklar.

1.2 Çalışmanın Amacı

Elektrik güç sistemlerinin üretim tarafı ve iletim hatlarında, cihazlar arası koordinasyon, gelişmiş kontrol ve şebeke odaklı yönetim yaygın olarak uygulanmaktadır. Diğer yandan, tüketim tarafı ve dağıtım şebekelerinde cihazlar yeterince detaylı izlenememekte, birçok yerel sorun gerçekleşmeden önce farkedilip

önlenememekte ve özellikle tüketicilere ait cihazlar arasında koordinasyon ve şebeke odaklı yönetim gerçekleştirilmemektedir. Üretim tarafı ve iletim hatları ile tüketim tarafı ve dağıtım şebekeleri arasındaki bu farkların geçmişteki temel sebebi, üretim ve iletimin büyük kapasiteli kritik altyapılar olması ile enerjinin tek yönlü olarak bu sistemlerden dağıtım ve tüketim tarafına sağlanmasıydı. Son yıllarda ise, dağıtım hatları ve tüketim tarafındaki dağıtık üretim, enerji depolama ve yönetilebilir (esnek) yüklerin sayıca artması, enerji akışının çift yönlü hale gelmesi, dağıtım hatları ve tüketim tarafının değerini arttırmış, daha iyi izlenilmesi ve yönetilmesini gerektirmiş ve sağlanabilecek yeni hizmetlerle şebeke işletmesindeki rolünü büyütmüştür.

Geçmişte sadece büyük güçlü endüstriyel tüketiciler ile, şebeke genelindeki sorunlara yönelik yapılan talep tarafı yönetimi, son yıllarda ev ve iş yerlerindeki tüketicileri de kapsamaya başlamıştır. Tek başına piyasaya doğrudan katılım imkanı olmayan, çok sayıda kullanıcının farklı esnekliklerdeki küçük güçlü yüklerini içeren bu uygulamalar, toplu yönetim yaklaşımları ve aracılarıyla gerçekleştirilmektedir. Hangi cihazların, hangi zaman aralıklarında, ne gibi yaklaşımlarla yönetilebileceği ve elde edilebilecek faydaların boyutu bu alanda araştırılan başlıca konulardır. Farklı özelliklere sahip çok sayıda esnek yükün bir arada ve yönetilemeyen yüklerin tüketim profilleriyle beraber ele alınmasına yönelik çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Ana şebekenin (iletim seviyesi) yanısıra yerel şebekenin (dağıtım seviyesi) işletmesine fayda sağlayacak yönetim yaklaşımlarının faydaları arttıracağı ve uygulamaların daha da yaygınlaşmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca, dağıtık üretim ve enerji depolama sistemleriyle koordine yönetim yaklaşımları da önem taşımaktadır. Esnek yük, dağıtık üretim ve depolama sistemlerine sahip kullanıcıların, şebekeye yönelik yönetim uygulamalarına nasıl dahil edilebilecekleri bir diğer araştırma başlığı olarak öne çıkmaktadır. Bu amaçla yeni tarife yapıları, kullanıcıları yönlendiren izleme ve kontrol sistemleri, kullanıcı tercihlerine dayalı otonom yaklaşımlardan faydalanılabilir.

Bahsedilen araştırma yaklaşımları, belirleyici senaryolarla, basitleştirilmiş eşdeğer toplu yük modelleri ve düşük çözünürlüklü yapay veriye dayalı, kısa süreli benzetim çalışmaları yerine rastlantısal senaryolarla, çok sayıda detaylı tekil yük modelleri ile istatistikler ve yüksek çözünürlüklü saha verilerine dayalı, uzun süreli benzetim çalışmalarıyla incelendiği takdirde gerçek uygulamalara daha yakın izlenimler edinilebilir. Ayrıca, büyük ölçekli gerçek test sistemlerinde deneyler ve sahadaki

gerçek kullanıcılarla pilot uygulamalar da yapılabildiği takdirde, geliştirilen yaklaşımların sahadaki geçerliliği test edilebilir, saha uygulamalarındaki zorluklar görülüp çözümler üretilebilir ve gelecekte planlanan büyük ölçekli uygulamalar için yararlı öngörüler elde edilebilir.

Tez çalışmasının hedefleri,

- evlerdeki yönetilebilir cihazlar için uygun yönetim seçeneklerini sınıflandırıp kullanıcılara tavsiyeler ve teşviklerle sunmak ve kullanıcı performansını ve elde edilen faydaları gözlemlemek,
- çok sayıda cihazın toplu yönetiminde yaşanan sorunlara yönelik çözümler geliştirmek,
- dağıtık üretim ve enerji depolama sistemleri için gelişmiş izleme, kontrol ve otomasyon yaklaşımlarını araştırmak,
- ileri seviyede kullanıcı-toplu yönetici-şebeke operatörü etkileşimine yönelik yaklaşımlar araştırmak,
- yerel şebeke sorunlarına yönelik talep tarafı yönetimi çözümleri geliştirmek,
- ana şebeke ve yerel şebekeye yönelik farklı yönetim hareketlerinin eş zamanlı olarak uygulanmasını incelemektir.

Bu tez çalışmasında, talep tarafında, evlerdeki farklı özelliklerdeki esnek yüklerin şebeke olaylarına cevap verecek şekilde toplu yönetimi, tüketicilerin etkileşimi, dağıtık üretim ve enerji depolama sistemlerinin entegrasyonu, dağıtım şebekesine sağlanabilecek faydalar ve enerji piyasası ile perakende tüketici elektrik tarifeleri gözönüne alınarak kapsamlı olarak incelenmiştir. Geliştirilen toplu yönetim yaklaşımları, istatistikler ve yüksek çözünürlüklü saha verisine dayalı çok sayıda tekil yük modeli ve rastlantısal senaryolarla, uzun süreli benzetimlerle incelenmiştir. Ayrıca, büyük ölçekli test sistemlerinde deneyler ve sahadaki gerçek kullanıcılarla pilot uygulamalar da yapılmıştır.

1.3 Tezin İçeriği

Tez 6 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, elektrik güç sistemlerine genel bakış, tezin amacı ve önemi anlatılmıştır. İkinci bölümde, literatürdeki ilgili çalışmalar incelenmiş ve eksiklikler vurgulanmıştır. Üçüncü bölümde şebeke geneline yönelik

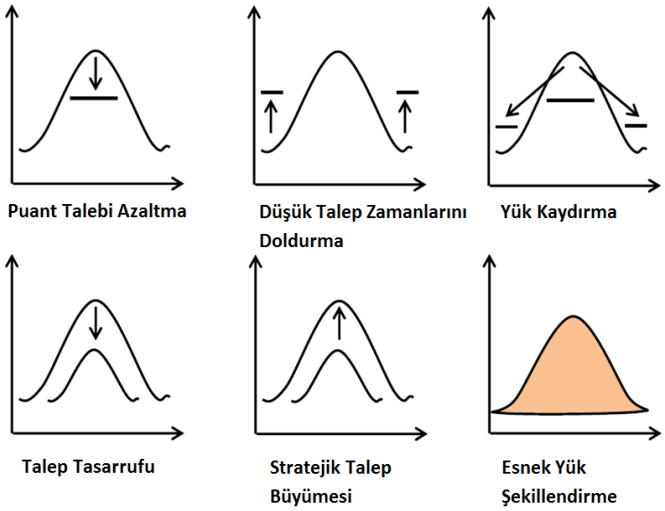
talep yönetimi ve oyunlaştırma konusu anlatılıp, ev kullanıcıları için geliştirilen yaklaşımlar, farklı senaryoların benzetimleri ve gerçek kullanıcılarla saha denemeleri ile beraber sunulmuştur. Dördüncü bölümde dağıtık üretim ve enerji depolama sistemleri kullanıcılarına yönelik gelişmiş izleme, kontrol ve otomasyon sistemi geliştirme ve deneme süreci, büyük ölçekli laboratuvar testleriyle açıklanmıştır. Yine bu bölümde, ileri seviyede kullanıcı-toplu yönetici-şebeke operatörü etkileşimine yönelik olarak geliştirilen yapıdan bahsedilmiştir. Beşinci bölüm dağıtım şebekesi odaklı talep yönetimi çalışmalarından bahsetmektedir. Büyük ölçekli laboratuvar denemeleri ve benzetim çalışmaları ile geliştirilen yaklaşımlar test edilmiştir. Ayrıca, yerel şebeke ile ana şebekeye yönelik farklı hedeflere sahip talep yönetimi uygulamalarının eş zamanlı olarak uygulanması ile ilgili geliştirilen yaklaşımlar da bu bölümde yer almaktadır. Altıncı bölümde sonuçlar yorumlanmış ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Talep Yönetimi

Talep yönetimi, kullanıcıların elektrik tüketimlerinin, doğrudan veya dolaylı olarak, çeşitli yöntem, strateji ve uygulamalarla şebekenin işletmesine yardımcı olacak şekilde değiştirilmesi anlamına gelmektedir [1].

Talep yönetimi yaklaşımları, strateji ve yöntem olmak üzere iki ana özelliğe göre sınıflandırılabilmektedir. Strateji açısından 6 talep yönetimi yaklaşımı vardır. Bunlar tüm zamanlarda talebi stratejik olarak azaltma, tüm zamanlarda talebi stratejik olarak büyütme, puant talebi kırpma, talebi bir zaman diliminden diğer dilimlere kaydırma, düşük talep zamanlarını doldurma ve talebin arzu edilen bir referans profili esnek bir şekilde izlemesidir (Şekil 2.1) [2].



Şekil 2.1 : Başlıca talep yönetimi stratejileri [2].

Uygulanan yöntemler ise, doğrudan ve dolaylı talep yönetimi olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Doğrudan talep yönetimi, gerilim veya frekans gibi şebeke parametrelerine duyarlı ve otonom olarak çalışan veya elektrik birim fiyatları ile operatörden gelen isteklere göre olay tabanlı çalışabilen yerel kontrolörlerle talebi yönetmek üzerine kuruludur. Bu yöntemler isabetli sonuç vermesine rağmen uygulama açısından cihaz kurulumu, işletmesi ve haberleşme-yönetim altyapı

yatırımlarına ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle uygulanmaları uzun zaman ve yüksek yatırım gerektirmektedir. Dolaylı talep yönetimi ise tarifeler, eğitimler, teşvikler, reklam kapmanyaları gibi dolaylı uygulamalarla tüketicilerin talebini dolaylı olarak değiştirmeyi kapsamaktadır. Bu yöntemler, doğrudan yönetim yöntemlerine göre daha kısa sürede, daha az yatırımla gerçekleştirilebilir; fakat değişken kullanıcı katılım miktarı ve talep yanıtı riski taşımaktadır. Doğrudan ve dolaylı yöntemlerin bir arada uygulanabilmesi de mümkündür.

Talep yönetimi programları, zamana dayalı ve teşviğe dayalı programlar olarak iki gruba ayrılmaktadır. Günümüzde 10 talep yönetimi programı vardır. Bunlardan 3'ü zamana dayalı, 7'si ise teşviğe dayalıdır.

Zamana dayalı programlarda enerji piyasası fiyatlarındaki değişiklikler ve genel eğilimler arz/talep dengesini sağlayabilmek için dolaylı yoldan farklı zamanlardaki elektrik tarife fiyatlarına yansıtılmaktadır. Kullanıcıların, fiyatlardaki bu değişimlere göre elektrik tüketimlerinde değişikler yapmaları beklenmektedir. Zamana dayalı programlar genel olarak, fiyat değişiklik sıklığına göre farklılık göstermektedir. Bu programların başarısı, sistem işletmesindeki zorlukların fiyatlara ne kadar iyi yansıtılabildiği ve kullanıcıların bu değişiklikleri dikkate alarak tüketimlerini ne kadar değiştirebildiklerine bağlıdır. Diğer yandan, kısa zaman aralıklarında sık sık fiyat değişikliklerine dayalı programların uygulanabilmesi için gelişmiş haberleşme, ölçüm ve kontrol altyapıları da gerekebilmektedir. Bu alanda şebekelerdeki başlangıç uygulamalarında, operatörler öncelikle gün içerisinde az sayıda fiyat değişikliği ve otonom olmayan kullanıcı yanıtına dayalı sade programlar uygulamayı tercih etmektedirler. Zamanla, faydaları arttırabilmek için fiyat değişikliklerinin sıklığı arttırılmakta, kullanıcılara bildirim ve otomasyon amaçlı yardımcı sistemler de çözümlere dahil edilmektedir. Çok Zamanlı Tarife -ÇZT- (Time of Use Tariff - ToU) yapısında bir gün, farklı fiyatların uygulandığı birden fazla zaman dilimine bölünür. Bu zaman dilimlerine ait fiyatlar önceden duyurulup yılda bir veya birkaç kez yenilenir. Bazı ÇZT yapılarında haftaiçi günler 3 fiyatlandırma dilimine ayrılırken, haftasonu ve tatil günleri puant olmayan zamanlar olarak ele alınıp tekil fiyat uygulanmaktadır [3]. Ayrıca, zaman dilimleri yaz ve kış mevsimlerinde değiştirilebilmektedir. Kritik Puant Fiyatlandırma -KPF- (Critical Peak Pricing – CPP-) yaklaşımında, belirli zamanlarda nadiren meydana gelen yüksek puant talep dönemlerinde yüksek fiyat uygulanmaktadır. Bu tarife ÇZT ile beraber de

uygulanabilmektedir. Kritik puant talebin meydana geleceği zaman dilimleri önceden bilinmemektedir. Uygulanan fiyat önceden belirlenmiş standart bir miktar olabileceği gibi, gerçekleşen puantın boyutuna bağlı olarak değişiklik de gösterebilir. Gerçek Zamanlı Fiyatlandırma -GZF- (Real Time Pricing – RTP-) yaklaşımında, enerji piyasasındaki takas fiyatları (marjinal fiyatlar) kullanıcılara oransal olarak, gerçek zamanlı bir şekilde yansıtılmaktadır. Farklı GZF uygulamaları vardır. Gün öncesi GZF'de bir sonraki günün saatlik fiyatları belirlenip kullanıcılara duyurulmaktayken, gün içi GZF'de ilerleyen birkaç saate ait fiyatlar bildirilmektedir [4]. Bir başka GZF yaklaşımında ise, temel tüketim profili tanımlanıp bu profilin altında veya üstünde tüketimler gerçekleştiren kullanıcılara daha yüksek fiyatlar uygulanabilmektedir. Fiyat değişim sıklığı yüksek olduğu için, bu tarife yapısının etkin olarak uygulanabilmesi için gelişmiş haberleşme ve otomasyon altyapıları gerekmektedir.

Zaman dayalı programlar belirli döngüler ve önceden belirlenmiş fiyatlar ile uygulandığı için sınırlı esneklik sunmaktadır. Teşviğe dayalı programlar sayesinde, talep yönetimi şebeke işletmesinde daha etkin bir şekilde kullanılabilmektedir. Bu programlarda yönetim olayının içeriğine göre (süresi, hedeflenen yönetim miktarı, yanıt hızı vb.) ve katılımcıların yönetim başarısına göre (talepte hedeflenen değişiklik miktarını olay süresince gerçekleştirebilme) teşvikler sunulmaktadır. Teşviğe dayalı programlar, perakende programlar ve enerji piyasası programları olarak iki gruba ayrılabilir. Teşviğe dayalı perakende programlardan biri olan Doğrudan Yük Kontrolü -DYK- (Direct Load Control -DLC-) yaklaşımında esnek yükler bir operatör tarafından uzaktan radyo sinyalleri veya internet gibi haberleşme sistemleri aracılığıyla kontrol edilmektedir. Bir yönetim hareketi, uygulanmadan önce kullanıcılara duyurulabilir veya duyurulmayabilir. DYK, ABD'de puant talebin azaltılmasında başvurulan en etkin programların başında gelmektedir [5]. Değiştirilebilir Programlar -DP- (Configurable Programs -CP-) DYK'ya benzemekte olup, yükler yine uzaktan bir operatör tarafından yönetilmektedir. Bu programın farklı yönü ise, esnek yüklerin sahiplerinin kontrol ayarlarında değişiklik yapabilmesi ve uzaktan kontrolü istediğinde engelleyebilmesidir. Bu program türü de yaygın olarak tercih edilmektedir. Otonom Olmayan Programlar'da –OOP (Manual Programs -MP-) cihaz kontrolü kullanıcıya bırakılır. Yönetim olayları, ev enerji yönetim sistemi arayüzü, kısa mesaj, e-posta, sosyal medya hesapları, mobil uygulama veya internet sitesi üzerinden duyurulur. Düşük maliyetle kolayca uygulanabilir olduğu için talep

yönetimi uygulamalarının ilk zamanlarında şebeke operatörlerince tercih edilmektedir. Davranışsal Programlar -DaP- (Behavioral Programs -BP-), kullanıcıları herhangi bir finansal teşvik olmaksızın sosyal olarak motive etmeyi amaçlar. Haftalık/aylık raporlar, ev-içi ekranlarla gerçek zamanlı geri bildirim ve e-postalarla enerji yönetimi teşvik edilir [6]. Diğer program türleri ile beraber uygulanarak katılımcı motivasyonu ve yönetim performansı arttırılabilir. Teşviğe dayalı enerji piyasası programları ise kapasite piyasası programları, enerji piyasası programları ve yan hizmetler programları olarak üç çeşittir. Kapasite piyasası programlarında, şebeke işletmesindeki sınır değerlerin aşılması riski olan durumlarda yönetilecek talep miktarı gözönüne alınır. Kullanıcı bu hizmeti sunmayı kabul ettiğinde, ön ödeme yapılır. Eğer anlaşılan yönetim performansı, olay sırasında gerçekleştirilmezse kullanıcı ceza ödemek durumunda kalır. Enerji piyasası programlarında, endüstriyel tüketiciler doğrudan, ev ve işyeri kullanıcıları ise toplu yöneticiler aracılığıyla dolaylı olarak enerji piyasasına katılabilmektedir. Genelde gün öncesi piyasasına katılım sağlanmaktadır. Gün içi piyasa ise gelecek uygulamalarda düşünülmektedir. Katılımcıların performansı, olay sonrasında, beklenen tüketimleri ile gerçekleştirdikleri tüketim profilleri karşılaştırılarak değerlendirilir. Yan hizmetler piyasasında talep yönetimi rezerv olarak hizmet sunmaktadır. Bir anlaşma gerçekleştirildiğinde kapasite piyasasındaki gibi ön ödeme yapılır. Bu hizmet türünde hızlı yanıt verebilen cihazlar, kısa zaman dilimleri için, sık sık kullanılabilmektedir. Değerli bir hizmet türü olduğu için, kullanıcılara teşviğe dayalı diğer piyasa programlarına göre daha yüksek finansal teşvikler sunulabilmektedir.

Mevcut programlar, [5] numaralı çalışmada çeşitli karakteristik özelliklerine göre değerlendirilmiştir. Bu özelliklerden biri olan coğrafi özelleştirme, bir talep yönetimi olayının yerel veya bölgesel uygulanabilmesi imkanıdır. Tüm sistem genelinde uygulama yapılması, düşük coğrafi özelleştirme anlamına gelirken, orta gerilim dağıtım şebekelerinde bölgesel uygulamalar orta seviye, alçak gerilim dağıtım şebekelerinde yerel uygulamalar ise yüksek coğrafi özelleştirme değeri taşımaktadır. Sinyal çeşitliliği, kullanılan haberleşme sinyallerinin, yönetim olayının detaylarını temsil etmekteki başarısını temsil etmektedir. Sadece yönetim olayının varlığını sabit bir değerle temsil eden sinyal düşük çeşitliliğe sahipken, önceden tanımlanmış birkaç farklı değerle değişik durumları ifade edebilen sinyaller orta çeşitlilikte, sistem ve piyasayı etkin şekilde yansıtabilen sinyaller ise yüksek çeşitlilikte olarak

sınıflandırılmaktadır. Zaman göre değişebilme, talep yönetiminin belirli zaman dilimlerinde veya istenildiği zaman uygulanıp uygulanamayacağını temsil eder. Sinyal sıklığı, talep yönetiminin ne kadar sık uygulanabileceğini gösterirken, olay bildirimi ise her yönetim olayının ne kadar öncesinde bildirim yapılması gerektiğiyle ilgilidir. Son karakteristik özellik ise talep yönetiminin otonom uygulanma ihtiyacıdır.

Mevcut talep yönetimi programlarının ortak zayıf yönü coğrafi özelleştirmedir (Çizelge 2.1). Genellikle, orta veya yüksek seviyede sinyal değişkenliği ve zamana göre değişebilme bulunmaktadır. Sinyal sıklığı ise GZF programları haricinde sınırlıdır. Olay bildirim süreleri teşviğe dayalı programlarda daha kısa olup, otonom uygulama, uzaktan kontrol programları dışında zorunlu değildir.

2.2 Toplu Talep Tarafı Yönetimi

Talep yönetimi, çok sayıda esnek cihaza toplu olarak uygulanarak elektrik şebekesine bir Sanal Güç Santrali (SGS) gibi hizmet verebilme potansiyeline sahiptir. SGS'ler iletim hattı kayıplarını azaltma, bölgesel zorlanmaları giderme, gerilim ve açısal kararlılığı sağlama gibi amaçlarla kullanılabilir [7]. Sanal Güç Santralleri geleneksel güç santrallerine göre bir takım üstünlüklere sahiptir. Şebekede gerçekleşen olaylara daha hızlı cevap verebilmenin yanısıra, daha az yatırım maliyeti gerektirip daha kısa sürede uygulamaya alınabilirler. Ayrıca, SGS şebekenin farklı noktalarındaki çok sayıda küçük güçlü cihazdan meydana geldiği için yerel veya bölgesel sorunlardan büyük ölçüde etkilenmez. Diğer yandan SGS'ler için bazı zayıflık ve zorluklar da bulunmaktadır. Genelde yanıt süreleri, geleneksel santrallere göre daha kısadır. Ayrıca çok sayıda cihazın etkin bir şekilde toplu olarak yönetilebilmesi için gelişmiş ölçüm, haberleşme ve kontrol altyapıları gerekmektedir [8]. Çok sayıda esnek yükün devreye alınması veya devreden çıkarılması, yüklerin eş zamanlılığını arttırarak beklenmedik puantlar ve geçici yük dalgalanmalarına da sebep olabilir [9]. SGS'lerin performansının güvenilirliği, olabildiğince çok sayıda yönetilebilir cihazı, yönetim kısıtları ve dinamik değişikliklerini gözönüne alarak başarıyla koordine edebilmesine bağlıdır.

Geçmiş çalışmalarda genellikle belirli bir yük, enerji depolama veya aynı enerji kaynağını (güneş, rüzgar veya kombine ısı-güç çevrim) kullanan dağıtık üretim elemanına yönelik toplu yönetim yaklaşımları incelenmiştir.

Çizelge 2.1 : Mevcut talep yönetimi programlarının temel özellikleri [5].

Yönetim Programı	Coğrafi Özelleştirme	Sinyal Çeşitliliği	Zaman Göre Değişebilme	Sinyal Sıklığı	Olay Bildirimi	Otomasyon
Çok Zamanlı	Sistem genelinde	Önceden belirlenmiş	Belirli zamanlar	Sınırlı	Saatler önce	Düşük
Kritik Puant	Sistem genelinde	Önceden belirlenmiş	Belirli zamanlar	Sınırlı	Saatler önce	Düşük
Gün Öncesi Gerçek Z.	Sistem genelinde	Dinamik	Her zaman	Sınırsız	Saatler önce	Düşük
Gün İçi Gerçek Z.	Sistem genelinde	Dinamik	Her zaman	Sınırsız	Birkaç saat önce	Düşük
Doğrudan Kontrol	Sistem genelinde	Önceden belirlenmiş	Her zaman	Sınırlı	Birkaç dakika önce	Yüksek
Değiştirilebilir	Sistem genelinde	Önceden belirlenmiş	Her zaman	Sınırlı	Birkaç dakika önce	Orta
Otonom Olmayan	Sistem genelinde	Önceden belirlenmiş	Belirli zamanlar	Sınırlı	Birkaç saat önce	Düşük
Davranışsal	Sistem genelinde	Sabit	Sabit	Sınırlı	Saatler önce	Düşük

[9] ile verilen çalışmada binlerce buzdolabının yönetimi ve şebekeye etkileri incelenmiştir.

Sıcaklık ayar değerlerinin yönetimine dayalı termostat kontrollü yüklerin (TKY) toplu koordinasyonu, rüzgar enerjisinden elektrik üretim profilini izleyecek şekilde [10] numaralı çalışmada sunulmuştur.

[11] numaralı çalışma, çok sayıda enerji sağlayıcı kurum ve ev kullanıcıları arasındaki talep yönetimi etkileşimlerini sunmaktadır.

Gerçek zamanlı fiyatlandırmanın dış bükey olmasına dayalı bir çalışmada [12], araştırmacılar tüm talep yönetimi katılımcıları için Nash dengesinin sağlanabileceği ve puant talebin azaltılabileceğinden bahsedilmiştir. Bir başka çalışmada [13] bu yaklaşım, enerji depolama sistemini de kapsayacak şekilde genişletilmiştir.

İşbirliğine dayanan bir talep yönetimi yaklaşımın sunulduğu [14] numaralı çalışmada, bireysel davranışların cezalandırılması tercih edilmiştir.

Literatürdeki çalışmalarda önerilen yaklaşımlar, gün öncesi enerji piyasasına yönelik olarak tasarlanmamıştır. Ayrıca, farklı kısıtlara sahip, değişik türde yönetilebilir cihazların, şebeke tarafındaki bir olaya ortak cevap verecek şekilde bir arada yönetimi için daha kapsayıcı ve genelleştirilebilir yaklaşımlar geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

2.3 Yönetilebilir Cihazların Çalışmalarının İncelenmesi ve Modelleme

Analiz çalışmalarında, ilk aşamada yönetilebilme potansiyeline sahip cihaz seçimi önemli bir unsurdur. Tüketicinin bakış açısından, konfor ve elektrik tedarik kalitesi bozulmadan, faturada tasarruf sağlayacak şekilde yönetilebilme esnekliğine sahip cihazlardan faydalanılabilir. Yönetilebilme esnekliği, hem tüketim alışkanlıklarına hem de kullanıcının cihazını otonom bir sistemin kontrolüne bırakmaya ne kadar razı olacağına bağlıdır. Cihazların çalışmasının gerçekçi bir modelinin oluşturulabilmesi için veri toplama sıklığı önem taşımaktadır. Birçok çalışmada, 10 dk üzerinde sıklıklarda veri toplanmasının ev tüketim profillerini temsil etmek için yetersiz olduğu, karşılaştırmalar yapılarak anlatılmıştır [15-18]. Genel olarak, 1 dakikalık ölçüm sıklığının, talepteki sürekli hal değişikliklerini temsil edebilmekte yeterli olduğu belirtilmektedir. Dakikalık verilere dayalı modeller geliştirilerek, toplu yönetimde karşılaşılabilecek eş zamanlılığa bağlı olağandışı talep dalgalanmaları ve yönetim

sonrası oluşabilecek toplu yeniden devreye girme olayları daha gerçekçi ve detaylı bir şekilde analiz edilebilir. Benzer bir ifade [19] numaralı çalışmada da bulunmaktadır. Enerji depolamaya dayalı sistemlerde, yönetim sonrasındaki bir zaman diliminde "tekrar şarj"ın gerçekleşeceğinin de hesaba katılması gerektiği belirtilmektedir. Tüketici tarafındaki yönetilebilme potansiyeline sahip cihazlar, kullanım zamanları, yaygınlıkları, tüketim profilleri, yönetim süreleri ve müdahalelerden etkilenme şekilleriyle bu bölümde anlatılmıştır. Modelleme çalışmaları MATLAB programında gerçekleştirilmiştir.

2.3.1 Klimalar

Bu yükler, sıcaklığını düzenlediği hacim, dış çevreyle sürekli yoğun ısı alışverişinde bulunduğu için sık aralıklarla devreye girip çıkmaktadır. Son yıllarda çıkan eviricili cihazlarda ise, devreye girip çıkmalar olmayıp soğutma miktarı düzenlenmekte ve daha dar bir sıcaklık bandında çalışılabilmektedir.

Avrupa genelinde kullanımı %30 oranındadır [20]. Evlerde yıllık 6 ila 10 TWh arası tüketime sahiptir. Klima başına ortalama 4.6 kW güç ve ülkenin bulunduğu iklime göre 500 ila 1000 saat yıllık çalışma istatistikleri bulunmaktadır.

Çalışmasına etki eden etmenler,

- ortam sıcaklığı,

- sıcaklık ayarı,

- çevre sıcaklığı,

- ortamın ısıl geçirgenliğidir.

Kullanıcıların iç ortam sıcaklığı için ayar tercihleri, dış ortam sıcaklığına göre değişiklik göstermektedir (Çizelge 2.2).

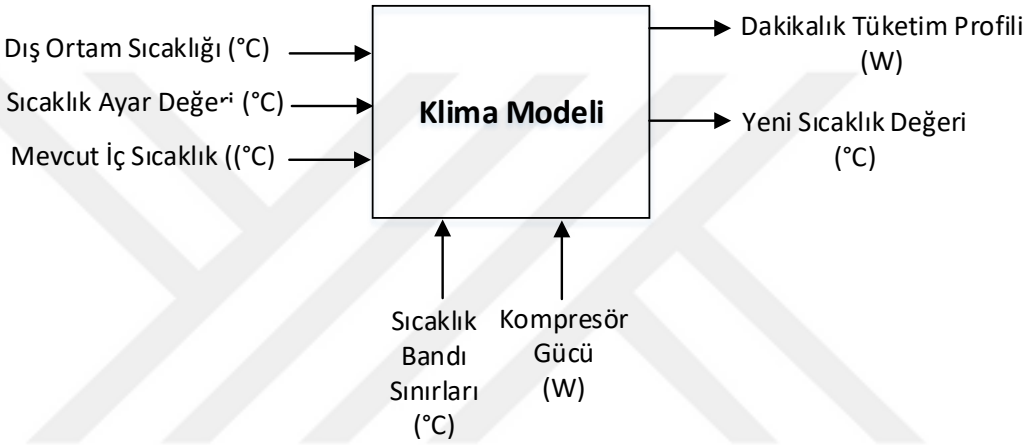
Dış ortam sıcaklığının ısınma ve soğutma zamanlarına ve sıcaklık ayar değerine etkisi, klima gücü gibi değişkenleri dikkate alan bir model geliştirilmiştir (Şekil 2.2).

Bir gün boyunca, dış ortam sıcaklığının ortalama 32 °C, iç ortam sıcaklık ayar değerinin ise 26 °C olduğu bir senaryoda elde edilen tüketim profili Şekil 2.3'te sunulmuştur.

Dış ortam sıcaklığının ortalama 18 °C, iç ortam sıcaklık ayar değerinin ise 22 °C olduğu bir başka senaryoda elde edilen tüketim profili ise Şekil 2.4'te sunulmuştur.

Çizelge 2.2 : Dış ortam sıcaklığına göre klima ayar değeri tercihinin değişimi [21].

Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	İç Ortam Sıcaklık Ayar Değeri (°C)
18	22
20	22
25	23
30	25
32	26

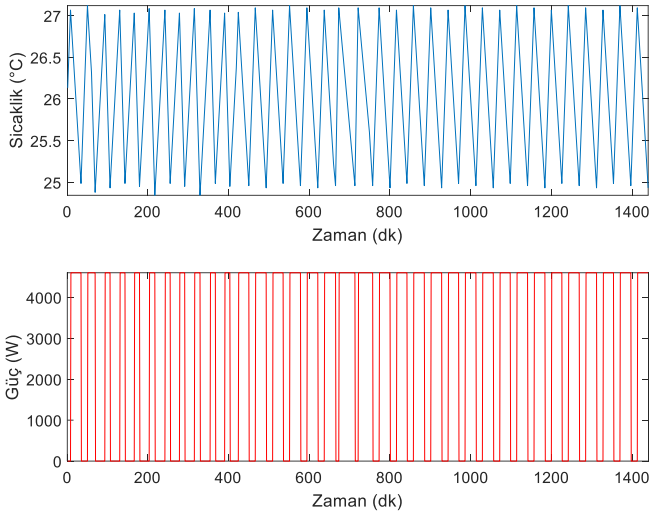


Şekil 2.2 : Klima modelinin genel yapısı.

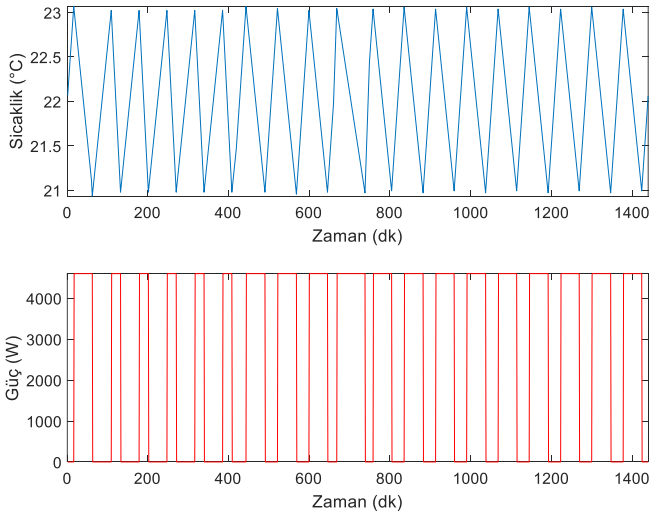
2.3.2 Buzdolapları

Termostat kontrollü bir yüktür. Sıcaklığını düzenlediği hacmi, belirli bir sıcaklık bandı içerisinde tutmaya çalışır. Cihazın iç sıcaklığı, çevrenin etkisiyle sıcaklık bandının sınırlarına ulaşana kadar bekler. Ardından kompresör çalışıp aktif soğutma yaparak sıcaklığı bandın diğer sınırına getirir. Periyodik olarak devreye girip çıkmalar devam eder ve hacmin sıcaklığı belirli sınırlar içerisinde tutulur.

Buzdolapları sürekli prize bağlı ve açık konumda olmalarına rağmen kompresörleri tüm çalışma zamanının %20 ila 35'inde çalışmaktadır [20]. Kullanım oranı %106'dır. %100'den yüksek oranda olmasının sebebi, evlerin %6'sında ikinci bir buzdolabı bulunduğunu ifade etmektedir. Enerji verimli modeller yıldan yıla yaygınlaşmaktadır. Buzdolapları ve derin dondurucuların Avrupa genelinde yıllık tüketiminin 103 TWh olduğu gözlemlenmiştir [22].



Şekil 2.3 : Örnek bir (a) iç ortam sıcaklığı değişimi, (b) güç tüketim profili.



Şekil 2.4 : Örnek diğer bir (a) iç ortam sıcaklığı değişimi, (b) güç tüketim profili.

Buzdolaplarının tüketim profilleri hem tüketici etkileşimine hem de çevresel etkenlere dayalıdır. Bunlar,

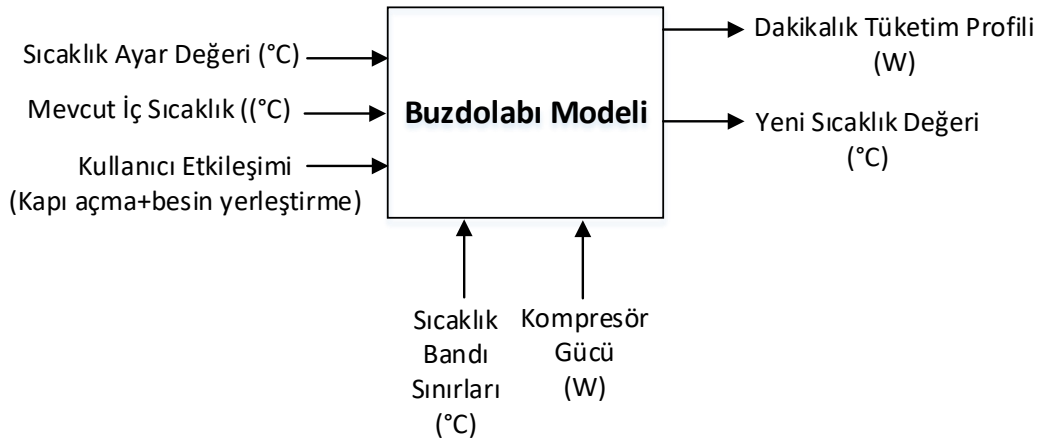
- çevre koşulları; örneğin sıcaklık,
- mutfakta bulunduğu yer,
- kapı açma-kapamalarının sıklığı,
- sıcaklık ayar değeri,
- iç hacmi,
- soğutulmuş bir kütlenin sıcak bir kütle ile değiştirilmesi,

- içindeki besinlerin özellikleri, su oranları,
- ve dolabın verimliliğidir.

Avrupa genelindeki dolap ve dondurucuların iç hacimleri, sıcaklık ayar değerleri ve bulundukları ortamın sıcaklığı oldukça değişkenlik göstermektedir.

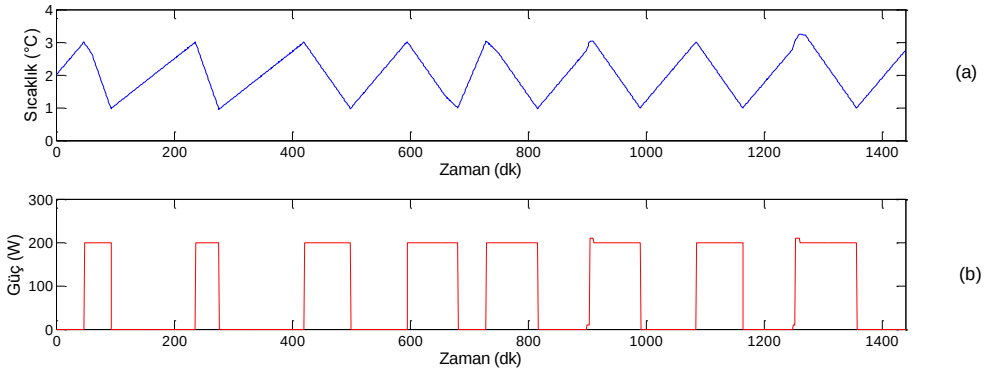
Buzdolabı normalde 50-300 W arasında değişen kompresör güç tüketimine sahiptir. Dondurucu güç değerleri ise 50-200 W arasındadır. Buzdolabı kullanımında kapı açıp kapamalarının soğutma döngülerine ciddi bir etkisi olmadığı görülmüştür. Dolaptan büyük bir soğutulmuş kütlenin dışarı alınması veya dışarıdan oda sıcaklığındaki büyük bir kütlenin dolaba yerleştirilmesinin önemli etkileri olduğu bilinmektedir. Genelde kapalı, gün içerisinde ortam sıcaklığının 3 ila 4 °C'den fazla değişmediği ortamlarda çalışmaktadır. Bu nedenle çalışma düzenlerinin takibi, tahmini ve yönetimi kolaydır. Kapı açma kapama ve yeni besinler koyma gibi kullanıcı etkileşimlerinin, dolabın tüketimine %25 oranında etki ettiği belirtilmektedir. Dondurucularda ise bu oran %10 civarındadır.

Sıcaklık ayar değeri, ortam sıcaklığındaki değişimler, kompresör gücü, sıcaklık bandı sınırları ve kullanıcı etkileşimi ile ilgili verilerden yararlanılarak Şekil 2.5'te genel yapısı verilen model oluşturulmuştur. Model, dakikalık tüketim profilinin yanısıra bir sonraki zaman diliminin başında ulaşılan iç sıcaklık değerini de hesaplamaktadır.



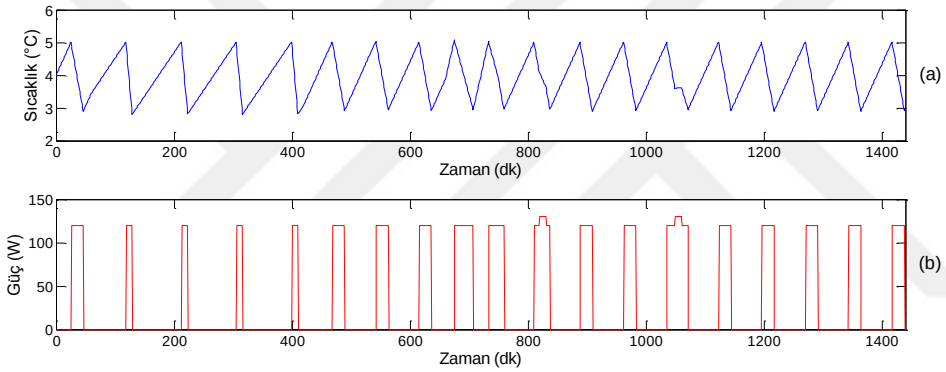
Şekil 2.5 : Buzdolabı modelinin genel yapısı.

Örnek bir senaryoda (kompresör gücü 200 W, ortalama ısıtma zamanı 78 dk, soğutma zamanı 94 dk, kapı açılıp kullanılma zamanları öğleden sonra ve akşam üstü, sıcaklık ayar değeri 2 °C) günlük tüketim profili Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6 : Buzdolabı için bir (a) sıcaklık değişimi, (b) tüketim profili.

Örnek bir diğer senaryoya göre (kompresör gücü 120 W, ortalama ısıtma zamanı 20 dk, soğutma zamanı 50 dk, kapı açılıp kullanılma zamanları öğleden sonra ve akşam üstü, sıcaklık ayar değeri 4 °C) günlük tüketim profili Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7 : Buzdolabı için diğer bir (a) sıcaklık değişimi, (b) tüketim profili.

Çalışması 15 ila 30 dakikalığına kaydırılabilir ve ortalama 15 dakikalığına durdurulabilir [23].

2.3.3 Çamaşır makineleri

Genel yıkama sıcaklıkları 30, 40, 60 ve 90 °C'dir [20]. Suyu ısıtan rezistans 1800 ila 2500 W arasında güç talep etmektedir. Yıkama süresi programa ve sıcaklık ayarına bağlı olarak 15 dk ile 3 saat arasında değişmektedir.

Avrupa ülkelerinde %50 ile 95 arasında değişen kullanım oranı bulunmaktadır [20]. Yıllık elektrik tüketimi Avrupa genelinde 26 TWh civarındadır [22]. 10 Avrupa ülkesinde yapılan bir çalışmaya göre ev başına yılda ortalama 245 yıkama yapılmaktadır [20].

Elektrik tüketimine genelde tüketici kaynaklı etmenler etki etmektedir. Bunlar,

- ortam şartları (sıcaklık vb.),

- çalışma sıklığı,

- program türü, sıcaklık ayarı, deterjan miktarı,

- verimi,

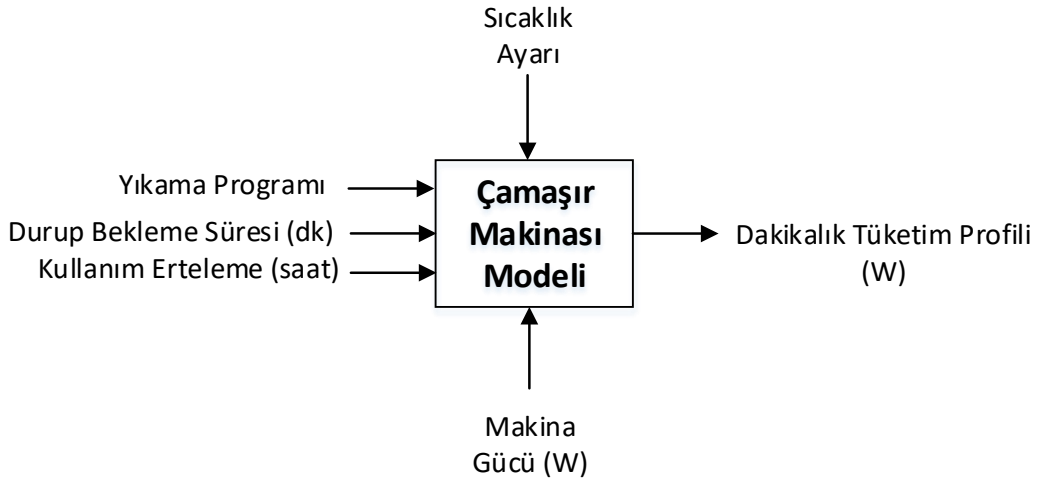
- yıkanan çamaşır miktarı (kg cinsinden),

- ve izin verilen erteleme ve bekleme süreleridir.

Genellikle sabahları ve öğleden sonraları kullanılmaktadır. Yüksek hızlara çıkılan durumlarda ve suyun ısıtıldığı kısımlarda en yüksek gücü talep etmektedir. Çalışma döngüsü genelde, yıkama, durulama ve sıkma şeklindedir.

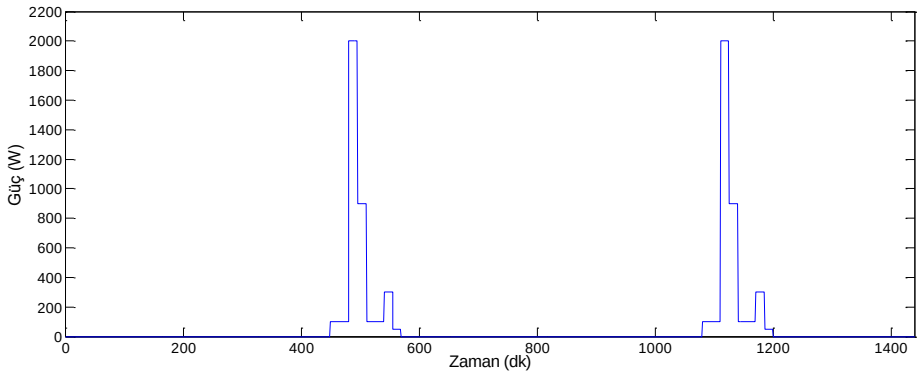
10 ülkeden 2500 tüketiciyle yapılan bir çalışmada tüm programlarda kullanılan sıcaklık ayarı %37 ile 40 °C ve %23 ile 60 °C'dir. Aynı araştırmada cihazların ortalama %32'sinin başlatma erteleme özelliğine sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Diğer yandan kullanıcıların %40'ı bu özelliği hiç kullanmadıklarını belirtmiştir. Erteleme özelliği kullananların %56 oranında 0 ila 3 saat, %28 oranında 4 ila 6 saat ve %16 oranında 7 saatten fazla erteledikleri belirtilmiştir.

Seçilen yıkama programı ve sıcaklık ayarı baz alınarak geliştirilen modelin genel yapısı Şekil 2.8'de verilmiştir.



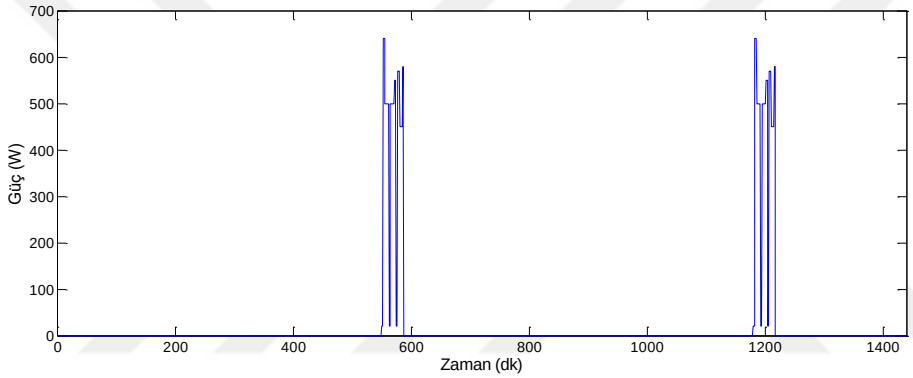
Şekil 2.8 : Çamaşır makinası modeli genel yapısı.

İki farklı program için modelden elde edilen tüketim profilleri Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da bulunmaktadır.



Şekil 2.9 : Standart yıkama programında çamaşır makinasının günlük tüketimi.

Çalışma zamanı 3 ila 6 saat ertelenebilir ve yaklaşık 15 dakikalığına durdurulabilir [23, 24].



Şekil 2.10 : Sıkmalı yıkama programında çamaşır makinasının günlük tüketimi.

2.3.4 Kurutma makineleri

Kurutma makinelerinin ısıtıcı güçleri 2000-2500 W arasındadır. Doğu Avrupa'da %10'un altında kullanım oranları varken, Batı Avrupa'da %60'lara varan ygyın kullanım görülmektedir [20]. 2003 verilerine göre Avrupa ülkeleri genelinde yıllık 13.8 TWh tüketime sahiptir. Genelde yıkama işlemi sonrasında, %60 oranında kullanılmaktadır.

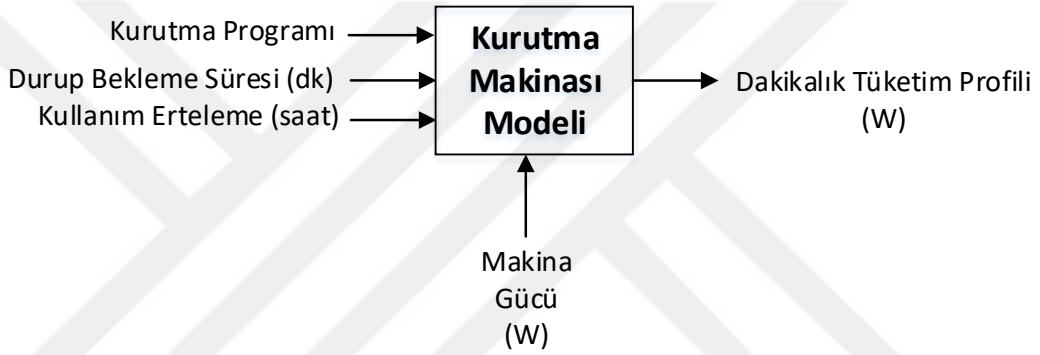
Genel olarak kullanıcıya bağlı etmenlerden etkilenir. Bunlar,

- ortam sıcaklığı,
- kullanım sıklığı,
- seçilen kurutma programı,
- ve çamaşır miktarıdır.

Tüketicilerin %23.8'i çalışması ertelenebilen cihazlara sahiptir. Diğer yandan çamaşır yıkama sonrasında kullanıldığı için çamaşır yıkamada yapılan değişiklikler çalışma zamanlarını doğrudan etkileyebilmektedir. Genel olarak kurutma işleminin çamaşır makinası çalıştırıldıktan ortalama 2 saat sonra yapıldığı belirtilmektedir. Dolayısıyla, sabah ve öğleden sonra yapılan yıkamaların kurutma işlemleri öğle ve akşam saatlerinde gerçekleştirilmektedir.

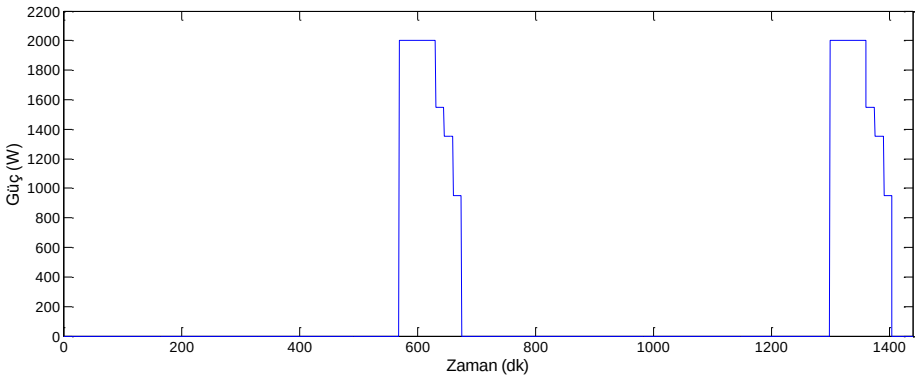
Kurutma sırasında durdurulması kurutma performansını kötü etkilememekte; fakat yeniden ısınma gerektirdiği için toplam çalışma zamanını uzatmaktadır.

Kurutma programı, makine gücü ve bekleme ile erteleme sürelerini dikkate alarak geliştirilen modelin genel yapısı Şekil 2.11'de verilmiştir.



Şekil 2.11 : Kurutma makinesi modeli genel yapısı.

Örnek bir kurutma programında modelin günlük çıktısı Şekil 2.12'de görülmektedir.



Şekil 2.12 : Kurutma makinesi modelinin günlük tüketim profili.

Çalışması saatlerce kaydırılabilir veya 30 dakikaya kadar durdurulabilir [24].

2.3.5 Bulaşık makineleri

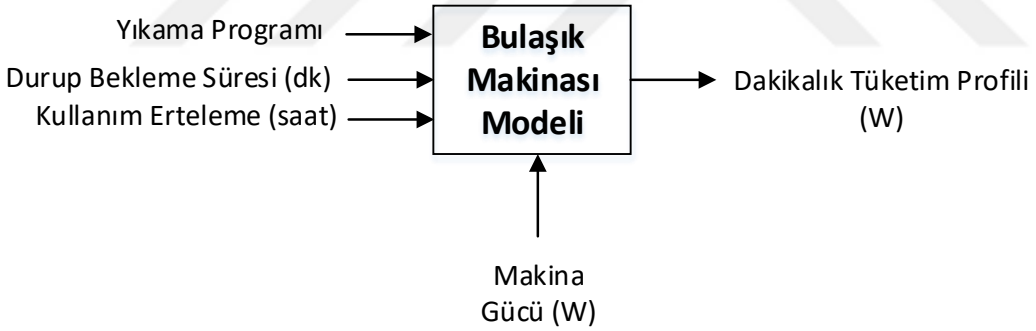
Genel yıkama sıcaklıkları programa bağlı olarak 55, 65 ve 75 °C kademelerindedir [20]. Suyu ısıtan rezistansı 1800 ila 2500 W arasındaki güçlerdedir.

Çalışma süresi 15 dk ile 3 saat arasında değişmektedir. %20 ila 60 kullanım oranları bulunmaktadır. Yıllık 16.2 TWh elektrik tüketimine sahiptir. Haftada 4, yılda 200 civarında yıkama sıklığı görülmektedir.

Çalışmasına etki eden temel faktörler,

- çalışma sıklığı,
- seçilen program, sıcaklık ayarı ve deterjan miktarı,
- ve bulaşık miktarıdır.

Kullanıcıların genelde özel bir sıcaklık ayarı yapmadığı ve yaygın program sıcaklıklarının 55 ve 65 °C olduğu bilinmektedir. Başlama zamanı ayarlanabilme özelliğine sahip cihazların %25 ile %55 arasında değiştiği ve Avrupa'da ortalama %39 oranında olduğu belirtilmektedir. Kullanıcıların %45'inin bu özellikten yararlanmadığı da anket çalışmalarında ortaya çıkmıştır. Erteleme özelliğini kullanan kişilerin %66'sı 0-3 saat, %24'ü 3-6 saat ve %10'u 7 saatten fazla ertelemektedirler [20]. Yıkama programı ve gün içindeki kullanım zamanlarından faydalanılarak bir model geliştirilmiştir (Şekil 2.13).

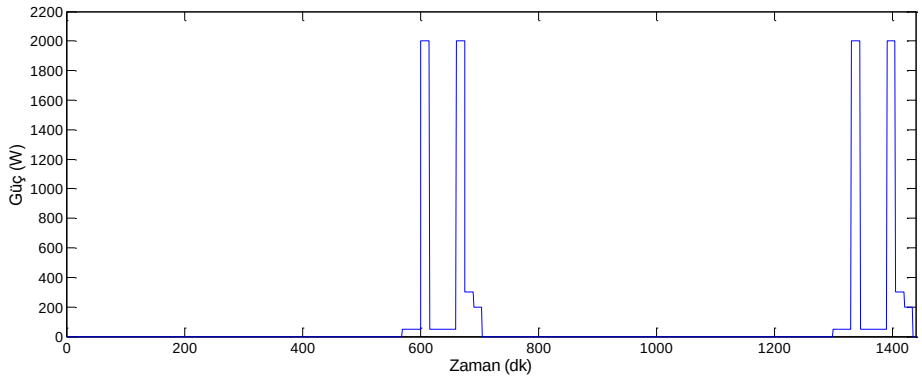


Şekil 2.13 : Geliştirilen modelin genel yapısı.

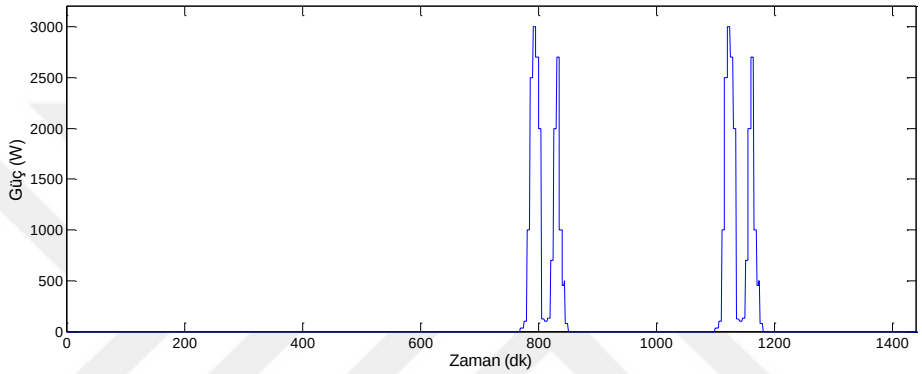
İki farklı makinanın yıkama programlarına göre modelin güç tüketim profilleri Şekil 2.14 ve Şekil 2.15'te görülmektedir. Çalışması 3 ila 8 saat ertelenebilir ve yaklaşık 15 dakikalığına durdurulabilir [23, 24].

2.3.6 Bir evin toplam tüketim profilinin üretilmesi

Yönetilebilir yüklere ek olarak, evlerin genel tüketim profilleri dakikalık sıklıkta modellenebildiği takdirde, daha detaylı ve kapsamlı analizler yapılabilecektir.



Şekil 2.14 : Modelin örnek bir günlük tüketim profili.



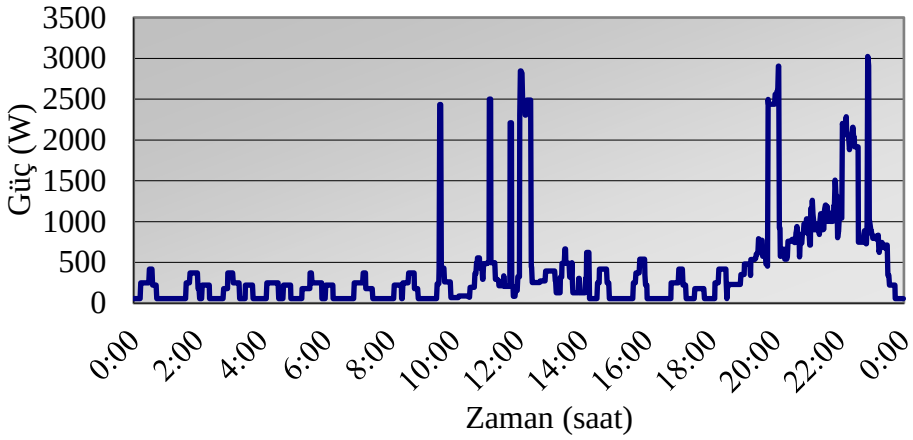
Şekil 2.15 : Modelin diğer bir örnek günlük tüketim profili.

Örnek bir sistemden toplanacak veriler cihaz çeşitliliği, kullanım sıklıkları ve tüketim profillerinde yeterince çeşitlilik sağlamayacak, çok daha kapsamlı istatistikler gerekecektir. Buna yönelik oldukça kapsamlı bir çalışma bulunmaktadır [15]. İngiltere'deki ev tüketicilerinin cihaz kullanım istatistikleri, cihaz parametreleri ve meteorolojik verilerden yararlanılmış bir çalışmadır.

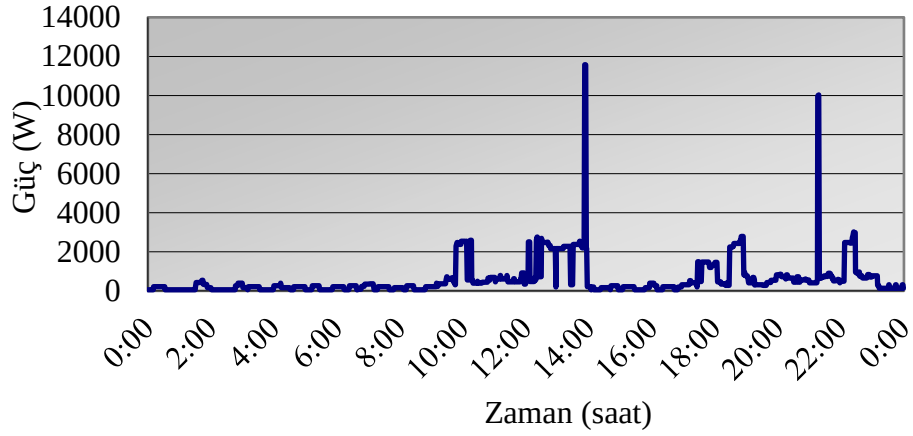
Araştırmacılar, Excel programında Visual Basics for Applications (VBA) kullanarak açık kaynak kodlu bir profil üreteci geliştirmiştir. Evde kalan kişi sayısı, haftanın günü ve evde bulunan cihazlar isteğe göre veya rastgele seçilerek dakikalık sıklıkta ev tüketim profilleri üretilebilmektedir. Bu çalışmada, birçok diğer çalışmada da ev cihazlarını modellemede kullanılan Markov modelleme yaklaşımı tercih edilmiştir. Cihaz çalışma durumları arası geçişler, kullanım istatistiklerine, günün saatine ve evdeki kişi sayısına bağlı olarak belirlenmiş olasılıksal çarpanlara göre gerçekleşmektedir. Ayrıca, cihaz başı yıllık ortalama tüketim değerleri de sağlanacak şekilde tüketim profili belirlenmektedir. Bahsi geçen çalışmadaki profil üretme aracı, saha verileriyle karşılaştırılıp oldukça yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [15].

Excel ortamında hazırlanıp herkesin kullanımına ve geliştirmesine açık şekilde sunulan bu araçtan faydalanan çeşitli araştırmacılar, büyük ölçekli analizler yapmışlardır [18].

Profil üretme aracındaki yük modelleri, sabit tüketim değerlerine sahiptir. İki farklı senaryoya göre üretim aracı kullanılarak elde edilen çıktılar Şekil 2.16 ve Şekil 2.17'de verilmiştir.



Şekil 2.16 : Örnek (2 kişilik bir evde, haftaiçi) bir günlük tüketim profili.



Şekil 2.17 : Başka bir örnek (5 kişilik evde, haftasonu) günlük tüketim profili.

2.4 Talep Yönetiminde Oyunlaştırma

Oyunlaştırma, oyunlarda kullanılan bileşenler ve oyun tasarım tekniklerinin, oyun olmayan ortamlara uyarlanmasıdır. Oyunlaştırmanın temel amaçları kullanıcıların ilgisini çekmek, bağlılığı ve sürekliliği sağlamak, farkındalığı arttırmak ve davranış değişikliğine yöneltmektir. Oyunlardan alınabilecek dinamikler, mekanikler ve ögeler gibi birçok bileşen bulunmaktadır.

Diğer yandan oyun dışı uygulama ortamlarının şartları (zaman, ödüller, kurallar, imkanlar) oyunlaştırmayı kısıtlayabilmektedir. Oyunlaştırma ile birçok sektör, öncelikle dışsal, uzun dönemde ise içsel motivasyonu sağlayabilmek için ilgilenmektedir. Oyunlaştırma dijital hizmet ve ürünlerin yanısıra, eğitim, bankacılık, sağlık sektörü ve mühendislik alanlarında tercih edilmeye başlamıştır.

Oyunlaştırma sürecinin aşamaları üzerine iki çalışma öne çıkmaktadır. Werbach'ın 6 adımlı yaklaşımı oyunlaştırma amaçlarının belirlenmesi, kullanıcılar için hedeflenen davranışlar, kullanıcı türlerinin belirlenmesi, aktivite döngüleri, eğlence ve tatminin eklenmesi ve uygun araçlarla geliştirmeden meydana gelmektedir [25]. Burke tarafından sunulan yedi adımlı yaklaşımda ise iş çıktıları ve ölçütlerinin belirlenmesi, hedef kitle, oyuncunun amaçları, motivasyon modeli, oyun alanı ve yolculuğu, oyun ekonomisi, oyna-test et ve geliştir adımları bulunmaktadır [26].

Oyunlaştırma süreçlerinde Fogg'u davranış modeli yaygın olarak kullanılmaktadır [27]. Bu model, mevcut bir davranıştan, hedeflenen bir davranışa üç ana faktör üzerinden ulaşılabileceğini öne sürer: motivasyon, imkanlar ve tetikleyiciler. Bu üç faktörün her biri belirli miktarlarda sağlanabildiği takdirde kişi davranışını değiştirebilir. Temel motivasyon unsurları keyif/acı (anlık tepkiler), umut/korku (sonuç beklentileri) ve kabullenme/reddetme (sosyal davranış) olarak sıralanmıştır. İmkanlar zaman, para, fiziksel zahmet, zihinsel döngüler (düşünme zahmeti), sosyal farklılık (toplumun genel kurallarından farklılık) ve rutin dışı eylemler olup, her biri kişinin hedef davranışa yönelebileceği kadar basit tutulmalıdır. Son olarak, tetikleyiciler kıvılcımlar (düşük motivasyonlu kişiler için temel motivasyon unsurları sunma), kolaylaştırıcılar (motivasyonu yüksek; fakat imkanları az olanlar için – görevleri basitleştirme) ve sinyallerdir (hem yeterli motivasyonu hem de imkanı olanlar için sadece davranış değişikliğini hatırlatma).

Oyuncuların sınıflandırılması ve nelerle motive olabileceklerinin belirlenmesi, farklı oyuncu türlerini motive edebilmek için önemlidir. Bu alanda yaygın kabul görmüş iki çalışma vardır. Bartle [28], dört temel oyuncu türü olduğunu öne sürer. "Başarımcılar" ödüller ve başarıyı kovalarken, "Gezginler" yeni, bilinmeyen veya nadir bulunan içerikleri keşfetmek isterler. "Sosyaller" oyunun kendisinden çok diğer oyuncularla etkileşime geçmekten mutlu olurken, "Rekabetçiler" rekabeti ve başkalarını yenmeyi önemserler. Oyunlaştırılmış sistemlerdeki kullanıcı türleriyle ilgili bir çalışmada ise 6 gruptan bahsedilmektedir [29].

İlgili gruplardan ikisi, Bartle'ın "Başarımcılar" ve "Sosyaller" gruplarıyla aynıdır. Diğer gruplar arasında "Oyuncular" dış motivasyona yönelik ödülleri sever ve onları kazanmak için uğraşırlar. "Anlamcılar", ödül beklemeksizin oyunlaştırılmış uygulamanın amacıyla motive olabilirler. "Özgür Ruhlular", kendilerini ifade etmeyi, oyun ortamında bağımsızca birşeyler üretmeyi ve kendi maceralarının peşinde gitmeyi severler. Son tür ise "Bozguncular" başlığına sahip olup, oyun ortamında olumlu veya olumsuz değişiklikler yapmak için uğraşan ve oyunun sınırlarını test edip bu sınırların ötesine geçmeyi deneyen kişilerden oluşur.

Oyunlaştırmada "Octalysis" isimli, insan motivasyonunun 8 temel yönünü ele alan bir yaklaşım da tercih edilebilmektedir [30]. "Anlam" (şanslı, seçilmiş hissetme, büyük bir anlam için oynama), "Başarma" (ilerleme, yeteneklerini geliştirme, zorlukların üstesinden gelme), "Yetkilendirme" (geri bildirim ile üretici süreçlere dahil olma ve katkı sağlamanın talep edilmesi) olumlu motivasyon unsurları olarak ele alınmaktadır. Bunların tersine, "Kısıtlılık" (sınırlı sayıda olma, sadece belirli grupların erişebilmesi), "Geçicilik" (geçici fırsatlar, başarımların kaybolması riski) ve "Bilinmezlik" (bir sonraki aşamada ne olacağını bilmeme) unsurları, olumsuz motivasyon amacıyla tercih edilebilmektedir. Bunlara ek olarak "Sahip Olma" (sanal eşyalar, koleksiyon setleri, avatarlar) ve "Sosyal Etki" (danışmanlık, kabul görme, sosyal etkileşimler, gruplar) unsurları da nötr unsurlar olarak kullanılabilmektedir. Bir oyunlaştırma çalışmasında bu 8 unsurun tamamının uygulanması mecburi değildir; fakat seçilen unsurların etkili olarak kullanılması gerekmektedir.

Binalarda enerji yönetiminin oyunlaştırılması üzerine özellikle son yıllarda birçok çalışma yapılmıştır.

[31] numaralı çalışmada oyunlaştırmanın yüksek miktarda uygulandığı, sahadan gelen sayaç verilerinin entegrasyonuna dayalı bir sistem geliştirilmiştir. Literatürdeki benzer çalışmalardan farklı olarak, rekabet ve kaynak yönetimine odaklanılmış, birçok farklı oyun modu araştırılmıştır. Saha çalışmasında sistemin etkisi, genel tüketimdeki değişiklikler (dış ortam sıcaklığı da gözönüne alınarak) ve kullanıcı görüşleri alınarak analiz edilmiştir.

Ayırdedici bir çalışmada [32], mobil bir uygulama üzerinden elektrik ve ısıtmada tasarrufa yönelik detaylı görevler verilmiş ve takımlar arası rekabet teşvik edilmiştir. Sahadaki denemelerin sonuçları, elektrik ve ısıtma tüketim verileri ile kullanıcı görüşlerine göre incelenmiştir.

Bir diğer öne çıkan çalışmada [33], oyunlaştırılmış sistemin geliştirme süreci, motivasyon yöntemlerine dayandırılarak açıklanmıştır. Geri bildirim mekanizması, sıralamalar, takımlar ve yapı bloklarına dayalı bir dijital oyun, oyunlaştırma bileşenleri olarak kullanılmıştır. Kullanıcılar, gerçek dünyadaki enerji tasarruflarına göre çevrimiçi bir oyunda, yapı blokları kazanmakta ve istedikleri gibi yapılar inşaa edebilmektedirler. Diğer yandan, bu çalışmada etki analizi, büyük miktarda uygulama sonrası anketlere dayalıdır. Kullanıcılar, enerji tüketimlerini azaltmak için yaptıklarını kendileri raporlamışlardır.Bu alandaki önemli bir çalışmada [34], tüketimin azaltılmasının yanısıra, talep esnekliğinin teşviklerle arttırılmasına (tüketimlerin farklı zaman dilimlerine kaydırılmasına) odaklanılmıştır. Cihazları farklı zamanlarda çalıştırmaya dayalı tüketim esnekliği seçenekleri, farklı puanlarla ödüllendirilmiş, birçok seviye ve diğer kullanıcılarla sosyal karşılaştırmalar da sunulmuştur. Bu çalışmanın diğer çalışmalara göre zayıf yönü, geliştirilen arayüzün sadece anlaşılabilirliği ve kullanışlılığının, 12 kullanıcı ile deneysel olarak test edilmesidir.

[35] numaralı çalışmada, birçok oyunlaştırma bileşeni (geri bildirim, görevler, puanlar, çekiliş ve seviyeler) kullanılarak bir öğrenci yurdunda genel elektrik tüketiminin azaltılması ve genel farkındalığın artırılması amaçlanmıştır. Saha uygulamasındaki zorluklardan dolayı, sadece binanın belirli bölümlerinin genel tüketimleri izlenebilmiştir. Oyunlaştırılmış uygulama, 3 hafta süresince gerçekleştirilmiş ve etki analizi anketlerle yapılmıştır. Tasarım ve geliştirme süreçlerinin detayları verilmemiş, ilgili yöntemlerle bağlantılar kurulmamıştır.

Evlerde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik bir başka çalışmada [36], geri bildirim, görevler ve takımlardan yararlanılmıştır. 13 hafta boyunca, çok sayıda evde yapılan saha uygulamasında genel enerji tüketimleri izlenilmiştir. Diğer yandan, etki analizi sadece genel tüketimlere dayalı olarak yapılmış ve cihaz tüketimlerindeki detaylı değişiklikler incelenmemiştir. [37] ile verilen çalışma, bir işyerinde, akıllı prizlerle cihaz seviyesinde enerji tüketimi verilerinin toplanması ve oyunlaştırılmış sistem üzerinden uzaktan açma/kapama imkanı vermesi ile öne çıkmaktadır. Puanlar, ödüller, rekabet oyunlaştırma bileşenleri olarak kullanılmıştır. Sahada 4 haftalık bir tüketim izleme sürecini, 8 hafta süren oyunlaştırma uygulaması takip etmiştir. Elde edilen tasarruflar, cihazların detaylı tüketim verileri karşılaştırılarak incelenmiştir. Diğer yandan, oyunlaştırma bileşenlerinin bu tasarruflardaki rolü, sistemin kullanım istatistiklerinden yararlanılarak sayısal olarak araştırılmamıştır. Bahsedilen bu

çalışmaların genel özellikleri Çizelge 2.3'te özetlenmiştir. [34] numaralı çalışma hariç tüm çalışmalar, evlerde enerji tüketimlerinin azaltılmasına odaklanmıştır. Çoğunlukla, kullanıcıların genel enerji tüketimleri izlenilmiş, cihaz seviyesindeki tüketimler ise sadece [34] numaralı çalışmada konsept olarak, [37] numaralı çalışmada ise saha denemeleriyle izlenilmiştir.

En uzun saha uygulaması, 13 hafta ile [36] numaralı çalışmada yapılmıştır. Diğer çalışmaların çoğunda ise saha testleri 1 ayı geçmemiştir. Çalışma başına kullanılan oyunlaştırma bileşeni sayısı ve türü az olup, etki analizi kullanıcı görüşleri, anketler ve tüketim karşılaştırmalarının ötesine geçmemiştir. Ayrıca, tasarım ve geliştirme süreçleri, kullanılan oyunlaştırma teknikleriyle beraber detaylıca anlatılmamıştır. Literatürdeki çalışmalar ve sahadaki örnekler 5 gruba ayrılabilir. Bunlar, oyunlaştırmasız tüketim izleme imkanı sunan arayüzler [38], temel oyunlaştırma bileşenlerini kullanan çalışmalar [34], oyun kısmı baskın olan akıllı sayaç verisi bağlantılı örnekler [39], pilot uygulama projeleri [40] ve sektördeki sürekli teşviklerle bağlantılı oyunlaştırma örnekleridir [41]. Bu çalışmalarda belirli eksikler göze çarpmaktadır.

Oyunlaştırmasız tüketim izleme imkanı sunan arayüzler kullanıcıları davranış değişikliğine doğrudan teşvik etmezken, temel oyunlaştırma bileşenlerini kullanan çalışmalarda genelde kısa süreli saha denemeleri yapılmıştır. Oyun kısmının baskın olduğu akıllı sayaç verisiyle bağlantılı uygulamalar sadece genel tüketimlere odaklanmış ve uzun döneme yayılan istikrarlı katılımı hedeflememiştir. Pilot uygulama projelerinin çoğu, geliştirilen platformlar üzerinden esnek yüklerin el ile veya otonom yönetimi imkanını sunmamaktadır. Sektörel örnekler ise geliştirme aşamasında kullanılan yöntemleri ve etki analizi tekniklerinin detaylarını açıklamamaktadır.

2017 yılından itibaren, bu alandaki çalışmalara genel bakış sunan ve eksikliklerden bahseden inceleme çalışmaları da yapılmıştır. [42] ile verilen incelemede 25 çalışma değerlendirilmiş, oyunlaştırmaya dayalı çalışmalar dijital dünyanın ağırlıkta olduğu sahadan gelen verilerin entegrasyonuna dayalı çalışmalar ve tamamen sahaya entegre çalışmalar olarak iki gruba ayrılmıştır. Aynı incelemede, çoğu çalışmanın kullanılan yöntemleri yeterince iyi açıklamadığı ve sonuçları analiz edebilmek için sınırlı veriler kullandığı vurgulanmıştır. Başka bir inceleme [43], 10 çalışmayı ele almıştır.

Çoğu çalışmanın kullanışlılık ve oyun yapısına odaklanıp değerlendirme açısından zayıf kaldığına dikkat çekilmiştir. Birçok çalışmanın da kullanıcı tarafından bildirilmiş veriler ve kullanıcı görüşlerine dayandığı için geliştirilen çözümlerin etkilerini analiz etmede zorlandığından bahsedilmiştir. Bir diğer incelemede [44], evlerde enerji yönetimi uygulamaları için oyunlaştırma bileşenleri sunulanlar (istatistikler, mesajlar, ipuçları), ödüllendirme sistemi (faturada düşüşler, sanal para birimi, ödüller), sosyal bağlantı (rekabet, işbirliği, topluluk), kullanıcı arayüzü (anasayfa, liderlik tablosu, ilerleme göstergesi, mesaj kutusu, bildirim, kontrol imkanı) ve performans durumu (puanlar, rozetler, seviyeler) olarak sınıflandırılmıştır. İncelenen 19 çalışmadan sadece 5 tanesinin her kategoriden bileşen kullandığı tespit edilmiştir. Benzer izlenimler bir başka inceleme çalışmasında da [45] görülmektedir.

57 mobil uygulamanın değerlendirildiği çalışmada, 10 kullanılabilir oyunlaştırma bileşeninden ortalama 2'sinin kullanıldığı hesaplanmıştır. Rozetler ve ödüller çalışmaların sadece %4'ünde tercih edilmiştir. Ayrıca 6 enerji ile ilişkili davranış teorisine yönelik (Davranış Ekonomisi, İnovasyonun Çözünümü, Planlı Davranış Teorisi, Değer-İnanç-Kaide Teorisi, En Yüksek Faydayı Elde Etme, Bilişsel Çelişki) 13 davranış yapısının tamamına hitap eden sadece bir çalışmaya rastlanmıştır. Yazarlar, tasarım aşamasında oyunlaştırma bileşenlerinin daha etkin ve yoğun kullanımının kullanıcıyı daha çok teşvik edeceği ve iç motivasyonu daha çok sağlayacağını öne sürmüşlerdir.

2.5 Dağıtık Üretim ve Enerji Depolama Ünitelerinin Yönetimi

Literatürde, dağıtık üretimin şebeke üzerindeki etkilerini inceleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar, teknik zorlukların analizi [46], kurulabilecek kapasitenin boyutlandırılması [47], olumsuz etkileri azaltacak yöntemlerin araştırılması [48] ve olumsuz etkilerin azaltılmasında kullanılacak cihazların boyutlandırılması [49] olarak sınıflandırılabilir.

Olumsuz etkilerin giderilmesine yönelik geliştirilen çözümler arasında, yerel üretim ve depolama sistemlerinin yönetimi seçeneği ilgi çekmektedir. ABD'de bir firma, batarya kurduğu kullanıcıların bağlantı uçlarından elde ettiği gerçek zamanlı bara gerilimi bilgilerini şebeke operatörü ile paylaşmaktadır [50].

Ayrıca, bu bataryalar, firma tarafından uzaktan ve toplu olarak kontrol edilerek şebekedeki olaylara cevap verilebilmektedir. [51] ile verilen çalışmaya göre bataryalar şebekeye ile güç alışverişlerinde değişiklikler yaparak güç ve gerilim dalgalanmalarını azaltabilirler.

[52] numaralı çalışmada, araştırmacılar trafo merkezinde kademe değiştirici performansını, batarya bulunması durumunda, donanımlı döngü (hardware-in-the-loop, HIL) ile incelemişlerdir. [53] ile verilen çalışma, bir grup fotovoltaik panelin, tamamının devreye sokulup çıkarılması yerine, fazladan eklenen anahtarlarla çok sayıda devreye sokulup çıkarılabilen alt gruba bölünerek, bir mikroşebekede ana bara gerilimini düzeltmeye fayda sağlayabileceğini göstermiştir.

Araştırmalar ve saha uygulamalarının bazı eksik yönleri bulunmaktadır. Farklı dağıtık üretim veya enerji depolama elemanlarının şebekeye yanıt verecek şekilde yönetildikleri durumlardaki performansları birbiriyle karşılaştırılmamıştır (aynı kontrol ve haberleşme altyapısının kullanılması durumunda).

Dağıtık üretim ve enerji depolama ünitelerinin hangi yönetim yöntemleriyle şebekedeki hangi olaylara yardımcı olacağı konusunda genel bir fikir birliğine henüz varılamamıştır.

Şebekeye katkı sağlayabilecek fonksiyonlar ve hizmetler konusundaki başlıca çalışmalardan biri Electric Power Research Institute'a (EPRI) ait kapsamlı bir rapordur [54]. Bu rapora evirici üreticileri, sistem kurulumcuları, şebeke operatörleri, üniversiteler ve araştırma kurumlarından 500'ün üzerinde katılımcı katkı sağlamıştır. Belirlenen yönetim seçenekleri, Lawrance Berkeley Ulusal Laboratuvarı'nın Elektrik Piyasaları ve Politikaları Grubu tarafından yorumlanarak 19 fonksiyon ve 10 hizmet olarak sınıflandırılmıştır [55]. Yine aynı çalışmada, hangi cihazların bu hizmetlerden hangilerini sağlayabileceği de detaylıca belirtilmiştir. Cihazların tekil yönetimiyle ilgili bu çalışmalar, toplu yönetim yaklaşımlarının detaylandırılmasına da ön ayak olmuştur [56]. İlerleyen çalışmalarda bu belirleme ve tanımlamaların saha denemeleriyle doğrulanması, detaylandırılması ve gerekli görülen durumlarda revize edilmesi hedeflenmektedir. Mevcut çalışmaların eksik yanlarından bir diğeri, yerel üretim ve depolama sistemi kullanıcılarının şebekeye yanıt veren programlara katılmaya ve gelişmiş yönetim tekniklerini uygulayarak operasyonel verimi arttırmaya teşvik edilmesidir.

Çizelge 2.3 : Enerjide oyunlaştırma alanında öne çıkan çalışmaların özellikleri.

Yazarları ve Yılı	Hedef	İzlenen Değerler	Oyunlaştırma Bileşenleri	Test Süreci	Etki Analizi
Gustafsson, Bång, Svahn, 2009 [31]	Ev elektrik tüketimini azaltma	Genel tüketim, sunucu kayıtları, çevre sıcaklığı ölçümleri	Geri bildirim, bireysel rekabet	12 ile 14yaş arası 15 genç ile 1 hafta	Genel tüketimin dış sıcaklık ile değişimi, kullanıcı görüşleri
Gustafsson, Katzef, 2009 [33]	Ev elektrik ve ısıtma tüketimlerini azaltma	Genel tüketim	Geri bildirim, takım rekabeti, görev, ipucu	6 aile ile 10 gün	Elektrik ve ısıtma genel tüketimindeki değişim, kullanıcı görüşleri
Geelen, Keyson, Boess, Brezet, 2012 [33]	Ev elektrik tüketimini azaltma	Genel Tüketim	Geri bildirim, takım rekabeti	20 öğrenci evinde 1 hafta izleme ve 4 hafta uygulama	Genel tüketimde değişim, anket
Gnauk, Dannecker, Hahmann, 2012 [34]	Evde tüketim esnekliği ek teşviklerle arttırma	Cihaz seviyesinde tüketim (konsept)	Puan, seviye, bireysel rekabet	12 deneysel kullanıcı ile kullanışlılık testi	Anket
Lee, Xu, Brewer, Johnson, 2012 [35]	Öğrenci yurdu elektrik tüketimini azaltma	Bina bölümlerindeki tüketim	Geri bildirim, görev, puan, seviye, çekiliş	4 yurtta 250 öğrenci ile 3 hafta	Anket
Castri v.d., 2016 [36]	Ev elektrik tüketimini azaltma	Genel tüketim	Geri bildirim, görev, takım	46 evle 13 hafta	Aktif kullanıcıların genel tüketimlerinin değişimi, anket
Hafer v.d., 2017 [37]	İş yeri elektrik tüketimini azaltma	Cihaz seviyesinde tüketim	Puan, ödül, rekabet	Bir işyerinde 14 etkin kullanıcı ile 8 hafta	Cihaz enerji tüketimlerinin değişimi, anket

Talep yönetimi alanında yaygın olarak tercih edilmeye başlayan oyunlaştırma, dağıtık üretim ve enerji depolama sistemlerinin yönetimi için de düşünülebilir. Literatürde buna yönelik bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

2.6 Dağıtım Şebekesi Odaklı Talep Yönetimi

Dağıtım şebekesine yönelik talep yönetimi çalışmaları son yıllarda artan bir eğilim göstermektedir. [57] numaralı çalışmada, talep yönetiminin dağıtım şebekesindeki ekipman yenileme ihtiyaçlarını erteleyebileceği belirtilmiştir. Dağıtım şebekesi güç kayıpları, [58] numaralı çalışmada bir tüketici tarifesi fiyatlarına yansıtılarak tüketicilerin fiyat değişikliklerine göre talep esneklikleri modellenmiştir. [59] numaralı çalışmada, talep yönetiminin entegre edildiği bir dağıtım şebekesi planlama çalışması yer almaktadır. [60] numaralı çalışmadaki analizlere göre, kritik puant fiyatlandırması, saatlik fiyatlandırmaya göre dağıtım şebekesi odaklı talep yönetimi ve şebeke bağlantı düzenlemesinde daha etkilidir. Bu bulgu tüketimlerin farklı zamanlara kaydırılma esnekliğinin sınırlı olmasına ve normal tüketim zamanı ile yeni tüketim zamanına ait fiyatlar arasında belirgin bir fark olması gerekliliğine dayanmaktadır. [61] numaralı çalışmada, talep yönetimi, bir dağıtım şebekesi seviyesinde enerji piyasası senaryosunda incelenmiştir. Yerel ve dağıtık marjinal fiyatlar ile, herhangi bir ek teşvik olmaksızın dağıtım şebekesinin yerel durumu tüketici tarifelerine yansıtılmıştır. Bir başka çalışmada talep yönetiminin dağıtım şebekelerine sağlayabileceği hizmetler koordine gerilim kontrolü ve uyumlu güç faktörü kontrolü olarak sıralanmıştır [62]. [63] numaralı çalışmada talep yönetiminin dağıtım şebekesinde yenilenebilir enerji kurulum kapasitesine ve hat kayıplarının azalmasına katkıları açıklanmıştır. [64] numaralı çalışma, diğer birçok çalışmadan farklı olarak dağıtım şebekesi işletme kısıtlarını ev kullanıcıları ile talep yönetimi uygulamalarında gözönüne almaktadır. Çalışmadan elde edilen iki önemli bulgu, konum etkisi (trafo merkezine uzak kullanıcıların talebinin daha çok sınırlanması) ve geri tepme etkisidir (talep yönetimiyle eş zamanlılığı değişen yüklerin yeni puantlara sebep olabilmesi). Benzer bir yaklaşım [65] numaralı çalışmada verilmiştir. Dağıtım şebekesi yapısı, ana şebekeye yönelik talep yönetimi uygulamalarında gözönüne alınmıştır. Çalışmada, yüksek katılım oranlarına ulaşıldığında, ana şebekeye yönelik talep yönetimi hareketlerinin dağıtım şebekeleri için ciddi olumsuz etkileri olabileceğini vurgulanmıştır. Bir başka özgün çalışmada [66] doğru akım (DA) bir dağıtım

şebekesinde, talep yönetimi kullanılarak güç kaynaklarının aşırı yüklenmelerinin önüne geçilmiştir. [5] numaralı çalışmada, talep yönetiminin dağıtım şebekelerinde gelecekte sağlayabileceği hizmetlerden bahsedilmiştir (maksimum kapasite kullanımının azaltılması, acil durum yük aktarımı, sürekli halde gerilim yönetimi, güç kalitesinin iyileştirilmesi, faz dengeleme ve kesinti yönetimi).

Dağıtım şebekesine yönelik talep yönetimi konulu mevcut çalışmalar benzetim ve hesaplamalara dayalı olup, uygulanabilirliklerinin gözlemlenmesi için saha denemeleri ve uygulamalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

3. KULLANICI ETKİLEŞİMLİ TOPLU TALEP YÖNETİMİ

Şebekeye hizmet sağlayan geleneksel katılımcıların aksine, talep yönetimi, yönetilebilir cihaz sahiplerinin birincil önceliği değildir. Yönetim etkinliklerine katılım genellikle gönüllü olarak gerçekleşmektedir. Toplu talep yönetiminden sorumlu aracı kurumların başlıca hedef ve beklentileri, yüksek sayıda katılımcıdan yararlanabilmek, tecrübeli, güvenilir ve istikrarlı katılımcılarla yönetim yapmak ve katılımcıların yönetim performanslarını olabildiğince detaylı bir şekilde inceleyebilmektir. Diğer yandan, katılımcıların bakış açısından, ekonomik ve sosyal teşvikler, konforun olabildiğince korunması ve kişiye özel teklifler ve yönetim tecrübesi öne çıkmaktadır. Günümüzdeki talep yönetimi programları finansal açıdan olabildiğince teşvik edici tarifeler sunmalarına rağmen, yeterince toplu katılımcı elde edemeyebilir. 2010 yılında, 17 ülkeden 9108 katılımcıyla yapılan bir anket çalışmasına göre, yanıt verenlerin sadece %28'inin talep yönetimi programları hakkında bilgisi vardır ve yalnız %9'u bu programlara katılmaktadır [67]. Ayrıca, %14 (Hollanda'da) ila %43'lük (İsveç) bir kesim elektrik tüketimlerinde ne gibi değişiklikler yapmaları gerektiğiyle ilgili yeterince bilgi sahibi olmadıklarını belirtmiştir. Bu nedenle, kullanıcılara finansal teşviklerin yanı sıra sosyal teşvikler de sunan, farkındalıklarını ve yönetim performansını uzun dönemler boyunca istikrarlı olarak arttırmayı hedefleyen talep yönetimi programları ve platformlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bölümde kullanıcı etkileşimi odaklı yönetim yaklaşımlarıyla ilgili gerçekleştirilen çalışmalar sunulmuştur.

3.1 Talep Yönetimi Farkındalığı Analizi

Talep yönetimi platformunun tasarım detayları ve oyunlaştırma hedeflerinin etkin olarak belirlenebilmesi, kullanıcıların farkındalık, beklenti ve kaygılarının iyi anlaşılmasını gerektirmektedir. Diğer yandan bu önemli etkenler, toplumun farklı kesimlerindeki demografik özelliklere göre değişiklik gösterebilmektedir [67].

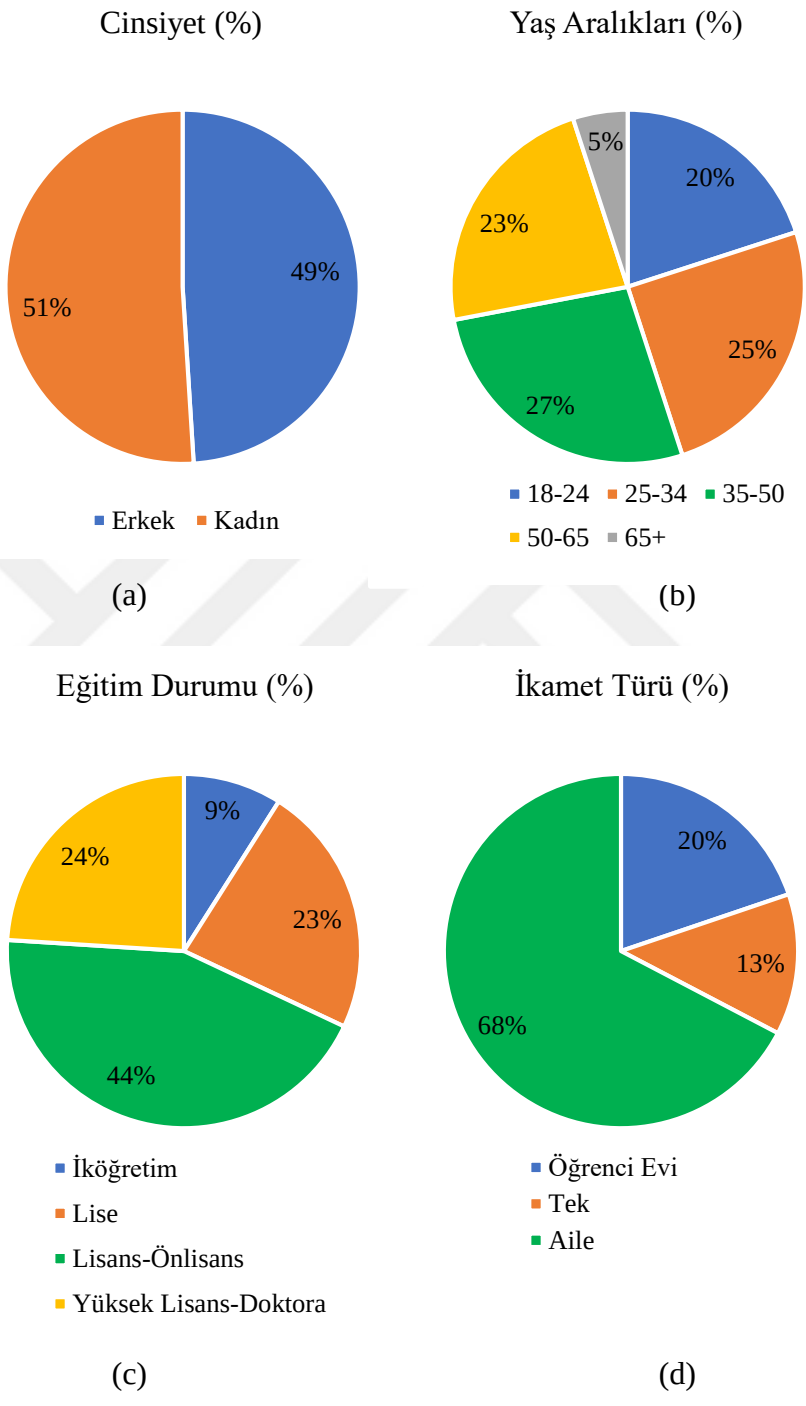
Toplumdaki bir demografik grubun olumlu karşıladığı ve benimsediği bazı yaklaşımlar, bir başka grubun motivasyonunu olumsuz etkileyebilir. Ayrıca ülkeler arasındaki kültürel farklılıklar da önemlidir. Bu alana yönelik, farklı ülkelerde geçmişte yapılan kapsamlı bir anket çalışmasında, 6 kullanıcı grubu gözlemlenmiştir: ilgililer, çevreye duyarlı olanlar, tasarrufu önemseyenler, faydacılar, şüpheciler ve tepkisizler [67]. Çalışmanın sonuçlarına göre, ilgililere %33 ile en çok Brezilya'da rastlamış, Japonya'da ise bu kesimin sadece %6 oranında olduğu görülmüştür. Diğer yandan Japonya'da %35 ile baskın olarak gözlemlenen tasarrufu önemseyen kesim, Brezilya'da sadece %10 oranındadır. Çevreye duyarlı olanların en fazla olduğu ülke %26 ile İtalya, en azınlıkta görüldükleri ülke ise %5 ile Birleşik Krallık'tır. Pragmatiklere her ülkede ortalama %21 civarında önemli oranlarda rastlanmaktadır. Birçok ülkede yüksek oranlarda görülen şüpheciler Güney Kore'de azınlıktayken, Fransa, tepkisiz kesimin %6 ile en az görüldüğü ülkedir. İlgili anket çalışmasında Türkiye yer almamaktadır. Tüm bu bulgular, her ülkede, farklı demografik grupları kapsayacak anketler yapılmasının önemini göstermektedir. Literatürde, talep yönetimine yönelik detaylı sorular içeren ve uygulanabilecek oyunlaştırma yaklaşımlarının kabul edilebilirliğini araştıran anket çalışması bulunmamaktadır.

Tüketicilerin talep yönetimi ve uygulanabilecek oyunlaştırma yaklaşımları hakkındaki görüşlerini toplamak amacıyla, orta uzunlukta bir anket hazırlanmıştır (Ek. A). Anket üç ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, katılımcının genel bilgileri sorulmaktadır. Bu bölüm, katılımcıları demografik özelliklerine göre gruplara ayırma imkanı sağlamaktadır. İkinci bölümdeki sorular enerji tasarrufu, yenilenebilir enerji gibi konuları içermektedir ve tüketicilerin farkındalık ve alışkanlıklarının anlaşılması amacıyla ankette yer almaktadır. Son bölüm ise anketin merkezindeki talep yönetimi ve oyunlaştırma yaklaşımlarıyla ilgili soruları içermektedir. Bu analiz çalışması, çalışmanın ilerleyen aşamalarındaki ev kullanıcıları için talep yönetimi platform geliştirme çalışmasına temel oluşturmaktadır.

Anket, Ağustos-Ekim 2016 tarihleri arasında Türkiye'nin farklı şehirlerinde, farklı yaş ve mesleklerden 309 kişiyle yüz yüze yapılmış ve sonuçları analiz edilmiştir. Ankette bazı soruları cevaplamayan, birbiriyle çelişen cevaplar veren veya kaldığı yerin elektrik faturasını ödemekle sorumlu olmayan (yurtta kalan, ailesiyle yaşayan vb.) kişilerin sonuçları elenerek geriye kalan 184 sonuç incelenmiştir.

3.1.1 Tekil sorulara verilen yanıtların analizi

Ankete katılanların %49'u kadın, %51'i de erkektir. 65 yaş üstünde olanlar hariç, her yaş grubundan önemli miktarda katılımcı bulunmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : Cevap verenlerin (a) cinsiyet, (b) yaş, (c) eğitim, (d) ikamet türleri.

Eğitim durumu açısından ilkokul mezunları %9 ile azınlıkta olup, üniversite mezunları %44 ile en büyük paya sahiptir.

Katılımcıların %49'u bulunduğu evin sahibiyken, %51'i kiracı konumundadır. Aylık gelir düzeyleri %47 ile 2000-5000 TL arası, %30 ile 5000 TL üzeri, %23 oranında ise 2000 TL altındadır. Anketi cevaplayanların %67'si evli, %33'ü ise bekardır. Katılımcıların %53'ünün en az 1 çocuğu bulunmaktadır.

Elektrik üretiminde kullanılan kaynakların çevreye, küresel ısınmaya, ülke ekonomisine yaygın etkileri, ilerleyen yıllarda tükenme riski ve temin edilme yolları ile ilgili sorulara verilen cevaplarda %59 ve üzerinde oranlarda farkındalık görülmüştür. Sadece üretimde kullanılan kaynakların çevreye etkisine iyimser bir bakış açısı olduğu göze çarpmaktadır (%69). Diğer yandan %9 ila %11'lik bir kesim bu konular hakkında yeterince bilgi sahibi olmadığını ifade etmiştir (Şekil 3.2).

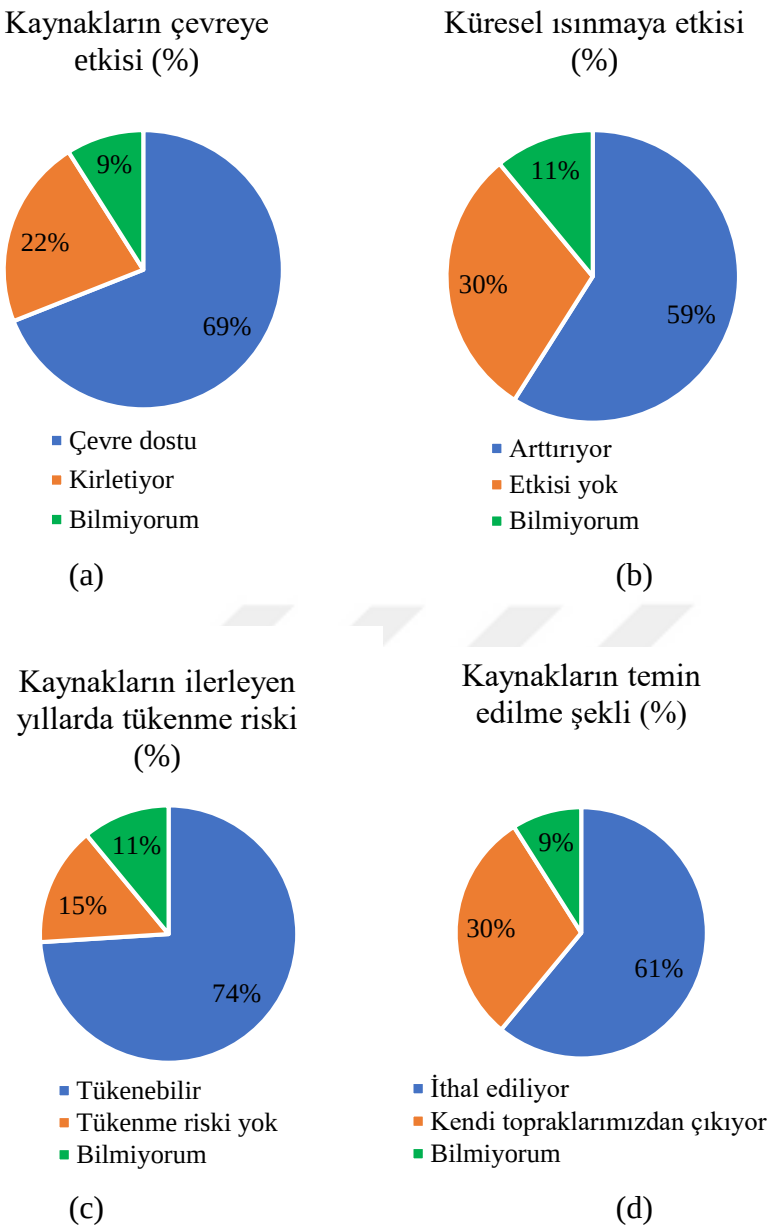
Anketi cevaplayanlar arasından, evindeki elektrik hizmetinden memnun olanlar %57 gibi düşük bir orandadır. Belirtilen yaygın şikayetler, sık yaşanan kesintiler, gerilim dalgalanmaları ve bunlardan kaynaklı cihaz bozulmaları, yüksek faturalar ile kayıp-kaçak bedelleri olarak öne çıkmıştır. Ülke genelindeki elektrik hizmetinde ise %90 oranında sorunlar yaşandığı kanısı hakimdir. Katılımcılar farklı alanlardaki tasarruf ve geri dönüşüm uygulamaları konusunda kendilerini %89 oranında sorumlu hissetiklerini ve tüketimlerine dikkat etmeye çalıştıklarını belirtmişlerdir.

Üye olunan elektrik tarifesi cevaplarında ise %41 gibi büyük bir oranda katılımcı hangi tarifede olduğunu bilmemektedir. Çok zamanlı tarifedekiler %24, sabit fiyatlı tarifedekiler ise %35 oranındadır. Diğer bir önemli bulgu ise çok zamanlı tarifede olanların tüketim alışkanlıklarını %72 oranında değiştirmediklerini belirtmeleridir.

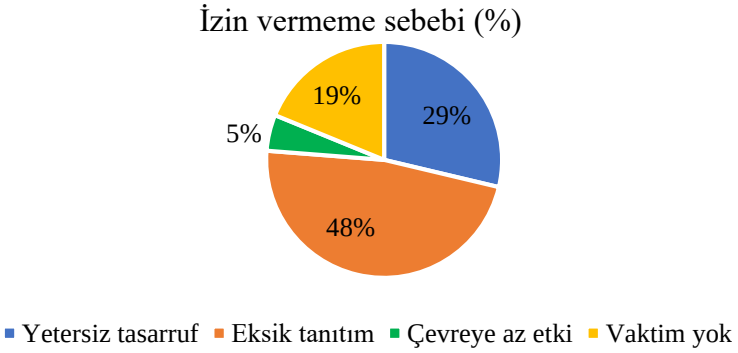
Talep yönetimine katılım konusunda %56'sı otomatik sistemlerle, %40'ı da manuel olmak üzere %96 oranında olumlu görüş bildirilmiştir. Kişilerin uygulamanın detayları ve faydalarıyla ilgili oldukça az fikir sahibi olmalarına rağmen yüksek oranlarda kabulü dikkat çekmektedir. Katılmak istemeyenler ve katılmak istemesine rağmen çeşitli konularda kaygıları olanların düşünceleri ise Şekil 3.3'te verilmiştir.

Talep yönetiminden parasal teşviklerin haricindeki beklentilerde, çevreye az etki %38 ile başı çekmektedir. Kullanıcı dostu olması %30 ile ikinci, ev içi konforu koruması ve belirli açılardan arttırması ise %28 ile üçüncü yaygın beklentidir. Sosyal medya etkileşimi bu sorudaki seçenekler arasında arka planda kalarak %3 oranında çıkmıştır.

Kazanılan paraların bir kısmının bağışlanabilmesi %94.5 oranında teşvik edici bulunmuştur.

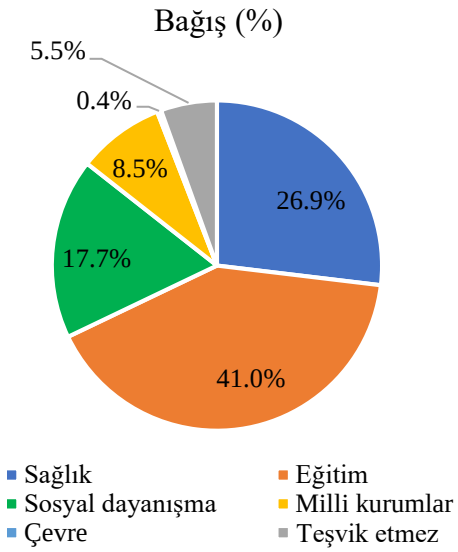


Şekil 3.2 : Kaynaklar için (a) çevre, (b) küresel ısınma, (c) tükenme, (d) temin.



Şekil 3.3 : Talep yönetimiyle ilgili kaygıları olanların sebepleri.

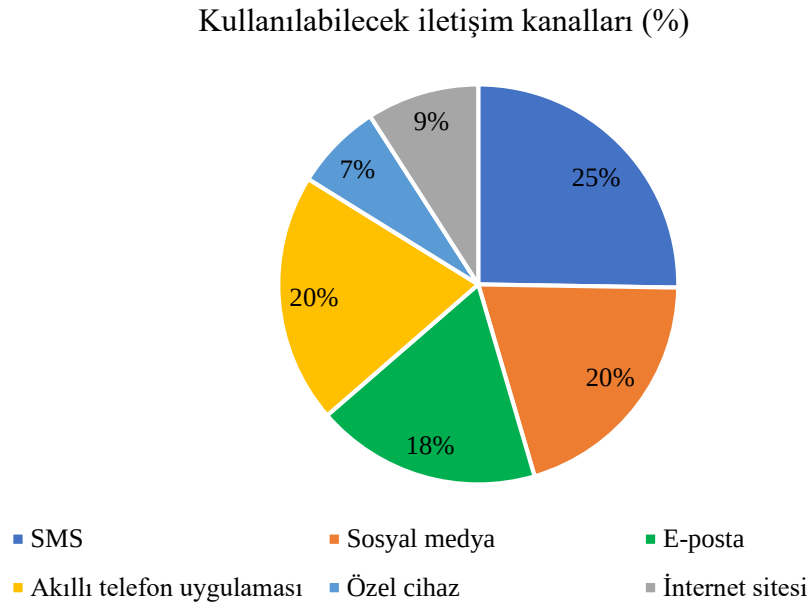
Hangi tür kurumların bağış için tercih edileceği Şekil 3.4'te görülmektedir. Çevre kurumları bu açıdan %0.4 ile en sonda yer almıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 : Bağış yapılabilecek kurum türleri.

Çok zamanlı tarifenin üyesi olmasına veya elektrik şebekesiyle ilgili farkındalığı yüksek olmasına rağmen mevcut günlük tüketim alışkanlıklarında değişiklik yapmayanların %72 oranında baskın olduğu katılımcı topluluğunun %80'i, kendilerine detayları kısaca anlatılmış olmasına ve bizzat tecrübe etmemelerine rağmen, talep yönetimi uygulamalarında alışkanlıklarını değiştirebileceğini ifade etmiştir. Talep yönetimi uygulamalarına ne kadar sık zaman ayırabilecekleri sorulduğunda, %45 oranında haftada birkaç kez cevabı verilmiştir. %15 oranında günde birkaç kez, %40 oranındaysa ayda birkaç kez zaman ayırabileceğini belirtenler bulunmaktadır.Biriktirilen puanları harcama opsiyonları arasında, elektrik faturasından otomatik indirim %52 ile genel kabul görmüştür. Sunulan diğer seçeneklere bakıldığında doğrudan nakite çevirme, kumbara gibi biriktirip toplu çekme ve puanların daha değerli olduğu özel kampanyalarda kullanma sırasıyla %14, %16 ve %18 ile dikkate değer miktarlarda tercih edilmektedir.

Talep yönetimi uygulamalarında yararlanılması tercih edilen iletişim kanallarına bakıldığında birden çok kanalın tercih edilebileceği görülmektedir (Şekil 3.5). Özellikle bu tür uygulamalarda kullanılması öngörülen, uygulamaya özel cihazın %7 ile en az kabul oranına sahip olduğu ve kısa mesaj, akıllı telefon uygulaması, sosyal medya gibi mevcut iletişim alışkanlıklarına entegre çözümlerin daha çok tercih sebebi olduğu açıkça gözlemlenebilmektedir.



Şekil 3.5 : Kullanılabilecek iletişim kanalları.

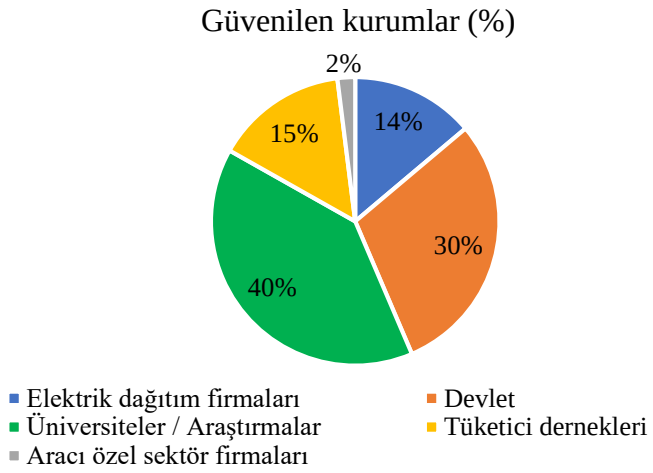
Daha etkin ve otonom yönetim yapabilmek için gerekli altyapılara kullanıcıların baştan yatırım yapıp yapmayacakları sorulduğunda, katılımcıların %72'si baştan bir miktar yatırım yapabileceklerini belirtmiştir.

Yatırım miktarları, geri dönüş (amortisman) süreleri üzerinden sorulduğunda yanıtlayanların %51'i birkaç ay içinde, %41'i 1 yılda, %8'i ise 2 yıl veya daha fazla sürede geri dönebilecek yatırımlar yapabileceklerini söylemişlerdir.

Talep yönetimi uygulamalarının tanıtım ve planlamasında yer aldığı takdirde güvenilecek kurumlar arasında üniversiteler ve devlet kurumları %40 ve %30 ile başı çekmekte, aracı özel sektör firmaları ise %2 gibi çok düşük bir oranla en sonda gelmektedir (Şekil 3.6).

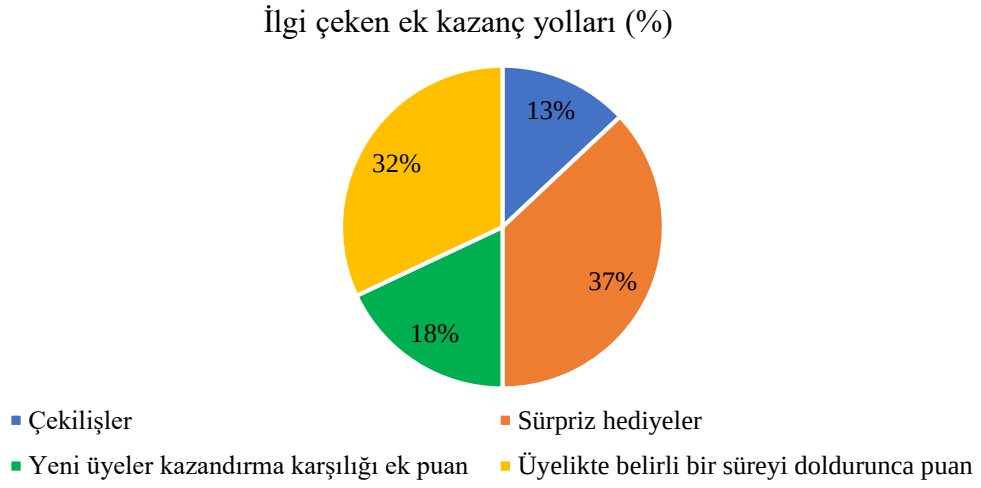
Toplum içinde talep yönetimi ile ilgili olumlu tecrübe ve tavsiyelerin yayılmasına yönelik sorulan soruda aile ve yakınların görüşlerine %38 ile en çok önem verilmekte, ardından %32 ile arkadaşlar ve %24 ile çok sayıda kullanıcının ortak görüşü gelmektedir. Birçok sektörde cazip görünen ünlülerin olumlu görüşleri ise %2 ile oldukça gerilerde kalmıştır. Katılımcıların %4'ü ise sadece kendi değerlendirmeleriyle karar vereceğini belirtmiştir.

Talep yönetiminin %74 oranında ev ortamındaki konfor bozulmadan yapılması görüşü baskın çıkmış; %26 oranında ise daha çok kazandıracağı takdirde sık sık yapılabileceği belirtilmiştir.



Şekil 3.6 : Talep yönetiminin tanıtım ve planlamasında güvenilen kurumlar.

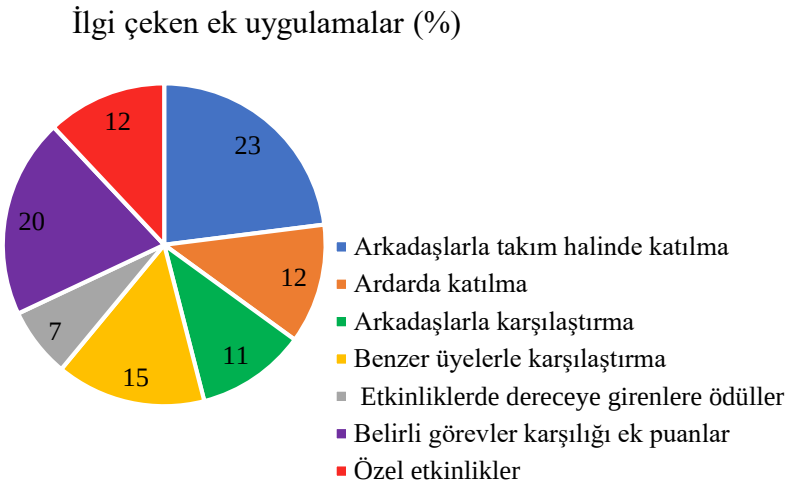
Yönetim olaylarına katılım haricinde sunulabilecek ek kazançlar genel olarak önemli oranlarda kabul görmektedir (Şekil 3.7). Uzun süre katılım sağlayan kıdemli ve güvenilir katılımcılara yönelik "üyelikte belirli bir süreyi doldurunca puan" seçeneği %32 ile önemli bir oranda kabul görmektedir.



Şekil 3.7 : İlgi çeken ek kazanç yolları.

Uygulamaların etkinliğini arttırmaya yönelik oyunlaştırma teknikleri de hatırı sayılır oranlarda ilgi çekmektedir (Şekil 3.8). Özellikle, arkadaşlarla takım halinde katılma, belirli ek görevler karşılığında puan kazanma, benzer özelliklerdeki üyelerle performans karşılaştırma, art arda katılma karşılığında ek puan kazanma ve dönemsel özel etkinlikler yaygın kabul görmektedir.

Tüm sonuçlar ele alındığında, Türkiye'de yapılan bu ankete katılan birçok farklı şehir, meslek ve yaş grubundan tüketicilerin cevapları önemli bulgular sağlamıştır.



Şekil 3.8 : Genel kabul gören oyunlaştırma yaklaşımları.

Elektrik sisteminin günümüzdeki zorluklarıyla ilgili olarak kullanılan kaynakların çevreye etkisi hariç çoğunlukla duyarlı oldukları, şebekedeki sorunlardan bireysel olarak etkilendikleri ve ülke genelindeki sorunlardan da çoğunlukla haberdar oldukları görülmektedir. Yine de azımsanmayacak oranda bir grubun kesin bir kanısı bulunmamaktadır.

Üye olunan elektrik tarifesinden çoğu kullanıcının haberi yoktur. Çok zamanlı tarifeye rağmen tüketim alışkanlıklarını değiştirmeyen ciddi bir çoğunluk da bulunmaktadır.

Talep yönetimine olumlu bakanların oranı oldukça yüksektir. Yine de yönetimin detayları, getirileri ve ayırılacak zaman miktarı ile ilgili yaygın kaygılar görülmektedir.

Kurumlara bağış yapma imkanı sunulmasının oldukça teşvik edici olduğu görülmüştür.

Talep yönetiminin ekonomik ve sosyal teşvikleri sonucunda, kullanıcıların %80'inin günlük tüketim alışkanlıklarında değişikliklere gidebileceği ortaya çıkmıştır.

Kullanıcıların büyük çoğunluğu haftada ve ayda birkaç kez vakit ayırabileceğini belirtmiştir. Diğer yandan, her gün vakit ayırabilecek önemli bir oranda katılımcı grubu da bulunmaktadır.

Farklı iletişim kanalları tercih edilebilmekle beraber, günümüzde bolca kullanılan kanallara entegre çözümlerin daha yaygın benimsendiği gözlemlenmiştir.

Kullanıcıların çoğunun 1 yıl içerisinde geri dönebilecek yatırımları baştan yapabileceği gözlemlenmiştir.

Üniversiteler ve devlet kurumlarının yeni uygulamanın planlama, geliştirme ve tanıtımında yer almasının özel sektöre göre çok daha baskın bir oranla güvenilirlik sağlayacağı sonuçlardan anlaşılmaktadır.

Aile, arkadaşlar ve çok sayıda kullanıcının tavsiye ve görüşlerinin uygulamanın yaygınlaşmasında etkin olarak faydasının görülebileceği ortaya çıkmıştır.

Uygulamaların genellikle konforda ciddi değişikliklere yol açmaması gerektiği görülmüş; diğer yandan önemli bir kullanıcı grubunun kazanımların boyutuna göre daha çok katkı sağlayabilecekleri de tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında geliştirilen ek kazançlar ve oyunlaştırma yaklaşımlarının birçoğu önemli oranlarda kabul görmüş ve teşvik edici bulunmuştur.

3.1.2 Çoklu sorulara verilen yanıtlara dayalı analiz

Analizin ikinci aşamasında, birbirinden farklı birçok soruya verilen cevaplar bir arada ele alınarak farklı kullanıcı gruplarıyla ilgili ayırt edici izlenimler elde edilmeye çalışılmıştır.

Talep yönetimi uygulamalarına uzun amortisman süreli yatırımlar yapmaya gönüllü olan ve birçok ek kazanç yolu ile oyunlaştırma yaklaşımı ilgisini çeken kesimin mevcut elektrik hizmetinde sorunlar yaşamakta oldukları ve mevcut tarifeleri de hali hazırda önemsedikleri tespit edilmiştir.

Aileleriyle yaşayan kişiler uygulamaya her gün zaman ayırabilirken, eğitimi durumu ilköğretim ve lise olanlar ayda birkaç kez uygulamayla ilgilenebileceklerini belirtmişlerdir. 18-34 yaş arasındakiler, akıllı telefon aracılığıyla platforma erişmek isterken, 50 yaş ve üzerindekiler kısa mesaj ve e-postayı tercih etmektedir. Diğer yandan, eğitim durumu lisans ve lisansüstü olanlar sosyal medyaya önem vermektedir. 50 yaş ve üzerinde olanlar ile ilköğretim ve lise seviyesinde eğitim durumu olanlar daha çok tasarruf edebilmek için konforlarından ödün verebilirken, diğer tüm katılımcı grupları konfora öncelik vermektedir. Lisansüstü eğitim alanlar, çok sayıda kullanıcının tecrübelerini önemserken, diğerleri aile üyelerinin tavsiyelerine önem vermektedir. Önerilen oyunlaştırma yaklaşımları da farklı gruplarca farklı oranlarda kabul görmektedir. Örneğin, ilköğretim ve lise seviyesinde eğitim görmüş olanlar,

takım halinde katılmayı istememektedir. 18-34 yaş arasındakiler, diğer katılımcılarla karşılaştırılmayı ilgi çekici bulmazken, bu özellik 50 yaş ve üzerindekiler tarafından yaygın kabul görmektedir. Diğer yandan, 50 yaş ve üzerindekiler, arkadaşlarıyla karşılaştırılmayı tercih etmemektedir. Çoklu sorulara verilen yanıtların analizlerinden yola çıkılarak tespit edilen, diğer ülkelerde yapılan anketlerdekine benzer gruplar Çizelge 3.1'de verilmiştir.

3.2 Ev Kullanıcıları için Talep Yönetimi Platformu

Evlerdeki esnek yüklerin izlenmesi ve yönetimine yönelik olarak oyunlaştırma tekniklerine dayalı bir kullanıcı platformu geliştirilmiş ve sahada gerçek kullanıcılarla denenmiştir. Bu bölümde geliştirme ve saha uygulamaları iki alt başlıkta sunulmuştur.

Çizelge 3.1 : Geçmiş anket çalışmalarına benzer tespit edilen gruplar ve oranları.

Kullanıcı grubu	Oranı (%)	Eğilimleri
Yüksek gelirli, düşük motivasyonlu grup	9	Düşük yatırım geri dönüş süresi Kullanıcı tecrübelerine düşük güven Sadık katılımcı ödülleri ve ek görevlere ilgi Talep yönetiminin %100 kabulü
Genç, kadın, düşük veya orta gelirli grup	9	Konfora öncelik verme Düşük bağlılık Oyunlaştırma yaklaşımlarının yüksek kabulü
Motivasyonu yüksek, ama yeterli zamanı olmayan grup	33	Konfora öncelik verme Özel etkinliklere karşı yüksek ilgi Ek görevlere karşı düşük ilgi

Farklı grupların genel eğilimleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

3.2.1 Esnek yükler için talep yönetimi seçenekleri

Binalardaki yükler, talep yönetimi açısından esnek yükler ve esnek olmayan yükler olarak ikiye ayırılmaktadır. Kullanıcıların sürekli aktif etkileşim halinde olduğu yükler (televizyon, bilgisayar, saç kurutma makinesi vb.) ve işlerini oldukça sınırlı bir zaman dilimi içerisinde gerçekleştirmesi gereken yükler (mutfak robotu, kahve makinesi vb.) yönetilemez yükler sınıfındadır.

Çizelge 3.2 : Farklı grupların genel eğilimleri.

Kullanıcı grubu	Oranı (%)	Ek kazanç tercihleri	Oyunlaştırma tercihleri
18-34 yaş arası	7	Hediyeler	Takımlar Özel etkinlikler
50 yaş ve üzeri	28	Sadakat ödüllendirme	Benzer katılımcılarla rekabet
İlköğretim ve lise eğitimli	30	Sadakat ödüllendirme Yeni üyeler kazandırma	Liderlik tabloları Özel etkinlikler
Lisans eğitimli	46	Hediyeler Sadakat ödüllendirme	Takımlar Ek görevler
Lisanüstü eğitimli	18	Hediyeler Sadakat ödüllendirme	Takımlar Benzer katılımcılarla rekabet Ek görevler
Tek başına yaşayan	9	Hediyeler Sadakat ödüllendirme	Takımlar Özel etkinlikler Ek görevler
Ailesiyle yaşayan	65	Hediyeler Sadakat ödüllendirme	Takımlar Benzer katılımcılarla rekabet Ek görevler

Bu yüklerin enerji tüketim zamanları ve miktarları talep yönetimi bakış açısıyla yeterince değiştirilememektedir. Diğer gruba giren esnek yükler ise birkaç alt gruba sahiptir. Yönetilebilme potansiyeline sahip esnek yüklere yönelik yönetim seçenekleri, yüklerin çalışmasındaki ortak özelliklere göre termostat kontrollü yükler (buzdolabı, derin dondurucu, klima, su ısıtıcısı vb.), programa dayalı yükler (bulaşık makinesi, çamaşır makinesi, kurutma makinesi vb.) ve el ile kontrollü yükler için üç ana başlık altında incelenmiştir.

Tüm yöntemler, uygulama öncesi planlama ihtiyacı olup olmamasına, yönetim potansiyeli, konfora olumsuz etki, başarısızlık riski, tüketicinin müdahale etme ihtimali ve olay sonrasında tüketimde fazladan değişimler açısından yüksek, orta ve düşük olarak üç seviyeye göre değerlendirilmiştir (Çizelge 3.3).

Termostat kontrollü yükler belirli bir kapalı hacmin sıcaklığını, seçilen bir ayar değerinin etrafındaki izin verilen sınırlar içerisinde (sıcaklık bandı) tutmakla sorumludur.

Erken soğutma/ısıtma, cihazın tüketiminin azaltılması/arttırılması gereken bir zaman diliminin öncesinde normal çalışmaya müdahale edilerek ısı depolanması veya depolanmış ısının harcanması ile gerçekleştirilir. Bu yöntemin önemli bir özelliği, cihazın normal sıcaklık bandı sınırlarına müdahale etmemesi ve soğutulan/ısıtılan iç hacmin konforunun olabildiğince az etkilenmesidir. Planlı kontrol yaklaşımı olarak nitelendirilen bu yöntemde, cihazın hangi çalışmasına ne zaman müdahale edilirse olay zamanında istenilen sıcaklık seviyesine ulaşılacağı tahmin edilerek hareket edilir. Olay zamanından oldukça önce yapılan bir müdahale, sonrasındaki dakikalarda cihaz çalışmasında hesaba katılmamış birtakım değişikliklerden dolayı istenildiği gibi ısı depolanmasını veya harcanmasını sağlayamayabilir. Güvenilir bir erken müdahale için olay zamanına olabildiğince yakın bir çalışma periyodu seçilmelidir.

Ertelenmiş ısıtma/soğutma ise mantık olarak erken ısıtma/soğutmaya oldukça benzer olup yönetim periyodu içerisinde uygulanmaktadır. Hedef, erken soğutma/ısıtmanın tam tersidir.

Bahsedilen iki yöntemi cihazın mevcut kontrol altyapısıyla uygulamak için bir olanak vardır. Cihazın sıcaklık ayar değeri kısa süreliğine değiştirildiğinde, sıcaklık bandının alt ve üst sınırları yeni değerler almaktadır. Cihazın çalışma modu ancak bandın sınır değerlerine ulaşıldığında değişmektedir. Örneğin soğutma yapan bir buzdolabının sıcaklık ayar değeri arttırılırsa, sıcaklık bandı üst değerlere çıkacaktır. Bu durumda soğutmayı durdurması gereken bant alt değeri, mevcut sıcaklığının üzerinde olacağı için, cihaz iç hacmini yeterince soğuttuğu kanısına vararak duracaktır. Bundan sonra tekrar eski sıcaklık ayar değerine dönüldüğünde, mevcut sıcaklık soğutmanın tekrar başlatılması gereken üst sınırdan uzakta olduğu için cihaz enerji tüketmemeye devam edecektir.

Sıcaklık ayar değeri değişimi, tercih edilebilecek bir başka talep yönetimi yaklaşımıdır. Planlama gerektirmeyen ve olay sırasında uygulanan gerçek zamanlı kontrol yöntemidir. Bu yöntemde, olay süresince sıcaklık bir üst veya bir alt ayar değerine geçirilir. Olay sona erdikten sonra normal sıcaklık ayar değerine dönülür. Olay süresince farklı bir sıcaklık ayar değeri uygulanacağı için, önceki iki yönetim yaklaşımına göre kullanıcı konforuna daha olumsuz bir etki söz konusudur. Bu durum kullanıcıların bir kısmını etkilemeyebileceği gibi bir kısmını rahatsız edebilir ve olay bitmeden önce sıcaklık değerinin normale döndürülmesi (yönetim hareketinin iptali) sonucunu doğurabilir.

Geçici olarak durdurma, sıcaklık ayar değeri değişimi gibi, gerçek zamanlı olup planlama gerektirmeyen bir yöntemdir. İlerleyen tüketim döngüleri düşünülmeksizin, olay sırasında cihazın belirli bir çalışması durdurulur. Durdurma işleminde sıcaklık yerine süre bazında düşünülür ve bu sırada cihazın sıcaklık bandı değerleri aşılabilir. Durdurma işlemi sonrasındaki süreçte tekrar sıcaklık bandı değerlerine ulaşabilmek için, yönetim hedefinin tersine bir çalışma gerçekleşecektir. Bu çalışmanın olay periyodu sonrasında olmasına dikkat edilmesi gerekir.

Belirli bir tüketim profili sergileyerek kullanıcının verdiği görevi tamamlayan cihazlar, programa dayalı yükler kapsamında ele alınmaktadır. Bu yüklerin çalışmaları yönetildiğinde, görev tamamlama zamanlarının değişmesi kaçınılmazdır. Diğer yandan genellikle dakik çalışmaları beklenmeyip, belirli saatler içerisinde faaliyet göstermeleri kabul edilmektedir. Başka bir deyişle, programa dayalı yüklerin kullanıcılar tarafından tercih edilen başlangıç ve bitiş zamanları bulunmaktadır. Yönetim yaklaşımları değerlendirilirken, cihazın görevini kullanıcının istediği zaman dilimleri içerisinde tamamlaması birincil önceliktir. İkincil olarak, normal çalışma zamanına göre olabildiğince az değişim olması hesaba katılır.

Çalışmayı erkene alma, olay zamanına denk gelen bir görevin daha erkenden tamamlanmasını hedefler. Planlı bir kontrol olayıdır. Cihazın erkenden görevini bitirmesi, genellikle geç bitirmesine göre kullanıcı açısından daha kabul edilebilirdir ve bazen doğrudan tercih sebebidir. Genellikle, çalışma zamanının son kısımları olay zamanıyla çakışan aktivitelerde tercih edilebilir. Olay öncesindeki periyottaki tüketimleri arttırdığı için o periyodun enerji fiyatları da dikkate alınmalıdır.

Çalışmayı durdurma, cihazın görevinin (yıkama, kurutma vb.) olumsuz etkilenmeyeceği kısa bir süreliğine uygulanır. Bu sürenin miktarı, cihazın türüne, modeline ve olay sırasında yaptığı işin içeriğine göre değişiklik gösterebilir. Durdurma süreleri, genellikle olay süresinden daha kısadır ve cihazın olay periyodundaki çalışmasının ancak bir bölümünü ileri bir zamana taşıyabilir. Durdurma sonrasında tüketimde meydana gelebilecek değişikliklerin de hesaba katılması önemlidir.

Ertelenmiş çalışma, olay zamanındaki tüketimlerin ilerleyen bir zaman diliminde yapılmasını hedefler.

Çalışmayı erkene alma yaklaşımından farklı olarak, ertelenmiş bir çalışmada kullanıcı kaynaklı gecikmelerin çalışmayı olay zamanıyla çakıştırma riski bulunmamaktadır.

Diğer yandan çalışma, kullanıcının normalde istediği zamanın ötesine alındığı için tüketici konforunu daha olumsuz etkileyebilir. Bu yaklaşımların yanısıra, aynı çalışma zamanında daha az enerji tüketilmesine sebep olabilecek çalışma programı tercihleri de düşünülebilir. Örneğin, sıcaklık ayarı azaltılan bir çamaşır veya bulaşık makinesi, program sıcaklığına daha kısa sürede erişebilecek, dolayısıyla daha az enerji tüketecektir. Benzer şekilde, çamaşırları sıkma sırasındaki dönüş hızı azaltılan bir çamaşır makinesi, daha düşük devirde daha az güç ve enerji tüketebilir. Bu seçeneklerin yanısıra, aynı zaman diliminde daha kısa ve daha az enerji tüketen bir yıkama programı da seçilebilir. Bu paragrafta bahsedilen üç seçenek, çalışma zamanını değiştirmek veya programı durdurmak istemeyen kullanıcılar için uygun olanaklar olarak öne çıkmaktadır.

El ile kontrollü yüklerin tüketim miktarlarında, kullanıcıların tolere edebileceği bazı değişiklikler yapılabilir (aydınlık seviyesini azaltmak vb.). El ile kontrollü yükler açısından bu proje kapsamında aydınlatma yükü ile çalışılmaktadır. El ile kontrollü yüklere yapılan müdahaleler gerçek zamanlı olup, tüketimleri azaltmaya dayalıdır. Bu yükler için tüketimlerin başka bir zaman dilimine kaydırılması söz konusu değildir. Ayrıca, tüketimler bir miktar azaltılsa da tamamen sıfırlanamamaktadır. Diğer yandan, bu tür müdahalelerde planlama veya tahminler bir zorunluluk değildir. Belirli bir yaşam alanındaki aydınlatma cihazlarının tüketimi, aydınlık ayarı değiştirilerek azaltılabilir veya önceden azaltılmış bir seviyede ise arttırılabilir. Aydınlık ayarı mümkün olmayan; fakat bol sayıda aydınlatma elemanı birkaç grup şeklinde beslenmiş tesisatlarda ise belirli gruplar devreden çıkarılarak veya devreye sokularak talep edilen güç ve enerji tüketimi azaltılabilir veya arttırılabilir.

Bahsedilen yaklaşımların tek başlarına uygulanma kısıtı bulunmamaktadır. İki veya daha fazla uyumlu yaklaşım bir arada kullanılarak daha çok fayda elde edilebilir (Çizelge 3.4).

Bahsedilen seçenekler Türkiye'de ev kullanıcılarına sunulan çok zamanlı tarifenin fiyatlandırma zamanları ve miktarları (Çizelge 3.5) dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

İlerleyen bölümde detayları verilen talep yönetimi platformunda, ulaşılabilecek yük yönetim miktarı hedefleri belirli kabullere göre yapılmıştır.

Termostat kontrollü yükler için, sektördeki cihazların sıcaklık sensörlerinin hassasiyet kısıtlarından dolayı, cihazın iç hacmindeki sıcaklığın, sıcaklık bandı sınırlarına göre 1°C değişmesinin ardından müdahale edilebileceği ve müdahale sonucunda bir ısıtma veya soğutma döngüsünün (aktif olarak enerji tüketilen dönem, ısıtıcılar için ısıtma, soğutucular için soğutma) yarısının puant periyodun öncesindeki fiyatlandırma periyoduna (Türkiye'deki tarifeye göre normal fiyatlandırma periyodu), bir başka müdahale ile de başka bir aktif tüketim döngüsünün yarsının puant periyodun sonrasına (ucuz periyot) ertelenebileceği kabul edilmiştir [68-69].

Programa dayalı yükler için puant zaman tüketimlerinin ucuz periyoda kaydırılması düşünülmüştür.

El ile kontrollü yüklerin ise puant periyot tüketimlerinin %50 oranında (geliştirilen platformdaki ilgili görevlerde verilen en yüksek hedef) azaltıldığı durum göz önüne alınmıştır.

N adet yönetilebilir yük içeren bir evin genel enerji yönetim potansiyeli ($E_{pot-genel}$), her bir yönetilebilir yükün yönetim potansiyelinin (E_{pot-i}), toplamı olarak kWh cinsinden, denklem 3.1'deki gibi ifade edilebilir.

$$E_{pot-genel} = \sum_{i=1}^{N} E_{pot-i} \tag{3.1}$$

Her bir yönetilebilir yükün yönetim potansiyeli içerisindeki payı ise denklem 3.2'deki gibi hesaplanabilir.

Bahsedilen özellikler arasından bazı özelliklerin, çalışma kapsamında seçilen evlerdeki yüklerin kontrol kısıtlarından dolayı uygulanma imkanı olmamıştır. Bu yöntemler, el ile kontrollü yükler için grup halinde yönetme, termostat kontrollü yükler için ise erken ve ertelenmiş ısıtma/soğutma seçenekleridir. Diğer tüm yöntemler mevcut kontrol imkanlarıyla kullanıcılar tarafından uygulanabilir durumdadır.

Programa dayalı yükler için, mevcut tarifede en uygun seçenek ucuz zaman diliminde (gece 22.00 ile ertesi gün 06.00 arasında) çalıştırmaktır (çalışmayı erteleme). Cihazlarını gece geç saatlerde çalıştırmayı tercih etmeyen kullanıcılar, görece daha az fiyat avantajı sağlayan gündüz saatlerinde (06.00-17.00) arasında kullanabilirler (çalışmayı erkene alma).

Çizelge 3.3 : Esnek yükler için talep yönetimi yaklaşımlarının karşılaştırılması.

Yönetilebilir Yük Türü	Yönetim Yöntemi	Planlama İhtiyacı	Yönetim Potansiyeli	Konfora Olumsuz Etki	Başarısız Olma Riski	Tüketici Müdahale İhtimali	Olay Sonrası Tüketim Değişimi
Termostat kontrollü	Erken ısıtma/soğutma	Var	Yüksek	Düşük	Orta	Düşük	Düşük
Termostat kontrollü	Ertelenmiş ısıtma/soğutma	Var	Yüksek	Düşük	Orta	Düşük	Düşük
Termostat kontrollü	Sıcaklık ayar değişimi	Yok	Orta	Yüksek	Düşük	Yüksek	Yüksek
Termostat kontrollü	Geçici olarak durdurma	Yok	Düşük	Orta	Düşük	Orta	Orta
Programa dayalı	Çalışmayı erkene alma	Var	Yüksek	Yüksek	Orta	-	Düşük
Programa dayalı	Geçici olarak durdurma	Yok	Düşük	Düşük	Düşük	-	Yüksek
Programa dayalı	Çalışmayı erteleme	Var	Yüksek	Yüksek	Orta	-	Düşük
Programa dayalı	Farklı program ayarları kullanma	Yok	Düşük	Düşük	Düşük	-	-
El ile kontrollü	Aydınlık değerini değiştirme	Yok	Orta	Düşük	-	Düşük	-
El ile kontrollü	Grup halinde yönetme	Yok	Yüksek	Orta	-	Yüksek	-

Çizelge 3.4 : Cihaza göre talep yönetimi seçenekleri.

Cihaz	Talep Yönetimi Seçenekleri				
	Seçenek 1	Seçenek 2	Seçenek 3	Seçenek 4	Seçenek 5
Buzdolabı	Erken soğutma	Ertelenmiş soğutma	Sıcaklık ayar değişimi	Geçici olarak durdurma	-
Bulaşık Makinesi	Erken çalıştırma	Geçici olarak durdurma	Ertelenmiş çalışma	Az tüketen program tercihi	Düşük program ayarı (hız, sıcaklık)
Çamaşır Makinesi	Erken çalıştırma	Geçici olarak durdurma	Ertelenmiş çalışma	Az tüketen program tercihi	Düşük program ayarı (hız, sıcaklık)
Derin Dondurucu	Erken soğutma	Ertelenmiş soğutma	Sıcaklık ayar değişimi	Geçici olarak durdurma	-
Kurutma Makinesi	Erken çalıştırma	Geçici olarak durdurma	Ertelenmiş çalışma	Az tüketen program tercihi	Düşük program ayarı (hız, sıcaklık)
Klima	Erken soğutma	Ertelenmiş soğutma	Sıcaklık ayar değişimi	Geçici olarak durdurma	-
Su Isıtıcısı	Erken soğutma	Ertelenmiş soğutma	Sıcaklık ayar değişimi	Geçici olarak durdurma	-
Aydınlatma	Aydınlık ayarı	Grup halinde yönetim	-	-	-

Çizelge 3.5 : Türkiye'de ev kullanıcılarına sunulan çok zamanlı tarife detayları.

Fiyatlandırma Periyodu	Tek Zamanlı Tarifeye göre Birim Fiyat Oranı	Zaman Aralığı
Gündüz (Normal)	0.99	06.00-17.00
Puant (Pahalı)	1.78	17.00-22.00
Gece (Ucuz)	0.44	22.00-06.00

$$E_{pot-yüzde-i} = \frac{E_{pot-i}}{E_{pot-genel}} \times 100 \tag{3.2}$$

Erkene alma seçeneğini de tercih etmeyip, çalışma zamanlarında büyük değişiklikler yapamayan kullanıcılar, farklı program ayarları kullanabilirler (daha kısa yıkama/kurutma programı veya daha düşük sıcaklık ayarı). Son seçenek ise devam eden bir çalışma sürecinin geçici olarak durdurulmasıdır. Farklı program ayarları kullanma seçenekleri birbirleriyle veya diğer seçeneklerle beraber uygulanabilir.

3.2.2 Oyunlaştırılmış talep yönetimi platformu tasarımı

Platform, literatürde yer alan iki oyunlaştırma tasarım sürecinin bir kombinasyonu kullanılarak geliştirilmiştir [25-26]. Tasarım adımları amaçların belirlenmesi, hedeflenen davranışların tanımlanması, kullanıcı sorumluluklarının detaylandırılması, etkinlik döngüleri, oyun ekonomisi ve uygun araçlar kullanılarak geliştirmedir.

İlk aşamada, üç amaç belirlenmiştir: puant zamanlardaki enerji tüketimlerinin genel tüketim içerisindeki payının azaltılması, aylık genel elektrik tüketimlerinin azaltılması ve aylık elektrik faturalarından tasarruf edilmesi.

İkinci aşamada, ilk aşamada belirlenen hedeflere ulaşabilmek için izlenilmesi gereken davranışlar tanımlanmıştır. Bunlar, puant zaman tüketimlerinin diğer zamanlara kaydırılması, bina otomasyon sistemi ile uzaktan kontrol edilebilen yönetilebilir yükler için otomatik kontrol özelliğinin uygulanması, genel tüketim ve yönetilebilir cihaz tüketim profillerinin düzenli olarak takip edilmesi ve talep yönetiminin güç sistemi üzerindeki etkileriyle ilgili bilgilendirici içeriklerin okunmasıdır.

Oyunlaştırılmış platform tasarımının diğer süreçleri, bölüm 2.3'te anlatılan Fogg'un davranış modeli [27], Bartle'ın oyuncu türleri [28], oyunlaştırma uygulamalarına özel

kullanıcı türleri [29], Octalysis yaklaşımı [30] ve bölüm 3.1.'de sunulan anket çalışması bulguları baz alınarak detaylandırılmıştır. Kullanıcı sorumlulukları günlük tavsiyeleri okumak, günlük-haftalık-aylık bireysel görevleri yapmak, haftalık-aylık takım görevlerini diğer takım üyeleriyle beraber başarmak, puanlar kazanmak, diğer kullanıcılarla ve takımlarla liderlik tablolarının üst sıralarına ulaşabilmek için rekabet etmek, yüksek seviyelere ulaşmak, başarımları tamamlayıp rozetler kazanmak, aylık enerji raporlarını okumak ve mesajlaşma sistemini kullanmak olarak detaylandırılmıştır. Bu sorumlulukların bazıları arasındaki bağlantılar, ilerleyen paragraflarda açıklanmıştır.

Günlük tavsiyeler, kullanıcıları oyunlaştırılmış platformun detayları, cihaz yönetim seçenekleri ve enerji tüketiminin etkileri konularında kısaca bilgilendirmek için kullanılmaktadır. Oyunlaştırılmış platformda bireysel kullanıcı görevleri, talep yönetimine dayalı görevler ve platform kullanımına dayalı görevler olarak iki türdür. Oyuncuların kabiliyetleriyle, oyunun zorluk seviyesi arasında kullanıcı deneyiminin tümünü kapsayan bir denge kurulması hedeflenmiştir. Örneğin, uzmanlaşmış bir kullanıcı, basit görevlerle karşılaştığında sıkılıp yeterince motive olmayabilir. Ayrıca, amatör bir kullanıcı, zorlu görevlerden dolayı bunalıp oyunlaştırılmış platformu kullanmaktan vazgeçebilir. Bu nedenle, görevler zorluk seviyelerine göre farklı gruplar altında düzenlenmişlerdir. Kullanıcılara başlangıçta verilen görevler platformun ana özelliklerini tanıtmayı ve temel talep yönetimi hareketlerine kullanıcıları alıştırmayı amaçlamaktadır. İlerleyen seviyelerde görevlerin zorluk seviyesi kullanıcılar tarafından edinilmesi beklenen tecrübeler göz önüne alınarak gittikçe artmaktadır.

Görev zorluklarıyla uyumlu şekilde platform, kullanıcılar için 4 seviyeye sahiptir. Bu seviyelerden üçü (1., 2. ve 4. seviyeler), oyunlaştırma süreçlerinin genel kabul gören kullanıcı yolculuğu aşamaları olan başlangıç, alışkanlıklar edinme ve uzmanlaşma ile uyumludur [70]. Fazladan eklenen 3. bölüm ise kullanıcıların takım görevleri ve takım liderlik tablolarına dahil edildiği aşamayı temsil etmektedir. İlerleyen seviyelerde verilen görevlerin zorluk seviyesi arttıkça, kazanılabilecek puanlar da artmaktadır. Talep yönetimi açısından, buzdolabının sıcaklık ayar değerini değiştirerek yük kaydırmaya dayalı yönetim ve tüm evin genel tüketimi azaltmaya yönelik kapsamlı yönetim görevleri ileri seviyelerde verilmektedir. Diğer yandan, bazı basit görevler, ileri seviyelerde bile ara ara verilerek kullanıcılara kısa rahatlama dönemleri

sağlanmaktadır [71]. Bazı talep yönetimi görevleri, kullanıcıların geçmiş tüketim değerlerini kullanarak tüketim sınırlarını belirlemektedir. Bu sayede kullanıcılar dinamik hedeflerle kendi tüketim performanslarını daha da geliştirmeye yönlendirilmektedir. Kullanıcılar, tamamladıkları bireysel görevler karşılığında, talep yönetiminin çevre üzerindeki olumlu etkilerini hatırlatan "Yeşil Yaprak" puanları kazanmaktadırlar.

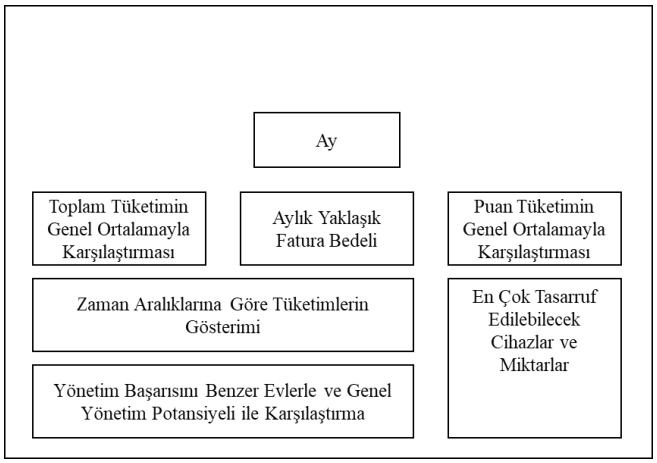
Takım görevleri, bireysel görevlerle benzer içeriklere sahip olmasına rağmen, birden fazla kullanıcının katkısıyla ulaşılabilecek hedeflere sahiptir. Takım başarısını bireysel başarıdan ayrı değerlendirebilmek amacıyla, takım görevleri karşılığında ayrı bir puanlandırma birimi olarak "Altın Yaprak" kullanılmaktadır.

Platformda biri bireysel puanlar, diğeri takım puanlarına dayalı iki liderlik tablosu bulunmaktadır.

Belirli sürelerle sınırlı olarak verilen bireysel görevler ve takım görevlerinin yanı sıra, herhangi bir bitiş zamanı bulunmayan, kalıcı görevler de "başarım hedefleri" başlığı altında kullanıcılara sunulmaktadır. Belirli bir işi birden çok kez yapmaya dayalı hedefler için başarımı tamamlamaya ne kadar yaklaşıldığı da kullanıcılara gösterilmektedir. Başarım hedeflerine ulaşan kullanıcılar, liderlik tablolarına herhangi bir etkisi olmayan "rozetler" kazanmaktadırlar.

Her ayın sonunda, kullanıcılara detaylı birer aylık rapor sunulmaktadır (Şekil 3.9). Bu rapor, geride kalan ayın puant zaman tüketimi ve genel tüketimlerini önceki ayların ortalama değerleriyle karşılaştırmakta, mevcut fiyatlandırma tarifesinin periyotlarındaki tüketim yüzdelerini göstermekte ve puant tüketimleri benzer evlerin tüketimleriyle karşılaştırmaktadır. Ayrıca, yönetilebilir cihazlar için o aya ait ulaşılabilir yönetim potansiyeli de yüzde olarak kullanıcılara sunulmaktadır. Raporun ikinci sayfasında, oyunlaştırılmış platforma ait aylık başarıları gösteren istatistikler (kazanılan puanlar, tamamlanan görev sayısı) ve öne çıkan başlıca görevler (en hızlı tamamlanan görev, en çok tasarruf ettiren görev vb.) hakkında bilgiler verilmektedir.

Kullanıcıları talep yönetiminin faturadan tasarruf, karbon salınımlarını azaltma, şebeke işletmesine yardım ve yenilenebilir enerjinin etkin değerlendirilmesine olan katkılarıyla ilgili 4 bilgilendirme sayfası ve detaylı rehber hazırlanıp kullanıcılara sunulmuştur. Yine bu rehberde, ev kullanıcıları için yönetilebilir yüklere uygun yönetim seçenekleri karşılaştırmalı olarak anlatılmaktadır.



(a)



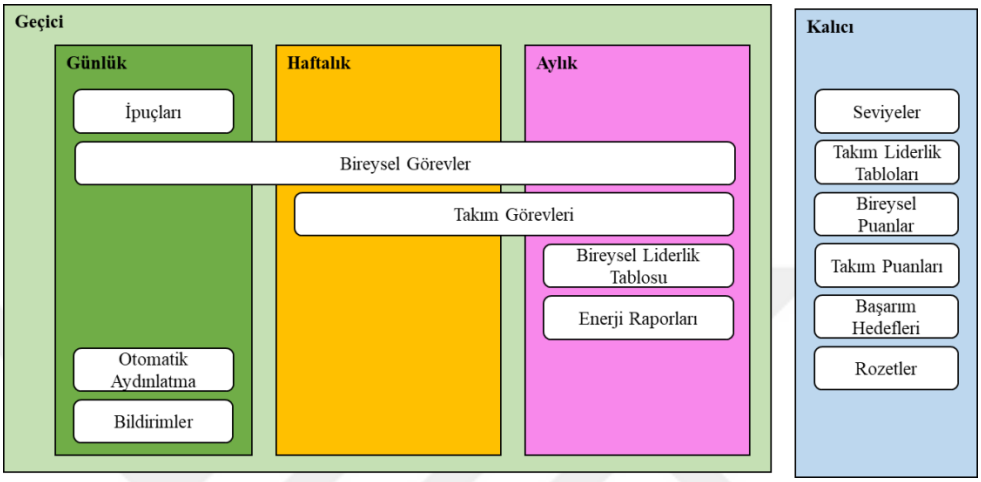
(b)

Şekil 3.9 : Aylık enerji raporunun (a) şematik gösterimi, (b) ekran görüntüsü.

Platform bünyesindeki mesajlaşma sistemi, kullanıcıları tamamladıkları görevler ve ulaştıkları yeni seviyelerle ilgili olarak bilgilendirmektedir. Ayrıca, kullanıcılar bu sistem üzerinden takım arkadaşları ve sistem yöneticileriyle iletişim kurabilmektedir.

Etkinlik döngüleri, tasarımın 4. aşamasında belirlenmiştir (Şekil 3.10). Tavsiyeler günlük olarak yenilenirken, bireysel görevler günlük, haftalık ve aylık döngülerle platformu hem sık kullanan kullanıcılar hem de nadiren kullanan kullanıcıların beklentilerini karşılayacak şekilde verilmektedir. Diğer yandan takım görevleri, takım üyelerinin iş birliği yapabilmelerine olanak sağlamak amacıyla sadece haftalık ve aylık sıklıkta verilmektedir. Bireysel puanlara dayalı liderlik tablosu, her ay sıfırlanarak kullanıcılara yeni bir rekabet ortamı sunmaktadır. Diğer yandan, takım puanlarına dayalı diğer liderlik tablosu, takımların daha yavaş dinamiklere sahip olması sebebiyle sıfırlanmamaktadır. Her hafta, kullanıcıların toplam tüketimleri ve puant zaman

tüketimleri bir önceki haftayla karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. Ayrıca o hafta tamamlanan bireysel görevler ve kazanılan puanlar da gösterilmektedir. Aylık başarı ve tüketim istatistiklerini içeren rapor her ayın sonunda kullanıcılara sunulmaktadır. Ayrıca, enerji yönetim potansiyeli, cihaz kullanım eş değeri (aydınlatma veya TV izleme saati), faturadan tasarruf miktarı ve karbon emisyonu eşdeğeri (kg CO_2 ve araba yolculuğu km eşdeğeri) ile aylık olarak hesaplanıp kullanıcılara bildirilmektedir.



Şekil 3.10 : Platformun etkinlik döngüleri.

Geliştirme sürecinin 5. aşaması oyun ekonomisidir. Platform, başarıyla tamamlanan kişisel görevler ve takım görevleri karşılığında kişisel ve takım puanları vermektedir. Ayrıca, belirli başarım hedeflerine ulaşıldığında rozetler kazanılmaktadır. Kullanıcıların tüketim alışkanlıklarındaki değişiklikler ile aylık elektrik faturalarından sağlayacakları tasarruflar da oyun ekonomisinin bir diğer bileşenidir.

Son aşama, uygun araçlar kullanılarak platformun gerçeklenmesidir. Tüm veriler, MSSQL ilişkisel veri tabanı (Object Relational Mapping-ORM) ve ADO.NET Entity Framework altyapısı ile saklanmaktadır. Modüler olarak hazırlanmış çok sayıda C# program paketi, oyunlaştırılmış platformun görev başarısını değerlendirme, seviye atlama süreci, başarımların tamamlanması, puan ve rozetler verilerek ödüllendirme gibi işlevlerini herhangi bir yönetici müdahalesine ihtiyaç duymaksızın yerine getirmektedir. İnternet platformu, ASP.Net altyapısı ve C# programlama dilinden yararlanarak Windows'un İnternet Bilgi Servisleri (Internet Information Services-IIS) barındırma hizmetinden yararlanmaktadır (Şekil 3.11). Sahada, kullanıcıların evlerinde, KNX ev otomasyon sistemi, IP ağ geçidi üzerinden uzaktan kontrol ve aydınlatma ile klima gibi yönetilebilir yükler için otomatik kontrol imkanı sağlamaktadır. Evlerin ve yönetilebilir cihazların enerji tüketimleri endüstriyel proje

ortağının akıllı sayaç çözümlerinden yararlanılarak ölçülmekte ve veri tabanına gönderilmektedir [72]. Gerçekleme çalışmaları projedeki diğer araştırmacıların katkılarıyla tamamlanmıştır.

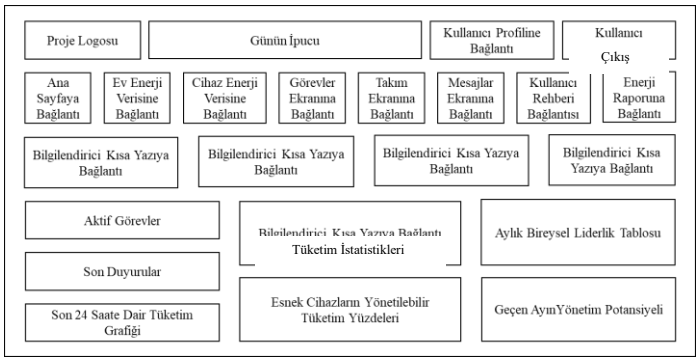
3.2.3 Saha kurulumları

Geliştirilen sistem, İstanbul'da seçilen 4 eve kurularak saha testleri yapılmıştır. Evlerden ikisi tek katlı apartman dairesi, diğer ikisi ise 3 katlı müstakil villadır. Tüm evlerde çamaşır makinelerinin enerji tüketimleri doğrudan akıllı sayaçlarla izlenebilmiştir. Diğer yandan, sahadaki kurulum zorluklarından dolayı diğer yönetilebilir yüklerin tüketimleri, kendileriyle aynı enerji hattından (linye) beslenen bazı yönetilemeyen yüklerle beraber izlenebilmiştir. Saha uygulamasındaki her evde, bulaşık makineleri ve fırınlar aynı elektrik hattı üzerinden beslenmektedir. Ayrıca, buzdolapları, tezgah üstü mutfak aletleri için tesis edilmiş prizlerle aynı enerji hattını paylaşmaktadır. Ayrıca, salon aydınlatması tüketimleri koridor aydınlatmasıyla beraber ölçülebilmektedir. Diğer yandan bu ölçüm kısıtlamaları, oyunlaştırılmış uygulama açısından önemli bir dezavantaj içermemektedir. Bunun sebebi, ilgili görevlerin genel ve puant periyot enerji tüketimlerini, yine aynı cihazların geçmiş ölçümleriyle karşılaştırmasıdır.

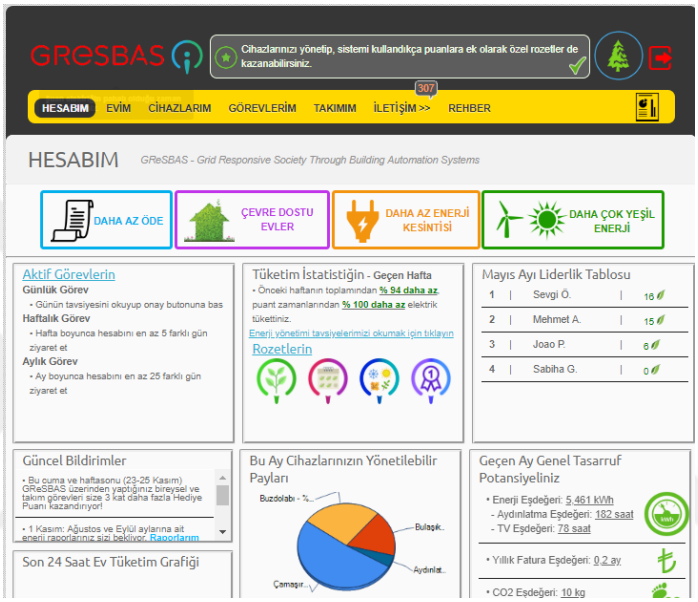
Aydınlatma sistemiyle ilgili görevler aydınlık düzeyi ayarı odaklı olup bu değer doğrudan bina otomasyon sisteminin dimmer komut kayıtları üzerinden izlenebilmektedir. Öncelikle, Aralık 2017-Mart 2018 arasındaki dönemde platform ev sakinlerinin kullanımına sunulmayıp, sadece tüketim verileri toplanarak temel tüketim değerleri analiz edilmiştir.

Evlerin aylık genel enerji tüketimleri %20, puant tüketimleri ise %16'ya varan oranlarda değişiklikler gösterebilmektedir. Bu her iki tüketim türü için de aydan aya tüketim değişimlerinin ortalaması %10 civarındadır. Enerji tüketimi değişikliklerinin değerlendirilmesinde yardımcı bir gösterge olarak puant periyot tüketimlerinin (E_{puant}) toplam tüketimlerdeki (E_{toplam}) yüzdesine (p_{puant}) de bakılmıştır (3.3) (Çizelge 3.6).

Diğer değerlere nispeten çok daha küçük değişimler görülmüştür. Aydan aya bu payın değişimi tüm izleme dönemi boyunca %8'in altında olup, ortalaması %3'tür. Bu nedenle, bu gösterge, aylık puant periyot enerji tüketimi değişimlerinin değerlendirilmesi için daha uygun bulunmuştur.



(a)



(b)

Şekil 3.11 : Platformun anasayfasının (a) şematik gösterimi, (b) ekran görüntüsü.

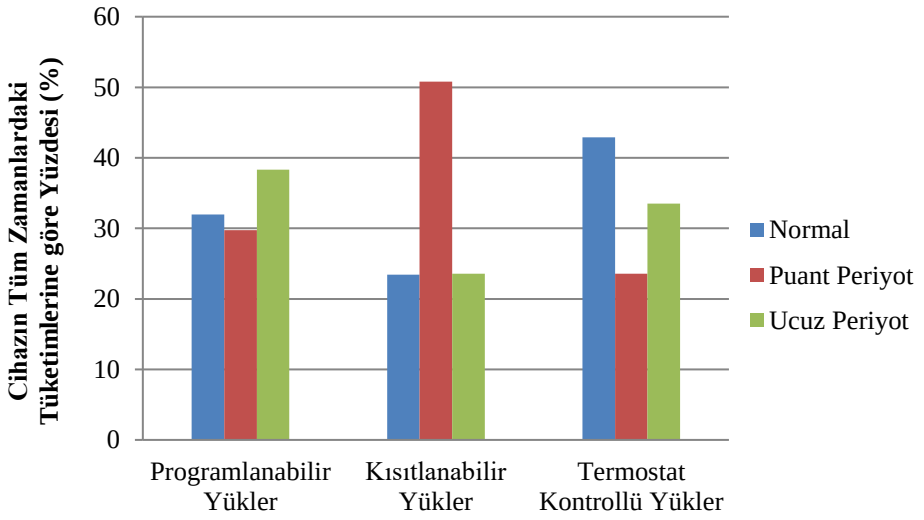
$$p_{puant} = \frac{E_{puant}}{E_{toplam}} \times 100 \tag{3.3}$$

Evlerin genel tüketimleriyle ilgili bu değerlendirmelere rağmen, esnek olmayan cihazların tüketimlerindeki değişimlerden dolayı puant periyot tüketimlerindeki değişimler açıkça görülemeyebilir. Bu nedenle, esnek cihazların her birinin de toplam enerji tüketimleri, puant zamanlardaki tüketimleri ve puant periyot tüketimlerinin tüm zamanlardaki tüketimler içerisindeki payı da ek olarak izlenilmiş ve değerlendirilmiştir. Cihazların Türkiye'deki çok zamanlı tarifenin fiyatlandırma periyotlarına göre ortalama tüketim payları Şekil 3.12 - Şekil 3.15'te verilmiştir.

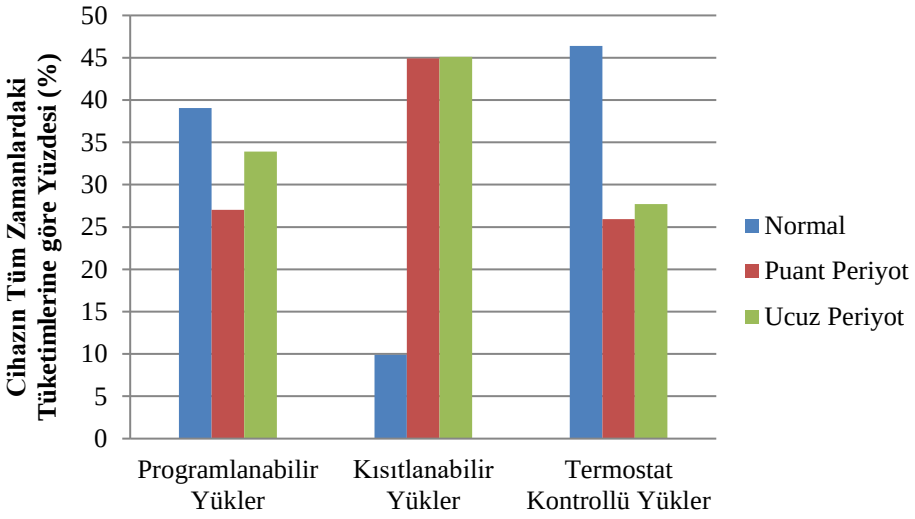
Çizelge 3.6 : İzleme dönemi boyunca evlerin ortalama enerji tüketimleri.

Tüketim Türü (Ev Başına Aylık Ortalama)	Ev-1	Ev-2	Ev-3	Ev-4
Toplam Tüketim (kWh)	109.6	372.6	193.0	304.1
Puant Periyot Tüketimi (kWh)	33.7	103.4	49.4	75.4
Normal Periyot (06.00-17.00) Tüketimlerinin Payı (%)	39.6	39.6	40.7	41.1
Puant Periyot (17.00-22.00) Tüketimlerinin Payı (%)	30.7	27.7	25.6	24.9
Ucuz Periyot (22.00-06.00) Tüketimlerinin Payı (%)	29.7	32.7	33.8	33.9

Yönetilebilir cihazların puant periyot tüketimlerinin tüm zamanlardaki tüketimler içerisindeki ortalama yüzdesi, programlanabilir yükler için %25 ila 30, kısıtlanabilir yükler için Ev-3 hariç %44 ila 50 (Ev-3 için %19), termostat kontrollü yükler için ise %21 ila 26 aralığındadır. Bu değerler, temel tüketim alışkanlıklarını temsil etmekte olup, Nisan-Aralık 2018 uygulama döneminde elde edilen değerlerle karşılaştırma hesaplarında kullanılmıştır.



Şekil 3.12 : İzleme dönemi Ev-1 esnek yüklerinin tarifeye göre tüketimleri.

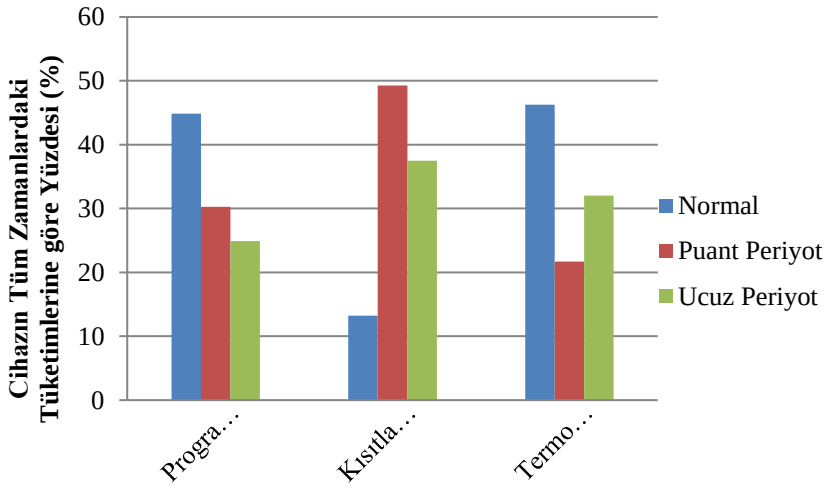


Şekil 3.13 : İzleme dönemi Ev-2 esnek yüklerinin tarifeye göre tüketimleri.

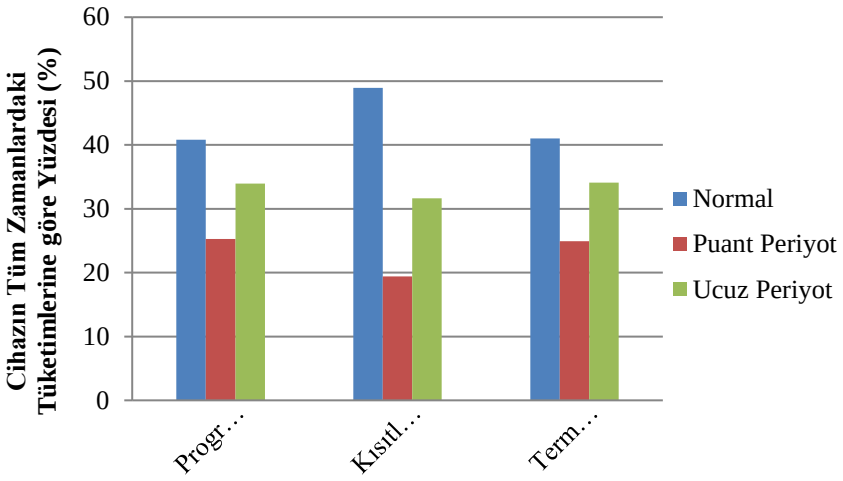
Nisan-Aralık 2018 ayları arasında, oyunlaştırılmış uygulama erişime açılmış ve kullanıcıların platform kullanımı ile tüketim hareketlerindeki değişiklikler incelenmiştir.

Nisan-Aralık 2018 arasındaki uygulama döneminde sisteme giriş ve tamamlanan görev sayıları Şekil 3.16 ve Şekil 3.17'de verilmiştir. Uygulama dönemi başından beri kullanıcıların aylık görev başarısı ortalamaları da Şekil 3.18'de gösterilmiştir.

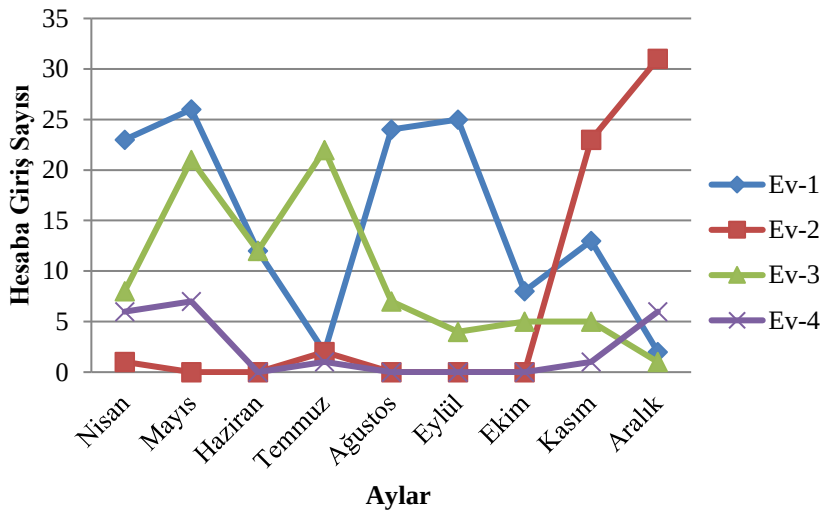
Uygulama döneminin geneline bakıldığında, Ev-1 ve Ev-3, platformu Ev-2 ve Ev-4'e göre daha sık kullanmıştır. Bu durumun Aralık ayında tam tersine döndüğü, Şekil 3.16'da görülmektedir.



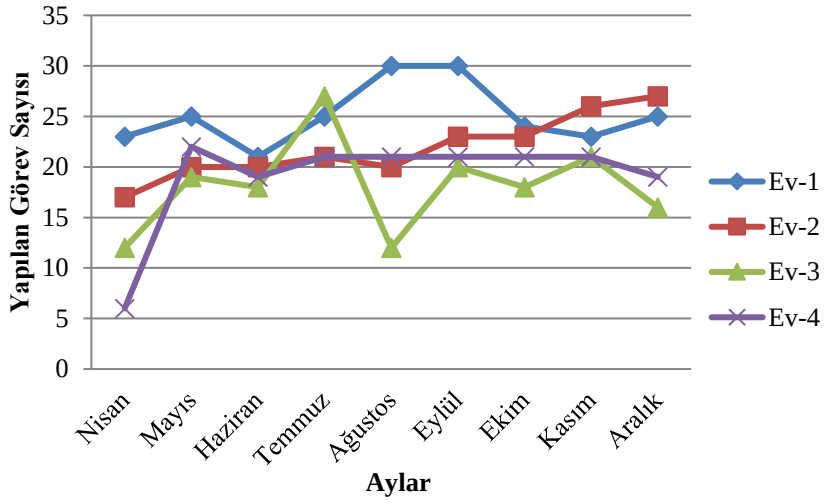
Şekil 3.14 : İzleme dönemi Ev-3 esnek yüklerinin tarifeye göre tüketimleri.



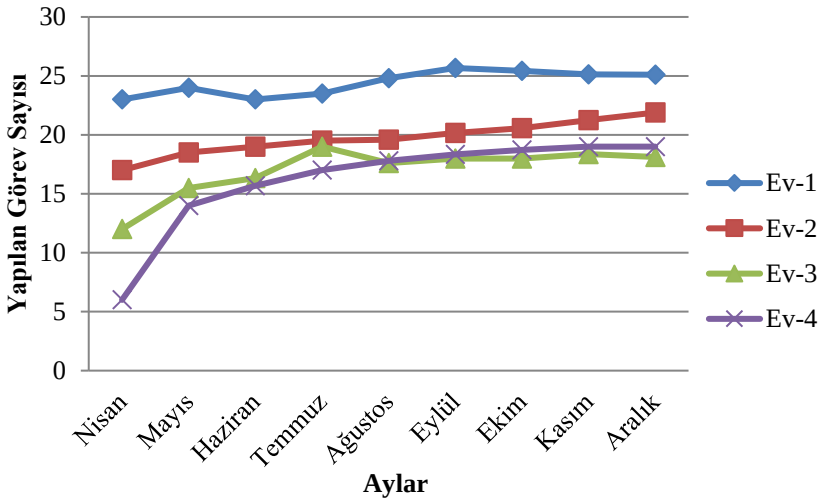
Şekil 3.15 : İzleme dönemi Ev-4 esnek yüklerinin tarifeye göre tüketimleri.



Şekil 3.16 : Kullanıcıların aylık hesaba giriş sayıları.



Şekil 3.17 : Kullanıcıların aylık başarıyla tamamladıkları görev sayıları.



Şekil 3.18 : Uygulama döneminde aylık ortalama görev başarılarının değişimi.

Görev başarıları değerlendirildiğinde ise, Ev-1'in Kasım ve Aralık ayları haricinde önde olduğu, Ev-2 ve Ev-4'ün yine Kasım ve Aralık ayları hariç birbirine yakın görev başarısı sergilediği görülmektedir. Ev-3'ün ise Temmuz ayında en öne geçtiği, diğer aylarda ise Ev-2 ve Ev-4'e yakın olmakla beraber nispeten daha düşük görev başarısına ulaşabildiği gözlemlenmiştir. Aydan aya görülen farklılıklarda evde geçirilen süre de belirleyici bir faktör olup, Ev-1'in Temmuz ayının çoğunda şehir dışında tatile çıkması aylık hesaba giriş sayılarına yansımıştır.

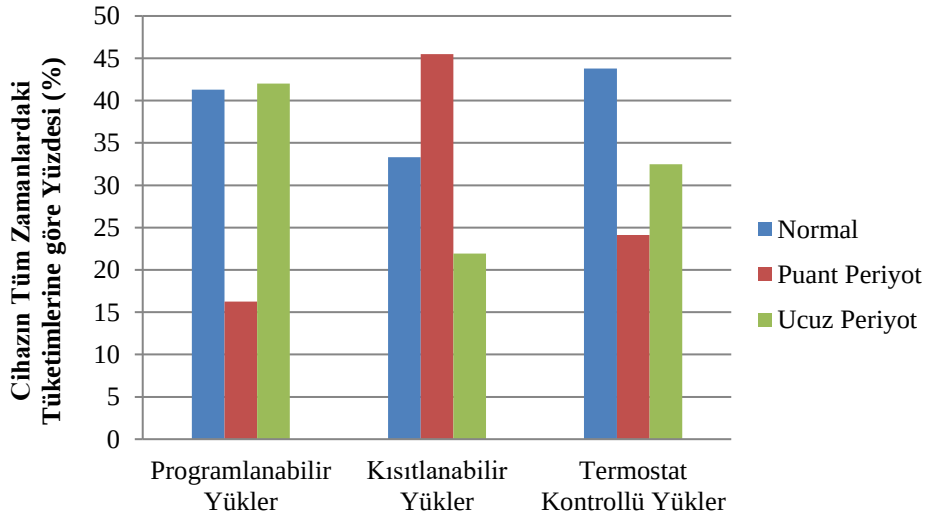
İzleme dönemindeki tüketim istatistiklerini değerlendirme yaklaşımı, uygulama döneminde de tercih edilmiş ve değişiklikler incelenmiştir. Uygulama döneminde evlerin toplam ve puant periyot tüketimleri, fiyatlandırma periyotlarındaki tüketimlerin tüm zamanlardaki tüketimler içerisindeki yüzdeleriyle beraber Çizelge 3.7'de verilmiştir. İzleme dönemine göre görülen değişiklikler de aynı çizelgede yer almaktadır.

Toplam tüketimlere bakıldığında, Ev-1'de %15.5'lik artış, diğer evlerde ise %14.3 ila 57.3'lük azalma görülmektedir. Puant periyot tüketimlerinde ise tüm evlerde %0.3 ila 18.2'lik azalma vardır. Puant tüketimlerin tüm zamanlardaki tüketim içerisindeki payı ise sadece Ev-1'de %4 oranında düşmüş, diğer evlerde ise büyük miktarda değişmemiştir. Evlerin toplam tüketimleri, yönetilen ve yönetilmeyen tüm cihazları kapsadığı için, talep yönetimi başarısını tam olarak yansıtamamaktadır. Platformu aktif olarak kullanan ve esnek cihazlarının tüketim profillerini önemli miktarda değiştiren bir kullanıcı, evine izleme süreci sonrasında aldığı yönetilemeyen başka bir elektrikli cihaz nedeniyle genel tüketimlerinde artışla karşılaşabilir.

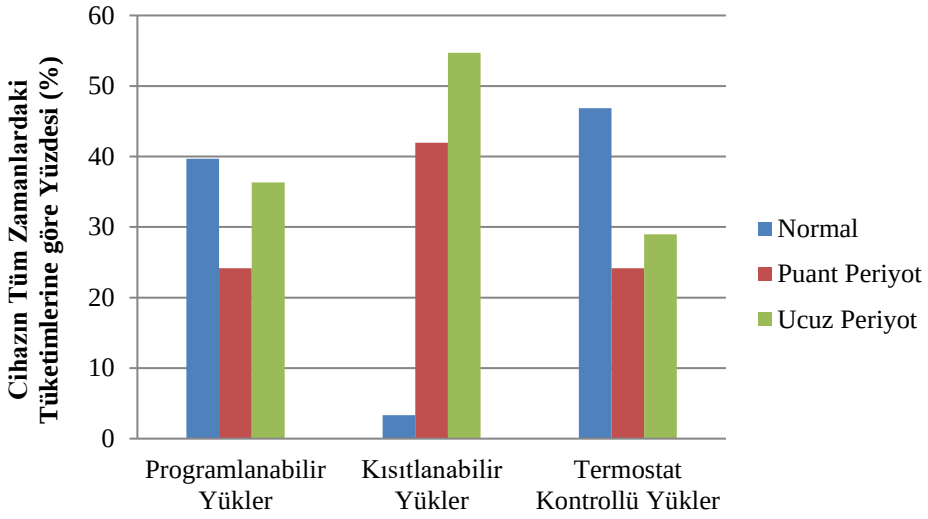
Çizelge 3.7 : Evlerin ortalama enerji tüketimleri ve izleme dönemiyle kıyaslama.

Tüketim Türü (Ev Başına Aylık Ortalama)	Ev-1	Ev-1 Fark	Ev-2	Ev-2 Fark	Ev-3	Ev-3 Fark	Ev-4	Ev-4 Fark
Toplam Tüketim (kWh)	125.1	15.5	347.1	-25.5	178.7	-14.3	246.8	-57.3
Puant Periyot Tüketimi (kWh)	33.4	-0.3	98.2	-5.2	45.8	-3.5	63.6	-18.2
Normal Periyot (06.00-17.00) Tüketimlerinin Payı (%)	44.2	4.7	40.6	1.0	41.2	0.5	43.6	2.4
Puant Periyot (17.00-22.00) Tüketimlerinin Payı (%)	26.7	-4.0	28.4	0.7	25.6	0.0	25.6	0.7
Ucuz Periyot (22.00-06.00) Tüketimlerinin Payı (%)	28.3	-1.5	31.3	-1.4	33.5	-0.3	30.9	-3.0

Platformu pek sık kullanmayan ve esnek cihazlarını bilinçli olarak pek yönetmeyen bir kullanıcı, evinde daha az zaman geçirdiği için veya esnek olmayan cihazlarından bazılarını daha az kullandığı için önemli tasarrufları başarmış olarak görülebilir. Bu nedenle, esnek cihazların tüketimlerine de detaylı olarak bakılmıştır. Elde edilen ortalama tüketim yüzdeleri, Şekil 3.19 - Şekil 3.22'de verilmiştir. İzleme dönemi ile uygulama dönemi arasındaki farklara bakıldığında, programlanabilir yüklere ait puant tüketimlerin Ev-3 hariç %2 ila 13 oranında azaldığı, Ev-3'te ise pek değişmediği (%0.13 artış) gözlemlenmiştir. Puant tüketimlerdeki değişim, tüketimlerin büyük kısmının Ev-1'de normal periyoda, Ev-2 ve Ev-4'te ise ucuz periyoda yük kaydırılması ile gerçekleştirilmiştir. Kısıtlanabilir yüklere ait puant periyot tüketimleri ise Ev-3 haricindeki evlerde %3 ila 5 azalmış, Ev-3'te ise %3 artmıştır. Diğer yandan, kısıtlanabilir yük olan aydınlatma cihazları için uygulanan yönetim yaklaşımı, yük kaydırma değil; yükü doğrudan azaltmaya yöneliktir. Yükün bu şekilde azaltılmasından dolayı hem genel tüketim, hem de puant tüketimler beraber düşüş gösterebileceği için tüketim payları yerine doğrudan tüketim miktarlarına bakılması tercih edilmektedir. Aydınlatma cihazların ait toplam tüketimler, 100 ila 3280 Wh civarında azalmıştır.

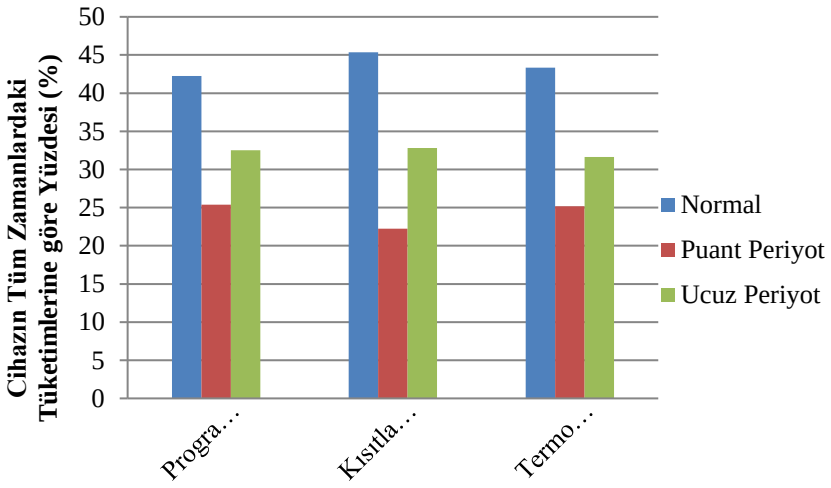


Şekil 3.19 : Uygulama dönemi Ev-1 esnek yüklerinin tarifeye göre tüketimleri.

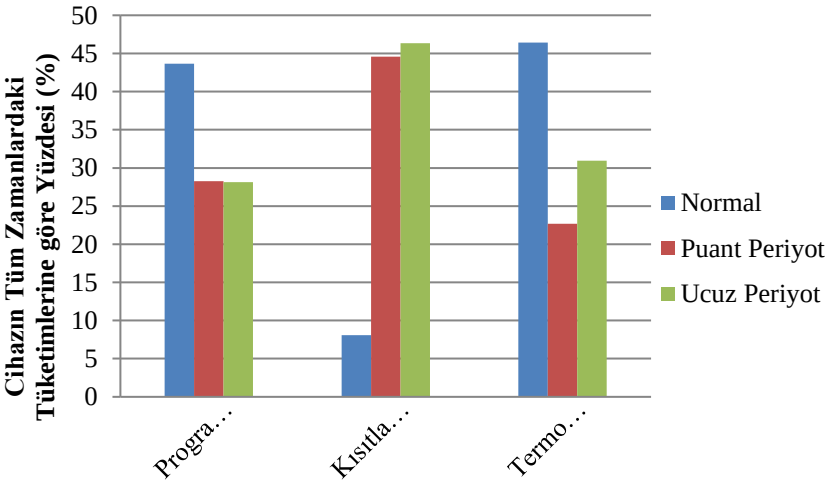


Şekil 3.20 : Uygulama dönemi Ev-2 esnek yüklerinin tarifeye göre tüketimleri.

Evlerde kullanılan aydınlatma cihazlarının farklı kurulu güçlerinden dolayı, bu azalma miktarları her evin kendi geçmiş tüketimine oranlanarak yüzde ile ifade edildiğinde, Ev-1 ile Ev-3'ün aydınlatma tüketimleri %3 ila 4, Ev-2 ve Ev-4'ün puant tüketimleri ise %46 ila 47 oranında azalmıştır. Puant periyot tüketimleri ise Ev-3'te 684 Wh ve %9 oranında artarken, diğer evlerde 444 ila 1453 Wh miktarında, %34 ila 68 oranında azalmştır. Termostat kontrollü yükler için ise puant periyot tüketimleri Ev-2 hariç %1'in altında artışlar ve Ev-2'de %2'lik azalma ile pek değişiklik göstermemiştir.



Şekil 3.21 : Uygulama dönemi Ev-3 esnek yüklerinin tarifeye göre tüketimleri.



Şekil 3.22 : Uygulama dönemi Ev-4 esnek yüklerinin tarifeye göre tüketimleri.

Kullanıcıların yönetilebilir yüklerindeki tüketim değişimlerinin platform kullanımı ve verilen görevlerle ilişkisini daha net görebilmek amacıyla daha detaylı bir analize de başvurulmuştur. Kullanıcıların platforma giriş yaptıkları günlerde başarıyla tamamladıkları görevler, bilinçli olarak yerine getirilen görevler olarak ele alınmış ve bu görevlerle, ilgili yönetilebilir cihazların tüketim değişiklikleri arasındaki ilişki korelasyon analizi ile incelenmiştir. İki değişken (x ve y) arasındaki korelasyon analizi için kullanılan ifadeler denklem 3.4 - 3.7 ile verilmiştir. Denklemlerde n, analize dahil edilen örnek sayısını, X ve Y, x ve y değişkenlerinin aldığı her bir değeri, $\bar{X}$ ve $\bar{Y}$ ortalamaları, s_x^2 ve s_y^2 örneklerin varyanslarını, $Cov(x,y)$, her iki değişkene ait örneklerin kovaryansını, r ise korelasyon katsayısını temsil etmektedir.

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} \quad , \quad \bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} \tag{3.4}$$

$$s_x^2 = \frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1} \quad , \quad s_y^2 = \frac{\sum (Y - \bar{Y})^2}{n-1} \tag{3.5}$$

$$Cov(x,y) = \frac{\sum \left((X - \bar{X}) \times (Y - \bar{Y})\right)}{n-1} \tag{3.6}$$

$$r = \frac{Cov(x,y)}{\sqrt{s_x^2 \times s_y^2}} \tag{3.7}$$

Korelasyon analizi sonuçları Çizelge 3.8'de verilmiştir. Yönetilebilir yüklerle ilgili yapılan görevler ile puant periyot tüketimleri ve genel tüketimlerin değişimi arasındaki ilişki Ev-1'in programlanabilir yükleri hariç 0.65'in üzerinde, çoğunlukla da 0.80'in üzerinde çıkarak güçlü bir ilişki ortaya koymaktadır. Ev-1'in programlanabilir yüklerle tüketim değişimleri ilişkisinin ise diğer ilişkilere göre daha az çıkmasının temel sebebi, Ev-1'deki kullanıcıların bu yükleri, verilen görevler haricinde de puant periyotta olabildiğince az kullanmaları, bu nedenle her ay oldukça yüksek tasarruf değerleri elde etmeleridir.

Çizelge 3.8 : Etkin kullanıcılar için görevler ile tüketim değişimlerinin ilişkisi.

Korelasyon Analizi İçeriği	Ev-1	Ev-3
Programlanabilir Yükler için Görev-Toplam Tüketim İlişkisi	0.43	0.83
Programlanabilir Yükler için Görev-Puant Periyot Tüketimi İlişkisi	0.42	0.78
Kısıtlanabilir Yükler için Görev-Toplam Tüketim İlişkisi	0.93	0.65
Kısıtlanabilir Yükler için Görev-Puant Periyot Tüketimi İlişkisi	0.86	0.86
Termostat Kontrollü Yükler için Görev-Toplam Tüketim İlişkisi	0.85	0.87
Termostat Kontrollü Yükler için Görev-Puant Periyot Tüketimi İlişkisi	0.87	0.84
Ev Geneli için Görev-Toplam Tüketim İlişkisi	0.87	0.86
Ev Geneli için Görev-Puant Periyot Tüketimi İlişkisi	0.74	0.88

3.2.4 Çok zamanlı tarifeye göre talep yönetim potansiyeli ve mali analizi

Çalışmanın bu bölümünde, 3.2.1'de sunulan yönetim potansiyeli analizi yöntemleri detaylı yönetilebilir yük verilerine uygulanarak, mevcut tarife ve piyasa yapılarında elde edilebilecek faydalar incelenmiştir. Öncelikle, Nisan-Aralık 2018 arasındaki dönemde, detayları 3.2.3'te sunulan gerçek evlerdeki saha uygulaması verilerinden yararlanılmıştır. Kullanılan akıllı sayaçlar, tüketim verilerini, detayları Çizelge 3.4'te verilen çok zamanlı tarifenin fiyatlandırma periyotlarına göre kaydetmektedir. 9 aylık dönemde günlük olarak kaydedilen bu verilere göre kullanıcıların talep yönetimi yaparak faturalarından sağlayabilecekleri tasarruf miktarları ve yönetilebilir yüklerin bu tasarruflardaki payı Çizelge 3.9'da verilmiştir.Ev-1 çamaşır makinesine ait puant tüketimlerinin tamamını diğer zamanlara kaydırdığı için elde edebileceği fazladan bir tasarrufa sahip değildir. Ev-3'ün bulaşık makinesi enerji tüketimi başka yüklerle beraber izlenildiği için tek başına analize elverişli değildir.

Ev-3 için çamaşır makinesinin tasarruflardaki payının yüksek olmasının sebebi, diğer evlere göre daha çok bireyin yaşadığı (6 kişi) bu evde makinenin daha sık kullanılmasıdır. Günlük tüketim istatistiklerinden yararlanılarak, yönetilebilir yüklerin ayın kaç günü puant periyot tüketimlerine sahip olduğu ve bu tüketimlerin aralıkları da incelenmiştir. İlgili incelemenin bulguları Çizelge 3.10'da bulunmaktadır.

Çamaşır ve bulaşık makineleri, hem saha uygulamasında kullanıcılarca daha sık yönetildikleri için, hem de ay genelinde diğer yönetilebilir yüklere göre daha az kullanıldıkları için ay boyunca puant periyottaki muhtemel bir yönetim etkinliğine denk gelme ihtimalleri düşüktür.

Çizelge 3.9 : Evlerin tasarruf potansiyeli ve yönetilebilir yüklerin payı.

Katılımcı	Aylık Ortalama Tasarruf (TL)	Ortalama Tasarrufun Fatura Bedeline Oranı (%)	Yönetilebilir Yüklerin Tasarruflardaki Payı (%)			
			Çamaşır Makinesi	Bulaşık Makinesi	Aydınlatma	Buzdolabı
Ev-1	6	13%	0	6	12	82
Ev-2	19	15%	10	22	8	60
Ev-3	15	21%	40	-	7	53
Ev-4	16	20%	15	30	2	53

Çizelge 3.10 : Yönetilebilir yüklerin puant periyotta çalıştığı günler ve miktar.

Yönetilebilir Yük	Puant Periyotta Tüketim Olan Günler	Tüketim Miktarı Aralığı (kWh)
Bulaşık Makinesi	1-7	0.30-2.50
Çamaşır Makinesi	1-7	0.20-2.00
Aydınlatma	12-31	0.05-0.50
Buzdolabı	30-31	0.20-1.60

Diğer yandan çalışma başına tüketim miktarları 2.50 kWh'e kadar erişebilmektedir. Aydınlatma yükleri ise, ay boyunca daha sık kullanılmakta olup, günlük tüketim miktarları 0.50 kWh'i geçmemektedir. Yine de sık kullanımları ve yönetildiklerinde talebi başka zamanlara kaydırmayıp doğrudan azaltmaları sebebiyle, her gün düzenli olarak yönetilmeleri düşünüldüğünde Çizelge 3.6'da verilen aylık tasarruf miktarlarına önemli katkıları bulunmaktadır.

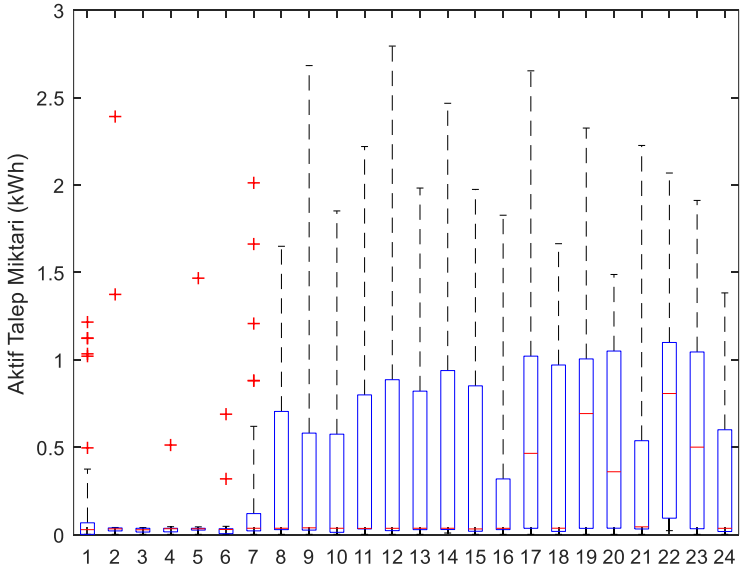
Buzdolapları ise, hergün puant periyotta tüketim gerçekleştirmeleri ve tüketim aralıklarının aydınlatma ile diğer yönetilebilir yükler arasında değerlerde olması sebebiyle, düzenli yönetilebilmeleri durumunda, kullanıcıların elde edebilecekleri fazladan tasarrufların en büyük payına sahiptir. Buzdolaplarının sıcaklık kontrol arayüzlerinin çok kullanıcı dostu olmaması ve ev kullanıcılarının buzdolaplarının sıcaklık ayarını sıkça değiştirmeye alışkın olmaması, saha uygulamasında bu yüklerin etkin yönetimini kısıtlamıştır. Aydınlatma yüklerinde olduğu gibi, yeni nesil buzdolaplarının, klimalar gibi uzaktan akıllı cihazlarla kontrolü mümkün hale geldiğinde, otomatik yönetim uygulamaları daha kolayca uygulanabilecek ve bu yönetilebilir yükün gerçek potansiyelinden faydalanılabilecektir.

3.2.5 Elektrik piyasalarına göre talep yönetim potansiyeli ve mali analizi

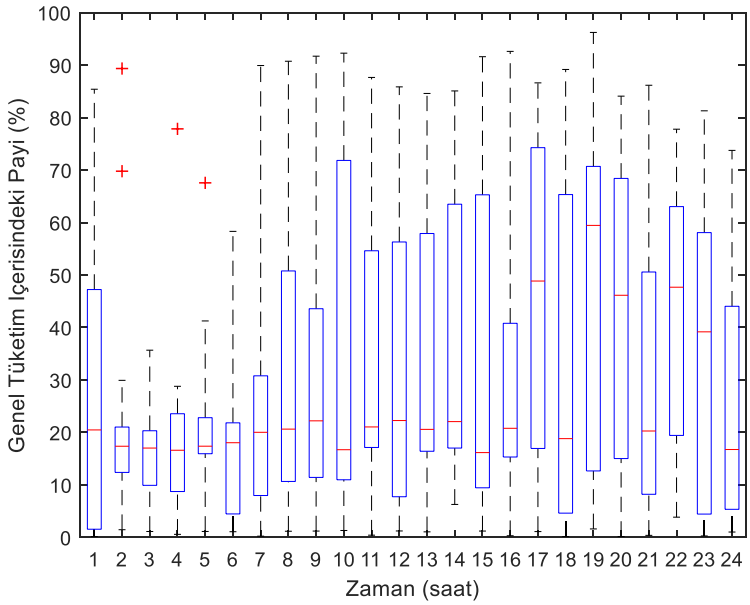
Çeşitli yönetilebilir yükleri bulunan farklı kullanıcıların gün boyunca piyasada kullanılmak üzere sunabilecekleri yönetilebilir yük miktarları ve bu miktarların gün öncesi ile gün içi elektrik piyasasında değerlendirilmesiyle kullanıcılara sağlayabileceği gelirler MATLAB programı kullanılarak incelenmiştir.

Ev kullanıcıları için tüketim profilleri, detayları bölüm 2.3'te verilen Loughborough Üniversitesi'nin ev kullanıcısı talep profili üreteci kullanılarak üretilmiştir. Öncelikle, örnek bir ev için 31 günlük tüketim profili üretilmiş, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, kurutma makinesi, buzdolabı ve termosifon yönetilebilir yükler olarak ele alınıp cihaz tüketim profilleri ayrıca kaydedilmiştir. 31 günlük tüketim profiline göre günün her saatinde yönetilebilecek yük miktarı Şekil 3.23'te, bu miktarın evin genel tüketimi içerisindeki payı ise Şekil 3.24'te verilmiştir. Her iki şekilde de, enine kırmızı çizgiler ortalama değerleri, mavi bar, tüm değerlerin %25 ile %75'inin sınırlarını, siyah kesikli çizgi, ortalama hesabına katılan tüm değerlerin aralığını ve kırmızı artı simgesi (+) ise diğer değerlerin oldukça uzağında gözlemlenmiş uç değerleri temsil etmektedir. Şekil 3.24'e göre, evdeki yönetilebilir yük miktarının en yüksek değeri 3 kW'ı, ortalama değeri ise 1 kW'ı aşmamaktadır. 08.00-24.00 saatleri haricinde yönetilebilir yük potansiyeli oldukça düşük olup, bu saatler içerisinde 500 Wh'in üzerinde değerler gözlemlenebilmektedir. Özellikle 17.00-23.00 saatlerinde yönetilebilir yük miktarının ortalama değeri dahi 500 Wh'in üzerine çıkabilmektedir.

Şekil 3.24'ten görülebileceği üzere, ortalama yönetilebilir yük miktarı gün boyunca her saat genel tüketimin %15'inin üzerinde olup 17.00-23.00 saatleri arasında %60'lara kadar ulaşabilmektedir. Ortalama değerlerin yanısıra uç değerlere bakıldığında, 02.00-05.00 saatleri arasında %40 ve altında seyreden yönetilebilir yük yüzdesi, günün diğer saatlerinde çoğunlukla %70'in üzerindedir. Sabah ve akşam saatlerinde uç değerlerin %90'ın da üzerine çıkabildiği görülmektedir.



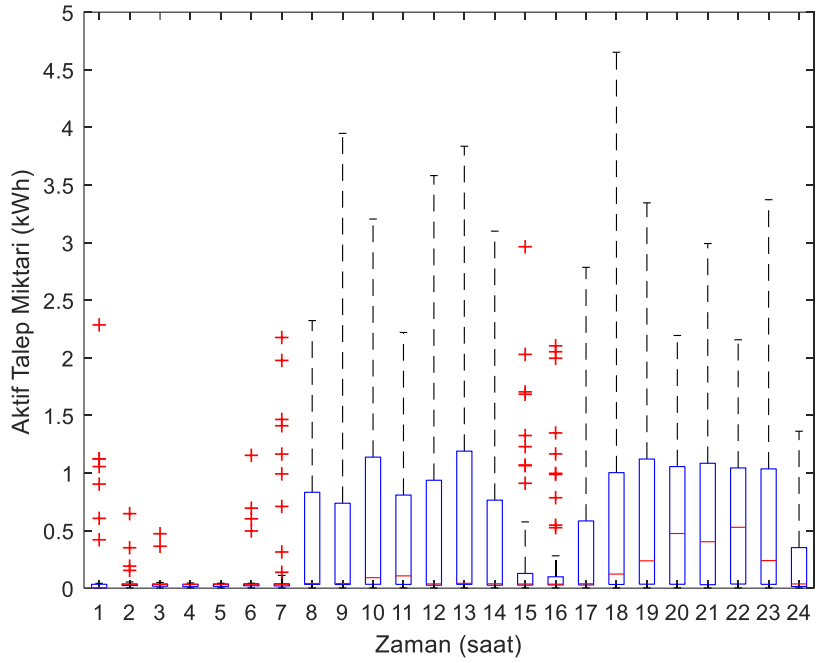
Şekil 3.23 : Örnek bir ev için saatlik yönetilebilir talep miktarı.



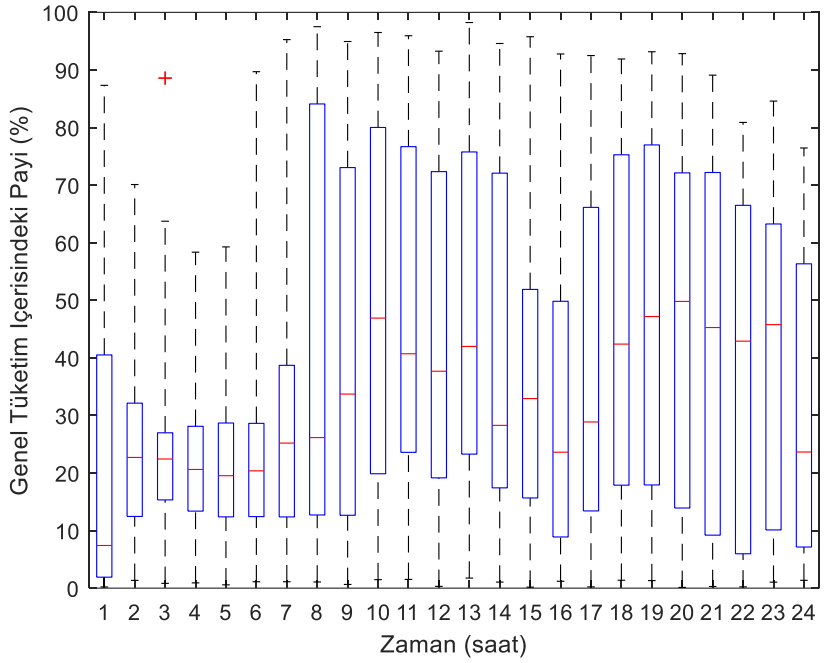
Şekil 3.24 : Örnek bir evde yönetilebilir talebin genel tüketimdeki yüzdesi.

Aynı üreteç kullanılarak, 55 ev kullanıcısı için 1'er günlük talep profilleri üretilmiştir. 55 ev kullanıcısının incelenmesinin nedeni, IEEE Avrupa tipi Alçak Gerilim Dağıtım Fideri'nde 55 kullanıcı bulunmasıdır [73]. Örnek ve doğruluğu IEEE tarafından onaylanmış bir Avrupa tipi dağıtım fiderindeki kullanıcı sayısının yönetilebilir yük potansiyelinin incelenmesi hedeflenmiştir. Her ev için, evde yer alan esnek olmayan cihaz türleri rastlantısal olarak belirlenmiş ve farklı profiller oluşturulmuştur. 55 kullanıcı için 1 günden daha fazla tüketim profilinin bu çalışmada tercih edilmemesinin sebebi, evlerde yer alan cihazların tekil modellerin, belirli tüketimlere dayalı olması ve 55 kullanıcının uzun vadedeki tüketiminin yeterince doğru temsil edilemeyeceğinin düşünülmesidir. Bu tür çok kullanıcılı uzun dönem analizleri için sahadaki çok sayıda gerçek kullanıcıdan toplanmış akıllı sayaç verilerinin daha kullanışlı olacağı söylenebilir. Bu nedenle çok sayıda kullanıcının rastlantısal tüketim profilleri 1 günlük bir zaman dilimini kapsayacak şekilde üretilmiş ve analizlerde kullanılmıştır.

55 ev kullanıcısının, bireysel tüketimlerine dayalı saatlik yönetilebilir yük miktarları Şekil 3.25'te, bu miktarların bireysel ev tüketimleri içerisindeki yüzdeleri Şekil 3.26'da verilmiştir. Ev başına yönetilebilir yük miktarları ağırlıklı olarak 08.00-14.00 ve 17.00-23.00 saatleri arasında görülmektedir. Yönetilebilir talebin genel tüketim içerisindeki yüzdesinin ortalama değeri günün neredeyse her saatinde %20'nin üzerinde olup, tüketim yüksek olduğu saatlerde %40'ın üzerinde seyretmektedir.

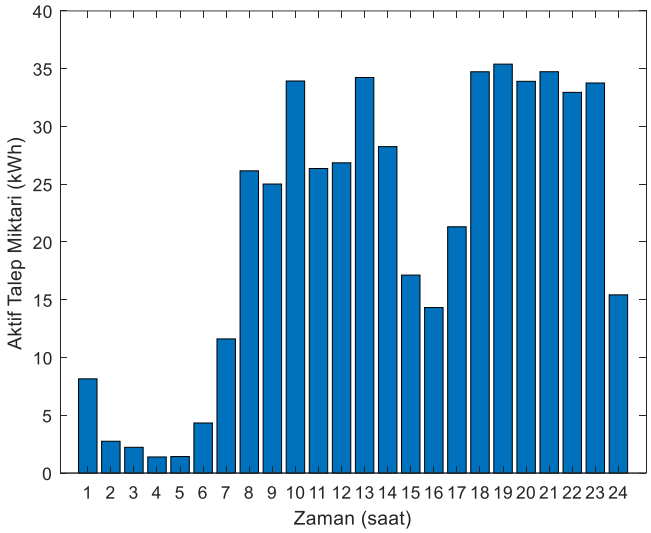


Şekil 3.25 : 55 ev için tekil olarak saatlik yönetilebilir talep miktarı.

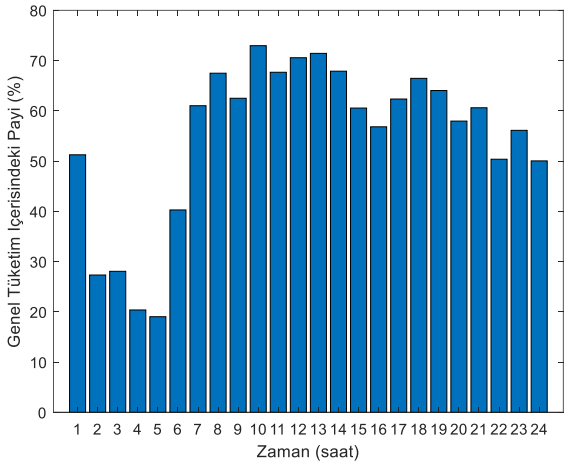


Şekil 3.26 : 55 evde tekil olarak yönetilebilir talebin genel tüketimdeki yüzdesi.

Uç değerlere bakıldığında günün çoğunluğunda %75'in üzerinde yönetilebilir yük oranlarına rastlanmıştır. 55 kullanıcının dağıtım fideri genelindeki saatlik toplam yönetilebilir talep miktarları Şekil 3.27'de, bu miktarların genel tüketim içerisindeki yüzdesi ise Şekil 3.28'de gösterilmiştir.



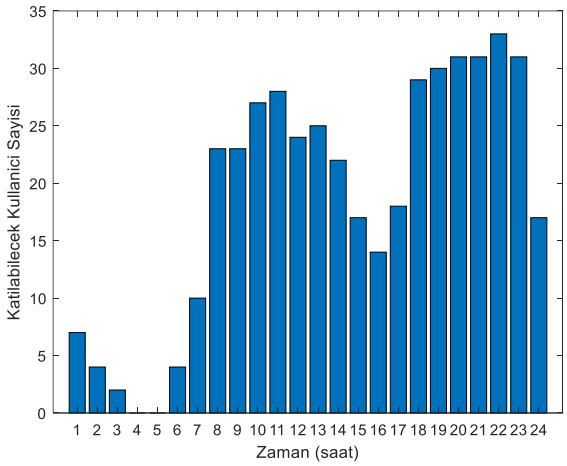
Şekil 3.27 : 55 ev için saatlik olarak yönetilebilir toplu talep miktarı.



Şekil 3.28 : 55 evde saatlik yönetilebilir toplu talebin genel tüketimdeki yüzdesi.

55 kullanıcının toplu olarak sunabileceği saatlik yönetilebilir talep miktarı 07.00-24.00 saatleri arasında 10 ila 35 kWh, diğer saatlerde ise çoğunlukla 5 kWh'ın altında değerlerdedir. Yönetilebilir bu talebin genel tüketim içerisindeki yüzdesine bakıldığında tüm zamanlarda %15'in üzerinde olduğu görülmektedir. Yönetilebilir talep, 07.00-24.00 saatleri arasında ve 01.00 saatinde %45 ila 70 arasında, diğer saatlerde ise %30'un altında değişiklik göstermektedir. Yönetilebilir yükü 100 Wh'in üzerinde olan kullanıcılar, en azından yönetilebilir yüklerinden biri aktif olarak çalışan kullanıcılar olarak kabul edilmiştir. Daha düşük değerler ise yönetilebilir yüklerin bekleme modundaki tüketimleri olarak kabul edilmiştir. Yapılan bu kabule göre 55 kullanıcılık bir dağıtım bölgesinde saatlik olarak yönetilebilir yükleriyle yanıt vermeye hazır tüketici sayısı Şekil 3.29'da gösterilmiştir.

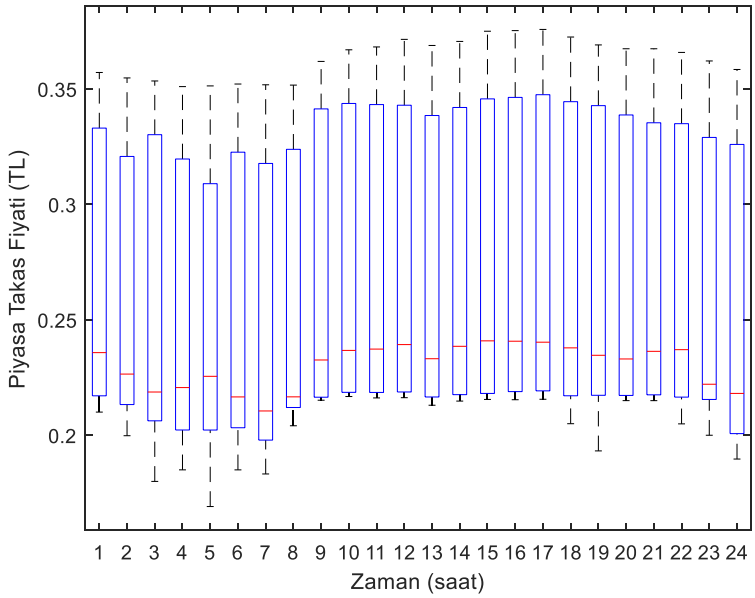
Saatlik yönetim olaylarına katkı sağlayabilecek kullanıcı sayısı 07.00-24.00 saatlerinde 10 ila 33 aralığında olup dikkati çekmektedir.



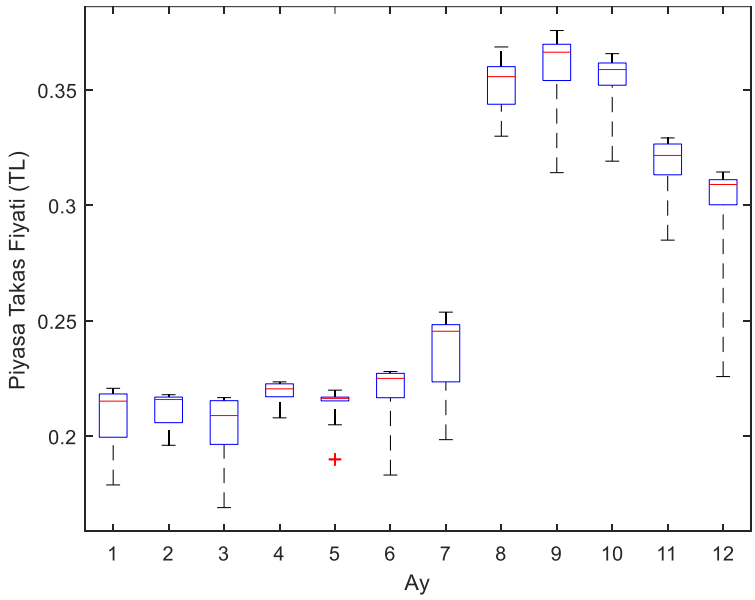
Şekil 3.29 : Gün boyunca saatlik yönetim olayına katılabilecek kullanıcı sayısı.

EPİAŞ'ın gün öncesi ve gün içi elektrik piyasasında 2018 yılına ait saatlik piyasa takas fiyatları kullanılarak elde edilebilecek mali gelirler incelenmiştir. Saatlere ve aylara göre gün öncesi piyasası fiyat aralıkları sırasıyla Şekil 3.30 ve Şekil 3.31'de verilmiştir. Saatlere ve aylara göre gün içi piyasası fiyat aralıkları ise Şekil 3.32 ve Şekil 3.33'te verilmiştir. Gün öncesi piyasasında saatlik fiyatlar günün çoğunluğunda 0.2 ila 0.35 TL arasında değerlerde olup, ortalama değerler 0.25 TL'nin altındadır. Yüksek fiyat değerleri çoğulukla saat 10.00-22.00 arasında gözlemlenmiştir. Aylık fiyat değişimlerine bakıldığında Ağustos ila Aralık ayları arasında fiyatların, diğer aylara göre %50 daha fazla olabileceği göze çarpmaktadır. Gün içi piyasada, saatlik fiyatların hem aralıklarının hem de ortalamada değerlerinin gün öncesi piyasaya göre biraz daha yüksek değerlerde seyrettiği görülmektedir. Aylık fiyat ortalamaları ise gün öncesi piyasaya fazlasıyla yakın değerlerde olup değer aralıklarında küçük farklılıklar göze çarpmaktadır.

Örnek bir ev kullanıcısının tüm yıla ait piyasa verilerine göre günün farklı saatlerinde elde edebilecekleri gelir aralığı gün öncesi elektrik piyasası için Şekil 3.34'da, gün içi elektrik piyasası için ise Şekil 3.35'de verilmiştir. Her iki piyasada elde edilebilecek saatlik gelirler birbirine oldukça yakın olup, günün çoğunluğunda saat başına ortlama 0.4 TL'nin üzerindedir. Uç değerler ise genellikle 0.65 TL ve üzerinde olup 1 TL'ye varabilmektedir. Gün içi piyasada gelir aralıklarının, az bir farkla da olsa gün öncesi piyasaya göre daha geniş olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.30 : Gün öncesi elektrik piyasası 2018 yılı saatlere göre fiyat aralığı.



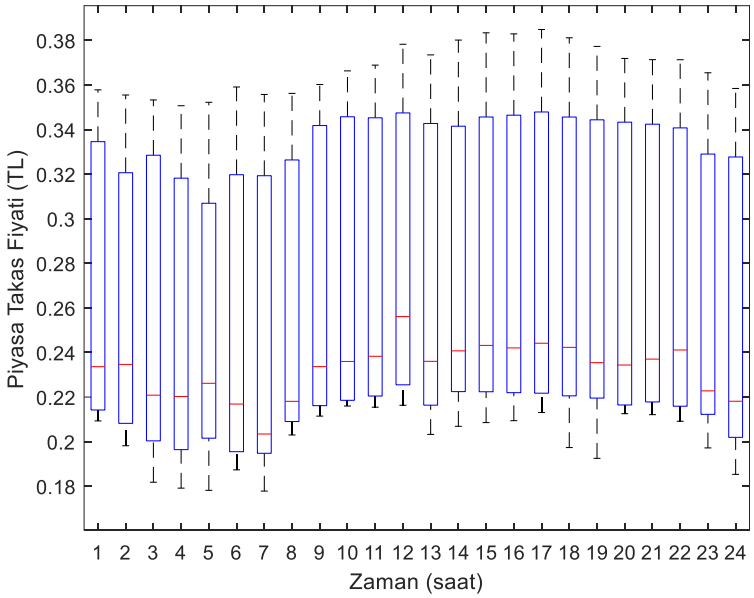
Şekil 3.31 : Gün öncesi elektrik piyasası 2018 yılı aylara göre fiyat aralığı.

Bir evde günde bir saatlik yönetim yapılarak elde edilebilecek saatlik gelirlerin aydan aya değişimi ise gün öncesi piyasası için Şekil 3.36'te gün içi piyasası için ise Şekil 3.37'de verilmiştir. Aylık gelir aralıkları her iki piyasa için birbirine oldukça yakındır.

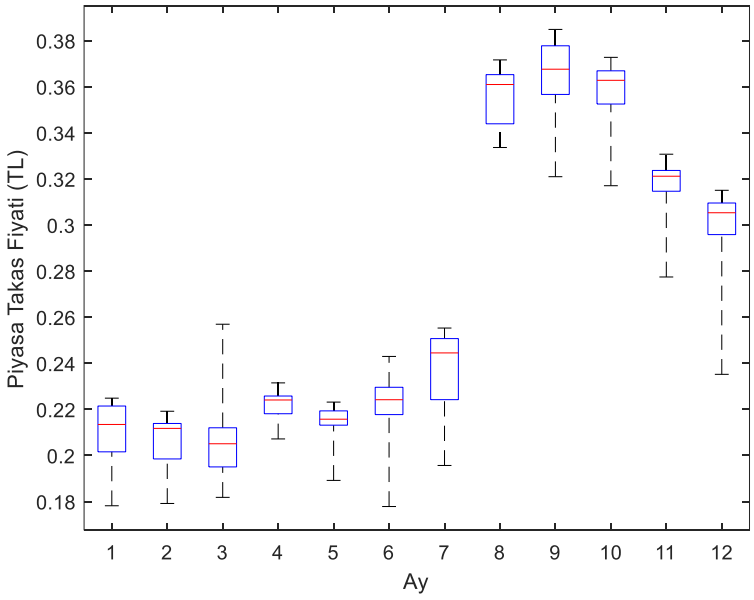
55 evin günün farklı saatlerinde elde edebileceği gelir aralığı gün öncesi elektrik piyasası için Şekil 3.38'de, gün içi elektrik piyasası için ise Şekil 3.39'da verilmiştir.

Saatlik toplu gelirler günün çoğunluğunda 4 TL ve üzerinde olup 12 TL değerine varabilmektedir.

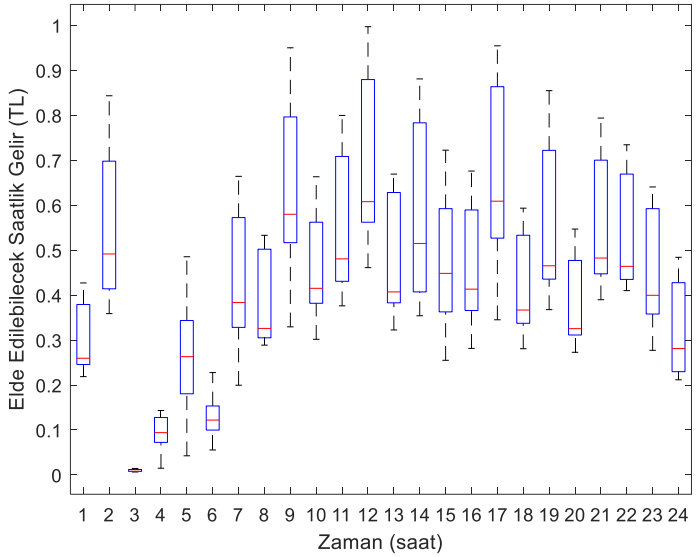
Ortalama gelir değerleri ise yoğun tüketim zamanlarında 6 ila 8 TL arasındadır. 55 evde günde bir saatlik yönetim yapılarak elde edilebilecek saatlik gelirlerin aydan aya değişimi ise gün öncesi piyasası için Şekil 3.40'de gün içi piyasası için ise Şekil 3.41'de verilmiştir. Aydan aya değişimlerde her iki piyasa gelirlileri arasında önemli bir fark bulunmamaktadır.



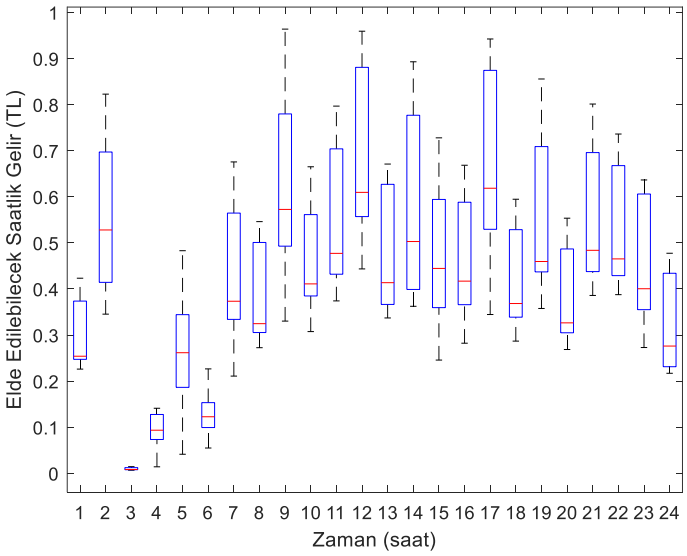
Şekil 3.32 : Gün içi elektrik piyasası 2018 yılı saatlere göre fiyat aralığı.



Şekil 3.33 : Gün içi elektrik piyasası 2018 yılı aylara göre fiyat aralığı.



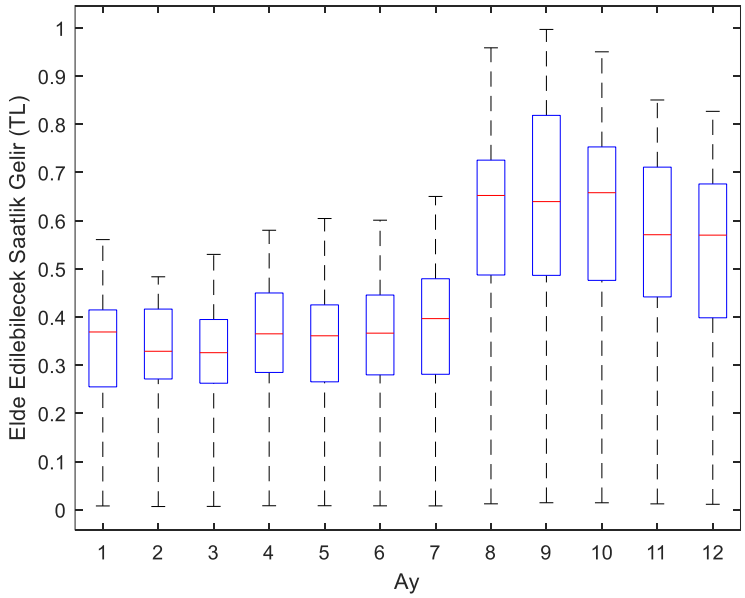
Şekil 3.34 : Örnek bir ev için gün öncesi piyasada saatlik gelir miktarı.



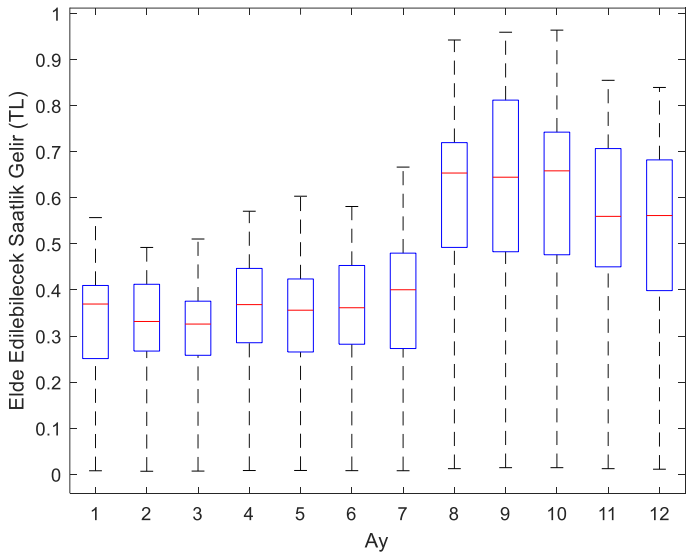
Şekil 3.35 : Örnek bir ev için gün içi piyasada saatlik gelir miktarı.

3.3 Toplu Talep Yönetimi için Yeni Bir Teşvik Yapısının Geliştirilmesi

Mevcut talep yönetimi programlarında son kullanıcılara sunulan teşvikler, önceden belirlenmiş tarifelerin fiyatlarına ve genellikle kişisel performanslara bağlıdır. Dolayısıyla, katılımcıların birbirlerini daha iyisini yapmaya teşvik edecekleri bir ortam oluşmamaktadır. Her katılımcı sunulan fiyatları kendi bakış açısından değerlendirerek, cazipliğine göre belirli bir performans ortaya koymakta veya yönetime katılma veya katılmama kararı almaktadır. Toplu talep yöneticilerinin sunabileceği farklı finansal teşvik türleri Şekil 3.42'de verilmiştir.

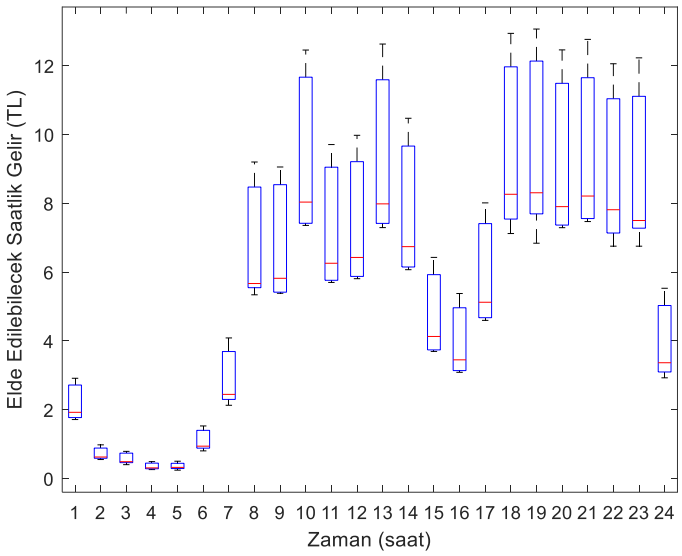


Şekil 3.36 : Örnek bir evin gün öncesi piyasada aylara göre saatlik gelir aralığı.

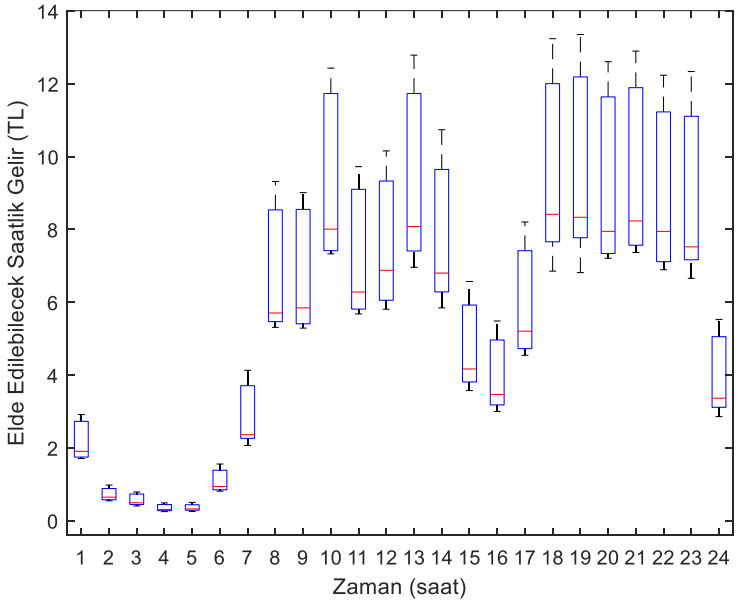


Şekil 3.37 : Örnek bir evin gün içi piyasada aylara göre saatlik gelir aralığı.

Katılım karşılığında sağlanan sabit değerde teşvik, katılımcıların performansının ölçülemediği durumlarda tercih edilir. Herkese eşit ve performanstan bağımsız teşvik sağlanmakta olduğu için katılımcıların talep yönetim performanslarını arttırmaları veya azaltmalarının kazanımlarına bir etkisi olmamaktadır. Bu nedenle diğer teşvik yapılarından daha verimsizdir. Bireysel performansa dayalı teşvik, kişilerin performanslarının ölçülebildiği programlarda tercih edilir. Herkes kendi performansına göre ödüllendirildiği için, katılımcılarda bireysel yönetim performansını arttırma yönünde bir eğilimi tetikler.

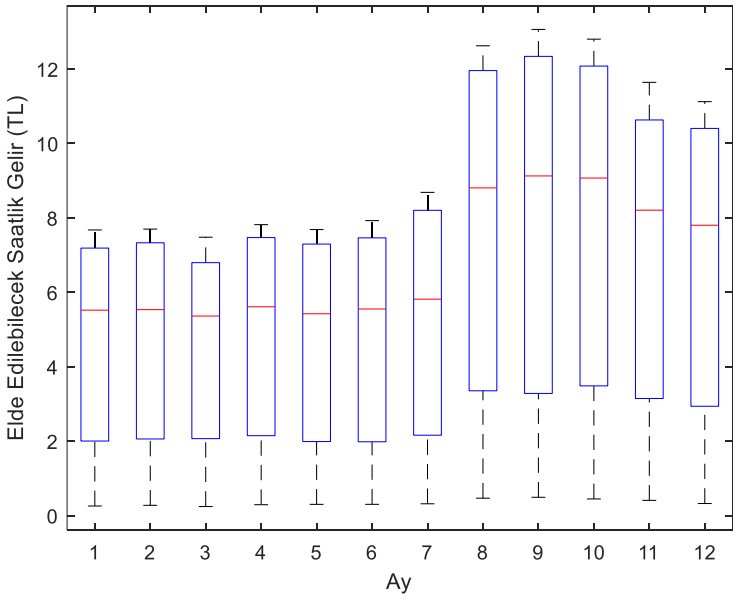


Şekil 3.38 : 55 evin gün öncesi piyasada saatlik gelir miktarı.

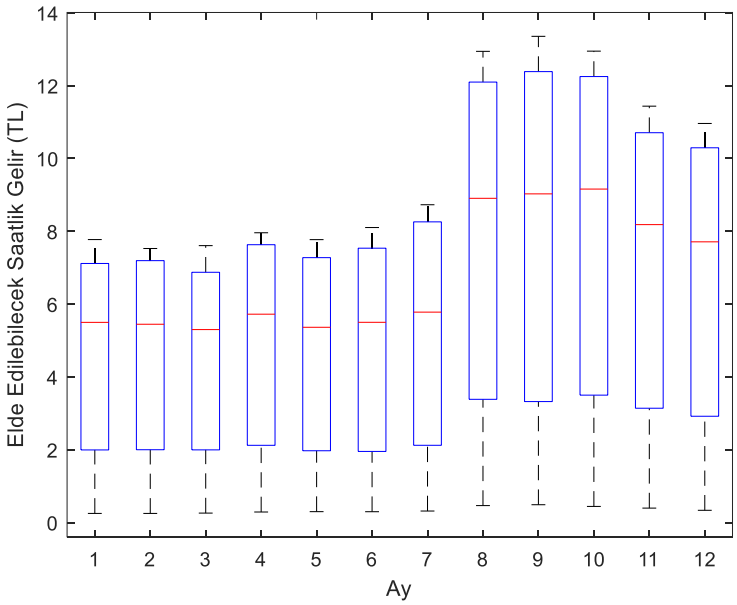


Şekil 3.39 : 55 evin gün içi piyasada saatlik gelir miktarı.

Diğer yandan, katılımcıların bir arada hareket etmelerini teşvik edici herhangi bir unsur bulundurmamaktadır. Bu durum, sunulan birim performans teşvik miktarını yeterli görmeyen kullanıcıların toplu yönetime dahil edilememesine sebep olur. Değişken veya dinamik teşvik, genelde birkaç yönetim uygulamasının bir bütün olarak katılımcılara sunulması durumunda veya bir yönetim olayı içinde beklenmedik durumlar yaşandığında tercih edilebilecek bir yaklaşımdır. Diğer yandan, oldukça hızlı ve otonom bir haberleşme ve kontrol altyapısı gerektirir. Ayrıca, değişken olması sebebiyle, planlı kontrol yaklaşımları geliştirilmesine pek imkan olmaz.



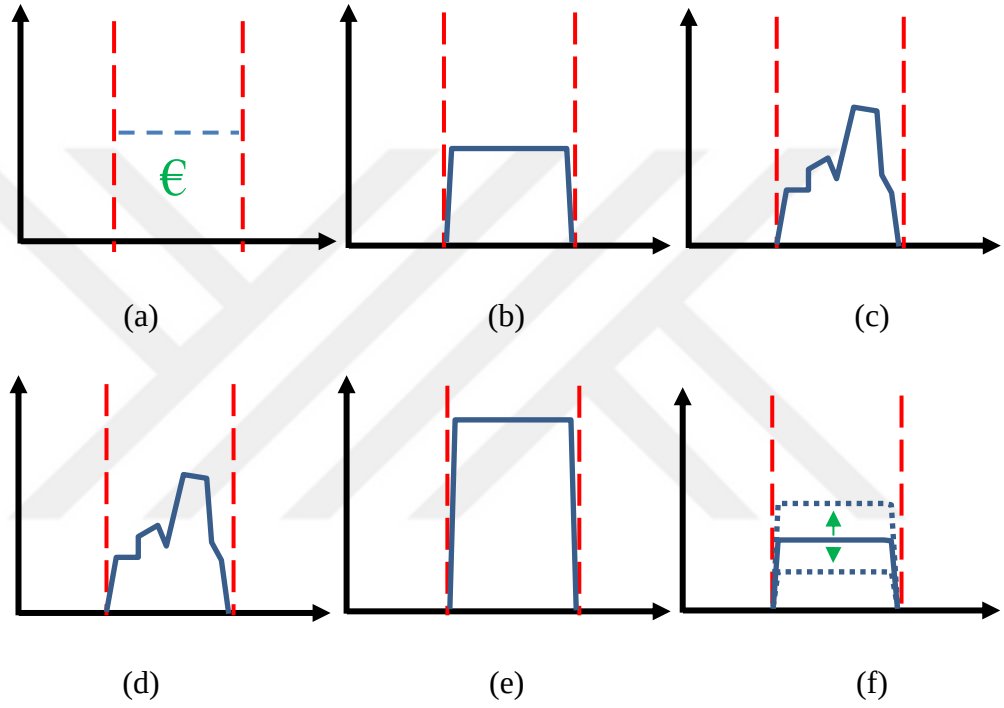
Şekil 3.40 : 55 evin gün öncesi piyasada aylara göre saatlik gelir aralığı.



Şekil 3.41 : 55 evin gün içi piyasada aylara göre saatlik gelir aralığı.

Sadece gerçek zamanlı yönetim yaklaşımlarının uygulanabilmesi mümkündür. Toplu olarak bir hedefe ulaşıldığında sağlanacak sabit teşvik, tüketicileri bir arada hareket etmeye ve bireysel performanslarının ötesindeki daha büyük bir talep performansına ulaşmaya yöneltecektir. Öte yandan, çok sayıda kullanıcının bir kısmının katılmaması, katılım sırasında vazgeçmeleri veya istenilen yönetim performansını sergileyemeleri sonucunda bu hedefe ulaşılamadığı takdirde, tüm kullanıcılar olumsuz etkilenebilir.

Toplu olarak sergilenen performansa dayalı teşvik yaklaşımı ise, mevcut teşvik yapılarının eksikleri de göz önüne alınarak bu doktora çalışmasında geliştirilen bir yöntemdir. Temeli piyasaya katılım sağlanan toplu talep yönetim uygulamalarındaki finansal akışa dayanmaktadır. Toplu talep yöneticisi, elindeki katılımcı portföyüne göre, piyasaya belirli bir zamanda belirli bir toplu talep yönetim performansı teklif eder. Piyasada oluşan denge fiyatına göre bu teklifi kabul edilirse, portföyündeki son kullanıcılara teşvikler önerir. Temelde bu teşviklerin kaynağı, piyasadan teklifin yerine getirilmesi sonrasında elde edilecek gelirdir.



Şekil 3.42 : Teşviğin (a) sabit, (b) bireysel, (c) değişken, (d) genel, (e) toplu türü.

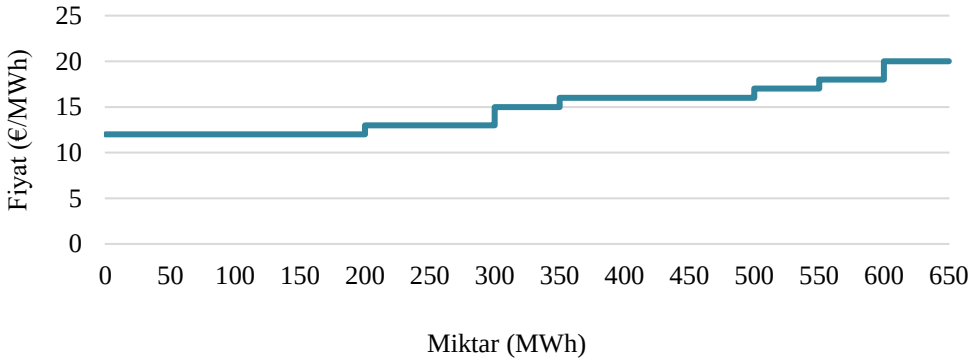
Toplu talep yöneticisi piyasaya x_B kWh miktarında yönetim hizmeti teklif eder ve p_B (€/kWh) birim fiyattan bu teklif kabul edilirse, net kazancı (3.8) ile verilen formüldeki gibi olacaktır.

$$C_{net} = |x_B| \times p_B - |x_B - x_A| \times p_P \quad (|x_A| \leq |x_B| \text{ koşuluyla}) \tag{3.8}$$

Bu formülde $x_A = \sum_{i=1}^{n} x_i$ (kWh) olup n adet katılımcının toplu yönetim performansını temsil etmektedir (x_i, i numaralı katılımcının bireysel performansıdır). p_P (€/kWh), gün öncesi piyasaya teklif edilen yönetim miktarının sağlanamaması durumunda piyasadan temin edilecek performans açığı miktarının yeni fiyatını temsil etmektedir.

p_B'nin değeri, piyasaya sunulan x_B'ye ve piyasada o seansta oluşan denge fiyatına bağlıdır. p_P'nin değeri ise teklif ile yönetim performansı arasındaki farkla ($|x_B - x_A|$) ilişkilidir.

Eğer toplu talep yöneticisi teklif ettiği yönetim performansına ulaşamazsa ($|x_B| > |x_A|$), bu boşluğu dolduracak başka bir enerji sağlayıcı bulmak zorundadır. Diğer yandan, güniçi piyasa fiyatları, gün öncesi piyasadan genelde daha yüksektir ve dışarıdan temin edilip performans açığını dolduracak enerjinin fiyatı, gün öncesinde kabul edilen teklif fiyatından daha büyük olacaktır ($p_P > p_B$) (Şekil 3.43).



Şekil 3.43 : Örnek bir piyasada enerji miktarına göre arz fiyatının değişimi.

p_P'nin içerisinde, piyasa operatörünün uyguladığı cezalar, toplu talep yöneticisinin başka bir sağlayıcıdan temin ettiği enerjinin maliyeti veya piyasa yöneticisinin başka bir sağlayıcıdan temin ettiği enerjinin maliyeti bulunabilir.

Piyasaya katılım sağlayan toplu talep yönetiminin bu mevcut yapısında, toplu talep yöneticisinin temel amacı, katılımcıları olabildiğince teşvik ederek teklif ettiği yönetim performansını olabildiğince gerçekleştirebilmektir.

Mevcut teşvik yapılarının (sabit veya bireysel performansa dayalı teşviklerin) temel eksikliği, toplu talep yöneticisinin bu temel amacının son kullanıcıya yeterince yansıtılamamasıdır. Genelde, yönetici gerçekte elde edeceğinden daha düşük miktarlarda teşvikler sunarak kazanımlarını arttırmaya çalışır; fakat elde edebileceği yönetim performansını ve gelirini de kısıtlamış olur.

Piyasaya teklif edilen miktar ile gerçekten elde edilen performans arasındaki fark ne kadar az olursa, yöneticinin kazancı o kadar artacaktır. Toplu yönetim performansının ve kazanımlarının her bir katılımcıya yansıtılabildiği bir teşvik yapısı kullanıldığı takdirde, katılımcılar arasında dolaylı bir iş birliği söz konusu olabilir. Bu tür bir teşvik yapısı geliştirilip MATLAB yazılımında benzetim çalışmaları yapılmıştır.

Sistemde katılımcılara sağlanacak teşviğin birim fiyatı (r_i) (3.9) numaralı denklemle ifade edilebilir.

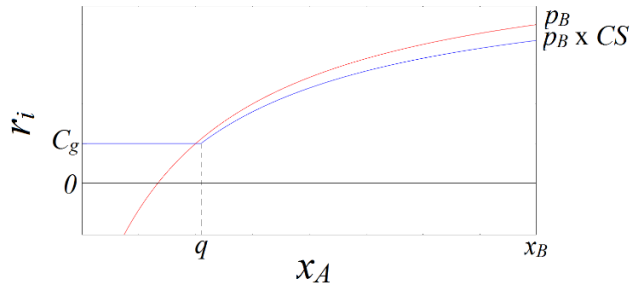
$$r_i = \frac{|x_B|}{|x_A|} \times p_B + \frac{|x_A - x_B|}{|x_A|} \times p_P \tag{3.9}$$

Oldukça düşük katılım durumlarında, yöneticinin zarar etmesi veya oldukça az kazanması durumu ihtimal dahilindedir. Tüm kazanımların doğrudan katılımcılara yansıtılması durumunda, katılımcılar zarara uğrayabilecekleri kaygısıyla katılmaya yanaşmayabilirler.

Burada ilk akla gelen yapı, öncelikle garanti edilen bir miktarın ($C_g \geq 0$) önerilip, belirli bir katılımcı sayısından sonra elde edilen karın oransal olarak katılımcı performansına göre dağıtılmasıdır. Ayrıca, gelirin bir kısmı da toplu yöneticinin kendi riskine karşı önlemlerine, masraflarına ve kar payına ayırılmalıdır. Bu durum $CS = 1 - AS$ ile ifade edilebilir (katılımcılara dağıtılacak miktar (CS), tüm miktardan belirli bir yüzdenin toplu yönetici payı olarak (AS) düşülmesi sonrasında kalandır). r_i'nin yeni ifadesi (3.10)'deki gibi olacaktır.

$$r_i = \begin{cases} C_g, & 0 < |x_A| < q \\ CS \times \left(\frac{|x_B|}{|x_A|} \times p_B + \frac{|x_A - x_B|}{|x_A|} \times p_P\right), & q \leq |x_A| \leq |x_B| \end{cases} \tag{3.10}$$

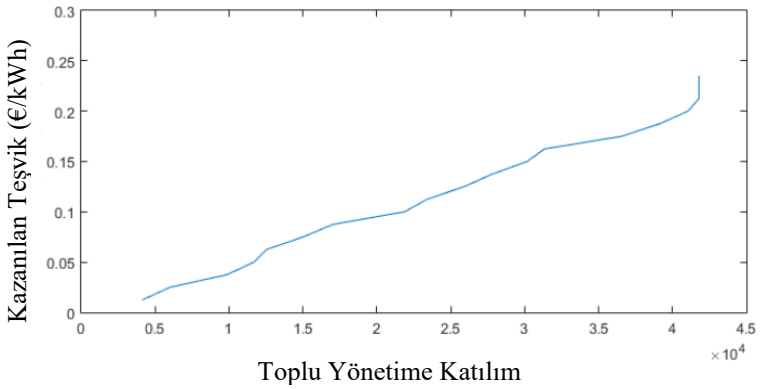
Farklı katılım miktarları için yönetici karı/zararı ve katılımcılara sunulan birim teşvik miktarı Şekil 3.44'te bulunmaktadır.



Şekil 3.44 : Katılıma göre yönetici kazancı (kırmızı çizgi) ve teşvik (mavi çizgi).

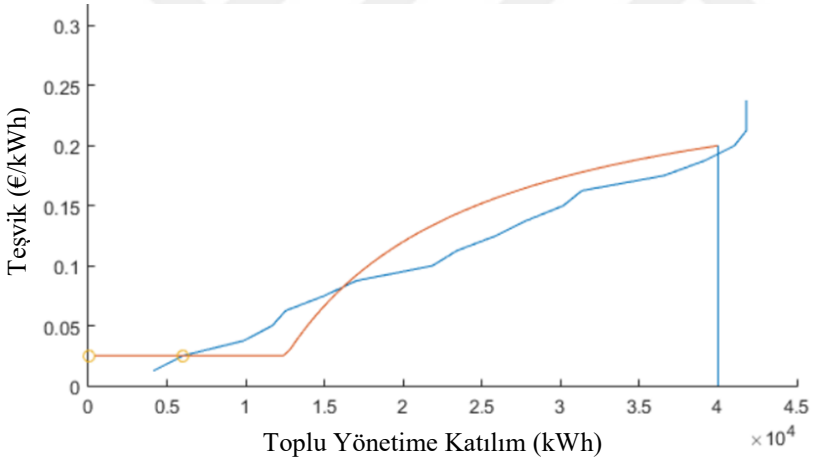
Bu teşvik yapısında belirli bir miktar (Şekil 3.44'te q) aşıldığında, toplu yönetim performansındaki her artış katılımcılara daha çok kazanım sağlamaktadır. Bu da, bir kar topu etkisi oluşturarak, ilk başta katılmayan kişilerin dahi sonradan teşviğin yükselmesi ile toplu yönetime dahil olmasına olanak sağlayabilir.

Toplu yük benzetimi yapılarak farklı teşvik fiyatları için tüketicilerin sağlayabileceği yönetim performansları Şekil 3.45'te bulunmaktadır.



Şekil 3.45 : 100 katılımcının sağlayabileceği toplu yönetimin değişimi.

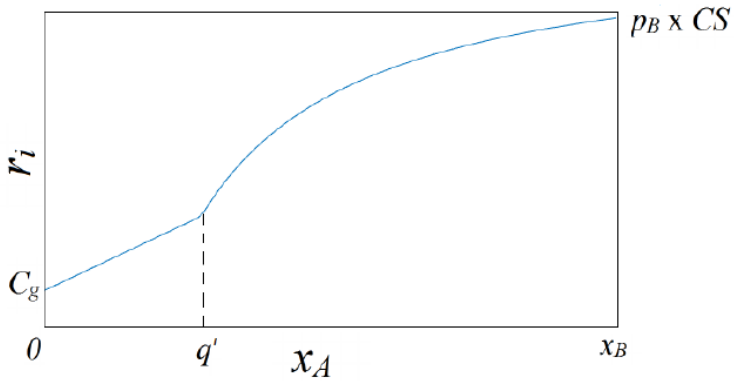
Eğer ilk başta garanti edilen ve belirli bir katılım miktarına kadar sabit kalan teşvik (C_g), yeterince katılımcının ilgisini çekmezse, q değeri aşılamayacak, fiyat sabit kalmaya devam edecek ve düşük bir performans elde edilecektir (Şekil 3.46).



Şekil 3.46 : Garanti edilen fiyatın yetersiz kaldığı örnek bir durum.

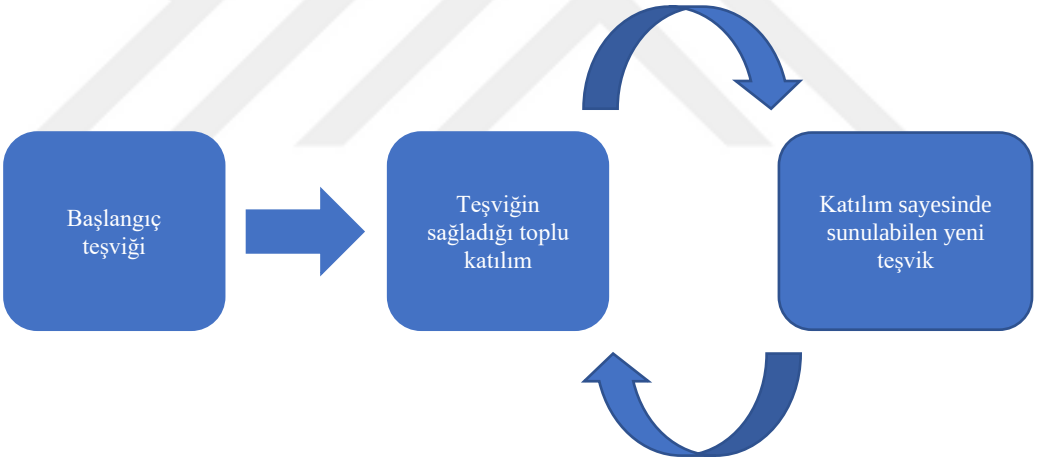
Sabit fiyatta takılı kalınıp kar topu etkisinin oluşmaması ihtimalini bertaraf edebilmek için, her bir katılımın teşviğe yansıtıldığı ikinci bir yapı geliştirilmiştir (3.11) (Şekil 3.47).

$$r_i = \begin{cases} C_g + \dfrac{CS \times p_B - C_g}{x_B} \times x_A, & 0 < |x_A| < q \\ CS \times \left(\dfrac{|x_B|}{|x_A|} \times p_B + \dfrac{|x_A - x_B|}{|x_A|} \times p_P\right), & q \leq |x_A| \leq |x_B| \end{cases} \tag{3.11}$$



Şekil 3.47 : Yeni teşvik yapısında katılıma göre sunulan birim teşvik.

Geliştirilen yeni teşvik uygulandığında, önerilen bir fiyat belirli bir miktar toplu yönetim performansı sağlayacak, bu miktar yöneticinin kazanımlarını arttırarak daha yüksek bir teşvik önerebilmesine imkan verecek ve yükselen teşvik miktarı, yeni katılımcıları uygulamaya çekecektir. Bu süreç kendini tekrarlayarak toplu yönetim performansında istikrarlı bir yükselişi tetikleyerek bir kar topu etkisi oluşturacaktır (Şekil 3.48).



Şekil 3.48 : Yeni teşvik yapısının artış eğilimi (kar topu).

Yeni teşvik yapısının toplu yük benzetimine uygulandığı durum MATLAB programında, bölüm 2.3'te geliştirilen yük modelleri kullanılarak incelenmiştir. Benzetimde teşvik yapısının uygulanmasında kullanılan parametreler Çizelge 3.11 ve Çizelge 3.12'de bulunmaktadır. Düşük bir fiyatla başlanan toplu yönetim planlamasında fiyat arttıkça (5 iterasyon) yeni katılımcılar dahil olmuş ve piyasaya teklif edilen miktarda yönetim performansına ulaşılabilmiştir. Teklif edilen fiyatla beraber gittikçe artarak hedeflenen miktara ulaşan toplu yönetim katılımı Şekil 3.49'da gösterilmiştir. Benzetimin her bir iterasyonunda artan tüketim performansına katkı sağlayan cihaz türleri Şekil 3.50'de gösterilmiştir.

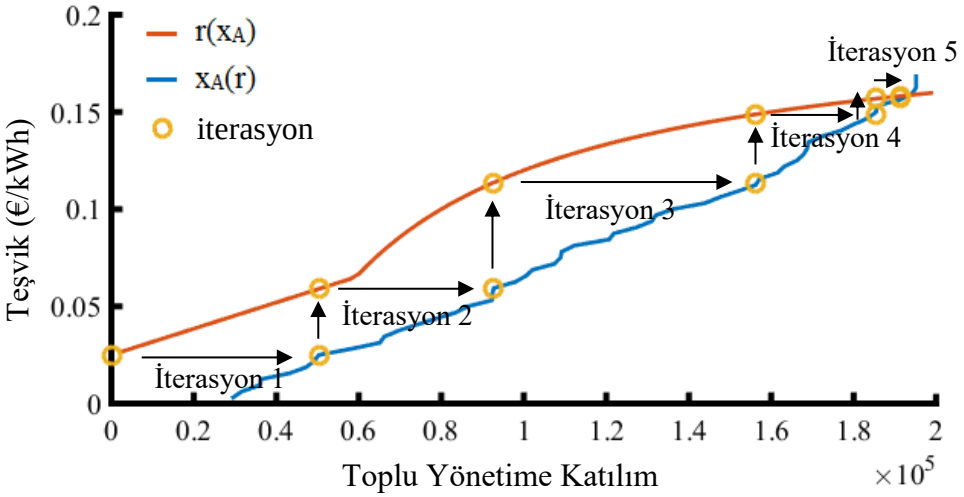
Çizelge 3.11 : Yeni teşvik yaklaşımı analizinde kullanılan parametreler.

Değişken	Açıklaması	Değeri
x_A	Toplu yönetim performansı	dinamik
x_B	Toplu yönetim teklifi	200 kWh
CS	Katılımcıların toplu kazanımı	%80
p_B	Teklif fiyatı	0.20 (€/kWh)
p_P	Sonradan temin fiyatı	0.25 (€/kWh)
C_g	Garanti edilen teşvik miktarı	0.025 (€/kWh)

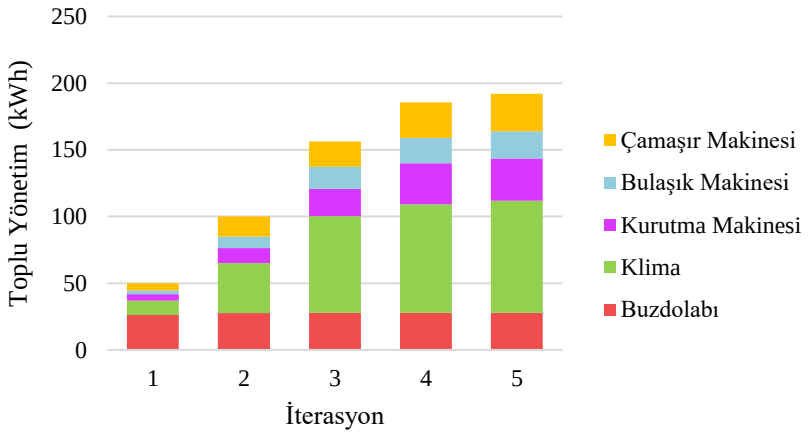
Çizelge 3.12 : Toplu yük analizinde kullanılan değerler.

Cihaz Modeli	Önem Seviyesi Aralığı
Çamaşır Makinesi 1	0-3
Çamaşır Makinesi 2	0-3
Bulaşık Makinesi 1	0-6
Bulaşık Makinesi 2	0-6
Kurutma Makinesi	0-10
Buzdolabı 1	0
Buzdolabı 2	0
Klima	0-10

Buzdolabı ve klima gibi konfora etkisi daha sınırlı cihazlar, ilk tekliflerle yönetime katılarak teklif fiyatının artmasını sağlamış ve kurutma makinesi, bulaşık makinesi ve çamaşır makinesi gibi yüklerin de toplu yönetime dahil olmasını sağlamıştır. 50 kWh'lik yönetim performansı, artan fiyatla beraber 196 kWh'e kadar yükselerek piyasaya toplu yöneticinin sunduğu miktara olabildiğince yaklaşmıştır.

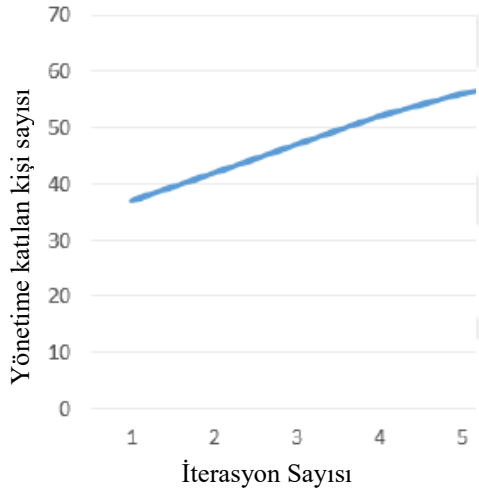


Şekil 3.49 : Kar topu etkisiyle gittikçe büyüyen yönetim performansı.

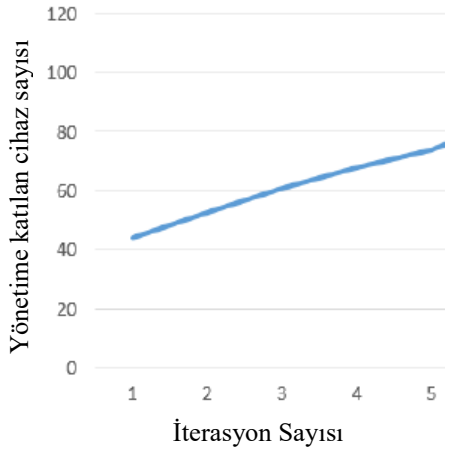


Şekil 3.50 : Katkı sağlayan cihaz türleri.

Tüketici bazında katılım ve cihaz sayıları ise Şekil 3.51'de bulunmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 3.51 : Artan fiyatla dahil olan (a) katılımcı sayısı, (b) cihaz sayısı.

3.4 Toplu Talep Yönetim Sonrasında Yaşanan Sorunların Azaltılması

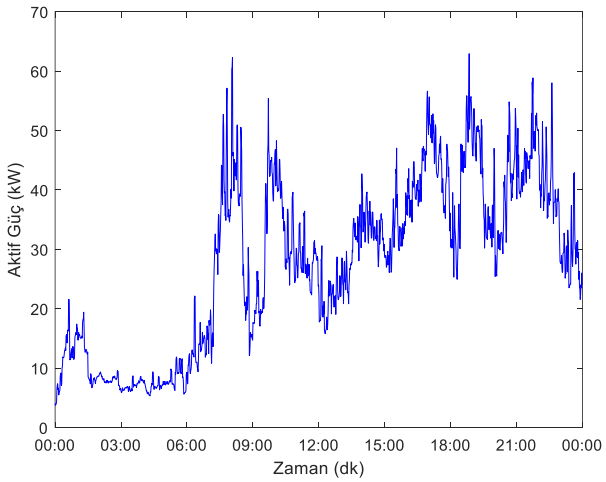
Çalışmanın bu bölümünde, çok sayıda yönetilebilir cihazın toplu yönetimi sonrasındaki zaman dilimlerinde sıkça karşılaşılan, artan eş zamanlılıklar kaynaklı tüketim artışları ve beklenmedik puantların azaltılmasına yönelik bir yaklaşım önerilmiş ve MATLAB yazılımında, bölüm 2.3'te detayları verilen yük modelleri ve ev tüketim profili üreteci kullanılarak benzetimlerle incelenmiştir.

Tüketimleri çalışma zamanı ertelenerek veya çalışma ayarları değiştirilerek (termostat kontrollü ısıtma ve/veya soğutma cihazları için) yönetilen cihazlar, yönetim olayını takip eden zaman dilimlerinde, devreye girmektedir. Dolayısıyla, yönetim olayını takip eden zaman dilimlerindeki tüketim miktarlarında artış görülebilmektedir. Ayrıca, cihazlar yeniden devreye girdiklerinde, yönetilmedikleri duruma göre bazı ek tüketimler de yapabilirler (kurutma makinesinin çalışırken durdurulduktan sonra yeniden devreye girerken aynı sıcaklığa çıkmak için ek tüketim yapması vb). Buna ek olarak, çok sayıda cihazın aynı hedefe yönelik toplu yönetimi durumunda, eş zamanlılık artabilir ve beklenmedik yeni puantlara sebep olabilir. Bu istenmeyen durumların teknik ve/veya ekonomik olumsuz etkileri, yönetim olayı ile elde edilen faydaların önüne geçebilir.

Bu nedenle, yönetim hareketi yapılırken ilerleyen zaman dilimlerindeki muhtemel olumsuz etkilerin de dikkate alınması gerekmektedir.

Sorunun daha açık bir şekilde ifade edilebilmesi için, IEEE Avrupa tipi AG dağıtım şebekesi ve Loughborough Üniversitesi CREST ev tüketim profili üreteci kullanılarak dakikalık sıklıkta ve bir günlük tüketim durumunun benzetimi yapılmıştır. CREST ev tüketim profili üreteci, yönetilebilir yüklerin bireysel tüketim profillerinin elde edilebilmesi için tercih edilmiş olup, IEEE Avrupa tipi AG dağıtım şebekesinin bir fiderinde 55 kullanıcının tüketim kısıtları dikkate alınarak veriler üretilip simulasyonda kullanılmıştır (Şekil 3.52).

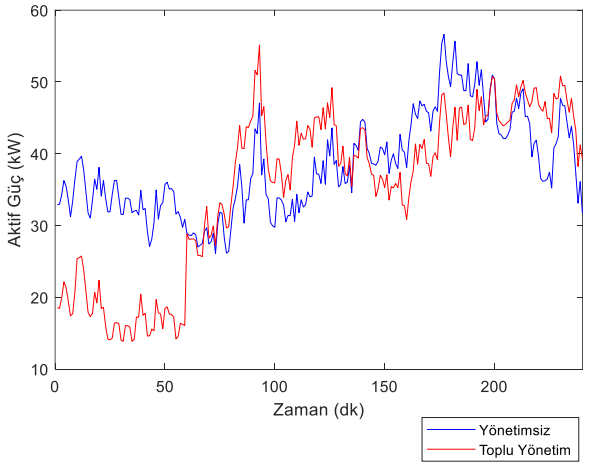
Her kullanıcı açısından, doktora çalışmasının saha uygulamasındaki gerçek evlerde olduğu gibi, çamaşır makinası, bulaşık makinası ve buzdolabı yönetilebilir yükler olarak ele alınmıştır. Ayrıca, çamaşır kurutma makinaları da yönetilebilir yük olarak hesaba katılmıştır. Buzdolapları için yeniden devreye girme zamanları 20 dk ortalama etrafında Gauss tipi standart normal dağılım ile rastgele sayılar üretilerek tanımlanmıştır.



Şekil 3.52 : 55 kullanıcının günlük toplu yük profili.

Çamaşır makinaları ve bulaşık makinaları için 3 saat, çamaşır kurutma makinaları için ise 4 saat etrafında yanıt süreleri dağıtılmıştır. Bu değerler, bu alandaki kapsamlı bir araştırmadaki yanıt süreleri baz alınarak belirlenmiştir [23].

Örnek olarak saat 14.00'dan itibaren 60 dk boyunca gerçekleştirilen bir yönetim uygulamasının devam eden 180 dk'lık zaman diliminde (15.00-17.00) etkileri yönetimsiz durumla karşılaştırmalı olarak Şekil 3.53'te verilmiştir.



Şekil 3.53 : Bir saatlik bir toplu yönetimin devam eden döneme etkisi.

Bu durum, ağırlıklı toplam karar verme yöntemi ile, enerji tüketimi değişimi (∇E_i) ve puant talebin değişiminin (∇P_{max-i}) her zaman dilimine (örneği n adet) özel birim fiyatlarla (c_{Ei} ve c_{Pmax-i}) çarpılarak toplandığı denklem 3.12 ile ifade edilebilir.

$$K = \sum_{i=1}^{n} \nabla \mathrm{p}_{E_i} \times c_{Ei} + \nabla \mathrm{p}_{P_{max-i}} \times c_{Pmax-i} \qquad (3.12)$$

Saat 14.00'dan itibaren 60 dk boyunca gerçekleştirilen toplu yönetim hareketi ilk saatte talebi 10.8 kW, enerji tüketimini ise 15.5 kWh civarında azaltmıştır. Diğer yandan, ilerleyen saatte (15.00) karşılaşılan puant yük 8.1 kW, enerji tüketimi ise 5 kWh civarında artmıştır. Devam eden saatte (16.00) karşılaşılan puant talep 7.4 kW az olmasına rağmen, enerji tüketimi, yönetimsiz duruma göre sadece 2.7 kWh civarında düşüktür. Devam eden üçüncü saatte ise (17.00), puant talep 4.9 kW civarında az olmasına rağmen enerji tüketimi 1.6 kWh civarında artmıştır.

Toplamda 4 saate varan bu zaman dilimi için, birim ve eşit fiyatlarla denklem 3.12 kullanılarak yapılan hesaplama Çizelge 3.13'de verilmiştir.

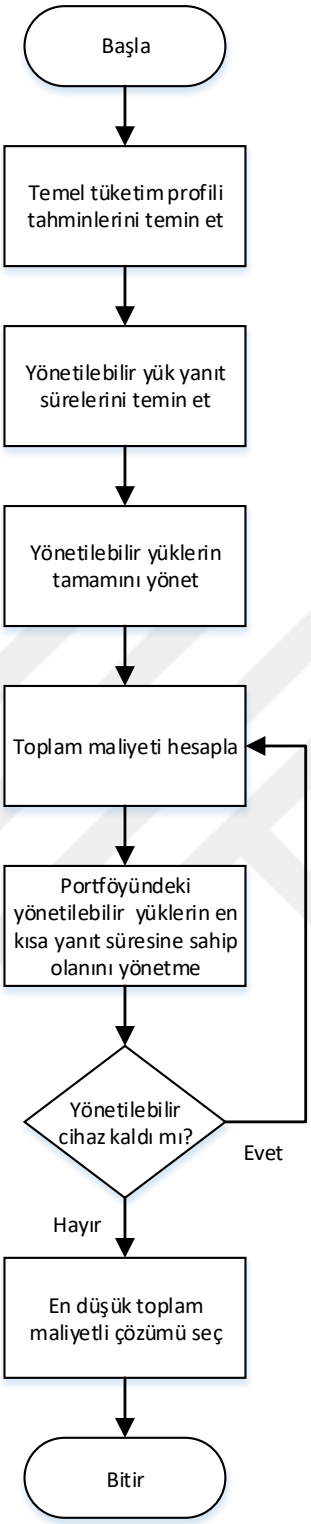
Çizelge 3.13 : Yönetim ile puant talep ve enerji tüketimindeki değişimler.

Enerji Tüketimi Değişimi (kWh)				Puant Talep Değişimi (kW)				Toplam Değer (K)
1. saat	2. saat	3. saat	4. saat	1. saat	2. saat	3. saat	4. saat	
-15.5	5.0	-2.7	1.6	-10.8	8.1	-7.4	-4.9	-26.7

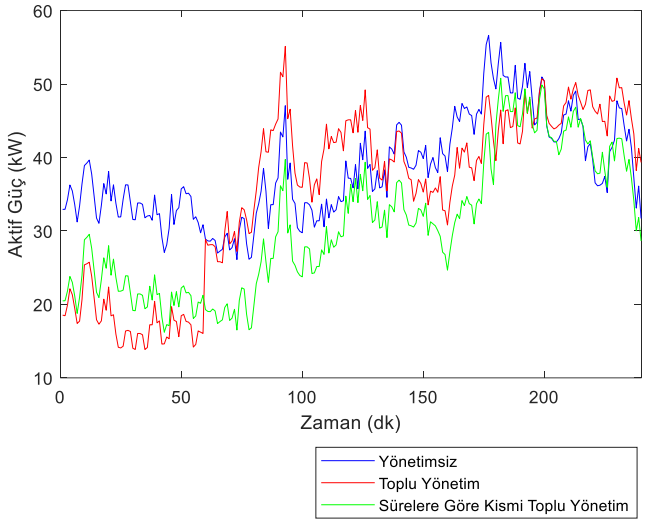
Yönetim olayının devamındaki saatlerde meydana gelen bu beklenmedik puant ve fazladan tüketim olaylarını azaltabilmek amacıyla bir toplu yönetim mantığı geliştirilmiştir. (Şekil 3.54). Önerilen bu yaklaşım, yönetim olayı sonrasında cihazların yeniden devreye girme zamanları ve yönetim hareketinin, ilgili olayın sonrasındaki zaman dilimlerindeki maliyetleri gözönüne alarak, maliyetleri en aza indirgemektedir. Yönetim mantığı, örnek olarak incelen zaman dilimini için uygulanmıştır. Elde edilen yeni talep profili, yönetimsiz durum ve toplu yönetim durumuyla karşılaştırmalı olarak Şekil 3.55'te verilmiştir. Yeni duruma ait enerji tüketimi ve puant talep değişimi ise toplam değer hesabıyla birlikte Çizelge 3.14'te bulunmaktadır. Tüm zaman dilimlerinde puant talep ve enerji tüketimi, normal profilin altında tutulabilmiştir.

Çizelge 3.14 : Önerilen yaklaşımın sıradan toplu yönetimle karşılaştırılması.

Enerji Tüketimi Değişimi (kWh)				Puant Talep Değişimi (kW)				Toplam Değer (K)
1. saat	2. saat	3. saat	4. saat	1. saat	2. saat	3. saat	4. saat	
-15.5	5.0	-2.7	1.6	-10.8	8.1	-7.4	-4.9	-26.7
-11.5	-7.5	-8.9	-1.8	-10.1	-7.3	-12.2	-4.9	-64.3

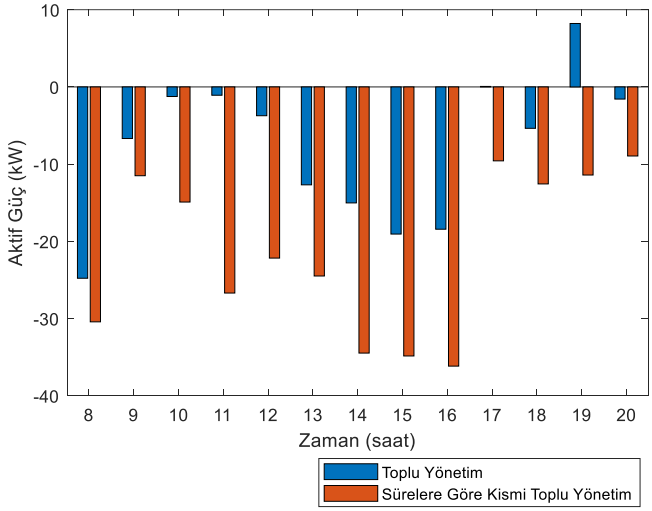


Şekil 3.54 : Çözüm mantığı akış diyagramı.



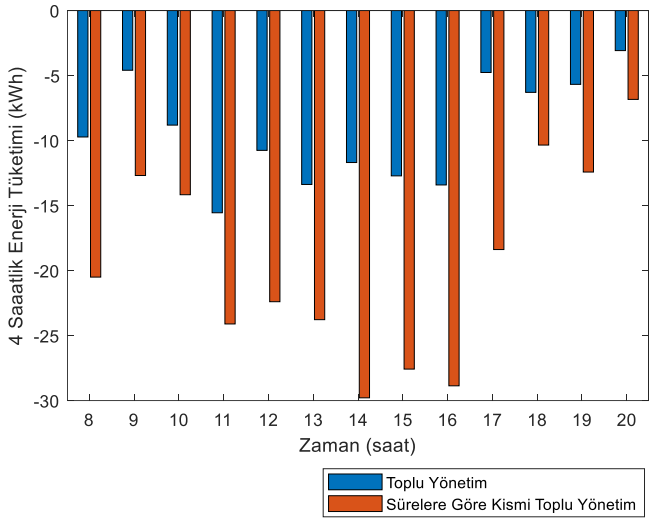
Şekil 3.55 : Yanıt sürelerine göre yönetimin diğer durumlarla karşılaştırması.

Yük profilindeki belirli bir saatin olası rastlantısal etkileriyle analizi sınırlandırmamak amacıyla, önerilen yönetim yaklaşımı 08.00-20.00 zaman aralığındaki tüm saat dilimleri için ayrı ayrı uygulanıp, sonuçları incelenmiştir. Önerilen yönetim durumunda 4 saatlik döneme ait puant tüketim değişimlerinin sıradan toplu yönetim durumuyla karşılaştırmalı gösterimi Şekil 3.56'da verilmiştir. Önerilen yaklaşım birçok durumda, sıradan yönetimin iki katından fazla fayda sağlamaktadır.



Şekil 3.56 : 08.00-20.00 arası toplu yönetimin puant talebe etkisi.

İncelenen 13 durum için de sürelere göre kısmi yönetim, sıradan toplu yönetime göre puant talebi 4 saatlik dönemde daha çok azaltmıştır. Enerji tüketimlerindeki değişimler ise Şekil 3.57'de verilmiştir.



Şekil 3.57 : 08.00-20.00 arası toplu yönetimin enerji tüketimine etkisi.

Önerilen sürelere göre kısmi toplu yönetim yaklaşımı (SKTY), enerji tüketimlerini azaltma açısından da sıradan toplu yönetimden (TY) daha başarılı sonuçlar vermiştir. Detaylı veriler Çizelge 3.15'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.15 : Önerilen yaklaşımın tüm sonuçlarının karşılaştırmalı gösterimi.

Yönetim Yaklaşımı	Zaman (saat)	Enerji Tüketimi Değişimi (kWh)				Puant Talep Değişimi (kW)				Toplam Değer (K)
		1. saat	2. saat	3. saat	4. saat	1. saat	2. saat	3. saat	4. saat	
TY	08.00	-11.1	3.4	-2.1	0.2	-15.0	-5.9	-3.4	-0.5	-34.5
SKTY	08.00	-8.7	-3.6	-5.4	-2.8	-13.3	-6.4	-7.4	-3.4	-50.9
TY	09.00	-8.0	-2.1	0.2	5.3	-12.5	-3.4	-0.5	9.7	-11.3
SKTY	09.00	-3.6	-5.4	-6.3	2.6	-6.4	-7.4	-5.1	7.3	-24.2
TY	10.00	-9.9	0.2	5.3	-4.4	-3.9	-0.5	9.7	-6.5	-10.1
SKTY	10.00	-5.4	-6.4	-2.6	0.3	-3.9	-7.5	0.0	-3.4	-29.1
TY	11.00	-9.8	5.3	-4.4	-6.7	-1.3	9.7	-6.5	-3.0	-16.6
SKTY	11.00	-6.4	-2.8	-6.1	-8.8	-6.4	-0.1	-11.0	-9.3	-50.8
TY	12.00	-4.6	-4.4	-6.7	5.0	-2.3	-6.5	-3.0	8.1	-14.5
SKTY	12.00	-2.8	-6.1	-10.9	-2.6	-0.1	-11.0	-10.1	-1.0	-44.6
TY	13.00	-8.9	-6.7	5.0	-2.7	-10.4	-3.0	8.1	-7.4	-26.1
SKTY	13.00	-6.1	-11.5	-5.8	-0.4	-11.0	-10.1	-2.2	-1.2	-48.3
TY	14.00	-15.5	5.0	-2.7	1.6	-10.8	8.1	-7.4	-4.9	-26.7
SKTY	14.00	-11.5	-7.5	-8.9	-1.8	-10.1	-7.3	-12.2	-4.9	-64.3
TY	15.00	-10.5	-2.7	1.6	-1.0	-1.9	-7.4	-4.9	-4.9	-31.8
SKTY	15.00	-7.6	-11.9	-10.5	2.4	-7.3	-14.4	-15.7	2.6	-62.4
TY	16.00	-13.4	1.6	-1.0	-0.6	-16.1	-4.9	-4.9	7.4	-31.8
SKTY	16.00	-11.9	-10.5	-7.2	0.8	-14.4	-15.7	-6.3	0.2	-65.0
TY	17.00	-11.7	-1.0	-0.6	8.5	-6.3	-4.9	7.4	3.8	-4.7
SKTY	17.00	-10.5	-9.2	-5.3	6.7	-6.3	-9.8	-3.1	9.6	-28.0
TY	18.00	-12.8	-0.6	8.5	-1.4	-16.4	7.4	3.8	-0.2	-11.7
SKTY	18.00	-9.5	-8.7	1.3	6.6	-10.9	-7.5	1.2	4.6	-22.9

Çizelge 3.15 (devam): Önerilen yaklaşımın tüm sonuçlarının karşılaştırmalı gösterimi.

TY	19.00	-13.2	8.5	-1.4	0.5	5.0	3.8	-0.2	-0.4	2.5
SKTY	19.00	-9.7	-1.1	-0.9	-0.8	-7.3	-1.9	-1.7	-0.4	-23.8
TY	20.00	-5.0	-1.4	0.5	2.8	-6.4	-0.2	-0.4	5.4	-4.7
SKTY	20.00	-2.3	-2.8	-3.1	1.4	-3.1	-3.1	-3.6	0.9	-15.8

4. DAĞITIK ÜRETİM VE BATARYALARIN KOORDİNASYONU

Enerji depolama sistemleri ve dağıtık üretim elemanlarının oyunlaştırma teknikleriyle toplu yönetimi ile ilgili saha uygulamalarına dayalı çalışmalara bu bölümde yer verilmiştir. Dağıtık Enerji Sağlayıcılara sahip kullanıcılar, şebeke ve tarifeye yönelik yönetim yapmakla pek ilgilenmemektedirler. Ayrıca, sıradan kullanıcıların ileri yönetim fonksiyonlarını uygulaması da zor görünmektedir. Bu bölümde çalışmalar, üç ana odak noktasına göre düzenlenmiştir:

- üreten tüketiciler için tarifeye dayalı güç ve enerji yönetimi,

- toplu yöneticiler için piyasaya yönelik koordine yönetim,

- dağıtım şebekesi operatörleri için yerel sorunları gidermeye yönelik yönetim.

Saha denemeleri üç aşama halinde düzenlenmiştir:

- dağıtık üretim ve enerji depolama cihazlarının karakteristik özelliklerinin incelenmesi (güç ve enerji yönetimi olanakları, kısıtları, cevap hızları vb.),

- etkin, otonom ve uzaktan uygulanabilir güç ve enerji yönetimi yaklaşımlarının denenmesi,

- çevrimiçi oyunlaştırılmış yönetimin, metin tabanlı bir arayüz üzerinden uygulanabilirliğinin incelenmesi. İlk iki aşamadaki testler, "EPRI Akıllı Eviricilerin Ortak Fonksiyonları" teknik raporunda önerilen yönetim yaklaşımlarından yola çıkılarak hazırlanmıştır [54]. Bu rapor, evirici üreticileri, aracı firmalar, sistem operatörleri, üniversiteler ve araştırma kurumlarından birçok kişiyi içeren bir endüstri topluluğunca hazırlanmıştır. Saha denemeleri, İtalya'nın Milano şehrindeki Ricerca sul Sistema Energetico araştırma kurumunun Dağıtık Enerji Sağlayıcılar Test Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir (RSE DER-TF). Laboratuvar 400 V, 3 fazlı alternatif gerilim dağıtım sistemine sahip olup bünyesinde çeşitli dağıtık üretim elemanları (fotovoltaik paneller, küçük güçlü rüzgar türbini, tek fazlı kombine ısı-güç çevrim santrali, üç fazlı kombine ısı-güç çevrim santrali), enerji depolama sistemleri (kurşun-asit batarya grubu, lityum-iyon batarya grubu, vanadyum redoks batarya grubu) ve yüklere (rezistif, endüktif ve kapasitif) sahiptir.

Sistemdeki cihazların toplam güçleri 350 kW ve 300 kVAr olup 230 kWh enerji depolanabilmektedir. Cihazların sisteme bağlantı noktaları değiştirilebilmekte ve farklı fider uzunlukları uygulanabilmektedir. Ayrıca, laboratuvarda 380 V'luk bir DC mikroşebeke de bulunmaktadır.

Mikroşebekede bir adet fotovoltaik panel emülatörü, bir DC kontrol edilebilir yük, iki sodyum nikel klorür batarya grubu vardır. AC şebekeye bu sistem, 100 kW, 30 kVAr'lık bir çift yönlü dönüştürücü üzerinden bağlanmaktadır.

Tüm testler ev sahibi kurumun LabVIEW'da geliştirilmiş merkezi izleme ve kontrol yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Güç yönetimi odaklı testler kısa süreli olup 1 sn sıklıkta veriler toplanmıştır. Diğer yandan enerji yönetimi testleri 1 saat sürmektedir ve dakikalık sıklıkta değişen ayar değerleri uygulandığı için veri toplama sıklığı da 1 dk olarak tercih edilmiştir.

Sürekli olarak toplanan veriler merkezi bir veritabanında saklanmakta, yapılan teste ait önemli parametreler, ilgili zaman aralığı ve veri etiketleri girilerek veritabanından Excel formatında temin edilebilmektedir. Tüm testlerde, her cihazın aktif ve reaktif güç değeri ölçümleri göz önüne alınmıştır.

Enerji yönetimi testlerinde enerji ölçümleri de dahil edilmiş, yerel şebeke odaklı testlerde ise bara gerilimleri de dikkate alınmıştır.

4.1 Karakteristik Özellik Testleri

Öncelikle, her yönetilebilir eleman, sistemin ana barasına doğrudan bağlanarak karakteristik özellikleri incelenmiştir (Şekil 4.1).

Cihazların güç ayar değerleri merkezi kontrol arayüzü üzerinden, cihazın çıkışında değişiklik meydana gelmeyen değerlere kadar azaltılıp arttırılarak çalışma sınırları tespit edilmiştir.

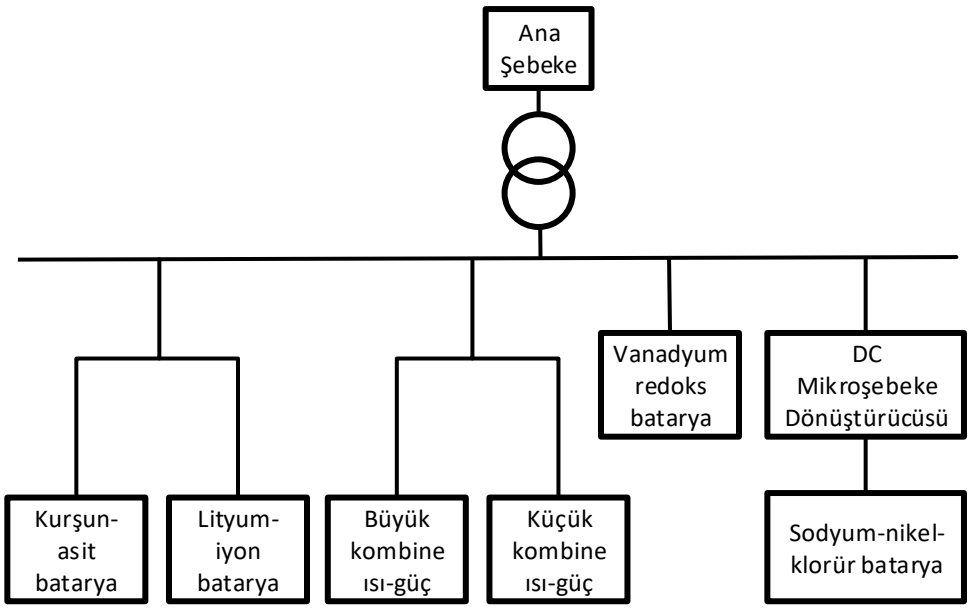
Yanıt hızları, yeni bir ayar değeri verildikten sonra cihazın çıkışı o değere ulaşana kadar geçen sürenin ölçülmesi ile hesaplanmıştır. İncelenen başlıca karakteristik özellikler:

- aktif-reaktif güç sağlama/tüketme olanak ve sınırları,
- enerji depolama kapasitesi (bataryalar için),
- en küçük kontrol adımı (ayar değeri değişikliği hassaslığı),
- kontrol komutuna yanıt süresi,
- bekleme modunda talep ettiği güç,
- diğer cihaz türlerine göre üstün ve zayıf yönleri,
- yönetim sırasında dikkat edilmesi gereken detaylar.

Elde edilen verilere göre cihazların karakteristik özellikleri alt bölümlerde özetlenmiştir.

4.1.1 Kurşun-asit batarya grubu

Elektrokimyasal türde enerji depolama elemanıdır. Verebileceği en yüksek güçler 20 kW ile 19.5 kVAr, talep edebileceği en yüksek güçler ise 5 kW ise 19.3 kVAr'tir. Enerji depolama kapasitesi 25 kWh'tir. Uygun kontrol türleri Maksimum Aktif Güçle Şarj/Deşarj, Maksimum Enerji Depolama/Sağlama (5 kW şarj/deşarj gücüyle), Yüksek Tutarlılık, Uzun Ömür Modu ve Reaktif Güç Kontrolü'dür. Yüksek Tutarlılık ve Uzun Ömür modları bölüm 4.1.8'de açıklanmıştır. En küçük kontrol adımı 0.01 W'tır. Yanıt hızı, PID kontrol olmadan 4 sn, PID kontrol aktifken ise 20 sn'dir. Bekleme modunda güç talebi 0.1 kW'tır.



Şekil 4.1 : Karakteristik özellik testlerinin kurulum şeması.

Bu batarya lityum iyon bataryalara göre aşırı şarj/deşarja daha dayanıklıdır. Diğer batarya gruplarına göre orta seviyede enerji depolama kapasitesine sahiptir. Diğer yandan, sınırlı şarj gücü, uzun şarj süresi, modüller arası dengeleme olmaması ve vanadyum redoks ile sodyum nikel klorür bataryalara göre aşırı şarj/deşarja daha dayanıksız olması olumsuz yönleridir.

4.1.2 Lityum-iyon batarya grubu

Elektrokimyasal türde enerji depolama elemanıdır. Verebileceği en yüksek güçler 32 kW ve 32 kVAr'tir. Talep edebileceği en yüksek güçler ise 32 kW ve 29 kVAr'tir. Enerji depolama kapasitesi 32 kWh'tir.

Uygun kontrol türleri Maksimum Aktif Güçle Şarj/Deşarj, Maksimum Enerji Depolama/Sağlama (6 kW şarj/deşarj gücüyle), Uzun Ömür ve Reaktif Güç Kontrolü'dür. En küçük kontrol adımı 0.01 W'tır. Yanıt hızı 4 sn'dir. Bekleme modunda güç talebi 0.6 kW'tır.

Entegre batarya yönetim sistemi sayesinde modüller arası dengelemeye saiptir. Diğer bataryalarla karşılaştırıldığında orta seviyede enerji depolama kapasitesi vardır. Kurşun-asit batarya grubuna göre daha uzun kullanım ömrüne sahiptir ve boşta beklemeye dayalı kapasite düşüşü de daha azdır. Simetrik şarj-deşarj döngülerine sahip olması da olumlu bir yönüdür. Diğer yandan aşırı şarj/deşarja karşı en hassas batarya türüdür.

4.1.3 Vanadyum redoks batarya grubu

Elektromekanik bileşenler de içeren elektrokimyasal bir enerji depolama elemanıdır. Verebileceği en yüksek güçler 30 kW ve 2 kVAr'dır. Talep edebileceği en yüksek güçler ise 45 kW ve 2 kVAr'dır. Enerji depolama kapasitesi 90 kWh'tir.

Uygun kontrol türleri Maksimum Aktif Güçle Şarj/Deşarj, Maksimum Enerji Depolama/Sağlama (9 kW şarj/deşarj gücüyle), Uzun Ömür ve Reaktif Güç Kontrolü'dür. En küçük kontrol adımı 0.01 W'tır. Yanıt hızı mekanik başlatma için 4 dk 30 sn, elektriksel kontrol için güç değeri 0'dan maksimum şarj/deşarj değerine kadar çıkarken 18 sn, maksimum şarj/deşarj değerinden 0'a kadar inerken ise 11 sn'dir. Bekleme modunda güç talebi 5.8 kW'tır.

Aşırı şarj/deşarja karşı en dayanıklı batarya türüdür. Artı ve eksi yüklü elektrolit tankları arası elektrolit transferi ile doğal soğutma yapmaktadır.

Vanadyum redoks batarya, diğer batarya gruplarına göre yüksek depolama kapasitesine sahiptir. Diğer yandan mekanik başlatma için gereken süre oldukça uzundur. Büyük tankların soğutulması zordur. İlk başlatmada harici bir güç kaynağına ihtiyaç duymaktadır. Yüksek bekleme modu güç talebine sahiptir. Boşta beklerken kendi kendine hızlı deşarj olabilmektedir (artı ve eksi yüklü elektrolit tankları arasındaki geçişlerden dolayı 1 kW civarında). Reaktif gücü kontrol edilememektedir (sürekli 2 kVAr endüktif). Elektromekanik ve elektrokimyasal sistemlerin bileşimi olan bu sistem ilk başlatmada önemli bir zaman dilimine ihtiyaç duymaktadır. Bir kez başlatıldıktan sonra bekleme modunda tutmak ve ancak uzun süre kullanılmayacaksa devreden çıkarmak gerekmektedir.

4.1.4 Küçük güçlü kombine ısı-güç çevrim elemanı

Yakıtla çalışan, elektromekanik kombine-ısı güç üretim elemanıdır. Verebileceği en yüksek aktif güç 3.6 kW olup reaktif güç sağlayamamaktadır. Talep edebileceği en güçler ise 1.9 kW ve 0.5 ila 1.3 kVAr'dır.

Uygun kontrol türleri maksimum aktif güç verme/talep etmedir. En küçük kontrol adımı 2.5 kW'tır. Mekanik başlatma hızı 1 dk 10 sn'dir ve doğrudan en yüksek güç değerine çıkmaktadır. Doğrudan tam güce çıktığı için bekleme modu bulunmamaktadır.

Olumlu yönleri sürekli ve kararlı yanıt verebilmesi ve uzaktan kontrol edilebilir olmasıdır. Diğer yandan, 1 dakikaya varan el ile yerel mekanik başlatma ihtiyacı, uzun yeniden başlatma süresi, yüksek ataleti olması ve reaktif güç kontrolü olmaması olumsuz yönleridir. Sık sık başlatılıp durdurulmaya da uygun değildir.

4.1.5 Sodyum nikel klorür batarya grubu

Elektrokimyasal türde enerji depolama elemanıdır. DC mikroşebekede yer aldığı için reaktif güç alışverişi yapamamaktadır. Verebileceği ve talep edebileceği en yüksek aktif güç miktarı 20 kW'tır. Enerji depolama kapasitesi 12 kWh'tir.

Uygun kontrol türleri Maksimum Aktif Güçle Şarj/Deşarj, Maksimum Enerji Depolama/Sağlama (6 kW şarj/deşarj gücüyle) ve Uzun Ömür'dür. En küçük kontrol adımı 0.01 kW'tır. Yanıt hızı 5 sn'dir. Bekleme modunda güç talebi 0.1 kW'tır. Yüksek sıcaklıklarda çalışan, dolayısıyla ortam sıcaklığındaki yüksek değerlere dayanıklı bir bataryadır. Kurşun-aside göre enerji yoğunluğu daha yüksektir.

Şarjdan deşarja ve tersine hızlı geçişler yapabilmektedir. Aşırı şarja ve özellikle aşırı deşarja karşı dayanıklıdır.

Diğer yandan maksimum güçle çalıştığında sıcaklığı yüksek değerlere çıkabilir ve batarya yönetim sistemi çıkış gücünü sınırlayabilir. Tamamen kapatıldığında soğuması uzun zaman aldığı için yeniden çalışması için saatlerce beklemek gerekmektedir. Bekleme modunda orta seviyede güç talebi vardır. Tesis edildiği yerde sıcaklığın kontrol edilebilmesi ve bataryanın yüksek sıcaklık çıkışının açık havaya iletilmesi gerekmektedir.

Batarya koruma sisteminin sınırlarından dolayı %10 ila %78 doluluk seviyesi arasında kullanılabilmektedir. Güç çıkış değişim hızı ise 10 kW/sn'dir.

4.1.6 Büyük güçlü kombine ısı-güç çevrim elemanı

Yakıtla çalışan, elektromekanik kombine-ısı güç üreti elemanıdır. Verebileceği en yüksek güçler 45 kW ve 28 kVAr'dır. Talep edebileceği en yüksek güçler ise 3 kW ile 0.3 ila 36 kVAr'dır.

Uygun kontrol türleri maksimum aktif güç verme/talep etme ve reaktif güç kontrolüdür. En küçük kontrol adımı 1 kW, yanıt hızı 0'dan 25 kW'a kadar 1 dk 40 sn, 25 kW ile 45 kW arasında ise 2 dk'dir. Bekleme modunda güç talebi 3 kW'tır.

Yüksek güçlü, sürekli ve kararlı yanıt verebilen, uzaktan kontrol edilebilir ve reaktif güç kontrolü bulunduran bir üretim elemanı olması olumlu yönleridir. Diğer yandan 1 dk'ye varan mekanik ve yerel başlatma, bekleme modunda yüksek güç talebi, uzun yeniden başlatma süresi, büyük ataleti ve reaktif güç kontrolünün sınırlı bir güç faktörü aralığında yapılabilmesi (0.8 endüktif-1-0.8 kapasitif) olumsuz yönleridir. Sık sık başlatılıp durdurmaya da uygun değildir.

4.1.7 Doğru gerilim şebekesi dönüştürücüsü

AC/DC mikroşebeke dönüştürücüsü güç elektroniği elemanıdır. Verebileceği ve talep edebileceği en yüksek güç 60 kW, 30 kVAr'dır. Sadece reaktif güç kontrolüne izin vermektedir. En küçük kontrol adımı 0.1 kW, yanıt hızı 5 sn, bekleme modunda güç talebi ise 0.9 kW'tır. Doğru gerilim tarafında işletme gerilimi 380 V'tur. Aktif güç kontrolü yapamaması ve diğer elemanlara göre orta seviyede bekleme modu güç talebi olumsuz yönleridir.

4.1.8 Diğer elemanlar ve yorumlar

Güneş paneli ve rüzgar türbini merkezi kontrol sistemi ile uzaktan kontrol edilemeyip, sadece yanı başında bulunan analog kontrol elemanlarıyla yönetilebildikleri için yönetim çalışmalarına dahil edilmemiştir.

Bataryalar, en yüksek güçle şarj/deşarj edildikleri durumda, daha küçük güçlere göre daha az miktarda enerji depolanabilmekte/temin edilebilmektedir. Bunun temel sebebi, batarya hücrelerinin iç dirençlerinin ve sıcaklıklarının yüksek akımlarda artması ve hücre gerilimlerinde ciddi-geçici değişimler sebebiyle eviricilerin şarj veya deşarj süreçlerini koruma amaçlı durdurmasıdır. Bu nedenle cihaz sahipleri için şarj/deşarj ayar değerinin otomatik olarak atanabileceği iki kontrol türü önerilebilir: maksimum güç, maksimum enerji. Kısa süreli güç yönetimi uygulamalarında maksimum güç tercih edilip, uzun süreli enerji yönetimi olaylarında maksimum enerji modu kullanılabilir. Ayrıca, destek amaçlı olarak önerilen "uzun ömür modu" ile batarya kapasitesinin daha sınırlı bir kısmı (örneğin kurşun-asit ve lityum-iyon için %20 ile %80 arası) kullanılabilir. Yine bu mod sayesinde, belirli bir olay için sınırlı miktarda enerji kullanılarak şarj-deşarj döngüsü sayısı azaltılabilir. Bir başka destekleyici mod "yüksek tutarlılık" olup, normalde %5'lere varabilen sürekli hal kontrol hatası PID kontrol sayesinde, ciddi miktarda azaltılabilmekte hatta 0'a indirilebilmektedir (Çizelge 4.1). Bu sırada yanıt süresine fazladan yaklaşık 15 sn eklenmektedir.

Hata oranı, $\boldsymbol{p_{hata}}$, (4.1) ile verilen denkleme göre hesaplanmıştır. Denklemde $\boldsymbol{P_{ayarlanan}}$, cihazın güç ayar değerini, $\boldsymbol{P_{çıkış}}$ ise cihazın gerçekte ulaştığı güç çıkış değerini temsil etmektedir.

Cihazların karakteristik özellikleri (aşırı şarj ve deşarja dayanıklı olma vb.) ve yönetim sırasında dikkat edilmesi gerekenler (ayar değeri aralığı) kullanıcıya özet bir şekilde görsel olarak ifade edilebilir. Ayrıca, elektromekanik aksamlara sahip cihazlar (vanadyum redoks ve kombine ısı-güç çevrim üniteleri) yavaş cevap verme sürelerinden dolayı, hızlı yanıt gerektiren uygulamalara dahil edilmeyebilir. Bekleme modunda güç talebi yüksek cihazlar ise kullanıcıya sunulacak bir kısayol aracılığıyla toplu olarak devreden çıkarılabilir.

$$p_{hata} = \frac{\left|P_{ayarlanan} - P_{çıkış}\right|}{P_{ayarlanan}} \times 100 \quad (4.1)$$

Çizelge 4.1 : PID kontrolün kurşun-asit batarya yönetim performansına etkisi.

Çalışma Modu	Ayar Değeri [kW]	PID Kontrolsüz Aktif Güç [kW]	PID Kontrolsüz Hata Oranı [%]	PID Kontrollü Aktif Güç [kW]	PID Kontrollü Hata Oranı [%]
Deşarj	5.00	5.24	4.58	5.00	0.00
Deşarj	5.50	5.74	4.18	5.50	0.00
Deşarj	10.00	10.60	5.66	10.00	0.00
Deşarj	10.50	11.10	5.41	10.50	0.00
Deşarj	15.00	15.91	5.72	15.00	0.00
Deşarj	15.50	16.40	5.49	15.50	0.00
Deşarj	20.00	19.40	3.09	19.50	2.56
Şarj	-2.50	5-2.7	7.41	-2.50	0.00
Şarj	-5.00	-5.5	9.09	-5.00	0.00

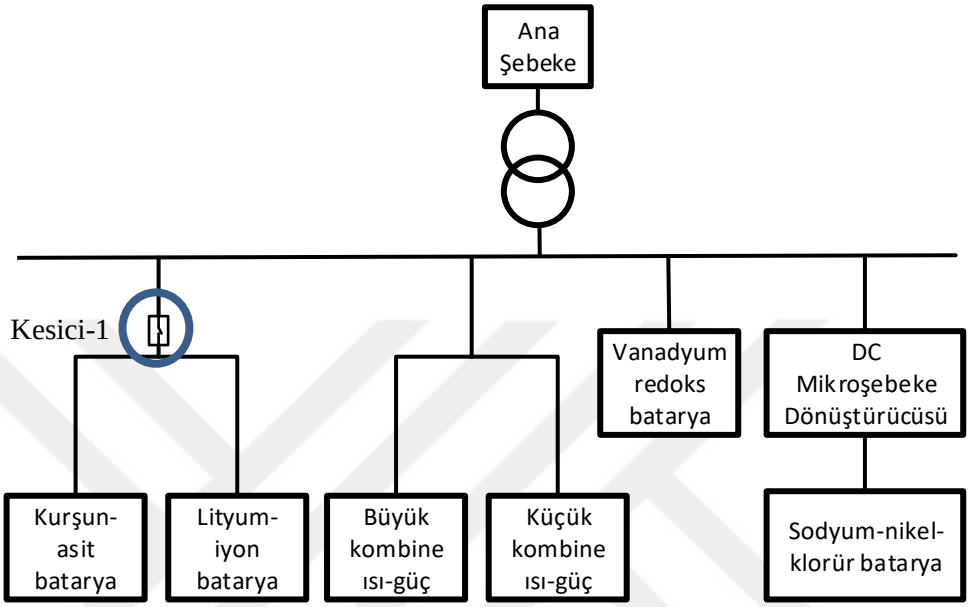
4.2 Etkin ve Otonom Güç ve Enerji Yönetimi Testleri

Cihaz kullanıcıları, toplu yönetimden sorumlu aracılar ve şebeke operatörlerinin tarife, enerji piyasası fiyatları ve şebeke olayları için tercih edebilecekleri yönetim yaklaşımları bu bölümde farklı senaryolarla sahada test edilmiştir.

4.2.1 Kullanıcılar için tarifeye dayalı koordinasyonsuz yönetim

Bu yönetim yaklaşımında cihazlar için iki fiyat dönemi düşünülmüştür. Birinde enerji fiyatının sisteme kombine ısı-güç çevrim üniteleriyle dahi enerji sağlayacak kadar yüksek olduğu kabul edilmiştir. Yine bu dönemde bataryaların, önceki dönemlerde daha ucuz fiyatlarla enerji depoladıkları ve bu enerjiyi sisteme verebilecekleri varsayımı yapılmıştır. İkinci fiyat döneminde ise fiyatın düştüğü, bataryaların şarj edilebileceği ve kombine ısı-güç çevrim santralinin ise işletme maliyetinin elde edilebilecek kazançtan daha yüksek olması sebebiyle devreden çıkarılmasının uygun olduğu kabul edilmiştir. Temel amaç, cihazların herhangi bir koordinasyon olmaksızın, bireysel yönetimidir. Yüksek fiyatlı dönemin 5. dakikasında birkaç elemanı sisteme bağlayan ortak hattın kesicisi (Kesici-1) aşırı akımdan dolayı açma yapmıştır (Şekil 4.2).

Bunun temel nedeni, cihazların ortak bağlantı noktalarında belirli sınırlar içerisinde toplam güç akışı sağlayacak şekilde koordine edilmemesi ve bağımsız üretim profiline sahip güneş panelinin üretimindeki beklenmeyen değişimdir. Koordine yönetim yapılarak sistemin belirli noktalarının aşırı yüklenmeyeceği güç çıkışları kararlı bir şekilde uygulanabilir.



Şekil 4.2 : Aşırı akımdan dolayı açma yapan kesici (mavi daire içinde).

Bu testlerden elde edilen bir diğer önemli bulgu, cihazların maksimum güç sağlayabilecekleri sürelerdir (Çizelge 4.2).

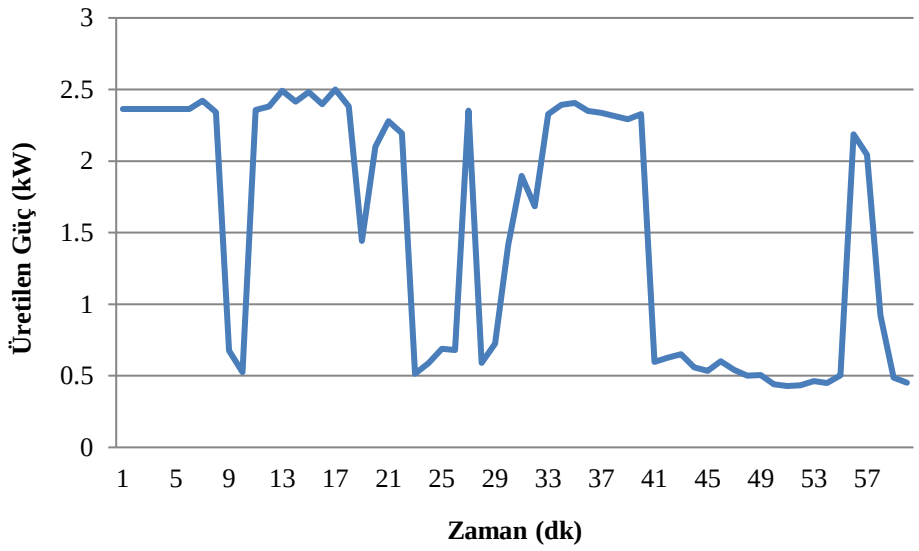
Çizelge 4.2 : Bataryaların maksimum güç sağlayabildikleri süreler.

Cihaz	Maksimum Güç Sağlayabildiği Süre [dk]
Kurşun-asit batarya grubu	60
Lityum-iyon batarya grubu	41
Vanadyum redoks batarya grubu	60
Sodyum nikel klorür batarya grubu	28

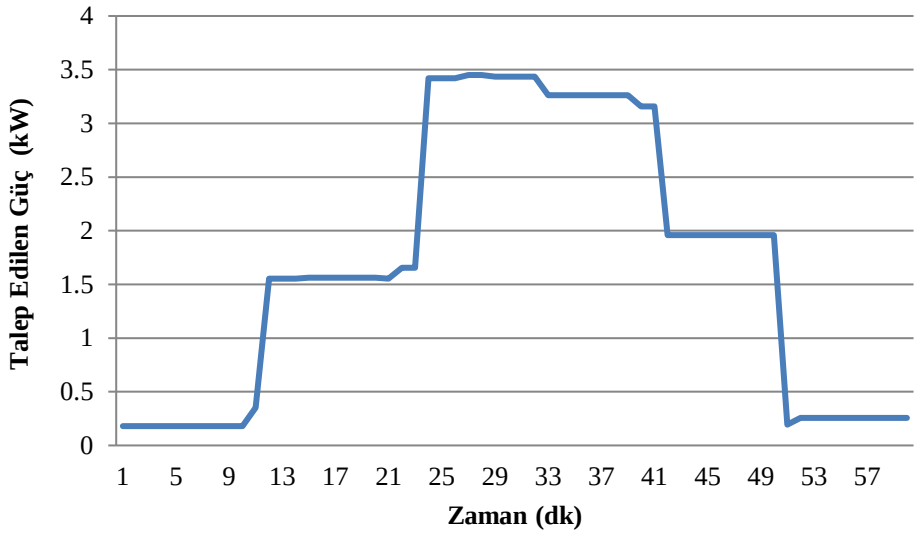
4.2.2 Kullanıcılar için koordine yönetim

Bu senaryoda, bir saatlik gerçek güneş paneli grubu ve rüzgar türbinine ait geçmiş üretim profilleri, DC kontrollü kaynak ile sisteme uygulanmıştır (Şekil 4.3).

Tipik bir evin tüketim profili ise kontrol edilebilir yük aracılığıyla sisteme uygulanmıştır (Şekil 4.4). Tüm bu veriler 1 dakikalık sıklıktadır.



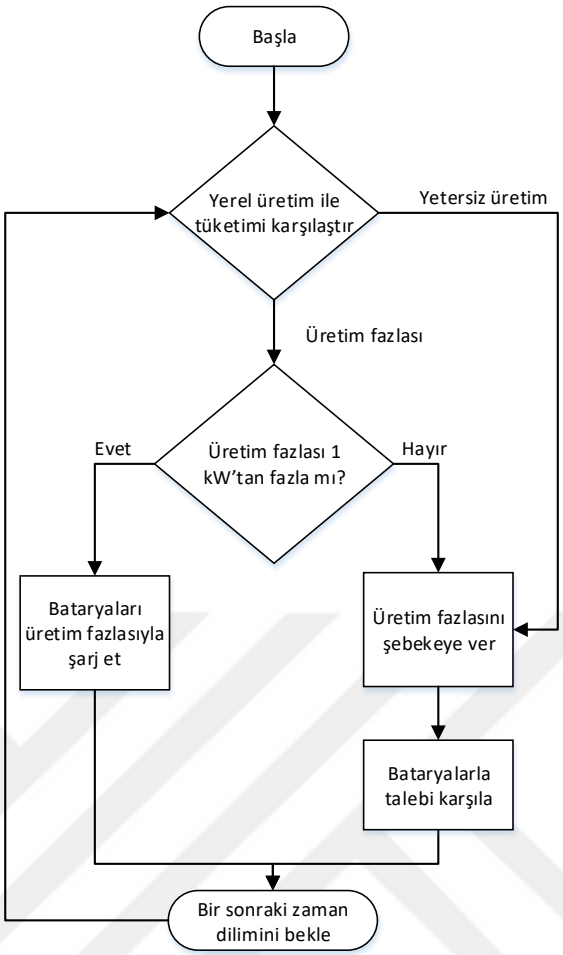
Şekil 4.3 : Kullanılan geçmiş güneş paneli ve rüzgar türbini üretim profili.



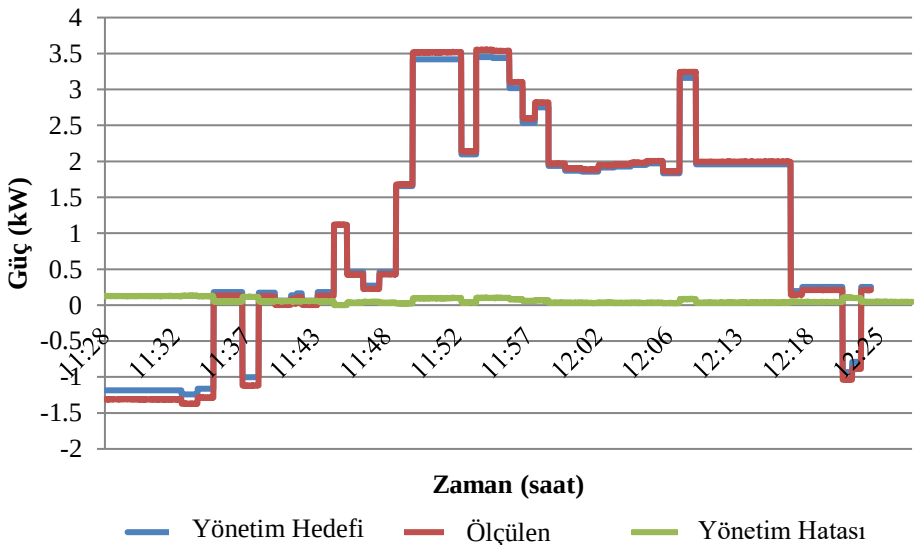
Şekil 4.4 : Kullanılan bir saatlik ev tüketim profili.

Koordine yönetim senaryosunda, fazla üretim durumunda kullanıcının şebekeye verdiği net güç 1 kW'ı geçmeyecek ve üretimin yetersiz olduğu zamanlarda da lityum-iyon batarya grubu kullanılarak net güç alışverişi 0 kW olacak şekilde bir algoritma tanımlanmıştır (Şekil 4.5).

Batarya grubu 1 saatlik yönetim boyunca yönetim mantığından gelen ayar değerlerini %94 başarıyla takip etmiştir (Şekil 4.6). Arada oluşan fark, temel olarak evirici kayıplarından kaynaklı olup 130 W'ı geçmemektedir.



Şekil 4.5 : Tekil kullanıcı için koordine yönetim mantığı.



Şekil 4.6 : Lityum-iyon batarya grubunun ayar değerlerini izleme başarısı.

4.2.3 Toplu yöneticiler için piyasa odaklı koordine yönetim

Bu test senaryosunda, bir toplu yöneticinin 15 dakikalık işletme periyotları bulunan bir piyasada dört ardışık kabul edilmiş teklifi olduğu düşünülmüştür. Toplu yönetici, portföyündeki güneş panelleri ve rüzgar türbininin değişken üretim profili ve ev tüketicisinin tüketim profiline göre kurşun-asit, lityum-iyon ve sodyum nikel klorür batarya gruplarını yöneterek piyasada kabul edilmiş teklif hedeflerini sağlamaya çalışmaktadır. Bu üç batarya grubu yönetilirken hedeflenen güç miktarı ($P_{aggtarget}$), enerji depolama kapasiteleriyle ($E_{bat,i}$) doğru orantılı olarak paylaştırılmaktadır ($P_{bat,i}$). İzlenilen yaklaşımı temsil eden denklem (4.2)'de verilmiştir.

$$P_{bat,i} = P_{aggtarget} \frac{E_{bat,i}}{\sum_{k=1}^{n} E_{bat,k}} \tag{4.2}$$

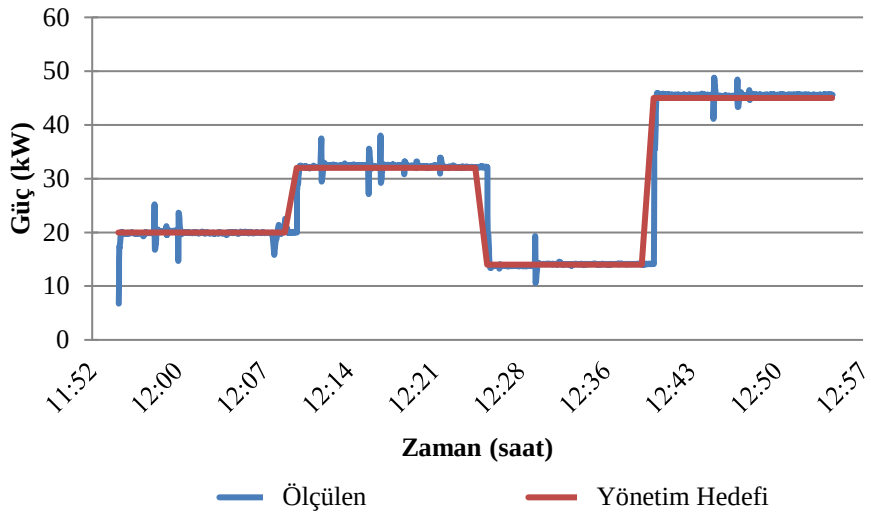
Cihazların yönetim performansı, çok sayıda aktif güç ayar değeri ile kontrol durumunda, enerji alışverişi, E_{per} dikkate alınarak (4.3)'te verilen denklem ile, az sayıda reaktif güç ayar değeri ile yönetim durumunda ise toplam güç çıkış performansı Q_{total}, göz önüne alınarak denklem (4.4)'e göre hesaplanmıştır. Hedeflenen aktif enerji ve reaktif güç değerleri E_{des} ve Q_{des}, ulaşılan aktif enerji ve reaktif güç değerleri ise E_{ach} ve Q_{ach} ile temsil edilmiştir.

$$E_{per} = \frac{E_{ach}}{E_{des}} \tag{4.3}$$

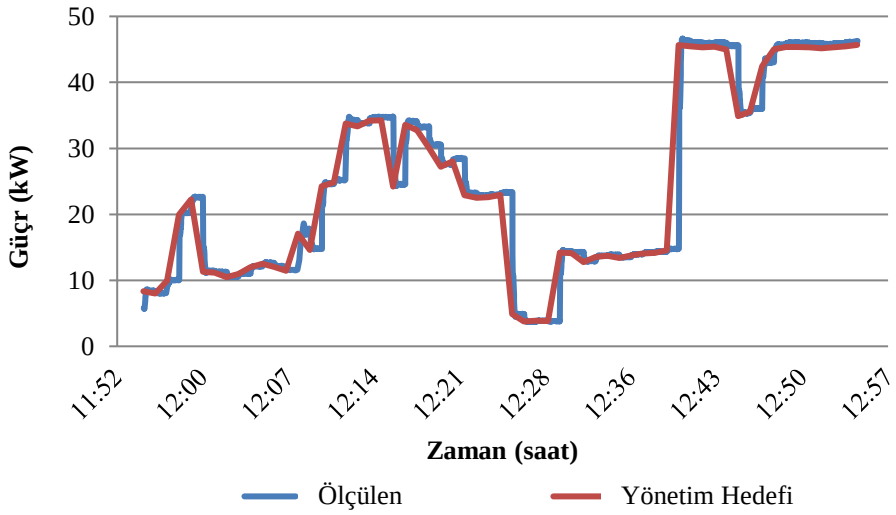
$$Q_{total} = \sum_{i=1}^{n} \frac{Q_{ach}}{Q_{des}} \tag{4.4}$$

Aktif güç yönetiminde toplam hedef izleme performansı Şekil 4.7'de, bataryaların başarısı ise Şekil 4.8'de verilmiştir. Cihaz başına ve toplu yönetim performansı ise Çizelge 4.3'te bulunmaktadır.

Bu aşamada, kurşun asit batarya grubu, lityum-iyon batarya grubu ve DC şebeke dönüştürücüsü kullanılarak toplu reaktif enerji yönetimi testi de yapılmıştır. Bir saat boyunca farklı ayar değerleri uygulandığında elde edilen profil Şekil 4.9'da, yönetim performansı ise Çizelge 4.4'te verilmiştir.



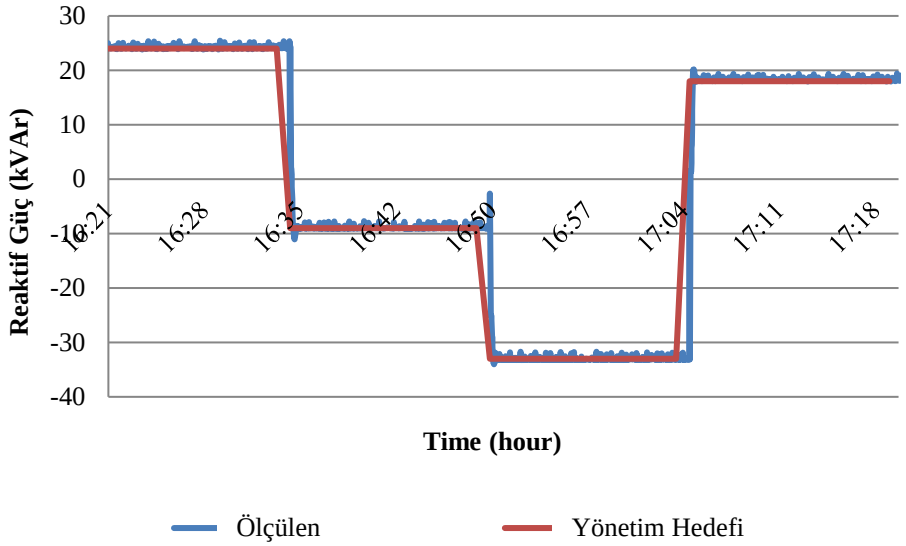
Şekil 4.7 : Toplu yöneticinin aktif güç yönetim hedeflerini sağlama başarısı.



Şekil 4.8 : Bataryaların toplu aktif güç yönetimi başarısı.

Çizelge 4.3 : Cihaz başına ve toplu yönetim performansı

Kontrol Edilen Cihaz	Hedeflenen Enerji Miktarı (kWh)	Gerçek Enerji Alışverişi (kWh)	Yönetim Performansı (%)
Kurşun-asit batarya grubu	8.12	8.02	98.80
Lityum-iyon batarya grubu	10.39	10.43	99.60
Sodyum nikel klorür batarya grubu	6.48	6.42	99.07
Toplam	24.99	24.87	99.51



Şekil 4.9 : Farklı ayar değerleri uygulandığında elde edilen profil.

Çizelge 4.4 : Reaktif enerji toplum yönetim başarısı.

İlgili Enerji Miktarı ve Zaman Dilimi	Kurşun-asit batarya grubu	Lityum-iyon batarya grubu	DC şebeke dönüştürücü	Toplam
Hedeflenen Enerji Miktarı 1. Periyot (kVARh)	2.00	2.00	2.00	6.00
Hedeflenen Enerji Miktarı 2. Periyot (kVARh)	-0.75	-0.75	-0.75	-2.25
Hedeflenen Enerji Miktarı 3. Periyot (kVARh)	-2.75	-2.75	-2.75	-8.25
Hedeflenen Enerji Miktarı 4. Periyot (kVARh)	1.5	1.5	1.5	4.5
Gerçekleşen Enerji Miktarı 1. Periyot (kVARh)	1.75	1.87	1.78	5.41
Gerçekleşen Enerji Miktarı 2. Periyot (kVARh)	-0.64	-0.74	-0.67	-2.07
Gerçekleşen Enerji Miktarı 3. Periyot (kVARh)	-2.54	-2.79	-2.65	-7.98
Gerçekleşen Enerji Miktarı 4. Periyot (kVARh)	1.55	1.62	1.52	4.70
Yönetim Performasnı (%)	90.57	96.53	91.88	93.57

4.2.4 Yerel aşırı/düşük gerilim sorunlarına yönelik yönetim

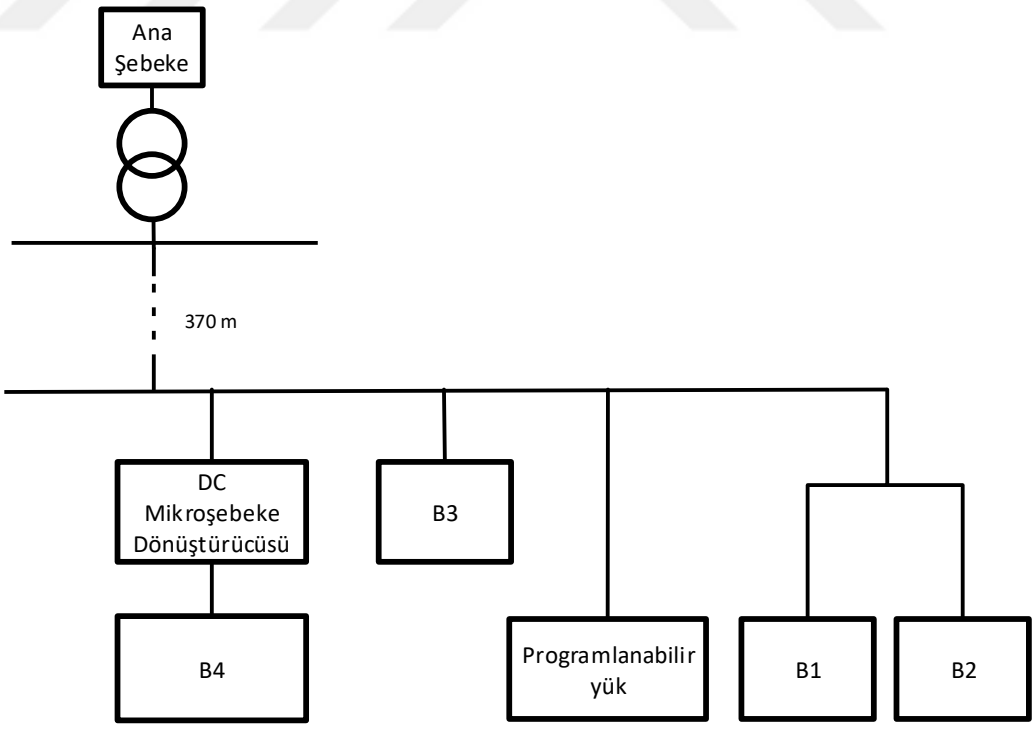
Yerel şebekenin sorunlarını gidermeye yönelik testler enerji yerine güç yönetimine dayalı olup, bataryaların türlerinden daha çok sisteme bağlantı noktaları öne çıkmaktadır. Bu nedenle kullanılan bataryalar, Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5 : Cihazların testlerdeki kodları.

Batarya grubu	Güç Yönetimi Testlerindeki Kodu
Kurşun-asit batarya grubu	B1
Lityum-iyon batarya grubu	B2
Vanadyum redoks batarya grubu	B3
Sodyum nikel klorür batarya grubu	B4

Sistemde meydana gelebilecek aşırı gerilim ve düşük gerilim olaylarını gidermeye yönelik yönetim bu bölümdeki testlerle denenmiştir.

Düşük gerilim testlerinde Şekil 4.10'daki kurulum tercih edilmiştir. Bu kurulumda B1, B2, B3, B4 ve programlanabilir yük fiderin uzak noktalarına bağlanmıştır.



Şekil 4.10 : Düşük gerilim testleri kurulumu.

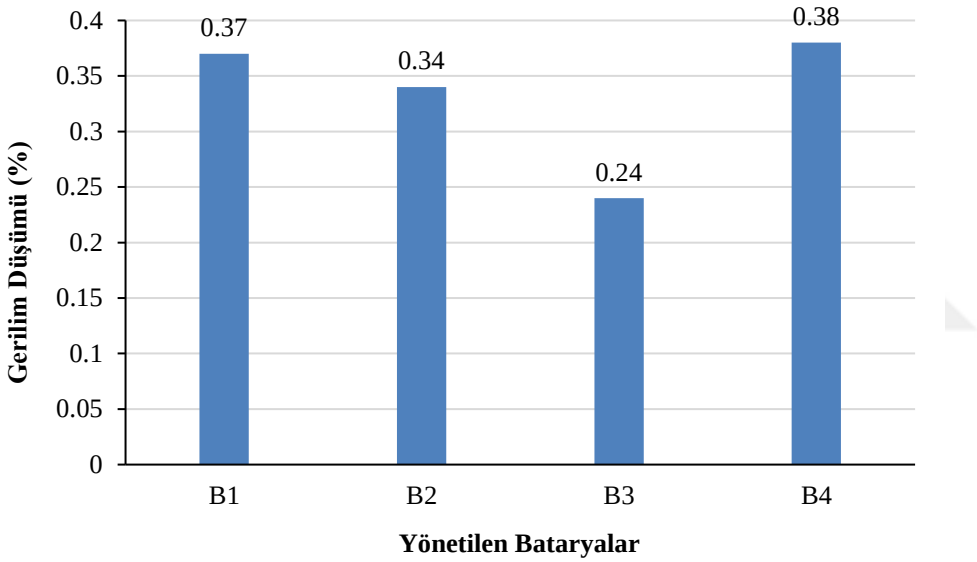
Cihazların yerel sorunu gidermeye katkıları hesaplanmıştır. Bara gerilimindeki düzelme hesaplanırken (3) ile verilen denklemden yararlanılmıştır.

$$V_{düzelme} = \left(\left|\frac{V_{ilk}}{V_{anma}}\right| - \left|\frac{V_{son}}{V_{anma}}\right|\right) \times 100 \quad (4.5)$$

Sonuçlar Çizelge 4.6'da ve Şekil 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.6 : Cihazların gerilim değerlerini düzeltmeye bireysel katkıları.

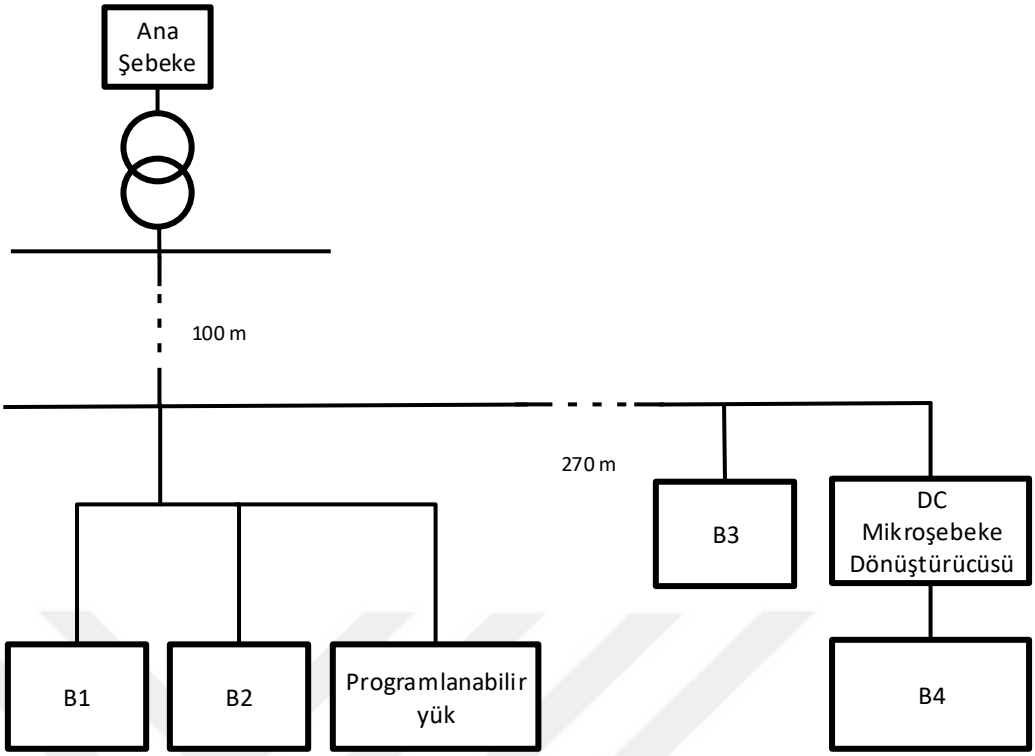
Kontrol Edilen Cihaz	En Yüksek Güç Yönetim Miktarı (kW)	En Kritik Baranın Gerilimdeki Düzelme (%)
B1	15	1.01
B2	25	1.51
B3	25	1.37
B4	15	0.85



Şekil 4.11 : Yönetilebilir her cihazda 5 kW azalmanın en kritik baraya etkisi.

Çizelge 4.6'dan görüleceği üzere, bir cihazın başka bir bara üzerindeki etkisi, trafo merkezinden itibaren paylaştıkları ortak hatta bağlıdır. En kritik barayla daha uzun bir ortak hatta sahip batarya grupları, gerilim değerini düzeltmeye daha çok yardımcı olabilmişlerdir. Diğer yandan, en kritik baraya uzak bir noktada olan vanadyum redoks batarya grubu ise, daha yüksek miktarda güç yönetimi olanağı sayesinde daha yakın olan sodyum nikel klorür bataryalara göre gerilim değerini düzeltmeye daha çok katkı sağlayabilmiştir.

Aşırı gerilim testleri için Şekil 4.12'de verilen kurulum tercih edilmiştir. B1, B2, B4 ve programlanabilir yük fiderin ortalarında yer alırken, B3 grubu aynı fiderin daha uzak noktasına bağlanmıştır.



Şekil 4.12 : Aşırı gerilim testleri kurulumu.

Cihazların aşırı gerilim sorunu gidermeye katkıları Çizelge 4.7'de ve Şekil 4.13'te verilmiştir.

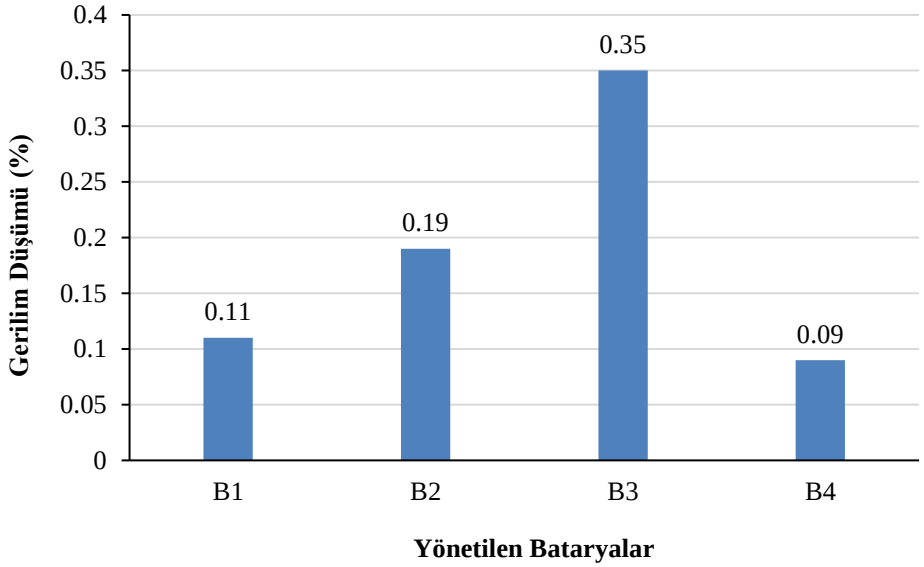
Çizelge 4.7 : Cihazların aşırı gerilim sorununu düzeltmeye bireysel katkıları.

Kontrol Edilen Cihaz	En Yüksek Güç Yönetim Miktarı (kW)	Cihazın Kendi Barasındaki Gerilim Değerindeki Düzelme (%)	En Kritik Baranın Gerilim Değerindeki Düzelme (%)
B1	5	0,79	0,11
B2	25	0.66	0.31
B3	8	0,84	0,46
B4	15	0.38	0.26

Düşük gerilim testine benzer şekilde, ortak paylaşılan hatta göre etkiler değişiklik göstermektedir. Bu testte, B4'ün etkisi, B1'den daha fazladır. Bunun nedeni, B1 grubunun en yüksek şarj gücünün 5 kW ile sınırlı olmasıdır.

Şekil 4.12'deki kurulum ile reaktif güç yönetimi testi de yapılmıştır. Bu testte, B1, B2 ve B4 ile ayar değerlerine göre reaktif güç sağlanmış veya tüketilmiştir.

Cihazların reaktif güç yönetimi ile gerilim değerini düzeltme başarıları Çizelge 4.8'de ve Şekil 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.13 : Yönetilebilir her cihazda 5 kW artışın en kritik baraya etkisi.

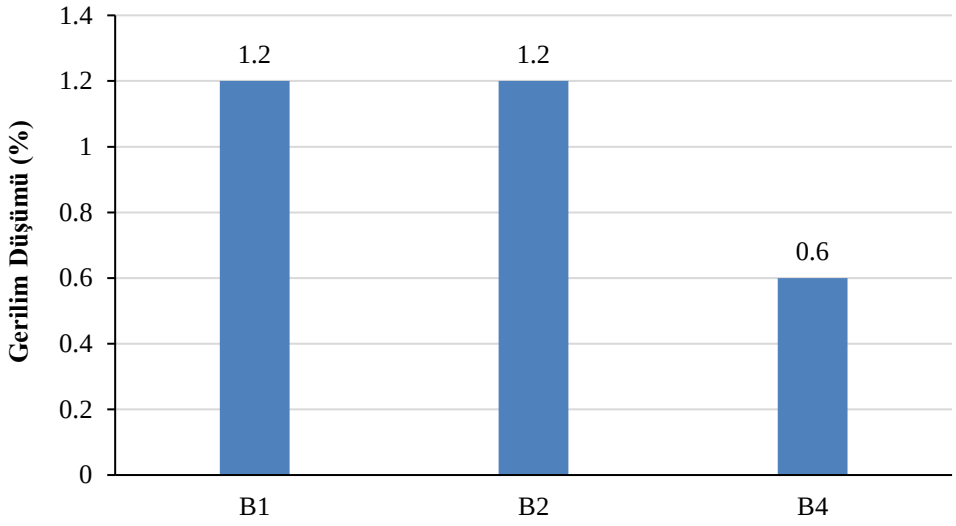
Çizelge 4.8 : Reaktif güç yönetimi ile aşırı gerilimi düzeltme başarısı.

Kontrol Edilen Cihaz	En Yüksek Güç Yönetim Miktarı (kVAr)	En Kritik Baranın Gerilim Değerindeki Düzelme (%)
B1	15	4,9
B2	25	2,4
B4 (DC miroşebeke dönüştürücüsü aracılığıyla)	25	1,7

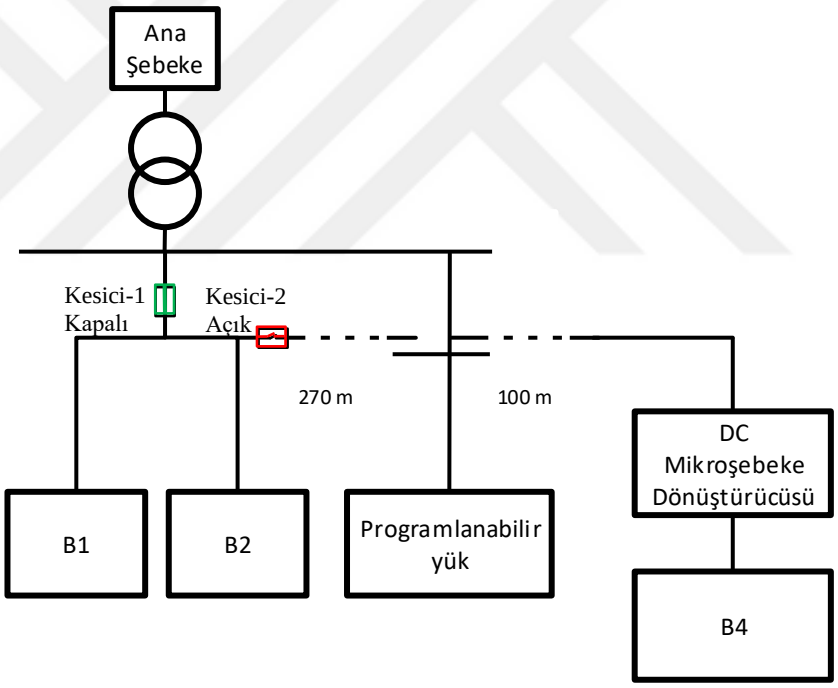
Sistemdeki hatların R ve X değerlerinin herhangi biri fazlasıyla baskın olmayıp, ikisi de önemli oranlarda olduğu için hem aktif hem de reaktif güç yönetimi, yerel gerilim sorunlarının çözülmesine önemli ölçüde fayda sağlayabilmektedir.

4.2.5 Dağıtım şebekesi bağlantı düzenlemelerine yönelik yönetim

Elemanların bağlantı düzenlemesi yapılarak yerel şebekenin farklı bir noktasına taşınmasını desteklemeye yönelik bir test yapılmıştır. Şekil 4.15 ve Şekil 4.16 ile gösterilen, düzenleme öncesi ve sonrası bağlantılarına dayalı bir test yapılmıştır. B1, B2 ve B4 bağlantı düzenlemesi yapılarak programlanabilir yükün bulunduğu, fiderin uzak noktasına bağlanmışlardır.

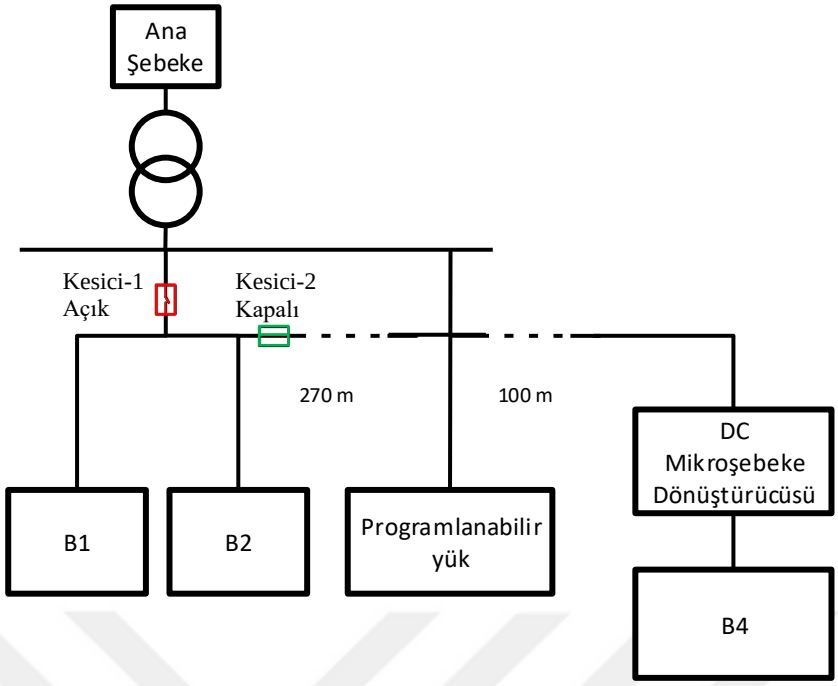


Şekil 4.14 : Yönetilebilir her cihazda 5 kVAr değişimin en kritik baraya etkisi.



Şekil 4.15 : Düzenleme öncesi bağlantılar.

Sonuçlar Çizelge 4.9'da verilmiştir. B4, B2 ile aynı fiderin mesafesinin bir miktarını ortak paylaştığı için, gerilim değerini düzeltmeye %50 oranında fayda sağlayabilmiştir. Diğer yandan, B1, B2'nin besleme hattının çok büyük bir kısmını ortak paylaştığı için gerilim değerini %98 oranında düzeltebilmiştir.



Şekil 4.16 : Düzenleme sonrası bağlantılar.

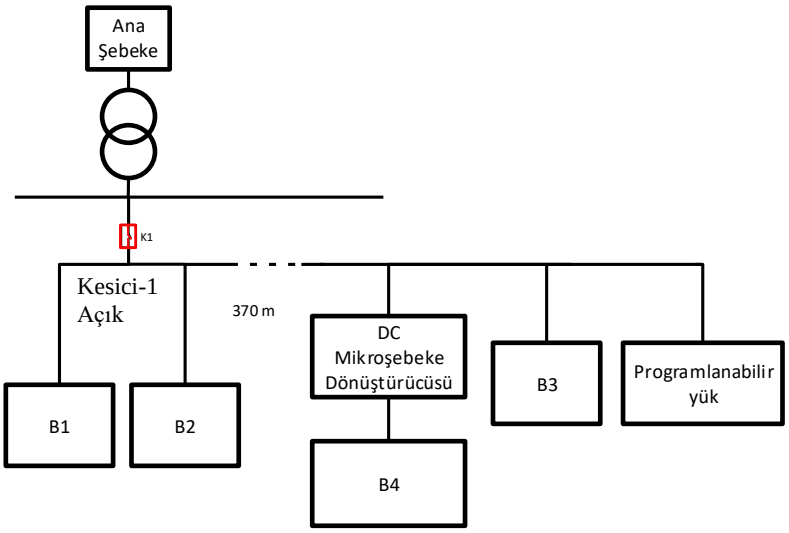
Çizelge 4.9 : Cihazların en kritik bara gerilimine etkileri.

Kontrol Edilen Cihaz	En Yüksek Güç Yönetim Miktarı (kW)	Düzenlemeden Kaynaklı Bara Gerilimi Değişimi (%)	En Kritik Baranın Gerilimindeki Düzelme (%)	Düzenlemeden Kaynaklı Bara Gerilimi Sorununu Düzeltme Başarısı (%)
Kurşun-asit batarya grubu	15	0,54	0,33	50
Sodyum nikel klorür batarya grubu	15	1,56	0,93	98

4.2.6 Ada çalışmasını desteklemeye yönelik toplu yönetim

Yönetim hareketlerinin, şebekeden izole ada çalışması modundaki etkisini gözlemlemek amacıyla yapılan bu testte lityum-iyon batarya grubu (B2) ana gerilim kaynağı olarak kullanılmıştır. Şekil 4.17'de verilen bağlantı şemasında sistemi ana baraya bağlayan Kesici-1 açılarak sistem ana şebekeden ayrılmıştır.

B1 ve B4 yönetilerek gerilim kaynağı görevi gören lityum-iyon bataryaların (B2) yükü azaltılmaya ve gerilim profili iyileştirilmeye çalışılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.17 : Ada çalışması bağlantı şeması.

Çizelge 4.10 : Bataryaların ada çalışmasını desteklemeye katkıları

Kontrol Edilen Cihaz	Yönetilen Güç Miktarı (kW) / Yönetim Hedefi (kW)	Cihazın Bağlı Olduğu Barada Gerilim Düzelmesi (%)	Gerilim Kaynağı Görevi Gören Cihazın Yüklenmesindeki Azalma (%)	Yönetim Performansı (%)
B1	7,27 / 7,50	1,34	45	96
B4	7,88 / 7,50	1,56	34	94

Sonuçlardan da görüleceği üzere, ada çalışmasında yapılan yönetim hareketleri gerilim değerlerini daha etkin olarak düzeltebilmektedir. Bunun temel sebebi, gerilim kaynağı görevi gören cihazın, arz/talep değişikliklerine karşı daha hassas olmasıdır. Ayrıca arz/talep dengesi, bu işletme sırasında gerilim kaynağı görevi gören cihazın aşırı yüklenmesini önleyip sistem çökmelerinin ve enerji kesintilerinin de önüne geçebilir.

4.3 Oyunlaştırılmış Kullanıcı Platformu Denemeleri

Oyunlaştırma tekniklerinden faydalanılarak metin tabanlı bir deneme programı geliştirilmiştir. Program MATLAB yazılımında geliştirilmiş olup, laboratuvarın LabVIEW'daki merkezi izleme ve kontrol sistemiyle, MATLAB'ta tanımlanan Java Objeleri aracılığıyla etkileşime geçmektedir. İki sistemin etkileşimini sağlayan bu Java Objeleri laboratuvardaki araştırmacılar tarafından geliştirilmiş ve kullanıma sunulmuştur.

Bu program,

- yönetim gerektiren olayın içeriği,

- sistemin mevcut durumunu özetleyen parametreler,

- duruma özel hızlı bir şekilde uygulanabilecek uygun yönetim tavsiyeleri,

- her zaman uygulanabilecek yönetim hareketlerine kısayollar,

- cihaz-katılımcı detaylarına ve yönetim istatistiklerine bağlantılar içermektedir.

Programın ana yapısı liste halinde EK B'de verilmiştir. Program ilk çalıştığında tek seferliğine yapılan işlemler, ana döngü içerisinde sürekli yapılan işlemler ve ancak kullanıcı seçtiği takdirde yapılan harici fonksiyonlar bulunmaktadır.

Geliştirilen program sahada denenmiştir. Anlık yönetim hareketleri milisaniyelik gecikmelerle başarıyla uygulanabilmiştir. Enerji yönetimine dayalı otomatik uygulamalar ise saniyelik aralıklarla başarıyla çalıştırılabilmiştir. Maksimum güç modu, maksimum enerji modu, bireysel tüketim modu gibi kullanıcı fonksiyonları, adil güç, adil oran modu gibi toplu yönetici modları denenmiştir.

Oyunlaştırma tekniklerinin bu uygulamalar için uygun olanları incelenerek yol gösterici bir çalışma yapılmıştır.

Oyunlaştırma hedefleri,

- net enerji alışverişini azaltmak (bireysel tüketimi arttırmak),

- enerji maliyetini azaltmak,

- olaylara hızlı yanıt vermek (tarifenin fiyatlandırma periyodu, toplu yönetim veya sistem durumundaki değişim),

- fiyat duyarlılığını arttırmak,

- bataryaların kullanım ömrünü uzatmak,

- enerjiyi daha etkin kullanmak,

- olay ve sistem koşullarını açıkça anlamak olarak tanımlanmıştır.

Kullanıcını yeteneklerini ve farkındalığını arttırma amacıyla sunulabilecek görevler gruplandırılabilir.

1) Temel Fonksiyonlara Giriş

- Bir veya birkaç yönetim modunu aç/kapa,

- Bir veya birkaç bataryayı şarj/deşarj moduna geçir,

- Aynı anda birçok cihazı yönet.

2) Yönetimde Uzmanlaşma

- Belirli miktarda enerji depola/sağla/kendin tüket,

- Belirli bir cihazın çıkış gücünü en yüksek/en düşük değere ayarla,

- Aynı gün içerisinde belirli miktarda enerjiyi depola ve harca,

- Bir toplu yönetim etkinliğine katıl,

- Bir dağıtım şebekesi operatörü etkinliğine katıl,

- Bir etkinlik boyunca cihaza müdahale etme,

3) İleri ve Sürekli Yönetim

- Geçen gün/hafta/ay/etkinliğe göre daha fazla enerji depola/sağla/kendin tüket,

- Aynı anda birçok yönetim hareketi uygula.

Geliştirilen yapı için, kullanıcı-toplu yönetici-şebeke operatörü ilişkisi de ayrıca alt bölümlerde irdelenmiştir.

4.3.1 Kullanıcılara yönelik platform içeriği

Kullanıcılara hizmet eden bir platformun içerik özellikleri aşağıda genel hatlarıyla verilmiştir.

Ana olay içeriği:

- Mevcut zaman,

- Mevcut fiyat,

- Enerji almak veya satmak için fiyatın kullanıcı tanımlı fiyat eşik değerinin altında veya üstünde olup olmadığı,

- Kalan zaman.

Sistemin mevcut durumunun ifadesi:

- Şebeke ile net güç alışverişi,

- Mevcut yönetim modu.

Duruma göre anlık olarak uygulanabilir hareketler:

- Yenilenebilir enerjiye dayalı dağıtık üretim çıkışını en yüksek/en düşük değere ayarla,

- Fosil yakıta dayalı dağıtık üretim çıkışını en yüksek/en düşük değere ayarla,

- Bataryalarla enerji depola/harca.

Her zaman uygulanabilir kontrol hareketleri:

- Tavsiye edilen seçeneklerin tamamını uygula,

- Son kontrol hareketini geri al,

- Maksimum Güç/Maksimum Enerji Modu,

- Uzun Ömür Modunu Aç/Kapa,

- Yüksek Tutarlılık Modunu Aç/Kapa,

- Bireysel Tüketim Modu,

- En İyi Fiyatı Bekle Modunu Aç/Kapa,

- Günlük Plan (fiyatlar, hava tahmini ve bulutluluk oranı, planlanmış ve uygulanma zamanını bekleyen yönetim hareketlerini görüntüleme),

- Yaklaşan toplu yönetim aktiviteleri (detayları görüntülenebilir ve aralarından seçim yapılabilir),

- Toplu Yönetime Otomatik Katılımı (Aç/Kapa),

- Dağıtım Şebekesi Operatörü Yönetimine Otomatik Katılımı Aç/Kapa (yerel sorunları gidermeye yardımcı olmak için),

- Fiyat sınırı tanımla/Mevcut tanımlanmış sınırı güncelle,

- Bekleme modunda yüksek güç talep eden cihazları devreden çıkar.

Cihaz/katılımcı detayları bölümü:

- Cihazın adı,

- Cihazın sağlayabileceği ve tüketebileceği en yüksek güç değerleri,

- Enerji depolama kapasitesi (bataryalar için),

- Yanıt süresi,

- Anlık sağladığı/talep ettiği güç,

- Anlık enerji doluluk oranı veya kullanılabilir enerji miktarı (bataryalar için),

- Cihaza özel ayar değeri tanımlama, cihazı açma/kapatma, standart modlar (maksimum güç, maksimum enerji, bireysel tüket, en iyisini bekle), destekleyici modlar (yüksek tutarlılık modu, uzun ömür modu),

- Cihazın avantajları, dezavantajları ve yönetim detayı ekranlarına bağlantılar..

Yönetim istatistikleri bölümü:

- Olay listesi,

- Olay başına net enerji alışverişi,

- Olay başına sağlanan enerji,

- Olay başına tüketilen enerji,

- Olay başına depolanan enerji,

- En çok enerji depolanan olayın kaydı,

- En çok enerji sağlanan olayın kaydı,

- En çok tüketim gerçekleştirilen olayın kaydı.

4.3.2 Toplu yöneticilere yönelik platform içeriği

Kullanıcılarla etkileşim içerisinde olacak bir toplu yönetici platformunun içerik özellikleri aşağıda genel hatlarıyla verilmiştir.

Ana olay içeriği:

- Mevcut zaman,

- Piyasada kabul edilip anlaşmaya bağlanmış güç miktarı,

- Kalan zaman.

Sistemin mevcut durumunun ifadesi:

- Toplu yönetilen yük,

- Toplu yönetim hedefindeki açık,

- Mevcut toplu yönetim modu,

- Yönetim havuzunda bekleyen cihazların sağlayabileceği güç miktarı.

Duruma göre anlık olarak uygulanabilir hareketler:

- Adil güç modu (toplu yönetim hedefinin tüm katılımcılara eşit güç miktarıyla paylaştırılması),

- Adil oran modu (toplu yönetim hedefinin katılımcılara, yönetilebilir cihazlarının kurulu güçleriyle orantılı olarak paylaştırılması),

- Serbest rekabet modu (kullanıcıların ne kadar katkı sağlayacaklarını kendilerinin belirtmesine dayalı mod).

Her zaman uygulanabilir kontrol hareketleri:

- Son kontrol hareketini geri al,

- Otomatik çağır (toplu yönetim hedefi açığını doldurmak için yönetim moduna göre en uygun katılımcıların havuzdan seçilmesi),

- Yeni toplu yönetim etkinliği tanımla (yaklaşan bir etkinlik için katılımcılar toplamak amacıyla).

Cihaz/katılımcı detayları bölümü:

- Katılımcıları güvenilirliklerine göre sırala (olay sırasında yanıta aksi müdahalede az bulunanların daha güvenilir olması),

- Katılımcıları güçlerine göre sırala,

- Katılımcıları kullanılabilir enerjilerine göre sırala,

- Katılımcıları yanıt sürelerine göre sırala,

- Katılımcıların yer aldıkları etkinlik sayılarını listele,

- Katılımcıların etkinlik başına ortalama enerji alışverişlerini listele,

-Katılımcıların etkinlik başına ortalama güçlerini listele,

- Katılımcıların etkinlik başına ortalama yanıta aksi müdahale sayısını listele,

- Katılımcıların ortalama ve en uzun yanıt sürelerini listele.

6) Yönetim İstatistikleri Bölümü

- Olay başına en çok katkı sağlayan katılımcıları listele,

- Olay başına toplam katılımcı sayısını listele,

- Olay başına yönetim havuzundaki cihazların kullanım miktarını listele.

4.3.3 Dağıtım şebekesi operatörlerine yönelik platform içeriği

Kullanıcılarla etkileşim içerisinde olacak bir şebeke operatörü platformunun özellikleri bu bölümde açıklanmıştır.

Ana olay içeriği:

- Mevcut zaman,

- Mevcut fiyat,

- (Varsa) tespit edilmiş düşük gerilim/aşırı gerilim/aşırı yüklenme/faz dengesizliği sorunu bilgisi ve ilgili bara/hat.

Sistemin mevcut durumunun ifadesi:

- Sistemdeki en düşük gerilim,

- Sistemdeki en yüksek gerilim,

- Sistemdeki toplam yük.

Duruma göre anlık olarak uygulanabilir hareketler:

- Soruna en çok sebep olan baraya/baralara dayalı mod (ilgili bara/baralardaki yönetim potansiyelinin öncelikli olarak değerlendirilmesi),

- Adil güç modu,

- Adil oran modu,

- Adil sınırlama modu (herkesin belirli bir sınır tüketim değerinin üzerine çıkmaması),

- Oransal sınırlama modu (herkesin kurulu gücüne göre belirli bir sınır tüketim değerinin üzerine çıkmaması),

- Gerilim hassasiyetine dayalı mod (ilgili sorunun çözümüne en çok katkı sağlayabilecek baralarda yönetim yapılması).

Her zaman uygulanabilir kontrol hareketleri:

- Son kontrol hareketini geri al.

Cihaz/katılımcı detayları bölümü:

- Katılımcıların katıldıkları etkinlik sayısı,

- Katılımcıların etkinlik başına ortalama enerji alışverişi,

- Katılımcıların etkinlik başına ortalama gücü,

- Katılımcıların etkinlik başına ortalama yanıta aksi müdahale sayısı,

- Katılımcıların ortalama ve en uzun yanıt süreleri.

Yönetim istatistikleri bölümü:

- Olay başına toplam yönetilen güç,

- Olay başına en kritik baranın geriliminde veya hattın yüklenmesindeki düzelme,

- Olay başına yönetim havuzundaki cihazların kullanım miktarını listele,

- Olay sürelerini listele.

4.4 Genel Yorumlar

Bu bölümde anlatılan çalışmalar, dağıtık enerji sağlayıcıların oyunlaştırılmış yönetimiyle ilgili ilk çalışmalardan ve saha denemelerinden biri olmuştur. %90'ın üzerinde yönetim performansı ve milisaniyeler düzeyinde kontrol gecikmeleri gibi umut verici sonuçlar elde edilmiştir. Cihazların karakteristik özelliklerinin yanı sıra, bireysel kontrol detayları (PID kontrol imkanı, şarj gücünün sınırlı olması vb.) da yönetim açısından önem taşımaktadır. Evirici ve kontrol yapıları kaynaklı sürekli hal kontrol hataları ayar değerine göre değişkenlik göstermekte olup, PID kontrol gibi yaklaşımlarla üstesinden gelinebilir

5. DAĞITIM ŞEBEKESİ ODAKLI TALEP YÖNETİMİ

Evlerdeki yönetilebilme esnekliğine sahip cihazlarla yapılan yönetim hareketlerinin yerel şebeke üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmalar bu bölümde yer almaktadır. Yönetilebilir yükler günümüzde enterkonnekte şebeke ve enerji piyasasına hizmet amacıyla kullanılmaktadır. Bu yüklerin, bulundukları bölgedeki sorunları çözme amaçlı kullanımı da mümkündür. Yapılan çalışmalar üç ana başlık altında düzenlenmiştir:

- dağıtım şebekesi hizmetleri için yerel ve toplu yönetim yaklaşımları,
- enterkonnekte şebeke ve enerji piyasasına yönelik talep yönetimi uygulamalarının dağıtım şebekesine yerel etkileri,
- biri enterkonnekte şebeke, diğeri dağıtım şebekesinin yerel sorunlarına yönelik, birbirine zıt hedeflere sahip iki talep yönetimi uygulamasının aynı dağıtım şebekesinde eş zamanlı uygulanması.

5.1 Dağıtım Şebekesi Hizmetleri için Yerel ve Toplu Yönetim Yaklaşımları

Saha denemeleri, Danimarka Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü'nün Riso kampüsündeki SYSLAB güç sistemleri laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. 400 V'luk 3 fazlı alternatif akım (AA) alçak gerilim dağıtım şebekesine sahip bu laboratuvar, uzaktan kontrol, yönetim ve veri toplama sistemleri ile donatılmıştır. Saha denemelerinde 2 küçük güçlü rüzgar türbini (10 kW ve 11 kW), 3 adet 3 fazlı fotovoltaik panel grubu (toplamda 37 kW), 3 kontrol edilebilir 3 fazlı yük (36 kW'a kadar), 1 adet 3 fazlı tekil yük (75 kW'a kadar), fazları farklı ayar değerleriyle 15 kW'a kadar yükleyebilen özel bir yük ve iki binanın (biri ofis binası FlexHouse-1, diğeri ise öğrenci evi Flexhouse-3) içinde kontrol edilebilir yükler kullanılmıştır. Öğrenci evinin sakinleri bulunmaktadır ve ev 24 saat kullanılmaktadır. Ofis binasında, tamamı tek fazlı, 10 kW'a varan elektrikli ısıtma sistemi, 5 klima, ve 1.4 kW'lık aydınlatma yükü vardır. Öğrenci evinde, 1.3 kW'lık iki elektrikli radyatör, 2.8 kW'lık elektrikli su ısıtıcısı, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi ve çamaşır kurutma makinesi yönetilebilir yükler olarak bulunmaktadır.

Su ısıtıcısı iki fazlı olup, öğrenci evindeki diğer tüm yükler tek fazlıdır. Kampüsün farklı noktalarına yayılan bu dağıtım şebekesi 5 farklı trafo merkezinden beslenebilmekte ve ara bağlantılarda değişiklikler yapılabilmektedir. Saha testleri sırasında ofis binası ısıtma sisteminin gücü, tipik bir sistemin boyutuna yakın olarak 3 kW ile sınırlı tutulmuştur ve talep yönetimi yapılırken tamamen devreden çıkarılmıştır. Diğer yandan, aydınlatma sisteminin %50'sinin yönetilerek talebinin 1.42 kW'tan 0.71 kW'a azaltıldığı kabul edilmiştir. Bu miktar çok odalı bir binada, aydınlık ayarı veya gruplandırılmış aydınlatma ile ulaşılabilecek bir değer olarak belirlenmiştir.

Merkezi veri toplama sistemi, saniyelik aralıklarla veri toplayabilmektedir. Bu veriler, sonuçların analizinde kullanılmıştır. Cihazların izlenmesi ve yönetimi, MATLAB üzerinden merkezi sistemle etkileşim sağlayan Java Objeleri aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Bu Java Objeleri, laboratuvardaki araştırmacılar tarafından kullanıma sunulmuştur. Ekipmanların hatalı olarak deney senaryolarından farklı kontrolü veya veri toplamada eksiklikler tespit edilen durumlarda aynı deneyler tekrarlanarak elde edilen sonuçların doğruluğu pekiştirilmiştir. Cihazlar yönetilirken, mevcut kontrol imkanları kullanılmış, hiçbiri fişten çekilmemiş veya harici bir kontaktör ile devreden çıkarılmamıştır. Test sisteminde koruma ekipmanları kullanıldığı için ve incelenen birçok senaryoda, sistemdeki ekipmanlar, sistem parametrelerini işletme sınırlarını zorlayacak değerlere ulaştıramayacağı için denemeler işletme sınırları içerisinde yapılmıştır. Yönetim hareketlerinin öncesi ve sonrasında gerilim ve güç değerleri dikkate alınarak yönetim hareketinin yerel sisteme etkileri detaylıca incelenmiştir.

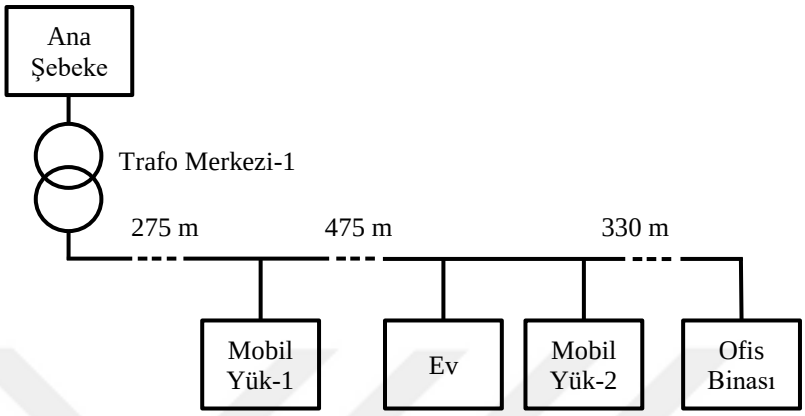
5.1.1 Düşük gerilim olayına yönelik yönetim testi

Şebekenin farklı noktalarındaki yüklerin bir düşük gerilim olayında, bara gerilimlerini düzeltici etkileri bir saha testiyle incelenmiştir. Şekil 5.1'de verilen kurulum kullanılmıştır. Mobil yük-1 ve mobil yük-2 15 kW ile yüklenmiştir. Ofis binasındaki ısıtma sistemi ve aydınlatma yükleri de devrededir. Ayrıca evdeki bulaşık makinesi, kurutma makinesi, çamaşır makinesi de ilk aşamada çalışmaktadır.

İkinci aşamada, talep yönetimiyle bara gerilimlerini düzeltebilmek amacıyla ofis binasındaki ısıtma sistemi durdurularak talep 1.43 kW'a düşürülmüştür. Ayrıca evdeki tüm yönetilebilir cihazlar durdurulmuştur.

Yönetim hareketleri, ofis ve evde farklı zaman aralıklarında uygulanarak, ofisin ve evin bara gerilimlerinin düzelmesine bireysel katkıları ayrı ayrı gözlemlenmiştir.

Binaların talebindeki değişim Çizelge 5.1'de, kritik baraların gerilim değerlerindeki düzelme ise Çizelge 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.1 : Düşük gerilim giderme testi kurulumu.

Çizelge 5.1 : Binaların aktif güç talebindeki değişim.

Bina İsmi	Yönetim Öncesi Talep [kW]	Yönetim Sonrası Talep [kW]	Yönetilen Talep Miktarı [kW]
Ofis binası	3.99	1.43	2.55
Ev	5.06	0.13	4.93
Toplam	9.05	1.56	7.48

Çizelge 5.2 : Şebekenin farklı noktalarında bara gerilimlerindeki değişim.

Bara İsmi	Yönetim Öncesi Gerilim Düşümü [%]	Yönetim Sonrası Gerilim Düşümü [%]	Ofisin Gerilim Düzelmesine Etkisi [%]	Evin Gerilim Düzelmesine Etkisi [%]
Ofis binası	-4.72	-3.12	0.75	0.85
Ev	-4.90	-3.40	0.45	1.05
Mobil yük-2	-4.90	-3.45	0.45	1.00

Sonuçlardan da görüldüğü üzere, talep yönetimi ile bara gerilimlerinde önemli düzelmeler sağlanabilmektedir. Ofis binasının aktif güç talebinin yük yönetimiyle 2.55 kW azaltılması bara gerilimlerini %0.45 ve %0.75 oranlarında iyileştirirken, evde yönetilen 5 kW, bara gerilimlerini %0.85 ve %1.05 oranlarında arttırmıştır. Test sistemindeki kabloların kesitleri (95 ila 240 mm^2), tipik AG dağıtım şebekelerine göre daha büyüktür.

Daha küçük kesitli ve daha çok tüketici ile yönetilebilir yük bulunduran gerçek sistemlerde yönetim hareketlerinin faydalarının ve sürekliliğinin daha da fazla olacağı söylenebilir.

5.1.2 Aşırı gerilim olayına yönelik yönetim testi

Bu testte, düşük gerilime yönelik yönetim testinde Şekil 5.1'de gösterilen kurulumun aynısı kullanılmıştır. Bu testte evdeki iki elektrikli radyatör ve bir su ısıtıcısı da yönetilmiştir. Ofis binasındaki aydınlatma sistemi başlangıçta yarı yükte (0.71 kW) iken, her iki mobil yük de devrede değildir. Evdeki tüm yükler de devre dışıdır.

Testin ikinci aşamasında, talep yönetimiyle bara gerilimlerini azaltabilmek amacıyla ofis binasındaki aydınlatma yükü arttırılarak ve ısıtma sistemi devreye sokularak binanın toplam talebi 4.42 kW'a çıkarılmıştır. Evdeki tüm yönetilebilir yükler de devreye sokularak evin toplam talebi 8.16 kW'a ulaşmıştır. Sonuçlar düşük gerilime yönelik yönetim testindekine benzer şekilde değerlendirilmiştir.

Evlerin talebindeki değişim Çizelge 5.3'te, bara gerilimlerindeki değişim ise Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.3 : Binaların aktif güç talebindeki değişim.

Bina İsmi	Yönetim Öncesi Talep [kW]	Yönetim Sonrası Talep [kW]	Yönetilen Talep Miktarı [kW]
Ofis binası	0.81	4.40	3.59
Ev	0.09	8.16	8.07
Toplam	0.90	12.56	11.66

Çizelge 5.4 : Şebekenin farklı noktalarında bara gerilimlerindeki değişim.

Bara İsmi	Yönetim Öncesi Gerilim Düşümü [%]	Yönetim Sonrası Gerilim Düşümü [%]	Ofisin Gerilim Düzelmesine Etkisi [%]	Evin Gerilim Düzelmesine Etkisi [%]
Ofis binası	-0.28	-1.83	-0.69	-0.86
Ev	-0.42	-2.03	-0.60	-1.01
Mobil yük-2	-0.46	-1.96	-0.60	-0.90

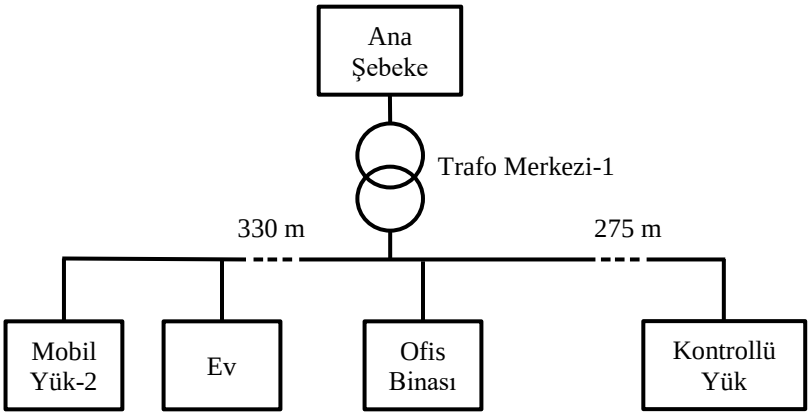
Bu sonuçlar, talebi arttırmaya dayalı yönetim performansını ortaya koymaktadır. Ofis binasında talep yönetimiyle aktif gücün 3.59 kW arttırılması, bara gerilimlerini %0.60 ve %0.69 oranında azaltmıştır. Evde aktif gücün talep yönetimiyle 8.07 kW arttırılması ise gerilim değerlerini %0.86, %0.90 ve %1.01 oranlarında azaltıcı etki göstermiştir.

5.1.3 Faz yüklenmelerini dengelemeye yönelik yönetim testi

Fazların farklı yüklerle yüklenebildiği Şekil 5.2'de verilen basit bir kurulum bu testte tercih edilmiştir. Bu testte uygulanan talep yönetimi hareketlerinin temel amacı, trafo merkezinde her fazın toplam yükünü birbirine olabildiğince yakın değerlere getirebilmektir. Özellikle ve sadece bu test için, fazları farklı değerlerde 15 kW'a kadar yükleyebilen bir kontrol edilebilir yük kullanılmıştır. İlk aşamada, bu yük sistemde faz dengesizliği oluşturmak amacıyla kullanılmıştır. Sonraki aşamada, ofis binası ve evdeki yönetilebilir yüklerden yararlanılarak fazlar dengelenmeye çalışılmıştır.

Dengeleme amaçlı yönetim hareketleri, sırasıyla Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Tüm yönetim hareketlerinin öncesinde ve sonrasındaki faz yükleri Şekil 5.3'te verilmiştir. Toplam yük değerleri ise Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



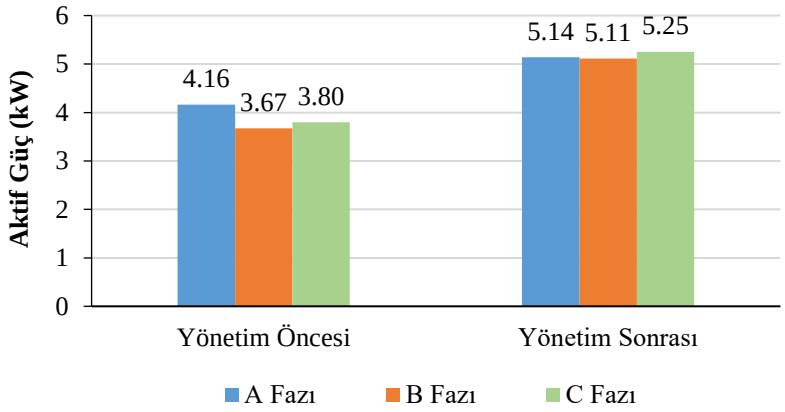
Şekil 5.2 : Faz dengeleme testi kurulumu.

Fazlardaki yüklenmeler arasındaki ortalama dengesizlik, $\boldsymbol{P_{denge-ort}}$, (5.1) ve (5.2)'de verilen ifadeler ile hesaplanmıştır. Denklemlerde yer alan $\boldsymbol{P_a}$, $\boldsymbol{P_b}$ ve $\boldsymbol{P_c}$, trafo merkezinde her bir fazın toplam yükünü, $\boldsymbol{P_{ort}}$ ortalama yükü temsil etmektedir.

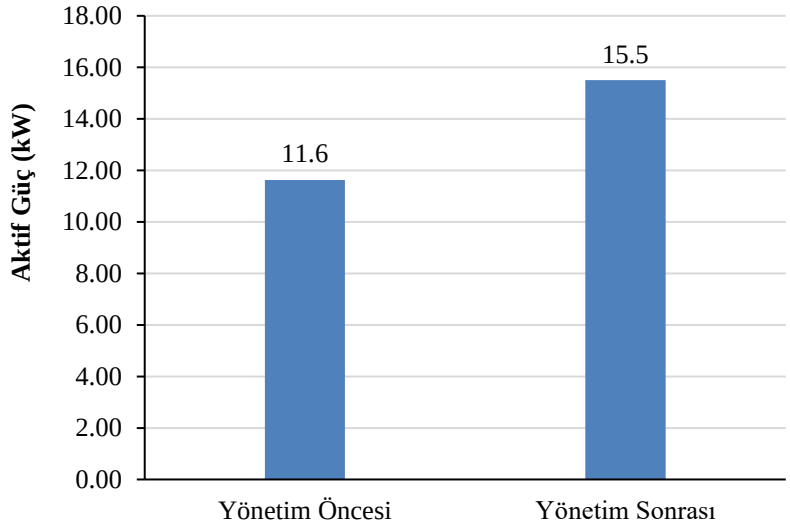
Maksimum dengesizlik, $\boldsymbol{P_{denge-max}}$, ise (5.3)'te verilen denklem ile hesaplanmıştır.

Çizelge 5.5 : Faz dengeleme amaçlı yönetim hareketleri.

İçerik	A Fazının Yükü [kW]	B Fazının Yükü [kW]	C Fazının Yükü [kW]	Fazlar Arası Ortalama Dengesizlik [kW]	Fazlar Arası Maksimum Dengesizlik [kW]
Başlangıç	4.30	3.70	3.80	0.40	0.60
Evdeki su ısıtıcısı devreye alındı	4.30	5.11	5.25	0.63	0.95
Ofis binasındaki aydınlatma yükünün bir kısmı devreye alındı	4.60	5.11	5.25	0.43	0.65
Ofis binasındaki klimalardan biri devreye alındı	5.00	5.11	5.25	0.17	0.25
Ofis binasındaki başka bir aydınlatma grubu devreye alındı	5.14	5.11	5.25	0.09	0.14



Şekil 5.3 : Yönetim hareketleri öncesi ve sonrasında faz yüklenmeleri.



Şekil 5.4 : Yönetim hareketleri öncesi ve sonrasında toplam yük değeri.

$$P_{ort} = \frac{P_a + P_b + P_c}{3} \tag{5.1}$$

$$P_{denge-ort} = \frac{|P_{ort} - P_a| + |P_{ort} - P_b| + |P_{ort} - P_c|}{3} \tag{5.2}$$

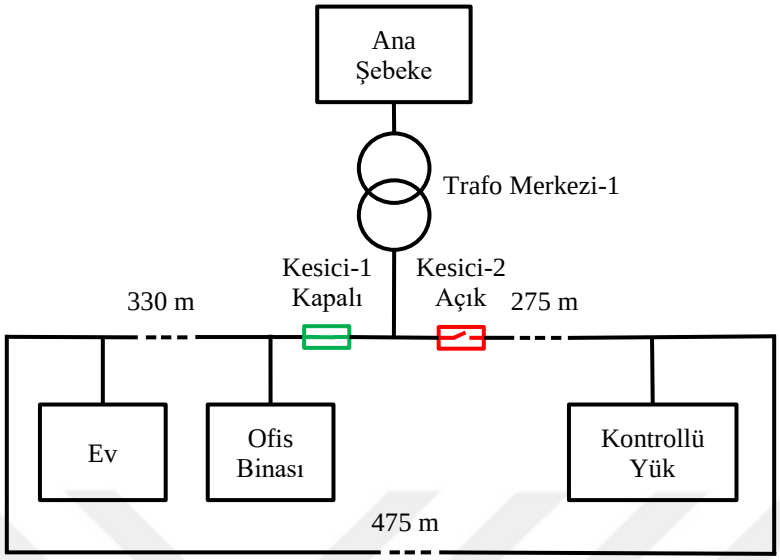
$$P_{denge-max} = max(|P_{ort} - P_a|\,;\ |P_{ort} - P_b|\,;|P_{ort} - P_c|) \tag{5.3}$$

Yönetim hareketleri sonucunda fazlar arası ortalama dengesizlik %75 oranında (0.40 kW'tan 0.09 kW'a) azaltılmış, maksimum dengesizlik ise %76.7 oranında (0.60 kW'tan 0.14 kW'a) düşürülmüştür. Şebekedeki toplam yük 3.9 kW artmıştır. Yönetilebilir cihaz havuzu ve cihazların olay sırasındaki yönetim olanaklarına göre talep düşürülerek de dengeleme yapılabilmesi mümkündür.

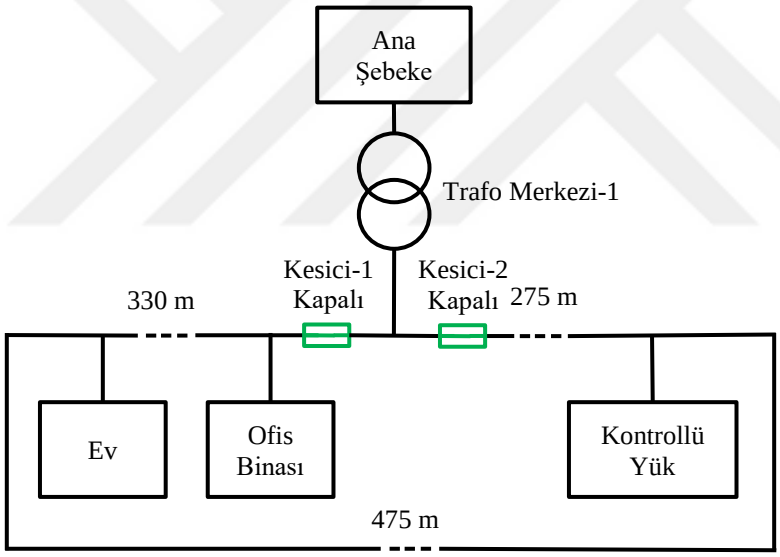
5.1.4 Şebeke bağlantı düzenlemelerini destekleyen yönetim testi

Dağıtım şebekelerinde planlı veya zorunlu olarak yapılan bağlantı değişiklikleri, bara gerilimlerinde değişikliklere sebep olmaktadır. Talep yönetiminin bu tür değişiklikleri destekleyici etkisi bir başka saha testiyle incelenmiştir. Bağlantı düzenlemesi enerji kesintisi olmaksızın yapılmış olup, test düzenleme öncesi, düzenleme sırası ve sonrası olmak üzere üç aşamadan meydana gelmektedir (Şekil 5.5 – Şekil 5.7). Düzenleme sırasında öncelikle, kontrollü yükü trafo merkezine daha yakın bir noktadan bağlayan 275 m'lik kablo bağlantısı, Kesici-2 kapanarak trafo merkezine bağlanmıştır. Bu

birkaç saniyelik aşamada, sistem geçici olarak kapalı çevrim çalışmaktadır. Sonrasında, Kesici-1 açılarak sistem yeniden tek ve uzun bir fider haline getirilmiştir.



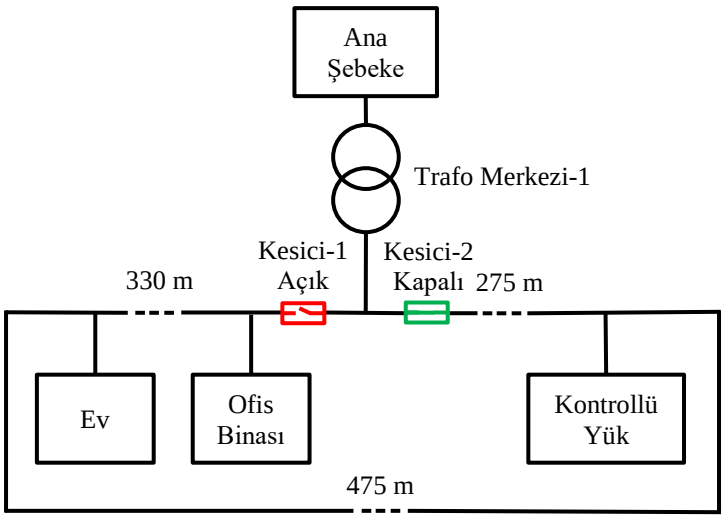
Şekil 5.5 : Bağlantı düzenlemesi öncesi kurulum.



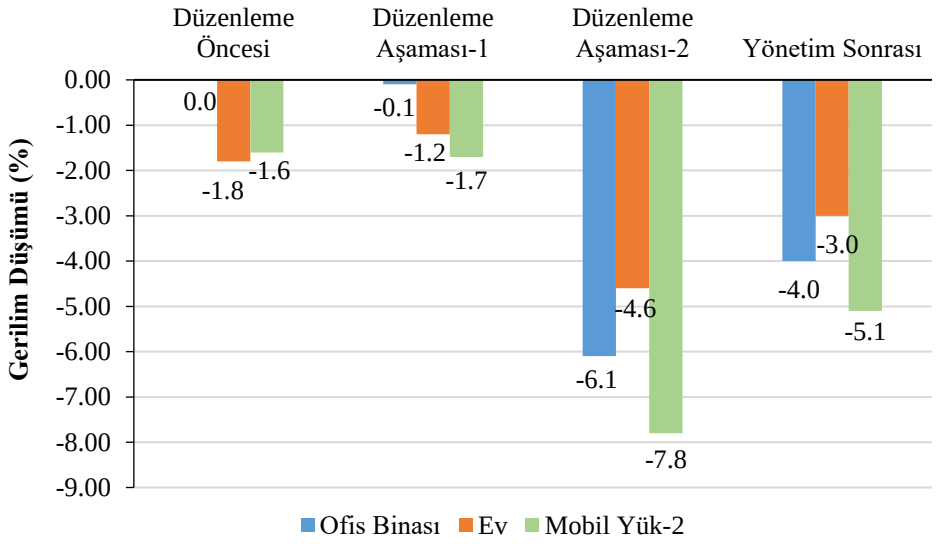
Şekil 5.6 : Bağlantı düzenlemesi sırasındaki geçici durum.

Sistemdeki her iki bina da yüksek talebe sahip (ofis 4.42 kW ve ev 6.13 kW) olacak şekilde ayarlanmıştır ve mobil yüklerin her ikisi de 15 kW talep etmektedir. Sadece evdeki yükler yönetilmiştir ve bara gerilimlerindeki değişimler takip edilmiştir.

Şekil 5.8'de verilen sonuçlardan da görüldüğü gibi, yükleri fiderin uzak bir noktasına taşımak bara gerilimlerini %4.4 ila %6.1 oranında düşürmüştür. Bu duruma yönelik olarak talep yönetimiyle evin aktif gücünün 6.1 kW miktarında azaltılması ile gerilim değerleri %1.6 ila %2.7 oranında arttırılabilmiştir.



Şekil 5.7 : Bağlantı düzenlemesi sonrası durum.



Şekil 5.8 : Bağlantı düzenlemesi sürecinde gerilim düşümlerinin değişimi.

5.2 Yerel Düşük Gerilim Sırasında Talep Artışının Etkisinin İncelenmesi

Bu test, enterkonnekte şebekeye yönelik talep yönetimi uygulamalarının, yerel şebekedeki bir düşük gerilim olayına muhtemel olumsuz etkilerini ortaya koymaktadır. Düşük gerilim ve aşırı gerilim testlerinde kullanılan ve Şekil 5.1'de verilen kurulum ile bu test yapılmıştır. Başlangıçta ofis binasının talebi 0.74 kW iken evdeki tüm yönetilebilir yükler devre dışıdır. Her iki mobil yük 15 kW ile yüklenmiştir. Enterkonnekte şebekeden gelen bir talep arttırma isteği doğrultusunda, ofis binasının ısıtma ve aydınlatma yükleri devreye sokulmuştur. Ayrıca evdeki iki radyatör, su ısıtıcısı, çamaşır kurutma makinesi, çamaşır makinesi devreye

sokulmuştur. Binaların toplam güç değerleri ve bara gerilimlerindeki değişiklikler incelenmiştir.

Sonuçlar Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.6 : Binaların aktif güç talebindeki değişim.

Bina İsmi	Yönetim Öncesi Talep [kW]	Yönetim Sonrası Talep [kW]	Yönetilen Talep Miktarı [kW]
Ofis binası	0.74	3.99	3.25
Ev	0.16	5.86	5.70
Toplam	0.90	9.85	8.95

İki binada toplamda 8.95 kW'lık bir talep artışının bara gerilimlerini %0.54 ila %0.79 oranında olumsuz etkileyebileceği görülmektedir. Özellikle bazı gerçek alçak gerilim dağıtım şebekelerinde çok sayıda katılımcıyla yapılacak toplu yönetim uygulamalarında, yerel soruna olumsuz etki çok daha yüksek miktarlarda olabilir.

Bu nedenle, yaygın yönetim uygulamalarında yerel şebekelerin mevcut durumu ve işletme kısıtlarının da dikkatlice göz önüne alınması gerekmektedir.

5.3 Eş Zamanlı Talep Yönetimi

Bölüm 5.2'de saha testleriyle gözlemlenen, enterkonnekte şebeke geneli ve yerel dağıtım şebekesi özeline yönelik birbiriyle çelişen talep yönetimi uygulamalarının eş zamanlı uygulanabilmesine yönelik çalışmalar bu bölümde anlatılmıştır.

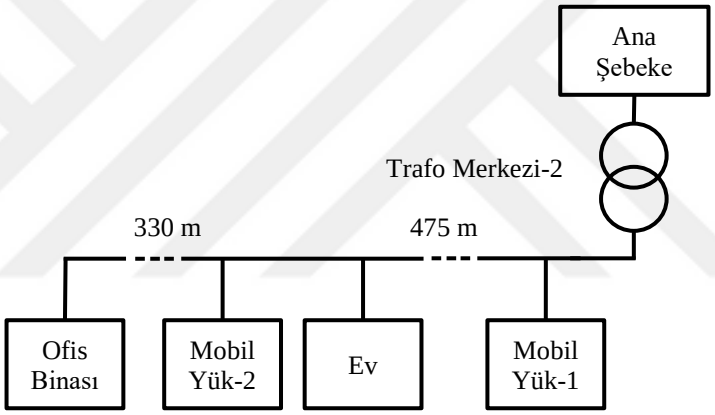
Çizelge 5.7 : Şebekenin farklı noktalarında bara gerilimlerindeki değişim.

Bara İsmi	Yönetim Öncesi Gerilim Düşümü [%]	Yönetim Sonrası Gerilim Düşümü [%]	Ofis Binasının Bara Gerilimlerine Etkisi [%]	Evin Bara Gerilimlerine Etkisi [%]
Ofis binası	-3.45	-4.87	-0.63	-0.79
Ev	-3.46	-4.77	-0.54	-0.77
Mobil yük-2	-3.52	4.78	-0.55	-0.71

5.3.1 Ana şebeke için talep arttırma ve yerel şebeke için talep azaltma

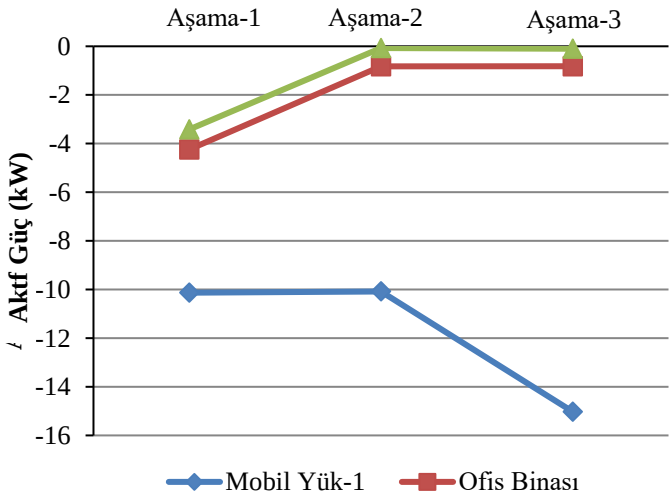
Birbirinin tersi hedeflere sahip iki talep yönetimi olayının aynı anda aynı yerel sistemde uygulanması incelenmiştir. Bu amaçla gerçekleştirilen kurulumda, sistem mobil yük-1'e yakın olan başka bir trafo merkezinden beslenmiş ve her iki mobil yük ile her iki binadan faydalanılmıştır (Şekil 5.9).

Bu test üç aşamadan oluşmaktadır. Öncelikle mobil yükler 10 kW güç talep edecek şekilde ayarlanmışlardır. Ofis binasının ısıtma sistemi ve aydınlatma sistemi devrede olup 4.42 kW talep etmektedir. Evde ise su ısıtıcısı ile radyatörlerden biri devrededir ve 3.44 kW yük bulunmaktadır. Sonraki aşamada ofis binası ve ev, yerel şebekedeki bir soruna yönelik olarak taleplerini azaltmışlardır. Ardından, mobil yük-1 enterkonnekte şebekeye yönelik bir olay için talebini 10 kW'tan 15 kW'a çıkarmıştır. Bu iki aşamalı ve birbirine zıt yönetim hareketlerinin etkileri incelenmiştir.



Şekil 5.9 : Eş zamanlı talep yönetimi test bağlantıları.

Güç ve gerilim değerlerindeki değişimler Şekil 5.10 ve Şekil 5.11'de verilmiştir.



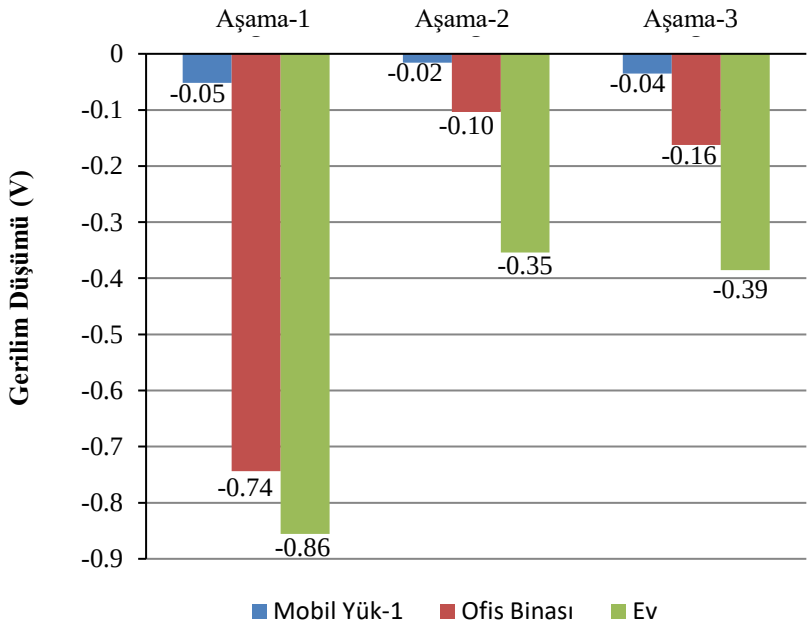
Şekil 5.10 : İlk eş zamanlı yönetim senaryosunda güçlerin değişimi.

İkinci aşama ve üçüncü aşamadaki değerler karşılaştırılarak aynı şebekede birbirinin tersi amaçlara sahip iki yönetim uygulamasının eş zamanlı uygulanmasının sonuçları görülebilmektedir. Binalardaki toplam 7.76 kW'lık talep düşüşü ile binaların bara gerilimleri %0.51 ila %0.64 oranlarında artmıştır. Diğer yandan mobil yük-1'in talebindeki 5 kW'lık artış, trafo merkezine daha yakın olması sebebiyle, diğer baralar üzerinde oldukça küçük (%0.04 ve %0.06) bir etkiye sebep olmuştur. Üçüncü aşamadaki ana şebekeye yönelik ters hedefli yönetim hareketinin, ikinci aşamada yerel şebekeye yönelik gerçekleştirilen yönetim performansına olumsuz etkisi ofis binası için %0.64'ün %0.06'lık bir kısmı (performansın %9.37'si) ve ev için %0.51'in %0.04'ü (performansın %7.84'ü) düzeyindedir.

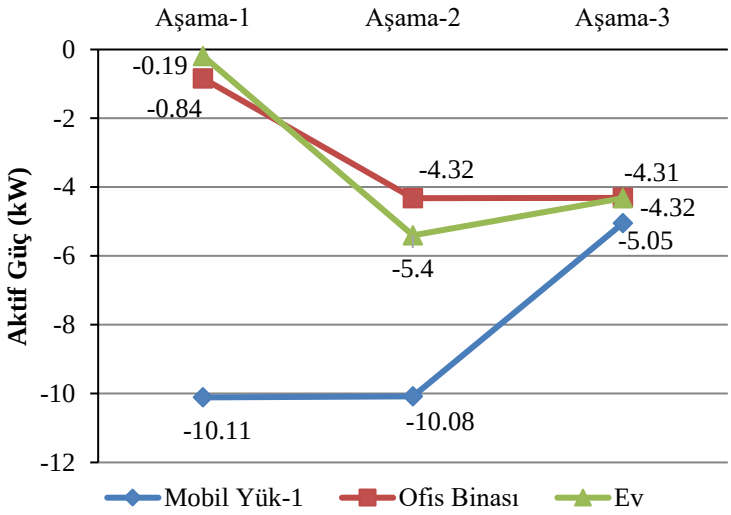
5.3.2 Ana şebeke için talep azaltma ve yerel şebeke için talep arttırma

Bir önceki testte kullanılan kurulum bu testte de kullanılmıştır. Başlangıçta, sadece ofis binasının aydınlatma yükünün %50'si (0.71 kW) devrede olup diğer tüm yönetilebilir yükler devre dışıdır. Her iki mobil yük de 10 kW talep etmektedir. Binalardaki yönetilebilir yükler ikinci aşamada devreye sokulmuştur. Ardından, trafo merkezine yakın olan mobil yük-1'in talebi 5 kW değerine düşürülmüştür. Sonuçlar önceki eş zamanlı teste benzer şekilde değerlendirilmiştir.

Sonuçlar Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'te verilmiştir.

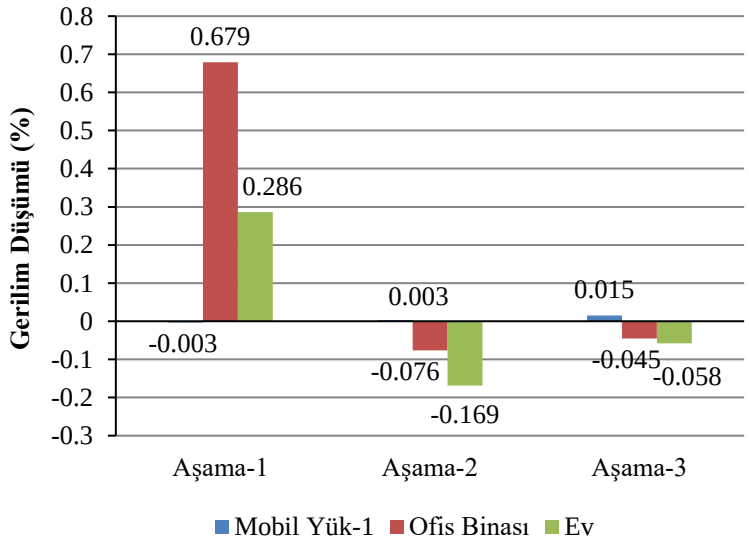


Şekil 5.11 : İlk eş zamanlı yönetim senaryosunda gerilimlerin değişimi.



Şekil 5.12 : İkinci eş zamanlı yönetim senaryosunda güç değerlerindeki değişim.

Sonuçlara göre, binalardan gerçekleştirilen 7.6 kW'lık talep artışı, bara gerilimlerini %0.74 ve %0.44 oranlarında azaltmıştır. Diğer yandan trafo merkezine yakın olan mobil yük-1'in talebindeki 5 kW'lık artış, bara gerilimlerini %0.03 ve %0.11 gibi düşük oranlarda olumsuz etkilemiştir. Yönetim performanslarına olumsuz etki ofis binası için %0.74'te %0.03 (performansın %4.05'i), ev için ise %0.44'te 0.11 (performansın %25'i) değerlerindedir. Önceki teste göre farklı değerler elde edilmesinin ana sebebi son aşamaya geçilirken evin talebinde meydana gelen yönetim uygulaması harici değişimdir. Bu değişim çamaşır makinesinin tüketim profilinden kaynaklanmakta olup yönetim uygulamalarında dikkate alınması gereken bir etkiye sahiptir.



Şekil 5.13 : İkinci eş zamanlı yönetim durumunda gerilimlerin değişimi.

5.3.3 Gerilim hassasiyet matrisi testi

Eş zamanlı talep yönetimi testlerinde kullanılan kurulum korunarak gerilim hassasiyet matrisi çıkarımı ile ilgili denemeler yapılmıştır. Bu matris, baralardan birinde meydana gelen bir güç değişiminin diğer tüm baraların gerilimlerine etkisini ortaya koymaktadır. Matrisin çıkarımında izlenen yöntem Şekil 5.14'de verilmiştir. Kısaca, tüm baraların gerilim değerleri ölçülüp kaydedilmekte, baralardan birinin gücünde birim bir değişiklik yapılmakta ve ardından yeniden tüm baraların yeni gerilim değerleri ölçülmektedir. Değişim öncesi ve sonrasında ölçülen değerler arasındaki fark hesaplanarak matrisin bir satırı doldurulmaktadır. Ardından başlangıçtaki güç değerlerine dönülüp başka bir barada değişiklik yapılarak tüm matrisin satırları elde edilene dek bu sürece devam edilir.

Test birden fazla kez tekrarlanarak elde edilen değerlerin tutarlılığı incelenmiştir. Güç miktarı değiştirildikten sonra 1'er saniye aralıklarla toplanan 30 değerin ortalaması alındığında tutarlı değerler elde edildiği gözlemlenmiştir. Birbirinin aynısı üç deneme sonucunda elde edilen matrislerin her bir satırı Şekil 5.15 - Şekil 5.17'de verilmiştir.

Sonuçlardan da görüldüğü üzere, 10 mV'un üzerindeki değişimler isabetli bir şekilde ölçülebilmektedir (Şekil 5.15 ve 5.16). Diğer yandan, trafo merkezine yakın olup diğer baralar üzerinden oldukça küçük değişikliklere sebep olan yüklerin etkileri yeterince isabetli ölçülememektedir (Şekil 5.17). Bu testin sonuçları, ofis binası ve mobil yük-2'in yerel sorunları gidermede etkin olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Şebeke bağlantı düzeni değiştirilmedikçe, bu değerlerden yerel sorunları gidermeye yönelik yönetim uygulamalarında faydalanılabilir.

5.3.4 Gerilim hassasiyeti temelli talep yönetimi

Bir önceki bölümde çıkarım mantığı anlatılan ve saha testleriyle uygulanabilirliği tecrübe edilen gerilim hassasiyeti temel alınarak yapılabilecek toplu talep yönetimi bu bölümde benzetim çalışmalarıyla incelenmiştir. Benzetim çalışmalarında OpenDSS sürekli halde güç akışı analiz programı, MATLAB üzerinden yönetilerek benzetimde kullanılacak temel veriler gönderilmiş ve elde edilen çıktılar değerlendirilmiştir. Benzetim çalışmalarında IEEE Alçak Gerilim Avrupa Test Sistemi kullanılmıştır [73]. Bu test sistemi, IEEE tarafından onaylanmış ve güvenilirliği test edilmiş, Avrupa şebekelerini temsil eden tek test alçak gerilim test sistemidir. IEEE'nin diğer tüm test sistemleri ise ABD şebekelerini örnek almakta olup, Avrupa şebekelerine göre

frekans, fider uzunlukları, trafo kapasiteleri gibi önemli karakteristik farklılıklara sahiptir. Kullanılan test sistemi, 400 V, üç fazlı, 55 ev tüketicisinin tek faz bağlantılarıyla enerji alışverişi yaptığı, 800 kVA'lık bir trafo merkezi üzerinden beslenen bir dağıtım fideridir.

Tüketicilerden 21'i A fazına, 19'u B fazına, 15'i ise C fazına bağlıdır. Sistem İngiltere'nin Kuzey dağıtım bölgelerindeki gerçek bir sistemin benzetimler için modellenmiş halidir. Gerilim hassasiyeti analizi yapılarak, tüketiciler diğer baraların gerilimlerine olan etkilerine göre sıralanmıştır. Yapılan gruplandırma, her fazdaki tüketiciler için ayrı ayrı Çizelge 5.8 - 5.10'da verilmiştir. Çizelgelerin son sütunlarında verilen bara gerilimlerine etki aralığı, ilgili baranın enerji alışverişindeki 1 kW'lık artış veya azalışın diğer baraların gerilimlerinde sebep olduğu değişimleri temsil etmektedir.

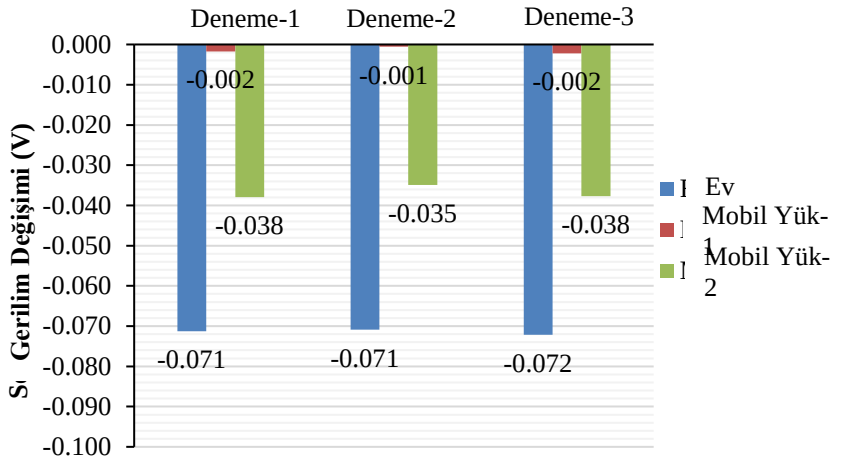
Çizelge 5.8 - 5.10'dan görüldüğü üzere, baralardaki 1 kW'lık güç değişimi, diğer baraların gerilimlerinde %0.16 ile %0.77 değerleri arasında değişimlere sebep olmaktadır. Baralar ve hangi fazlardan beslendikleri test sistemi üzerinde detaylı olarak Şekil 5.18'de gösterilmiştir. Parantez içerisinde gösterilen rakamlardan ilki, test sisteminde baralara özel verilmiş referans numarasını, ikincisi ise ilgili fazı göstermektedir. Kullanıcılara ait yönetilebilir yüklerin ortalama 2 kW olarak kabul edildiği bir durum için, yüklerin eş zamanlı olarak hem ana şebeke hem de yerel şebekeye yönelik aksi hedeflere sahip iki yönetim olayına göre toplu yönetim basamakları Şekil 5.19'da verilmiştir. Her yönetim basamağı için şebekedeki en düşük bara gerilimi ise Şekil 5.20'de bulunmaktadır.

Şekil 5.19 ve Şekil 5.20 birlikte yorumlanmıştır. 55 kullanıcının toplamda 110 kW'lık yönetilebilir yükünün 70 kW'a denk gelen 35 kullanıcılık kısmı, yerel şebeke olayının tersi bir hedefle yönetilmesi durumunda, en düşük bara geriliminde %2'nin altında bir olumsuz etki göstermektedir. Diğer 20 kullanıcı ise, 40 kW'lık yönetilebilir yükleriyle yerel şebekedeki düşük gerilim olayını düzeltmeye %5 oranında olumlu katkıda bulunmaya devam edebilmektedir. Yönetilebilir yüklerin eş zamanlı toplu yönetiminin yönetilemeyen yüklerle beraber bir günlük bir şebeke işletmesinde ne gibi olanaklar sağlayacağı da ayrıca incelenmiştir. Bölüm 2.3'te detayları verilen Loughborough Üniversitesi'nin ev kullanıcıları için talep profili üreteci kullanılarak 55 ev için 1 günlük talep profilleri rastlantısal olarak üretilmiştir.

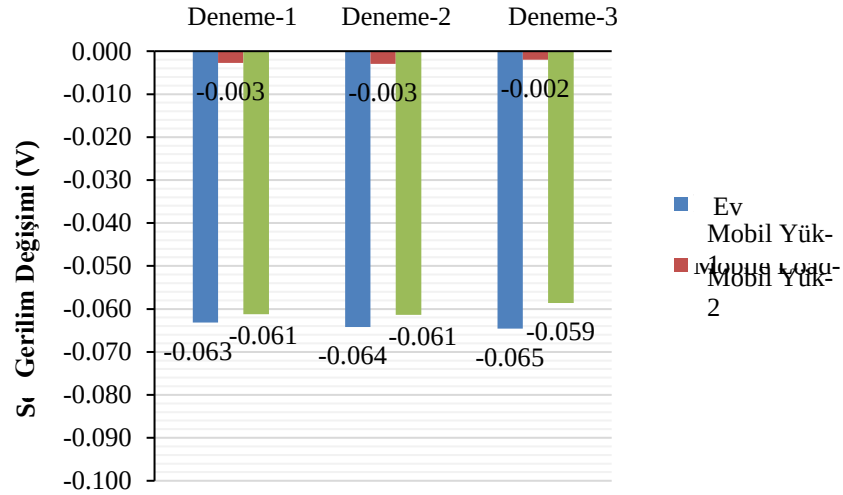


Şekil 5.14 : Gerilim hassasiyet matrisi çıkarımında izlenilen yöntem.

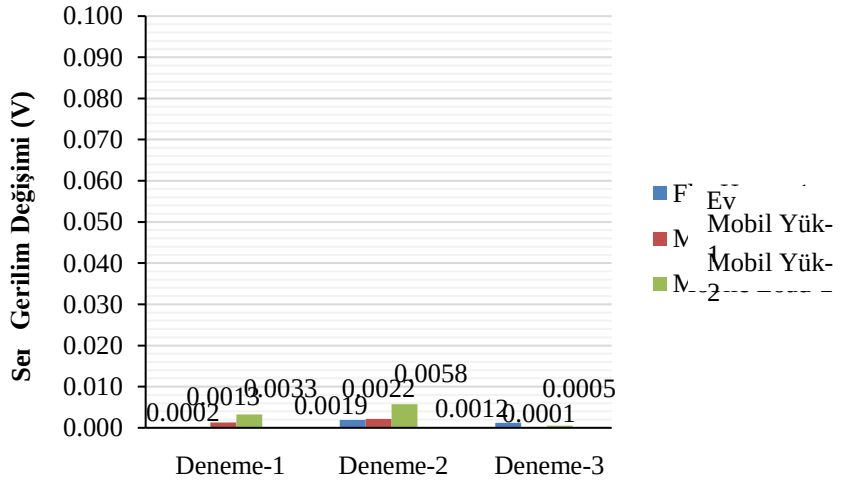
Çamaşır makineleri, bulaşık makineler ve kurutma makineleri yönetilebilir yükler olarak ele alınmıştır. Şebekenin toplam talep profili ve yönetilebilir yüklere ait talep profili Şekil 5.21'de gösterilmiştir. Şekil 5.21'de de görüldüğü üzere, tüm yüklerin puant talep değeri 80 kW'ın üzerinde iken, yönetilebilir yüklerin puant talep değeri ise 15 kW civarındadır. Gün boyunca en düşük baradaki gerilim düşümünün %10'un üzerinde olduğu zamanlar tespit edilmiştir.



Şekil 5.15 : Ofis binası barasında güç değişikliğinin diğer baralara etkisi.



Şekil 5.16 : Mobil yük-2 barasında güç değişikliğinin diğer baralara etkisi.



Şekil 5.17 : Mobil yük-1 barasında güç değişikliğinin diğer baralara etkisi.

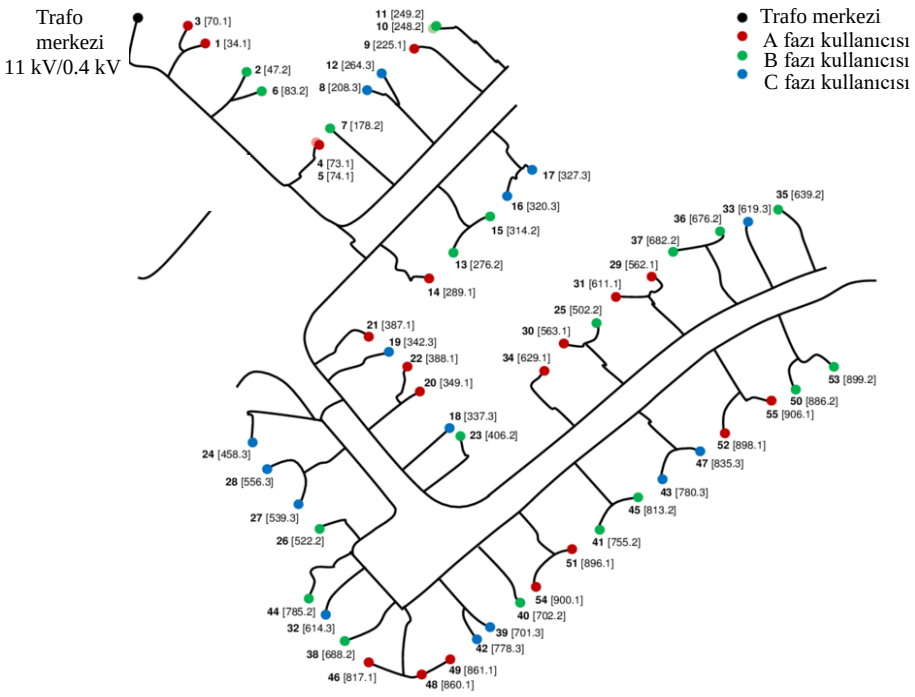
İncelenen senaryoda, gün boyunca toplamda 85 dk boyunca düşük gerilim olayı yaşanmaktadır. Düşük gerilim zamanlarındaki toplam yük ve yönetilebilir yük miktarları, günlük profil içerisinde Şekil 5.22'de vurgulanmıştır. Düşük gerilim olayları sabah (09.00-10.00) ve akşam saatlerinde (17.00-23.00) gözlemlenmiştir. Her düşük gerilim olayı dakikası için yönetilebilir yükün toplam yüke oranı Şekil 5.23'te bulunmaktadır. Yönetilebilir yüklerin toplam yüke oranı, düşük gerilim olayları sırasında %29'lara varabilmektedir. Şekil 5.23'de verilen değerler 55 evin tamamından elde edilebilecek miktarlardan hesaplanmıştır. Her evin, gün boyunca gerçekleşen düşük gerilim olaylarının ne kadarına cevap verebilecek durumda olduğu ise Şekil 5.24'te gösterilmiştir. Bazı evler, gerçekleşen olayların %56'sına cevap verebilmekteyken, bazı evler %3-5 oranında cevap verebilmektedir.

Çizelge 5.8 : A fazı tüketicilerinin gerilim hassaslıklarına göre sıralanması.

Kullanıcı No	Bara No	Bara Gerilimlerine Etki Aralığı (% V/kW)
1	34	0.16-0.19
3	70	0.16-0.19
4	73	0.16-0.29
5	74	0.17-1.30
9	225	0.17-0.32
14	289	0.17-0.32
21	387	0.17-0.38
20	349	0.17-0.45
22	388	0.17-0.48
46	817	0.17-0.56
48	860	0.17-0.57
51	896	0.17-0.57
54	900	0.17-0.57
49	861	0.17-0.60
29	562	0.17-0.62
31	611	0.17-0.62
34	629	0.17-0.63
25	502	0.17-0.66
30	563	0.17-0.68
52	898	0.17-0.76
55	906	0.17-0.77

Çizelge 5.9 : B fazı tüketicilerinin gerilim hassaslıklarına göre sıralanması.

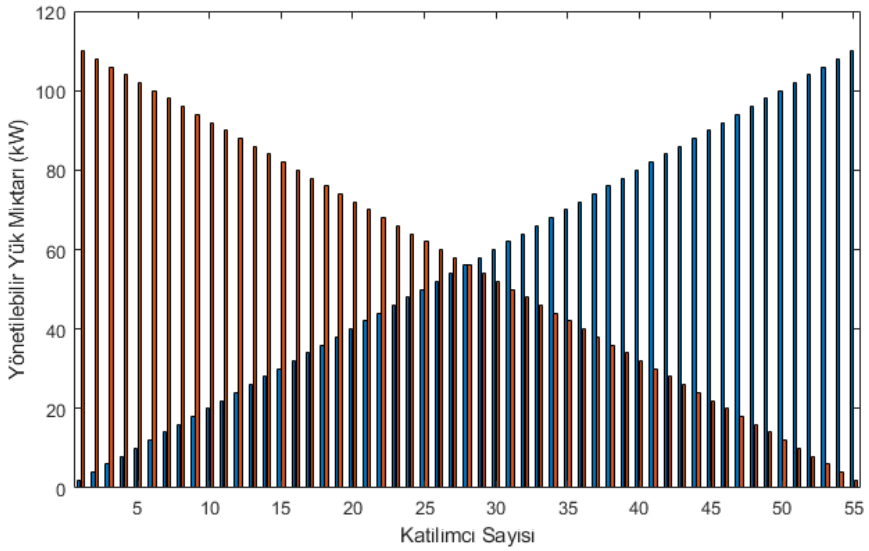
Kullanıcı No	Bara No	Bara Gerilimlerine Etki Aralığı (% V/kW)
2	47	0.20-0.21
6	83	0.20-0.21
7	178	0.25-0.30
10	248	0.25-0.38
13	276	0.25-0.38
15	314	0.25-0.38
11	249	0.25-0.40
23	406	0.25-0.46
26	522	0.25-0.46
38	688	0.25-0.49
44	785	0.26-0.50
40	702	0.26-0.53
50	886	0.26-0.61
53	899	0.26-0.61
41	755	0.26-0.65
45	813	0.26-0.65
35	639	0.26-0.70
36	676	0.26-0.70
37	682	0.26-0.70



Şekil 5.18 : Test fiderinin kullanıcı bağlantı noktalarıyla detaylı görünümü.

Çizelge 5.10 : C fazı tüketicilerinin gerilim hassaslıklarına göre sıralanması.

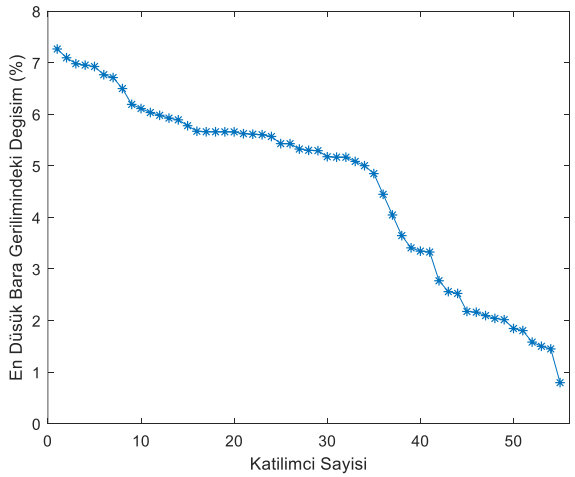
Kullanıcı No	Bara No	Bara Gerilimlerine Etki Aralığı (% V/kW)
8	208	0.29-0.36
12	264	0.29-0.36
16	320	0.29-0.38
17	327	0.29-0.38
19	342	0.29-0.38
24	458	0.29-0.40
27	539	0.30-0.41
28	556	0.30-0.41
18	337	0.29-0.44
32	614	0.30-0.47
33	619	0.30-0.68
39	701	0.30-0.51
42	778	0.30-0.51
43	780	0.30-0.69
47	835	0.30-0.69



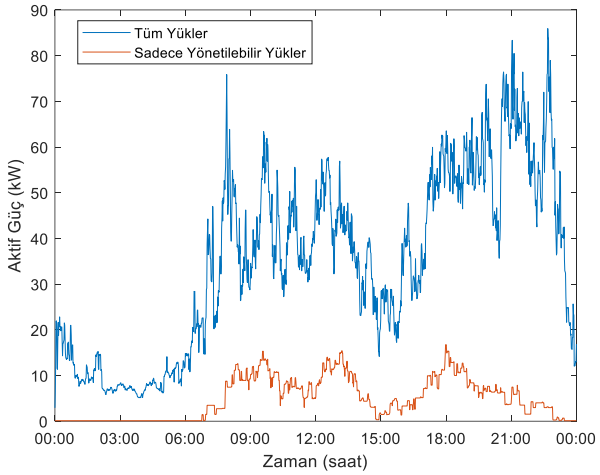
Şekil 5.19 : Yüklerin eş zamanlı toplu yönetim basamakları.

Evlerin topluca, düşük gerilim olaylarının ne kadarına cevap verebilecek durumda olduğu ise Şekil 5.25'te bulunmaktadır. Tüm evlerin toplu yönetimi ile, cevap verebilme yüzdesi düşük gerilim zamanlarında %5'in üzerinde olup %22'lere varabilmektedir.

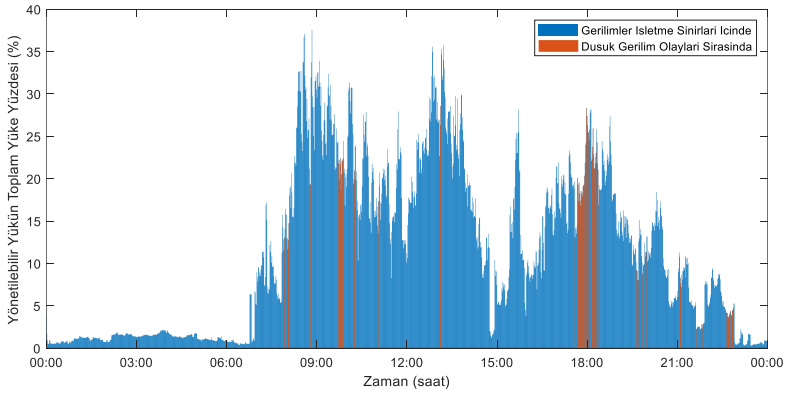
Her bir düşük gerilim olayına cevap verebilecek kullanıcı sayısı da ayrıca incelenip Şekil 5.26'da verilmiştir. 55 kullanıcının 3 ila 12'si düşük gerilim olaylarına başarılı şekilde cevap verebilmektedir.



Şekil 5.20 : Eş zamanlı toplu yönetimde karşılaşılan en düşük bara gerilimi.

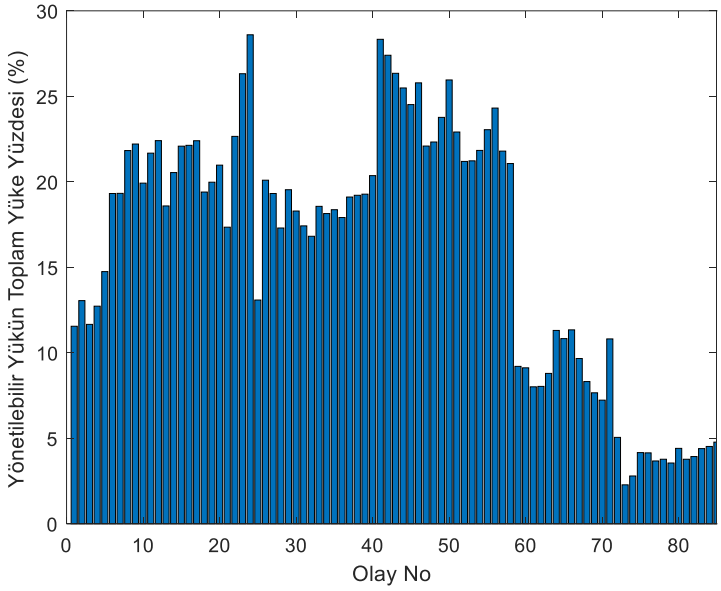


Şekil 5.21 : Tüm yüklerin ve sadece yönetilebilir yüklerin günlük talep profili.

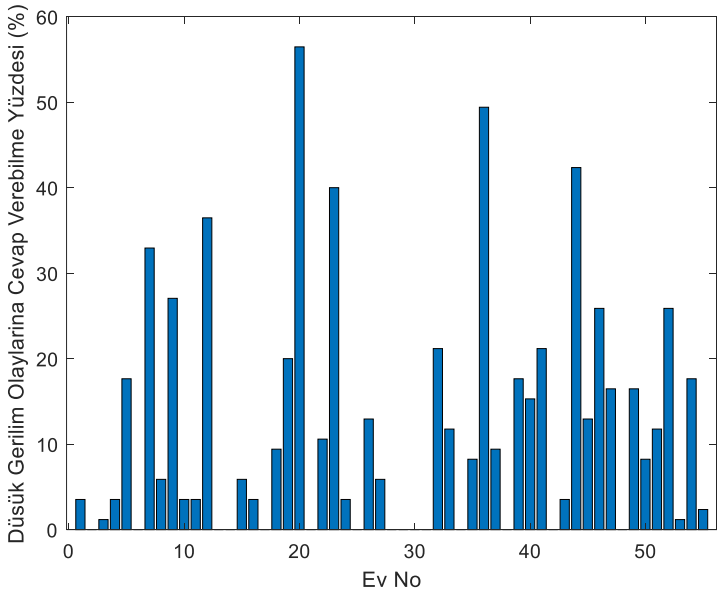


Şekil 5.22 : Gün boyunca düşük gerilim zamanlarında yük miktarları.

Elde edilen bu verilerden yararlanılarak, yönetilebilir yükler, gün içerisinde düşük gerilim olayı yaşanan zamanlarda yönetilmiştir ve en düşük bara gerilimi, yönetimsiz durum ile karşılaştırılmıştır (Şekil 5.27). %10'un üzerindeki gerilim düşümlerinin, talep yönetimi ile azaldığı Şekil 5.27'de görülmektedir. Düşük gerilim olayları sırasında her evin sağladığı yönetilebilir yük miktarı aralığı ortalama değerleriyle beraber Şekil 5.28'de gösterilmiştir.



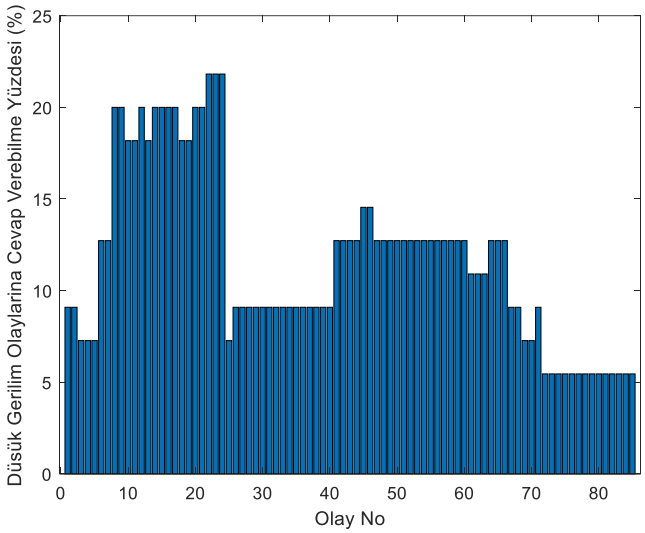
Şekil 5.23 : Düşük gerilim zamanlarında yönetilebilir yükün toplam yüke oranı.



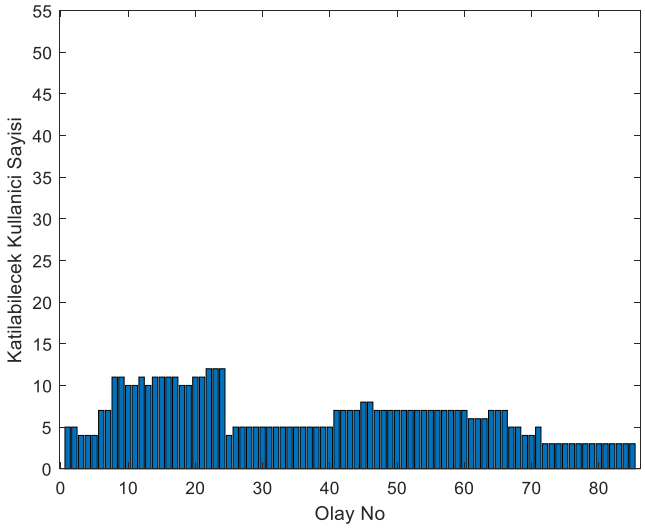
Şekil 5.24 : Her bir evin düşük gerilim olaylarına cevap verebilme oranı.

Bazı evlerin yönetilebilir yük miktarı ortalama 2 kW olup belirli olaylarda 6 kW'a kadar çıkabilmektedir. Evlerin birçoğu ise 1 kW'ın altında ortalama yönetilebilir yüke sahip olmasına rağmen bazı olaylarda 1 kW'ın üstünde yönetilebilir yük performansı gösterebilmektedir.

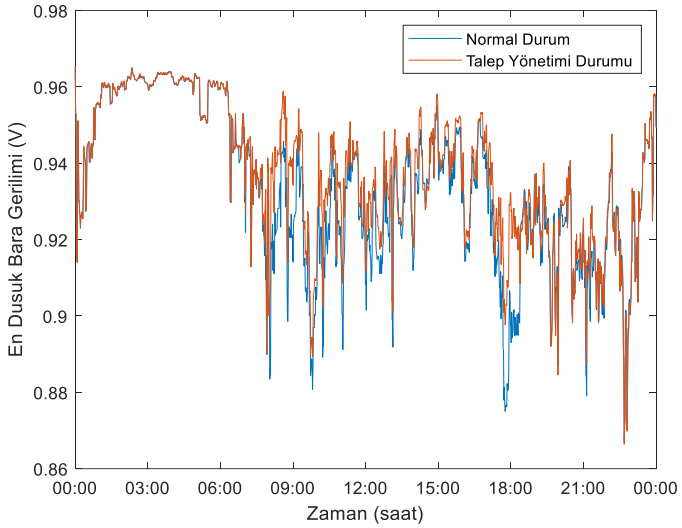
Şekil 5.19'dakine benzer şekilde, sadece yerel şebeke değil, ana şebekeye de eş zamanlı olarak toplu yönetim hizmeti sağlanabilecek farklı basamaklar için yönetilebilir yük miktarları Şekil 5.29'da gösterilmiştir. Gün boyunca yaşanan 85 dakikalık yönetim olayı genelinde, 800 kW'lık yönetilebilir yükün yaklaşık 300 kW'ı 35 kullanıcı tarafından sağlanabilmekteyken, diğer 20 kullanıcı 500 kW'a yakın yönetilebilir yük performansına sahiptir.



Şekil 5.25 : Tüm evlerin düşük gerilim olaylarına cevap verebilme oranı.

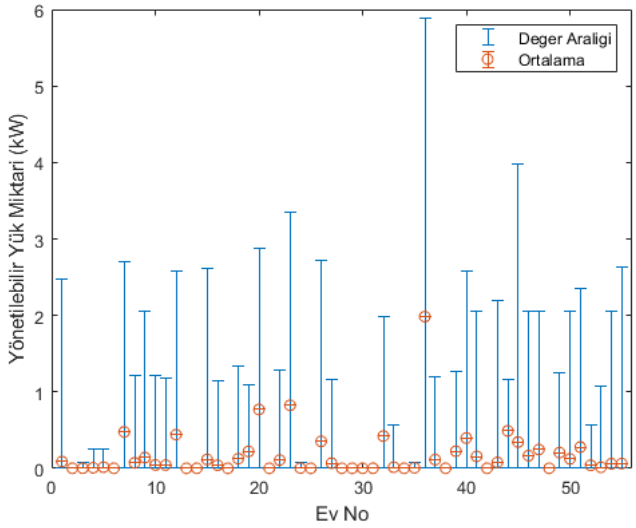


Şekil 5.26 : Düşük gerilim olaylarında cevap verebilecek kullanıcı sayısı.

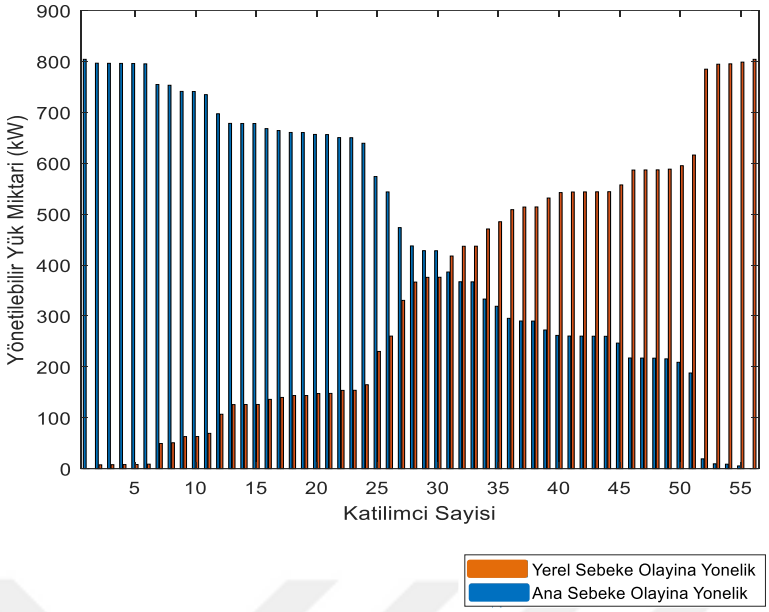


Şekil 5.27 : Toplu yönetimin en düşük bara gerilimine etkisi.

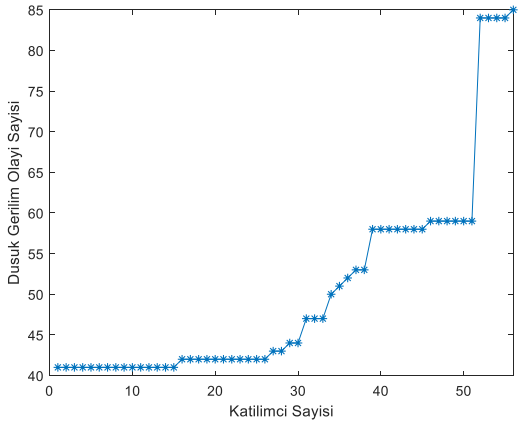
Şekil 5.29'da verilen farklı yönetim basamakları için gün boyunca yaşanan düşük gerilim olaylarının sayısı Şekil 5.30'da gösterilmiştir. 55 kullanıcının 15'i yerel yönetim olayına cevap vermediği takdirde, düşük gerilim olayı sayısı değişmemiştir. Ayrıca, toplamda 35 kullanıcının yerel yönetim olayının tam tersine hareket etmesi, gün içinde fazladan 2 düşük gerilim olayına sebep olmuştur. Diğer yandan trafo merkezine uzak 5 kullanıcının yerel yönetim hedefinin tersine hareket etmesi, düşük gerilim olayı sayısını 60'tan 85'e çıkarmaktadır. Yine düşük gerilim olayları sırasında önemli miktarda yönetilebilir yükü olan ve fiderin orta bölgelerinde yer alan 10 kullanıcının yerel yönetim hedefinin aksine hareket etmesi, düşük gerilim olaylarının dakikasını 44'ten 59'a çıkarmıştır.



Şekil 5.28 : Düşük gerilim sırasında her evin yönetilebilir yük miktarı.



Şekil 5.29 : Düşük gerilim zamanlarında eş zamanlı yönetim miktarları.



Şekil 5.30 : Farklı eş zamanlı yönetim basamakları ve düşük gerilime etkisi.

5.4 Genel Yorumlar

Bu bölümde yapılan çalışmalar, binalardaki yüklerin dağıtım şebekelerinin yerel sorunlarını gidermeye yönelik ilk kapsamlı saha denemeleri özelliği taşımaktadır. Sonuçlar, katılımcıların yerel sorunları çözmede etkin rol oynayabileceğini göstermektedir.

Başlıca konulardan biri, evlerdeki cihazların otonom olarak yönetilebilir özelliklere sahip olmasıdır. İnternet bağlantılı akıllı termostatlar ile klimalar kolayca yönetilebilmektedir. Diğer yandan birçok beyaz eşya firması da cihazların uzaktan izlenmesi ve yönetimine olanak sağlayan mobil uygulamalar sunmaya başlamışlardır.

Bu uygulamaların talep yönetimi uygulamalarına entegrasyonu sayesinde kullanıcılar rahatsız edilmeden kısa veya uzun süreli değişiklikler sıkça ve otonom bir şekilde yapılabilecektir. Cihazların kararlı yanıt süreleri de önem taşımaktadır. Termostat kontrollü yükler hava şartlarından etkilenmekteyken, el ile kontrollü yüklerin izledikleri yıkama programı benzeri tüketim profillerinin zamanlamalarının bilinmesi faydalı olacaktır. Gerilim hassasiyet matrisi ile ilgili denemeler tatmin edici sonuçlar vermiştir. Ölçüm sayısı ve sıklığı değiştirilerek, farklı hassaslıkta ölçüm ekipmanları kullanılabilir. Farklı yöntemlerle daha az sayıda örnek toplayarak ve daha kısa sürede matris değerlerinin çıkarımı yapılmaya çalışılabilir. Farklı sistemlerde denemeler yapılarak da yerel yüklerin en uygun şekilde nasıl gruplandırılabileceğiyle ilgili önemli tecrübeler edinilebilir.

6. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, şebeke etkileşimli ev kullanıcılarıyla toplu talep yönetimi, gerçek kullanıcılarla uzun dönem saha uygulamaları, büyük ölçekli laboratuvar testleri ve kapsamlı simülasyonlar ile incelenmiştir. Kullanıcı etkileşimi için birçok farklı ilde yapılan anket çalışması, kullanıcıların elektrik şebekelerinin günümüzdeki zorluklarının birçoğundan haberdar olduğunu, çevreyle ilgili etkilerin ise yeterince bilinmediğini göstermiştir. Yine bu anket çalışması ile kullanıcıların talep yönetimi programlarına yüksek oranda olumlu baktığı ve önerilen birçok oyunlaştırma ve ek kazanç seçeneğini teşvik edici bulduğu gözlemlenmiştir. Birçok farklı kullanıcı grubu tespit edilip, bu grupların ortak ve ayırt edici yönleri ortaya çıkarılmıştır. Başarılı bir talep yönetimi uygulaması için, farklı kullanıcı gruplarını kapsayıcı doğru ekonomik ve sosyal teşvik mekanizmalarının etkin bir şekilde kullanılması önem taşımaktadır. Gelecek talep yönetimi çalışmaları açısından da bu bulgular yol gösterici niteliktedir.

İstanbul'daki 4 evde, gerçek kullanıcılarla uzun dönem saha uygulaması, kullanıcıların sürdürülebilir olarak talep yönetimi performansı gösterebileceğini ortaya koymuştur. Talep yönetim platformuna eklenen yeni özelliklerle kullanıcılarda aylar sonra dahi motivasyon ve yönetim performansı artışı sağlanabileceği görülmüştür. Kullanıcıların sık ve detaylı yönetilmesi gereken yükler için otomatik kontrol yöntemlerini daha çok benimsediği, basit ve nadiren yönetilen yükler için ise el ile kontrolü başarıyla uygulayabildiği görülmüştür. Geliştirilen platformda kullanılan oyunlaştırma tekniklerinin, kullanıcıların talep yönetimi performansı, elektrik tasarrufu ve faturalarda ekonomik tasarruflar sağlamalarında etkili olduğu detaylı analizlerle kanıtlanmıştır. İlerleyen çalışmalarda, kullanıcıların kişisel tüketim alışkanlıkları ve yönetim tercihlerine göre onlara daha kişisel ve uyumlu yönetim seçenekleri ve tavsiyeleri sunabilen talep yönetimi platformları ile elde edilebilecek faydaların daha da arttırılabileceği düşünülmektedir. Bu amaçla makine öğrenme ve yapay zeka yaklaşımlarından faydalanılabilir. Saha uygulamaları daha çok kullanıcı ile yapılarak daha kapsamlı gözlemler ve bulgular edinilebilir. Ayrıca, iş yerleri ile endüstriyel

tüketiciler için de bu tür yönetim platformları geliştirilerek talep yönetimi potansiyelinden faydalanılabilir.

Mevcut perakende tarife yapılarıyla elde edilebilecek gelirler, talep yönetimi için teşvik edici olmakla beraber, yeterince esneklik sağlamamaktadır. Ayrıca, toplu talep yönetimi, gün öncesi ve gün içi piyasalarda, birbirine yakın ortalama gelir miktarları sağlayabilmektedir. Gelirlerin değişim aralığı ise gün içi piyasada biraz daha geniştir. İlerleyen çalışmalarda enerji piyasasına sağlanabilecek diğer hizmetlerden elde edilebilecek gelirler, piyasada yer alan aktörlerle iş birliği yapılarak incelenebilir.

Toplu yönetim için geliştirilen teşvik yapısı, mevcut teşvik mekanizmalarına göre kullanıcılar arası iş birliğini arttırma ve katılımcı sayısı arttıkça, ilk teklifi cazip bulmayan kullanıcıları da teşvik edebilme özelliği taşımaktadır. Ayrıca, mevcut çok zamanlı tarifelerin aksine, elektrik piyasası işletmesindeki 15 dk ve üzerindeki tüm zaman dilimleri için, günün farklı zaman dilimlerinde uygulanabilme imkanına da sahiptir. İlerleyen çalışmalarda, piyasa fiyatlarındaki fırsatları kullanıcılara daha iyi yansıtan ve toplu yönetimde iş birliğini teşvik eden teşvik mekanizmaları, çok sayıda kullanıcı ile denenebilir. Farklı teşvik yapıları geliştirilerek, karşılaştırmalar yapılabilir.

Toplu yönetimin, cihazların ertelenebilme sürelerine göre zamana yayılarak yapılması ve ilerleyen zaman dilimlerindeki değişikliklerin detaylı olarak ele alınmasına yönelik yaklaşım, sıradan toplu yönetime göre tüketim profilini düzleştirmede, puant talebi ve toplam tüketimleri azaltmada daha olumlu sonuçlar vermiştir. Bu yönetim yaklaşımının ilerleyen çalışmalarda sahada çok sayıda yönetilebilir yük ile denenmesi, gerçek uygulamalarda karşılaşılabilecek beklenmedik durumlar ve zorluklar için faydalı tecrübeler sağlayabilir.

Dağıtık üretim ve enerji depolama sistemlerinin koordinasyonu ile ilgili büyük çaplı laboratuvar testleri, cihazların güç ve enerji yönetimi açısından karakteristik özelliklerinin tespit edilmesi ve etkin, otonom, uzaktan uygulanabilir yönetim yaklaşımları açısından önemli bulgular sağlamıştır. Bataryaların uzaktan otonom yönetim performansı, düşük hata miktarı ve yüksek yönetim hızı ile birçok yönetim uygulaması açısından elverişli bulunmuştur. Oyunlaştırılmış talep yönetimi platformundaki tecrübelerden yola çıkılarak, dağıtık üretim ve enerji depolama sistemleri için de oyunlaştırma tekniklerine dayalı bir platform için önerilerde

bulunulmuştur. Kullanıcıların, toplu yöneticiler ve şebeke operatörü ile platform üzerinden etkileşimi de irdelenmiştir. İlerleyen çalışmalarda dağıtık üretim ve enerji depolama sistemlerinin gelişmiş izlenmesi ve yönetiminin, kullanıcı dostu arayüzlerle yapılabileceği platformlar geliştirilebilir ve gerçek kullanıcılarla saha denemeleri yapılabilir. Esnek yükler ile dağıtık üretim ve enerji depolamanın birlikte yer aldığı laboratuvar deneyleri ve saha uygulamaları da önemli tecrübeler sağlayabilir.

Dağıtım şebekesinin yerel sorunlarına yönelik talep yönetimi, büyük ölçekli laboratuvar testleri ve kapsamlı benzetimler ile incelenmiştir. Evlerdeki yönetilebilir yüklerin, yerel şebekedeki gerilim profilini iyileştirme, hat aşırı yüklenmelerini azaltma ve faz yüklenmelerini dengelemede etkin olarak kullanılabileceği görülmüştür. Yerel şebekenin ve ana şebekenin birbiriyle çelişen, farklı hedeflere sahip yönetim uygulamalarının, aynı dağıtım şebekesinde birbirine komşu yönetilebilir yüklerle, eş zamanlı olarak gerçekleştirilmesine yönelik yaklaşım denenmiş ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Baraların güç alışverişindeki değişimlerin diğer bara gerilimleri üzerindeki etkilerinin çıkarımı için geliştirilen mantık gerçek bir sistemde denenerek başarılı bulunmuştur. Bara gerilim hassasiyetleri, eş zamanlı yönetim amacıyla kullanılarak önemli toplu yönetim performanslarına ulaşılmıştır. İlerleyen çalışmalarda farklı şebekelerde baraların gerilim hassasiyeti değerlerinin çıkarımı hem geliştirilen yöntemle, hem de alternatif yöntemlerle denenebilir. Aynı şebekede yükün sıkça değiştiği zamanlarda gerilim hassasiyet değerlerinin çıkarımında yaşanabilecek zorluklar incelenebilir. Uygun çıkarım zamanları da bu sayede belirlenebilir. Eş zamanlı yönetim farklı büyüklük ve topolojilerdeki şebekelerde hem benzetimler, hem laboratuvar deneyleri, hem de gerçek kullanıcılarla saha uygulamaları yapılarak incelenebilir.

Tez çalışması kapsamında geliştirilen yaklaşımların büyük ölçekli uygulamalarına imkan verecek iş modelleri ve düzenlemeler de ilerleyen çalışmalarda detaylandırılabilir.

KAYNAKLAR

[1] **Murthy Balijepalli V. S. K., Pradhan, V., Khaparde, S.A. ve Sheeref R.M.** (2011). Review of Demand Response under Smart Grid Paradigm. *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies*, Kerala, India : Aralık 1-3.

[2] **Gellings, C. V.** (1985). The concept of demand-side management for electric utilities, *IEEE Proceedings, 73* (10), 1468-1470.

[3] **Ontario Energy Board**, Time-of-Use Electricity Prices <https:// www.oeb.ca/oeb/_Documents/Consumer%20Brochures/brochure_02_ Time-of-use%20prices%20for%20electricity.pdf>, erişim tarihi: 02.04.2019.

[4] **ComEd,** ComEd's Hourly Pricing Program — Pricing Dashboard <https://hourlypricing.comed.com/live-prices>, erişim tarihi: 04.04.2019.

[5] **Cappers, P., MacDonald, J., Page, Potter, J. ve Stewart, E.** (2016). Future Opportunities and Challenges with Using Demand Response as a Resource in Distribution System Operation and Planning Activities https://emp.lbl.gov/sites/all/files/lbnl-1003951.pdf, alındığı tarih: 04.04.2019.

[6] **Mukai, T., Nishio, K., Komatsu, H., Uchida, T. ve Ishida, K.** (2016). Evaluating a behavioral demand response trial in Japan: evidence from the summer of 2013, *Energy Efficiency*, *9* (4), 911–924.

[7] **Office of Electricity Delivery ve Energy Reliability**, Unlocking Customer Value: The Virtual Power Plant <http://energy.gov/sites/prod/files/ oeprod/Documentsand Media/ABB_Attachment.pdf.>, erişim tarihi: 05.04.2019.

[8] **Andersen, P. B., Poulsen, Decker, M., Traeholt, C. ve Ostergaard, J.** (2008). Evaluation of a Generic Virtual Power Plant framework using service oriented architecture. *2nd International Power and Energy Conference*, Johor Baru, Malaysia : Aralık 1-3.

[9] **Stadler, M., Krause, W., Sonnenschein, M. ve Vogel, U.** (2009). Modeling and evaluation of control schemes for enhancing load shift of electricity demand for cooling devices, *Environmental Modeling and Software, 24* (2), 285-295.

[10] **Callaway, D. S.** (2009). Tapping the energy storage potential in electric loads to deliver load following and regulation, with application to wind energy, *Energy Conversion and Management, 50* (5), 1389-1400.

[11] **Chai, B., Chen, J., Yang, Z. ve Zhang, Y.** (2014). Demand Response Management With Multiple Utility Companies: A Two-Level Game Approach, *IEEE Transactions on Smart Grid, 5* (2), 722-731.

[12] **Mohsenian-Rad, A. H., Wong, V. W. S., Jatskevich, J., Schober, R. ve Leon-Garcia, A.** (2010). Autonomous Demand-Side Management Based on Game-Theoretic Energy Consumption Scheduling for the Future Smart Grid, *IEEE Transactions on Smart Grid, 1* (3), 320-331.

[13] **Nguyen, H. K., Song, J. B. ve Han Z.** (2012). Demand Side Management to Reduce Peak-to-Average Ratio using Game Theory in Smart Grid. *IEEE Conference on Computer Communications Workshops*, (pp. 91-96), Orlanda, USA, Mart 25-30.

[14] **Ma, K., Hu, G. ve Spanos, C. J.** (2015). A Cooperative Demand Response Scheme Using Punishment Mechanism and Application to Industrial Refrigerated Warehouses, *IEEE Transactions on Industrial Informatics, 11* (6), 1520-1531.

[15] **Richardson, I., Thomson, M., Infield, D. ve Clifford, C.** (2010). Domestic electricity use: A high-resolution energy demand model, *Energy and Buildings, 42*, 1878-1887.

[16] **Marszal-Pomianowska, A., Heiselberg, P. ve Larsen, O. K.** (2016). Household electricity demand profiles- A high-resolution load model to facilitate modelling of energy flexible buildings, *Energy, 103*, 487-501.

[17] **Wright, A. ve Firth, S.** (2007). The nature of domestic electricity-loads and effects of time averaging on statistics and on-site generation calculations, *Applied Energy, 84*, 389-403.

[18] **Gozel, T., Navarro, A. ve Ochoa, L.N.** (2014). Deliverable 3.5 Creation of aggregated profiles with and without new loads and DER based on monitored data <https://www.escholar.manchester.ac.uk/uk-ac-man-scw:244636>, alındığı tarih: 11.04.2019.

[19] **Olsen, D.J., Matson, N., Sohn, M.D., Rose, C., Dudley, J., Goli, S. ve Kiliccote, S.** (2013). Grid Integration of Aggregated Demand Response, Part 1: Load Availability Profiles and Constraints for the Western Interconnection <http://eetd.lbl.gov/sites/all/files/lbnl-6417e. pdf>, alındığı tarih: 17.04.2019.

[20] **Stamminger, R.** (2008). Synergy Potential of Smart Appliances- D2.3 of WP 2 from the Smart-A project <http://www.smart-a.org/WP2_D_2 _3_Synergy_Potential_of_Smart_Appliances.pdf>, alındığı tarih: 10.04.2019.

[21] **Soares, A., Gomes, A. ve Antunes, C. H.** (2014). Categorization of residential electricity consumption as a basis for the assessment of the impacts of demand response actions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 30*, 490-503.

[22] **Green Paper on Energy Efficiency or Doing More with Less**, <http://www.ab.gov.tr/files/ardb/evt/1_avrupa_birligi/1_6_raporlar/1_2_green_papers/com2005_green_paper_on_energy_efficiency.pdf>, erişim tarihi: 05.04.2019.

[23] **Smart-A Project,** Smart Domestic Appliances Supporting the System Integration of Renewable Energy, <http://www.smart-a.org/SmartA_Project_Final_Brochure_2009.pdf>, erişim tarihi: 13.04.2019.

[24] **Pipattanasomporn, M., Kuzlu, M., Rahman, S. ve Teklu, Y**. (2014). Load Profiles of Selected Major Household Appliances and Their Demand Response Opportunities, *IEEE Transactions on Smart Grid, 5* (2), 742-750.

[25] **Werbach, K. ve Hunter, D.** (2012). *For the Win: How Game Thinking Can Revolutionize Your Business*. Philadelphia, USA: Wharton Digital Press.

[26] **Burke, B.** (2014). *Gamify: How Gamification Motivates People to Do Extraordinary Things*. Massachusetts, USA: Gartner Inc.

[27] **Fogg, B.J.** (2009). A behavior model for persuasive design. *Proceedings of the 4th International Conference on Persuasive Technology*, (pp. 1–7), Claremont, USA, Nisan 26–29.

[28] **Bartle, R.** (1996). Hearts, clubs, diamonds, spades: Players who suit MUDs, *Journal of Virtual Environments, 1* (1), 1–19.

[29] **Tondello, G. F., Wehbe, R. R., Diamond, L., Busch, M., Marczewski, A. ve Nacke, L. E** (2016). The Gamification User Types Hexad Scale. *Proceedings of the Annual Symposium on Computer-Human Play*, Austin, USA : Ekim 16–19.

[30] **Chou, Y.** (2015). Actionable Gamification—Beyond Points, Badges and Leaderboards. Milpitas, USA: Octalysis Media.

[31] **Gustafsson, A., Bång, M. ve Svahn, M.** (2009). Power explorer: A casual game style for encouraging long term behavior change among teenagers. *Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Enterntainment Technology*, Athens, Greece : Ekim 29–31.

[32] **Gustafsson, A. ve Katzeff, C.** (2009). Evaluation of a pervasive game for domestic energy engagement among teenagers. *Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, Yokohama, Japan : Aralık 3-5.

[33] **Geelen, D., Keyson, D., Boess, S. ve Brezet, H.** (2012). Exploring the use of a game to stimulate energy saving in households, *Journal of Design Research, 10* (1), 102–120.

[34] **Gnauk, B., Dannecker, L. ve Hahmann, M.** (2012). Leveraging gamification in demand dispatch systems. *Proceedings of the 2012 Joint EDBT/ICDTWorkshops*, Berlin, Germany : Mart 30.

[35] **Lee, G.E., Xi, Y., Brewer, R.S. ve Johnson, P.M.** (2012). Makahiki: An Open Source Game Engine for Energy Education and Conservation. *Proceedings of the Foundations of Digital Games*, Raleigh, USA : Mayıs 29-Haziran 1.

[36] **Castri, R., Wemyss, D., Cellina, F., Luca, V.D., Frick, V., Lobsiger-Kägi, E., ve Carabias, V.** (2016). Triggering Electricity-Saving through Smart Meters: Play, Learn and Interact Using Gamification and Social Comparison. *Proceedings of the 1st Energy-Feedback Symposium*, Edinburg, UK : Temmuz 4-5.

[37] **Hafer, M., Howley, W., Chang, M., Ho, K., Tsau, J. ve Razavi, H.** (2017). Occupant engagement leads to substantial energy savings for plug loads. *Proceedings of the IEEE Conference on Technologies for Sustainability*, Phoenix, USA : Kasım 12–14.

[38] **Killerud,W.** (2014). Smart Grid, Smart Users: The User Experience and Impact of a Persuasive Mobile Electricity Managing Assistant <https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/278524/14-02188-3%20Masteravhandling%20-20Smart%20grid%20smart%20users%20-%20Killerud%20William.pdf%20223116_1_1.pdf?sequence=1> alındığı tarih: 25.04.2019.

[39] **Reeves, B., Cummings, J. J., Scarborough, J. K. ve Yeykelis L.** (2013). Increasing Energy Efficiency with Entertainment Media: An Experimental and Field Test of the Influence of a Social Game on Performance of Energy Behaviors, *Environment and Behavior, 47* (1), 102–115.

[40] **PEAKapp**, Deliverable D1.4 Documentation of Functionalities—Serious Game Specification <http://www.peakapp.eu/wp-content/ uploads/2017/01/ D-1.4-Documentation-of-Functionalities-%E2%80%93-SeriousGame-Specification. pdf> erişim tarihi: 25.04.2019.

[41] **Ohmconnect**, What Is an Ohmhour? <https://www.ohmconnect.com/blog-post/what-is-an-ohmhour> erişim tarihi: 25.04.2019.

[42] **Johnson, D., Horton, E., Mulchany, R. ve Foth, M.** (2017). Gamification and serious games within the domain of domestic energy consumption: A systematic review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 73*, 249–264.

[43] **Morganti, L., Pallavicini, F., Cadel, E., Candelieri, A., Archetti, F. ve Mantovani, F.** (2017). Gaming for Earth: Serious games and gamification to engage consumers in pro-environmental behaviours for energy efficiency, *Energy Research and Social Science, 29*, 95–102.

[44] **AlSkaif, T., Lampropoulos, I., Van den Broek, M. ve Van Sark, W.** (2018). Gamification-based framework for engagement of residential customers in energy applications. *Energy Research and Social Science*, *44*, 187–195.

[45] **Beck, A. L., Chitalia, S. ve Rai, V.** (2019). Not so gameful: A critical review of gamification in mobile energy applications, *Energy Resarch and Social Science, 51*, 32–39.

[46] **Karimi, M., Mokhlis, H., Naidu, K., Uddin, S. ve Bakar, A. H. A.** (2016). Photovoltaic penetration issues and impacts in distribution network-A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 53*, 594-605.

[47] **Gaunt, C.T., Namanya, E. ve Herman, R.** (2017). Voltage modelling of LV feeders with dispersed generation: Limits of penetration of randomly connected photovoltaic generation, *Electric Power Systems Research, 143*, 1-6.

[48] **Shivashankar, S., Mekhilef, S., Mokhlis, H. ve Karimi, M.** (2016). Mitigating methods of power fluctuation of photovoltaic (PV) sources-A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 59*, 1170-1184.

[49] **Bucciarelli, M., Giannitrapani, A., Paoletti, S., Vicino, A. ve Zarilli, D.** (2016). Energy storage sizing for voltage control in LV networks under certainty of PV generation. *IEEE 2nd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry*, (pp. 1-6), Valencia, Spain, Eylül 6-10.

[50] **Stem**, Grid services with Stem <http://www.stem.com/grid> erişim tarihi: 28.04.2019.

[51] **Hara, R., Kita, H., Tanabe, T., Sugihara, H., Kuwayama, A. ve Miwa, S.** (2009). Testing the technologies, *IEEE Power and Energy Magazine, 7* (3), 77-85.

[52] **Liu, X., Aichhorn, A., Liu, L. ve Li, H.** (2012). Coordinated control of a distributed energy storage system with tap changer transformers for voltage rise mitigation under high photovoltaic penetration, *IEEE Transactions on Smart Grid, 3* (2), 897-906.

[53] **Stimoniaris, D., Tsiamitros, D. ve Dialynas E.** (2015). Improved energy storage management and PV-active control infrastructure and strategies for microgrids, *IEEE Transactions on Power System, 31* (1), 813-820.

[54] **Electric Power Research Institute**, Common Functions for Smart Inverters <http://www2.epri.com/abstracts/Pages/ProductAbstract.asp x?ProductId=000000003002008217> erişim tarihi: 16.03.2019.

[55] **Hledik, R. Lazar, J. & Schwartz, L.** (2016). Distribution System Pricing with Distributed Energy Resources <https://emp.lbl.gov/sites/default/files /feur_4_20160518_fin-links2.pdf> alındığı tarih: 16.03.2019.

[56] **Electric Power Research Institute**, Common Functions for DER Group Management <https://www.epri.com/#/pages/product/000000003002008215> erişim tarihi: 16.03.2019.

[57] **Vallés, M., Reneses, J., Frias, P. ve Mateo, C.** (2016). Economic benefits of integrating active demand in distribution network planning: A Spanish case study, *Electric Power Systems Research, 136*, 331-340.

[58] **Sekizaki, S., Nishizaki, I. ve Hayashida, T.** (2016). Electricity retail market model with flexible price settings and elastic price-based demand response by consumers in distribution network, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 81*, 371-386.

[59] **Ceseña, E. A. M. ve Mancarella, P.** (2016). Practical recursive algorithms and flexible open-source applications for planning of smart distribution network with demand response, *Sustainable Energy, Grids and Networks, 7*, 104-116.

[60] **Gutiérrez-Alcaraz, G., Tovar-Hernández, J. H. ve Lu, C. N.** (2016). Effects of demand response programs on distribution system operation, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 74*, 230-237.

[61] **Siano, P. ve Sarno, D.** (2016). Assessing the benefits of residential demand response in a real time distribution energy market, *Applied Energy, 161*, 533-551.

[62] **Mokryani, G.** (2015). Active distribution networks planning with integration of demand response, *Solar Energy, 122*, 1362-1370.

[63] **Soroudi, A., Rabiee, A. ve Keane, A.** (2017). Distribution network's energy losses versus hosting capacity of wind power in the presence of demand flexibility, *Renewable Energy, 102*, 316-325.

[64] **Shi, W., Li, N., Xie, X., Chu, C.C. ve Gadh, R.** (2014). Optimal residential demand response in distribution networks, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 32* (7),1441-1450.

[65] **Medina, J., Muller, N. ve Roytelman I.** (2010). Demand response and distribution grid operations: opportunities and challenges, *IEEE Transactions on Smart Grid, 1* (2), 193-198.

[66] **Mohsenian-Rad, H. ve Davoudi, A.** (2013). Optimal demand response in DC distribution networks. *IEEE International Conference on Smart Grid Communications*, (pp. 564-569), Vancouver, Canada, Ekim 21-24.

[67] **Accenture**, Understanding Consumer Preferences in Energy Efficiency <https://www.accenture.com/t20160811T002327__w__/us-en/_acnmedia/Accenture/next-gen/insightunlocking-value-of-digital-consumer/PDF/Accenture-Understanding-Consumer-Preferences-EnergyEfficiency-10-0229-Mar-11.pdf> erişim tarihi: 20.03.2019.

[68] **Zehir M. A. ve Bagriyanik M.** (2012). Demand side management by controlling refrigerators and its effects on consumers, *Energy Conversion and Management, 64*, 238-244.

[69] **Zehir, M. A., Batman, A. ve Bagriyanik M.** (2016). Review and comparison of demand response options for more effective use of renewable energy at consumer level, *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 56*, 631-642.

[70] **Elliot, A.J., Dweck, C.S. ve Yeager D.S.** (2018). Handbook of Competence and Motivation. New York, USA: The Guildford Press.

[71] **Marczewski, A.** Flow & Gamification: A Misunderstanding. Available online: <https://www.gamified.uk/2014/07/08/flow-gamification-misunderstanding> alındığı tarih: 21.03.2019.

[72] **MAKEL Company**, Smart Home Products <http://makel.com.tr/en/makel-smarthome/products> erişim tarihi: 22.03.2019.

[73] **IEEE PES AMPDS DSAS Working Group** <http://sites.ieee.org/pes-testfeeders/resources> erişim tarihi: 22.03.2019.

EKLER

EK A: Kullanıcılarla Yapılan Anketin İçeriği
EK B: Oyunlaştırılmış Yönetim Programının Ana Yapısı

EK A

1. Yaş aralığınız
   a) 18-24
   b) 25-34
   c) 35-50
   d) 50-65
   e) 65+

2. Cinsiyet
   a) Kadın b) Erkek

3. Eğitim durumu
   a) İlköğretim
   b) Lise
   c) Lisans veya Önlisans (4 veya 2 yıllık üniversite)
   d) Lisansüstü (Yüksek Lisans, Doktora)

4. Yaşanılan şehir: ……

5. Mesleğiniz ……

6. İkamet türü
   a) Yurt
   b) Öğrenci evi
   c) Tek başına
   d) Aile veya akrabalarla
   e) Diğer ……

7. Oturduğunuz ev size mi ait?
   a) Evet
   b) Hayır, kiracıyım

8. Kabaca gelir düzeyiniz?
   a) 2000 TL altı
   b) 2000-5000 TL
   c) 5000 TL üstü

9. Medeni hal
   a) Evli b) Bekar

10. Çocuk durumu
    a) Var
    b) Yok

11. Aşağıdaki her ikili seçenekten düşüncenize en yakın olanı işaretleyiniz.
    Türkiye'de elektrik üretirken kullanılan doğal kaynaklar:
    a) Çevreyi kirletiyor
    b) Çevre dostu

    a) Küresel ısınmayı oldukça arttırıyor
    b) Küresel ısınmayı pek arttırmıyor

a) İlerleyen yıllarda tükenebilir
b) Tükenme riski taşımıyor

a) Çoğunlukla komşu ülkelerden ithal ediliyor
b) Çoğunlukla kendi topraklarımızdan çıkıyor

a) Ülke ekonomisine maliyeti yüksek
b) Ülke ekonomisine maliyeti düşük

12. Evinizdeki elektrik hizmetinde sorunlar var mı?
a) Evet, zaman zaman sorunlar yaşıyorum.
(En sık yaşadığınız sorun: ……)
b) Hayır, sorun yaşamıyorum. Gayet memnunum.

13. Ülke genelinde elektrik hizmeti sizce nasıldır?
a) Çeşitli sorunlar yaşanıyordur.
b) Ülke genelinde sorunsuzdur.

14. Atıkların geri dönüşümü, su tasarrufu, elektrik tasarrufu, kişisel otomobil kullanımını azaltma gibi konularda bireysel sorumluluk hissediyor musunuz?
a) Evet, sorumlu hissediyor ve dikkat ediyorum.
b) Hayır, pek önemsemiyorum.

15. Ülkemizde elektriğin tüketim fiyatının gün içinde değiştiği bir tarifede misiniz?
a) Evet, öyle bir tarifedeyim.
b) Hayır, sabit fiyatlı bir tarifedeyim.
c) Bilmiyorum.

16. Gün içinde değişen elektrik fiyatlarına göre tüketiminizi şekillendiriyor musunuz? (örneğin bulaşık makinesini elektriğin ucuz olduğu zamanlarda çalıştırmak vb.)
a) Evet b) Hayır

17. Evinizde kullandığınız elektrikli aletleri kullanımını düzenleyerek size elektrik tasarrufu sağlayacak, aynı zamanda paraya çevirilebilen puanlar kazandıracak ve elektrik kesintilerini azaltacak bir uygulmaya katılır mıydınız? (Termostat, Klima, Bulaşık Makinesi, Buzdolabı gibi)
a) Tamamını kendim kontrol etmem şartıyla
b) Temel ayarlarını kendim yaptıktan sonra otomatik çalışacak sistemlerle
c) İzin vermedim

Eğer “izin vermezdim”i işaretlediyseniz sebebi nedir?
a) Yeterince tasarruf sağlayacağını düşünmüyorum.
b) Sunulan ürün ve hizmetleri yeterince bilmiyorum.
c) Çevreye ciddi bir olumlu etkisi olacağını sanmıyorum.
d) Bu tür uygulamalarla uğraşacak yeterince vaktim yok.
e) Diğer ……

18. Böyle bir uygulamadan, sunduğu ekonomik avantajlara ek olarak diğer beklentileriniz neler olurdu? (birden fazla işaretleyebilirsiniz)
    a) Çevreye olumsuz etkimi azaltması
    b) Ev cihazlarını daha rahat kontrol etmemi sağlaması (konforu arttırması)
    c) Başarı ve performansımı sosyal medya paylaşabilme imkanı
    d) Kullanıcı dostu ve anlaşılır olması
    e) Diğer ……

19. Kazandığınız puanların bir kısmını hayır kurumlarına para olarak bağışlayabilecek olsanız bu sizi daha çok teşvik eder miydi? Hangi tür kurumlara bağış yapardınız? (birden fazla işaretlenebilir)
    a) Sağlık
    b) Eğitim
    c) Sosyal dayanışma
    d) Milli kurumlar
    e) Diğer ……
    f) Hayır teşvik etmezdi

20. Evinizdeki elektrik enerjisinin yönetimi sonucunda günlük alışkanlıklarınızı değiştirir misiniz? (Örneğin bulaşık makinenizi farklı bir saatte çalıştırmak gibi)
    a) Evet b) Hayır

21. Evinizdeki enerjiyi daha iyi yönetmek için ne kadar sıklıkla zaman ayırabilirsiniz?
    a) Günde birkaç kez
    b) Haftada birkaç kez
    c) Ayda birkaç kez

22. Kazandığınız puanlarınızı nasıl harcamak istersiniz?
    (Not: Uygulamada aylık en yüksek kazancınız elektrik faturanızın miktarı civarında olabilir)
    a) Nakite çevirip kendim kullanarak (Örneğin 5,10 TL şeklinde)
    b) Biriktirip belirli bir miktara ulaşınca harcayarak (Örneğin minimum 100 TL şeklinde)
    c) Elektrik faturamdan otomatik indirim şeklinde
    d) Puanların daha değerli olduğu özel kampanyalardan yararlanarak (Örneğin uçak bileti, akaryakıt indirimleri, üyelere özel indirimli ürünler içeren online mağaza, sinema bileti, giyim ve yemek sektörlerinde özel indirimler)

23. Hangi haberleşme kanallarını enerji yönetimi uygulamalarında kullanmayı tercih edersiniz. (3 tane seçiniz)
    a) SMS
    b) Sosyal medya (Whatsapp, Facebook, Twitter)
    c) E-mail
    d) Özel telefon uygulaması
    e) Uygulamaya özel cihaz
    f) İnternet sitesi

24. Size, uzun vadede önemli tasarruflar sağlayacak bir cihaz için, baştan para öder misiniz? Ödediğiniz miktarı ne kadar süre içinde geri kazanmayı beklersiniz?*
    a) Hayır, baştan para ödemem
    b) Birkaç ayda geri kazanmayı isterim
    c) 1 yıl içerisinde geri kazanmayı isterim
    d) 2 yıl veya daha fazla bekleyebilirim

25. Enerji yönetimiyle ilgili hangi kurumların size yapacağı tavsiyelere güvenirsiniz? (iki tane seçebeilirsiniz)
    a) Elektrik dağıtım firmaları (BEDAŞ vb.)
    b) Devlet (Enerji Bakanlığı vb.)
    c) Üniversiteler/ Bilimsel Araştırmalar
    d) Tüketici Dernekleri
    e) Aracı özel sektör firmaları (Turkcell vb.)

26. Aşağıdakilerden hangileri size uygulamaya katılıp memnun kaldığını söyleseydi, katılma fikrinizi olumlu etkilerdi? (iki tane seçebilirsiniz)
    a) Ailem ve yakınlarım
    b) Arkadaşlarım
    c) Çok sayıda kullanıcı
    d) Ünlü ve takip ettiğim birileri
    e) Hiçbiri etkilemezdi

27. Evinizdeki cihazların yönetimi nasıl olsun istersiniz?
    a) Konforumu bozmayacak şekilde olsun
    b) Eğer daha çok kazandıracaksa, cihazlarım sık sık yönetilebilir

28. Uygulamadan kazanacağınız paralara ek olarak aşağıdakilerden hangilerinin de olmasını istersiniz? (birden fazla işaretleyebilirsiniz)
    a) Çekiliş, piyango ile ek hediyeler
    b) Senede bazı zamanlar sürpriz hediyeler, puanlar
    c) Yeni üyeler kazandırma karşılığı ek puanlar
    d) Üyelikte belirli bir süreyi doldurdukça ek hediye-puanlar

29. Bunlarla beraber, aşağıdaki ek uygulamalardan hangileri ilginizi çeker? (birden fazla işaretlenebilir)
    a) Arkadaş veya yakınlarımla takım halinde etkinliklere katılıp daha çok puan kazanma
    b) Ardarda etkinliklere katılmanın ek puan getirmesi
    c) Arkadaşlarımla performansımı karşılaştırmam ve rekabet etmem
    d) Benimle benzer özelliklerdeki üyelerle performansımı karşılaştırmam
    e) Etkinliklerde dereceye girmem karşılığı ek puan kazanmak
    f) Belirli görevleri yapmam karşılığı ek puan kazanmak
    g) Sıradan etkinliklere ek olarak, özel etkinlikler (farklı zamanlarda düzenlenen, ek puan kazandıran)

EK B

Çizelge B.1 : Oyunlaştırılmış yönetim programının ana yapısı.

Sıra	İçerik	Tür	Yapılma Koşulu
1	Komut ekranını temizle	Ekranda gösterilmiyor	Her ilk çalışmada
2	MATLAB çalışma alanını temizle	Ekranda gösterilmiyor	Her ilk çalışmada
3	İlk fiyat sınırını tanımla	Ekranda gösterilmiyor / Senaryo	Her ilk çalışmada
4	Saatlik fiyatları bir dizi olarak tanımla	Ekranda gösterilmiyor / Senaryo	Her ilk çalışmada
5	Başlangıç aktif güç değerlerine tanımla	Ekranda gösterilmiyor / Senaryo	Her ilk çalışmada
6	Başlangıç reaktif güç değerlerini tanımla	Ekranda gösterilmiyor / Senaryo	Her ilk çalışmada
7	Kullanıcının sahip olduğu cihazları tanımla	Ekranda gösterilmiyor / Senaryo	Her ilk çalışmada
8	En yüksek ve en düşük şarj/deşarj güçlerini tanımla	Ekranda gösterilmiyor / Senaryo	Her ilk çalışmada
9	Cihazlar için maksimum enerji modu değerlerini tanımla	Ekranda gösterilmiyor / Senaryo	Her ilk çalışmada
10	Bataryalar için depolama kapasitelerini tanımla	Ekranda gösterilmiyor / Senaryo	Her ilk çalışmada
11	İlk çalışmada aktif olacak yönetim modlarını tanımla	Ekranda gösterilmiyor / Senaryo	Her ilk çalışmada
12	Oyunlaştırma hedefleri listesini hedef, cihaz ve içerik olarak	Ekranda gösterilmiyor / Senaryo	Her ilk çalışmada
13	Oyunlaştırma ile ilgili görev sayaçlarını başlangıçta 0 olarak tanımla	Ekranda gösterilmiyor / Senaryo	Her ilk çalışmada
14	Uygulama döngüsünü başlat	Ekranda gösterilmiyor / Senaryo	Her ilk çalışmada
15	Sahadaki cihazlardan aktif ve reaktif güç değerlerini al	Ekranda gösterilmiyor / İşlem	Ana döngünün her iterasyonunda

Çizelge B.1 (devam): Oyunlaştırılmış yönetim programının ana yapısı.

Sıra	İçerik	Tür	Yapılma Koşulu
15	Sahadaki cihazlardan aktif ve reaktif güç değerlerini al	Ekranda gösterilmiyor / İşlem	Ana döngünün her iterasyonunda
16	Tüm güç değerlerini bir dizinin iterasyon numaralı satırına kaydet	Ekranda gösterilmiyor / İşlem	Ana döngünün her iterasyonunda
17	Zaman bilgisini al	Ekranda gösterilmiyor / İşlem	Ana döngünün her iterasyonunda
18	Bir sonraki fiyat periyoduna kalan zamanı hesapla	Ekranda gösterilmiyor / İşlem	Ana döngünün her iterasyonunda
19	Şimdiki fiyat ile tanımlı fiyat sınırını karşılaştırarak fiyat avantajı olup olmadığını değerlendir	Ekranda gösterilmiyor / İşlem	Ana döngünün her iterasyonunda
20	Mevcut zamanı ekranda göster	Ekranda göster / Gösterim	Ana döngünün her iterasyonunda
21	Mevcut fiyat, bir sonraki fiyat, bir sonraki fiyat periyodu ve fiyat avantajını göster	Ekranda göster / Gösterim	Ana döngünün her iterasyonunda
22	Net gücü ekranda göster	Ekranda göster / Gösterim	Ana döngünün her iterasyonunda
23	Aktif yönetim modlarını göster	Ekranda göster / Gösterim	Ana döngünün her iterasyonunda
24	Aktif oyun hedeflerini göster ve bir kısmı yapılmış bir görev varsa ne kadarının yapıldığı göster	Ekranda göster / Gösterim	Ana döngünün her iterasyonunda
25	Fiyat avantajına göre uygun yönetim tavsiyelerini göster	Ekranda göster / Gösterim	Ana döngünün her iterasyonunda
26	Her zaman uygulanabilecek hareketlere kısayolları göster	Ekranda göster / Gösterim	Ana döngünün her iterasyonunda
27	Diğer alt bölümlere bağlantıları göster	Ekranda göster / Gösterim	Ana döngünün her iterasyonunda
28	Son ayarları, geri al komutu için kaydet	Ekranda gösterilmiyor / İşlem	Ana döngünün her iterasyonunda
29	Kullanıcının bir komut girmesini iste	Ekranda göster / İşlem	Ana döngünün her iterasyonunda

Çizelge B.1 (devam): Oyunlaştırılmış yönetim programının ana yapısı.

Sıra	İçerik	Tür	Yapılma Koşulu
30	25. veya 26. adımda gösterilen tavsiyelerden biri seçilirse uygula	Ekranda göster / İşlem	Sadece kullanıcı seçerse / Her işlem harici bir fonksiyon olabilir
30.1	30. adımda Geri Al seçildiyse, bir önceki ayarla uygula	Ekranda gösterilmiyor / İşlem	Sadece kullanıcı seçerse / Her işlem harici bir fonksiyon olabilir
30.2	30. adımda Maksimum Güç seçildiyse, 8. Adımda tanımlı tüm üst değerleri cihazlara uygula	Ekranda göster / İşlem	Sadece kullanıcı seçerse / Her işlem harici bir fonksiyon olabilir
30.3	30. adımda Maksimum Enerji seçildiyse, 9. Adımda tanımlı tüm üst değerleri cihazlara uygula	Ekranda göster / İşlem	Sadece kullanıcı seçerse / Her işlem harici bir fonksiyon olabilir
30.4	30. adımda Bireysel Tüketim seçildiyse, uygun değerleri hesaplayarak net gücü 0 yap	Ekranda göster / İşlem	Sadece kullanıcı seçerse / Her işlem harici bir fonksiyon olabilir
30.5	30. adımda En Uygun Zamanı Bekle seçildiyse, en düşük ve en yüksek fiyatlandırma periyotlarını bulup kullanıcıya göster ve bir diziye kaydet	Ekranda göster / İşlem	Sadece kullanıcı seçerse / Her işlem harici bir fonksiyon olabilir
30.6	30. adımda Bekleme Modu Tüketimini Sıfırla seçildiyse, bekleme modu tüketimi yüksek tüm cihazları devreden çıkar	Ekranda göster / İşlem	Sadece kullanıcı seçerse / Her işlem harici bir fonksiyon olabilir
31	27. adımda verilen bağlantılaran biri seçildiyse ilgili bölüme git	Ekranda göster / İşlem	Sadece kullanıcı seçerse / Her işlem harici bir fonksiyon olabilir
32.1	31. adımda, Cihazlar bölümü seçildiyse, her cihazın adını, anlık aktif ve reaktif güçlerini göster	Ekranda göster / İşlem	Sadece kullanıcı seçerse / Her işlem harici bir fonksiyon olabilir

Çizelge B.1 (devam): Oyunlaştırılmış yönetim programının ana yapısı.

Sıra	İçerik	Tür	Yapılma Koşulu
32.1.1	Kullanıcıdan bir cihaz seçmesini veya ana ekrana dönmesini iste	Ekranda göster / İşlem	Sadece kullanıcı seçerse / Her işlem harici bir fonksiyon olabilir
32.1.2	Eğer 32. adımda bir cihaz seçildiyse, cihazın karakteristik detayları, olumlu ve olumsuz yönlerini ve yönetim detaylarını cihaza özel kısayollarla beraber kullanıcıya göster.	Ekranda göster / İşlem	Sadece kullanıcı seçerse / Her işlem harici bir fonksiyon olabilir
32.1.3	Kullanıcıdan cihaz kısayollarından birini seçmesini veya bir üst menüye dönmesini iste	Ekranda göster / İşlem	Sadece kullanıcı seçerse / Her işlem harici bir fonksiyon olabilir
32.1.4	Eğer kullanıcı 31.1.2 adımında bir kısayol seçtiyse uygula	Ekranda göster / İşlem	Sadece kullanıcı seçerse / Her işlem harici bir fonksiyon olabilir
32.2	Eğer 31. adımda Fiyat Sınırı Tanımla seçildiyse, mevcut fiyat sınırını göster ve yeni bir sınır girmesini kullanıcıdan iste	Ekranda göster / İşlem	Sadece kullanıcı seçerse / Her işlem harici bir fonksiyon olabilir
32.3	Eğer 31. Adımda, Görev Listesi seçildiyse, kullanıcıya mevcut görev hedefleri göster ve birini seçmesini iste	Ekranda göster / İşlem	Sadece kullanıcı seçerse / Her işlem harici bir fonksiyon olabilir
33	Ana menüde 10 tuşlandıysa ana döngüden çık	Ekranda göster / İşlem	Sadece kullanıcı seçerse

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad **:** Mustafa Alparslan Zehir

Doğum Tarihi ve Yeri **:** 1988, İstanbul

E-posta **:** zehirm@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2010 İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** **:** 2013 İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2011-2019 yılları arasında, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalıştı.
- 2013 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi'nde yüksek lisans eğitimini tamamladı.
- 2015 yılında 3. Uluslararası İstanbul Akıllı Şebekeler ve Şehirler Kongre ve Fuarı'nda sunduğu "Smart Energy Aggregation Network (SEAN): An Advanced Management System for Using Distributed Energy Resources in Virtual Power Plant Applications" ile en iyi doktora-yüksek lisans bildirisi ödülünü kazandı.
- 2016 yılında 20th Innovative Manufacturing Engineering and Energy Conference'ta sunulan "Analysis of critical operating conditions for LV distribution networks with microgrids" ile en iyi bildiri ödülünü kazandı.
- 2018 yılından 6. Uluslararası İstanbul Akıllı Şebekeler ve Şehirler Kongre ve Fuarı'nda sunduğu "Identification and Comparison of Power and Energy Management Capabilities of Distributed Energy Resources" başlıklı bildiri en iyi bildiri ödülüne, "Demand Response by Real-time Management of Flexible Loads using Dynamic Priorities" başlıklı bir başka bildiri ise en iyi 3. bildiri ödülüne layık görüldü.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

Dergi Yayını:

- **Zehir, M.A.**, Ortaç, K.B., Gül, H., Batman, A., Aydın, Z., Portela, J.C., ... Özdemir, A. (2019). Development and Field Demonstration of a Gamified Residential Demand Management Platform Compatible with Smart Meters and Building Automation Systems. *Energies, **12*** (5), 913-930.

Kitap Bölümü:

- **Zehir, M.A.** ve Bağrıyanık, M. (2018). Chapter 5: Distribution Network Oriented Demand Response. In: A. Arefi, F. Shahnia, G. Ledwich (Eds.), *Electric Distribution Network Management and Control* (1st ed., pp. 111-129). Singapur: Springer.

Konferans Yayınları:

- **Zehir, M.A.**, Barbosa, A., Sandroni, C., Pellegrino, L., Lazzari, R., Verga, M., ... Özdemir, A. (2018). Aggregated Active and Reactive Power and Energy Management of Distributed Energy Resources and Performance Evaluation. *11th Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion*, (pp. 1-4), Dubrovnik, Hırvatistan, November 12-15.
- **Zehir, M. A.**, Barbosa, A., Sandroni, C., Pellegrino, L., Lazzari, R., Verga, M., ... Özdemir, A. (2018). Management of Inverter-based Distributed Energy Resources for Providing Voltage Regulation Support in Islanded Operation of Low Voltage Networks. *53rd International Universities Power Engineering Conference*, (pp. 1-5). Glasgow, Scotland, September 4-7.
- **Zehir, M. A.**, Barbosa, A., Sandroni, C., Pellegrino, L., Lazzari, R., Verga, M., ... Özdemir, A. (2018). Identification and comparison of power and energy management capabilities of distributed energy resources. *6th International Istanbul Smart Grids and Cities Congress and Fair*, (pp. 119-123), Istanbul, Turkey, April 25-26.
- **Zehir, M. A.**, Erpaytoncu, S., Yılmaz, E., Balcı, D., Batman, A., Bağrıyanık, M., ... Özdemir, A. (2017). Analysis of consumer expectations, preferences and concerns on deployment of demand response in Turkey. *10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering*, (pp. 1262-1266). Bursa, Turkey, November 30-December 2.
- **Zehir, M. A.**, Wevers, M. H., Batman, A., Bağrıyanık, M., Hurink, J. L., Küçük, Ü., ... Özdemir, A. (2017). A novel incentive-based retail demand response program for collaborative participation of small customers. IEEE PowerTech, (pp. 1-6), Machester, UK, June 18-22.