İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMLERİNDE BİREY ODAKLI KONFOR ÖNCELİKLİ TALEP YÖNETİMİ İÇİN AKILLI YÖNTEM GELİŞTİRİLMESİ

DOKTORA TEZİ

Mehmet Ali SÖNMEZ

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

EKİM 2021

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMLERİNDE BİREY ODAKLI KONFOR ÖNCELİKLİ TALEP YÖNETİMİ İÇİN AKILLI YÖNTEM GELİŞTİRİLMESİ

DOKTORA TEZİ

Mehmet Ali SÖNMEZ
(504152004)

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa BAĞRIYANIK

EKİM 2021

İTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 504152004 numaralı Doktora Öğrencisi Mehmet Ali SÖNMEZ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMLERİNDE BİREY ODAKLI KONFOR ÖNCELİKLİ TALEP YÖNETİMİ İÇİN AKILLI YÖNTEM GELİŞTİRİLMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Mustafa BAĞRIYANIK** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Özcan KALENDERLİ** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Tamer ÖLMEZ İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Mehmet BAYRAK Sakarya Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Ozan ERDİNÇ Yıldız Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : 25 Ağustos 2021
Savunma Tarihi : 27 Ekim 2021

Kızım İlayda'ya,

ÖNSÖZ

Doktora ve yüksek lisans tez çalışmalarıma vesile olan, değerli fikirleri, tecrübeleri ve yönlendirmeleri ile her daim desteğini aldığım tez danışman hocam Prof. Dr. Mustafa BAĞRIYANIK'a gönülden teşekkürlerimi sunarım. Doktora tez çalışmamda juri üyesi hocam Prof. Dr. Özcan KALENDERLİ'ye paylaştığı kıymetli fikir, tecrübe, yönlendirme, katkı ve emekleri için teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Yine doktora tez juri üyesi hocam Prof. Dr. Mehmet BAYRAK'a paylaştığı fikir, tecrübe, vizyon ve yönlendirmeleri için çok teşekkür ederim.

Talep yönetimi konusunda birlikte çalışma fırsatı bulduğum Dr. Mustafa Alparslan ZEHİR'e paylaştığı fikir, destek ve sağladığı vizyon için çok teşekkür ederim. Tüm arkadaşlarıma, başta Dr. Alp BATMAN, Mühendis Ali Erdem BULUT olmak üzere tecrübe ve destekleri için içtenlikle teşekkür ederim.

Lisansüstü eğitimim boyunca emeği geçen tüm hocalarıma, çalışma arkadaşlarıma, kurum yöneticilerine, anneme, babama, eşime, kızıma ve desteklerini hissettiğim herkese çok teşekkür ederim.

Ekim 2021

Mehmet Ali SÖNMEZ
(Elektrik Yüksek Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xiii**
SEMBOLLER ..... **xv**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xxiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xxv**
ÖZET ..... **xxxi**
SUMMARY ..... **xxxv**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Genel Bakış 1
1.2 Tezin Amacı ve İçeriği 5
2. BİREY DAVRANIŞLARININ VE ELEKTRİKLİ EV ALETLERİNİN İNCELENMESİ, MODELLENMESİ VE LİTERATÜR TARAMASI **7**
2.1 Birey Davranışlarının İncelenmesi ve Modellenmesi 7
2.2 Ev Aletlerinin İncelenmesi ve Elektriksel Güç Talebi Bakımından Modellenmesi 12
2.2.1 Bulaşık makinesi 12
2.2.2 Çamaşır makinesi 18
2.2.3 Buzdolabı 22
2.2.4 Derin dondurucu 24
2.2.5 Elektrikli süpürge 26
2.2.6 Elektrikli fırın 27
2.2.7 Televizyon ve uydu alıcısı 29
2.2.8 Dizüstü bilgisayar 30
2.2.9 Aspiratör 32
2.2.10 Ütü 33
2.2.11 Elektrikli su ısıtıcısı 35
2.2.12 Kombi 36
2.2.13 Klima 39
2.2.14 Çamaşır kurutucu 40
2.2.15 Elektrikli araba 41
2.2.16 Lambalar 41
2.3 Evsel Talep Yönetiminde Konfor ile İlgili Çalışmaların İncelenmesi 42
2.4 Yönetilebilir Cihazlara Yapılan Müdahaleler ve Konfor Değişiklikleri 48
2.5 Mevcut Talep Yönetimi Programları ve Yakın Gelecekteki Gelişmeler 50
3. BİREY ODAKLI KONFOR ÖNCELİKLİ EVSEL TALEP YÖNETİMİ **59**
3.1 Evsel Elektrik Talebinin Elde Edilme Yöntemi 59
3.2 Faaliyetlerin Evlere Atanması 62
3.3 Cihazların Evlere Dağıtılması ve Faaliyetlerle Eşleştirilmesi 65

3.4 Cihaz Çalışma Süre Tayini ve Faaliyet Tabanlı Güç Modelleri Gerçekleme .. 66
3.5 Evsel Sıcak Su Kullanım Durumunun Oluşturulması 75
3.6 Evsel Yönetilebilir Yüklerin Talep Büyüklüğünün Elde Edilmesi 77
3.7 Evsel Yükler İçin Yönetim Kazanımları 89
4. EVSEL TALEP YÖNETİMİNDE KARBONDİOKSİT SALINIMI 91
4.1 Karbondioksit Salınımın Evsel Talep Yönetimindeki Önemi 91
4.2 Yönetilebilir Karbondioksit Kapasitesinin Elde Edilme Yöntemi 93
4.3 Evsel Talep Yönetiminde Yönetilebilir Karbondioksit Salınım Potansiyeli 93
4.4 Evsel Yükler İçin Karbondioksit Salınım Odaklı Yönetim Kazanımları 98
5. EVSEL TALEP YÖNETİMİNDE KONFOR EN İYİLEYEN ÖNCELİKLİ YENİ BİR YÖNETİM YÖNTEMİ 101
5.1 Kullanıcı Odaklı Konfor Temelli Enerji Yönetimi İçin Problem Tanımı 102
5.2 0/1 Sırt Çantası Dinamik Programlama Algoritmaları 105
5.3 Öncelik Temelli Yük Yönetim 106
5.3.1 Statik öncelik temelli yük yönetim 107
5.3.2 Dinamik öncelik temelli yük yönetim 107
5.3.3 Isıl esneklik ekli dinamik öncelik temelli yük yönetim 110
5.4 Öncelik Temelli Yönetimde Konforu Ölçme, İzleme ve Değerlendirme 110
5.5 Öncelik Temelli Yönetim Vaka Çalışmaları 114
5.5.1 Müdahalesiz yönetim 115
5.5.2 Statik öncelikleme temelli yönetim 115
5.5.3 Dinamik öncelik temelli yönetim 116
5.5.4 Isıl esneklik ekli dinamik önceliklemeli yönetim 117
5.6 Öncelik Temelli Yönetimlerin Karşılaştırılması 118
5.7 Bulanık Mantık ile Yüklerin Önceliklenmesi ve Yönetimi 124
6. EVSEL TALEP YÖNETİMİNDE POPÜLASYON TEMELLİ EN İYİLEME ÇALIŞMALARI 135
6.1 Parçacık Sürü Algoritması ile Maliyet En İyileme Çalışması 138
6.2 Genetik Algoritma ile Yük Önceliklemesiz Yönetim için Tek Amaç En İyileme Çalışmaları 143
6.2.1 Sabit tarifede tüketim maliyeti azaltma 145
6.2.2 Üç zamanlı tarifede tüketim maliyeti azaltma 149
6.2.3 Gerçek zamanlı tarifede tüketim maliyeti azaltma 151
6.2.4 Isıl konforu en iyileyen yönetim modeli 153
6.2.5 Sıcak su konforunu en iyileyen yönetim modeli 155
6.2.6 Talebin düzgünleşmesini en iyileyen yönetim modeli 157
6.2.7 Kurutucu görev bitirme zamanını en iyileyen çalışma 159
6.2.8 Elektrikli araba şarj tamamlama zamanını en iyileme 160
6.2.9 Karbondioksit salınımını en iyileme 161
6.3 Genetik Algoritma ile Çoklu Amaç En İyileme Çalışmaları 164
6.3.1 Sabit tarifede çoklu amaç en iyileme 166
6.3.2 Üç zamanlı tarifede çoklu amaç en iyileme 168
6.3.3 Gerçek zamanlı tarifede çoklu amaç en iyileme 170
6.4 Genetik Algoritma ile Öncelikleme Temelli Yönetimde En İyilemeler 172
6.4.1 Statik önceliklemeli yönetimde sabit tarife tutarı en iyileme 172
6.4.2 Statik önceliklemeli yönetimde üç zamanlı tarife tutarı en iyileme 174
6.4.3 Statik önceliklemeli yönetimde gerçek zamanlı tarife tutarı en iyileme . 176
6.4.4 Statik önceliklemeli yönetimde talebin düzgünleşmesini en iyileme 178
6.4.5 Statik önceliklemeli yönetimde ısıl konforu en iyileme 180
6.4.6 Statik önceliklemeli yönetimde sıcak su konforu en iyileme 182

6.4.7 Statik önceliklemeli yönetim karbondioksit salınım düzeyi en iyileme . 184
6.4.8 Dinamik önceliklemeli yönetimde sabit tarife tutarı en iyileme 185
6.4.9 Dinamik önceliklemeli yönetimde üç zamanlı tarife tutarı en iyileme ... 187
6.4.10 Dinamik önceliklemeli yönetim gerçek zamanlı tarife tutar en iyileme 189
6.4.11 Dinamik önceliklemeli yönetim talebin düzgünleşmesini en iyileme .. 191
6.4.12 Dinamik önceliklemeli yönetimde ısıl konforu en iyileme 193
6.4.13 Dinamik önceliklemeli yönetimde sıcak su konforu en iyileme 195
6.4.14 Dinamik önceliklemeli yönetim karbondioksit salınımı en iyileme 197
6.5 100 Evde Toplu En İyileme Çalışması 198
7. SONUÇ VE ÖNERİLER 205
KAYNAKLAR 215
ÖZGEÇMİŞ 229

KISALTMALAR

AC : Klima
AR : İlave durulama
ASHRAE : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
CB : Kombi
CD : Çamaşır kurutucu
CCR : Cost-Comfort Ratio
CPP : Critical Peak Pricing
DLC : Direct Load Control
DPBM : Dinamik önceliklemeli yönetim
DSO : Distribution System Operator
DT : Talep için izin verilen güç sınır değeri
DW : Bulaşık makinesi
FDPBM : Isıl esneklik ekli dinamik önceliklemeli yönetim
FP : Flat Price
FR : Derin dondurucu
GA : Genetik Algoritma
HEMS : Home Energy Management Systems
IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change
IR : Ütü
ISO : International Organization for Standardization
KH : Aspiratör
NSGA : Non-dominated Sorting Genetic Algorithm
OpenADR : Open Automated Demand Response
OV : Elektrikli fırın
PAR : Peak to Average Ratio
PC : Dizüstü bilgisayar
PDR : Peak Day Rebates
PLP : Peak Load Pricing
PMV : Predicted Mean Vote

PPD **:** Predicted Percentage of Dissatisfied People

PSO **:** Particle Swarm Optimization

RF **:** Buzdolabı

RTP **:** Real Time Pricing

SPBM **:** Statik önceliklemeli yönetim

SR **:** Uydu alıcı

TOU **:** Time of Use

TTY **:** Talep tarafı yönetim

TV **:** Televizyon

TY **:** Talep yönetimi

VEN **:** Virtual End Note

VC **:** Elektrikli süpürge

VCG **:** Vickrey-Clarke-Groves

VTN **:** Virtual Top Node

WH **:** Elektrikli su ısıtıcı, termosifon

WM **:** Çamaşır makinesi

SEMBOLLER

$\mathbf{a}$: Cihaz ismi

$\mathbf{A}$: Cihazlar kümesi

$\mathbf{ACH}$: Hava akış hızı

$\mathbf{A_{duvar}}$: Duvar alanı

$\mathbf{A_{guney}}$: Güneye bakan alan

$\mathbf{A_j}$: Cihaz kümesinin j. elemanı

$\mathbf{A_{pencere}}$: Pencere alanı

$\mathbf{A_{tank}}$: Su tankı yüzey alanı

$\mathbf{A_{tavan}}$: Tavan alanı

$\mathbf{b_a}$: Cihaz blok erteleme izin biti

$\mathbf{Bd_a}$: Cihaz için blok ertelenebilir süre

$\mathbf{C_1}$: Bilişsel katsayı

$\mathbf{C_2}$: Sosyal katsayı

$\mathbf{C_{AC}}$: Klima ile ortamda sağlanan konfor

$\mathbf{C_{AC100}}$: Klima ile elde edilen tam konforlu durum değeri

$\mathbf{C_{air}}$: Hava ısı kapasitesi

$\mathbf{C_{BS}}$: Temel senaryo konfor değeri

$\mathbf{C_{CD}}$: Kurutucu ile elde edilen genel konfor değeri

$\mathbf{CCR}$: Maliyet konfor oranı

$\mathbf{C_{EV}}$: Elektrikli araba şarj konforu

$\mathbf{C_{EVbatarya}}$: Elektrikli araba batarya kapasitesi

$\mathbf{C_{HV,AC}}$: Klima kapasitesi

$\mathbf{C^f_{mean,ACOFF}}$: Klima için çalışmadığı sürece elde edilen ortalama ısıl konfor

$\mathbf{C^s_{mean,ACON}}$: Klima için çalışma süresince elde edilen ortalama ısıl konfor

$\mathbf{Cost_{BS}}$: Temel senaryo yönetim maliyeti

$\mathbf{Cost_{PBM}}$: Öncelik temelli yönetim maliyeti

$\mathbf{C_{PBM}}$: Öncelik temelli yönetim konfor değeri

$\mathbf{C_{respiratory}}$: Solunum kaynaklı iletimle taşınan ısıl miktar

$\mathbf{CS}$: Hava için hissedilebilir ısıl faktör

C_{WH} : Termosifon ile sağlanan sıcak sudan alınan genel konfor

$C_{\mu,h}$: Her bir kullanım için elde edilen ortalama sıcak su konforu

D_a : Cihaz çalışma aşama sayısı

D_{clo} : Giysi ısıl yalıtım direnci Clo biriminden

$D_{pencere}^{m}$: Anlık (m anı) pencere açık, kapalı durum biti

E_{cm} : Buharlaşma yoluyla derideki ısıl değişim

$E_{convection}$: İletim yoluyla transfer edilen ısıl miktar

$E_{EVdrive}$: Elektrikli araba için sürüşte harcanan enerji

$E_{perspiration}$: Terlemede oluşan ısıl akı

$E_{radiation}$: Işıma yoluyla taşınan ısıl miktar

E_{resv} : Solunum yoluyla oluşan ısıl değişim

$E_{sweating}$: Terdeki ısıl akı miktarı

F : Cihazın çalışmadığı aralık sayısı toplamı

f_{cloth} : Giysi yüzey alanı

fr_m : Anlık (m anı) su kullanım miktarı

$f(x)$: Amaç fonksiyonu

$Gas_{radyator}^{m}$: Ortam ısıtması için m anı harcanan doğal gaz

$Gas_{sicaksu}^{m}$: Sıcak su için m anı harcanan doğal gaz

G^{m} : Anlık (m anı) ısıl kazanç

$gbest[k]$: Sürünün k. yinelemede en iyi pozisyonu

$g(x)$: Kısıt fonksiyonu

h : Sıcak su kullanım sayısı

H : Sıcak su toplam kullanım sayısı

$h_{cforced}$: Hava akım hızına bağlı olarak cebri yolla oluşan iletim ısısı

$h_{cnatural}$: Doğal yolla oluşan iletim ısısı miktarı

HG_p : Kişi başı ısıl kazanç

HPL : En yüksek öncelikli cihaz

h_r : Bağıl nem yüzdesi

I : Cihaz kimlik bilgisi kümesi

I_{cloth} : Giysi yalıtım değeri

I_j : Cihaz kümesinin j. elemanı için kimlik değeri

i : Ev sayısı

j : Cihaz sayısı

$K_a^{i,j}$: Ev i içindeki cihaz a'nın j.si için toplam kullanım sayısı

$\mathbf{LE_a}$ **:** Cihaz çalışma izin biti

LP **:** Güç dizisi

$\mathbf{LP_a^m}$ **:** Cihazın m anındaki gücü

$\mathbf{LP_a^{i,j,m}}$ **:** Ev i içindeki cihaz a'nın j.si için m anı güç değeri

$\mathbf{LP_{A_j}^m}$ **:** Ev i içindeki cihaz A_j için m anı güç değeri

$\mathbf{LP_{Lamba}^{i,j,r,m}}$ **:** Ev i, lamba j, oda r için m anı güç

$\mathbf{LPL^j}$ **:** En düşük öncelikli j. cihaz

m **:** Dakika

m-1 : Mevcut m anı öncesi

$\mathbf{m_{tesisat}}$: Tesisatta bulunan suyun kütlesi

N **:** Cihazlar kümesi eleman sayısı

$\mathbf{N_p^m}$ **:** Evde m anı kişi sayısı

$\mathbf{O_a^m}$ **:** Cihazın m anına kadar çalıştığı süre

P2,…,P7 **:** Bulaşık makinesi yıkama programları

$\mathbf{P_a}$ **:** Cihazın çalışma aşamasına ait gücü

$\mathbf{p_{air}}$ **:** Havadaki su buharı basıncı

$\mathbf{P_a^{i,j,m}}$ **:** Ev i cihaz j için m anı kullanıcı davranışı içeren gücü

$\mathbf{P_a(nT_a^{i,j} + m)}$**:** Ev i içindeki cihaz a'nın j.si için periyodik güç fonksiyonu

$\mathbf{P_{a,total}^{i,j,m}}$ **:** Ev i cihaz a'nın j.si için m anı toplam gücü

$\mathbf{P_{A_j}^m}$ **:** Cihaz A_j için m anı güç değeri

$\mathbf{P_a^m}$ **:** Cihaz m anı güç değeri

$\mathbf{P_{a,step}}$ **:** Cihazın ilgili aşamadaki gücü

$\mathbf{P_{a,off}}$ **:** Cihaz kapalı gücü

$\mathbf{P_{a,on}}$ **:** Cihaz kullanım gücü

$\mathbf{P_{bekleme,a}}$ **:** Cihazın beklemedeki gücü

$\mathbf{pbest_i[k]}$ **:** Parçacık i için k. yenilemedeki en iyi pozisyon

$\mathbf{P_{dolasim}}$ **:** Sirkülasyon pompası gücü

$\mathbf{P_{fan,a}}$ **:** Cihazın fan gücü

$\mathbf{Pd_a}$ **:** Cihaz için kısmi ertelenebilir süre

$\mathbf{P_{durula}}$ **:** Çamaşır makinesi için durulama anı gücü

$\mathbf{P_{güneş}^m}$ **:** Güneş santrali anlık (m anı) üretim gücü

$\mathbf{P_{IRon1}}$ **:** Ütünün ilk ısınma gücü

$\mathbf{P_{IRon2}}$ **:** Ütü ısıtıcı gücü

$\mathbf{P_{isitici,a}}$: Cihazın ısıtıcı gücü

$\mathbf{P_{lambaOV}}$: Fırın lamba gücü

$\mathbf{P_{mek}}$: Mekanik güç

$\mathbf{P_{met}}$: Metabolik değer

$\mathbf{P_{motor,a}}$: Cihaz motor gücü

$\mathbf{P^{m}_{nsload}}$: Ertelenemez yük anlık (m anı) güç değeri

$\mathbf{PPD^{f,m}_{ACOFF}}$: Klimanın çalışmadığı sürece elde edilen ısıl memnuniyet yüzdesi

$\mathbf{PPD^{s,m}_{ACON}}$: Klimanın çalıştığı sürece elde edilen ısıl memnuniyet yüzdesi

$\mathbf{P_{sıkma}}$: Çamaşır makinesi düşük devir sıkma gücü

$\mathbf{P_{sogut,a}}$: Cihaz kompresör gücü

$\mathbf{P_{sogukWM}}$: Çamaşır makinesi soğuk yıkama gücü

$\mathbf{P_{sual}}$: Su alma valf gücü

$\mathbf{P_{surekli}}$: Çamaşır makinesi sürekli yıkama gücü

$\mathbf{P_{tahliye}}$: Tahliye pompası gücü

$\mathbf{Py_{sıkma}}$: Çamaşır makinesi yüksek devir sıkma gücü

$\mathbf{q_{air}}$: Havanın yoğunluğu

$\mathbf{Q_{karar}}$: Öncelik karar dizisi

$\mathbf{Q_{görev}}$: Görev süresi tanımlı cihaz dizisi

$\mathbf{Q_{statik}}$: Statik öncelik dizisi

$\mathbf{Q^{m}_{dinamik}}$: Dinamik öncelik dizisi m anı için

$\mathbf{Q^{m}}$: Toplam anlık (m anındaki) ısıl güç

$\mathbf{Q^{m}_{CB}}$: Kombi anlık (m anı) ısıl gücü

$\mathbf{Q^{m}_{isilkayip}}$: Anlık (m anı) ısıl kayıp değeri

$\mathbf{Q^{m}_{outlet}}$: Anlık (m anı) suyu ısıtmak için gereken enerji

$\mathbf{r}$: Oda sayısı

$\mathbf{r^{m}_{A_j}}$: Anlık (m anı) cihaz A_j için istenen çalışma durum biti

$\mathbf{R_{duvar}}$: Duvar ısıl direnci

$\mathbf{R_{pencere}}$: Pencere direnci

$\mathbf{R_{tank}}$: Su tankı ısıl direnci

$\mathbf{R_{tavan}}$: Tavan ısıl direnci

$\mathbf{S}$: Cihaz için çalışma aralık sayısı toplamı

$\mathbf{S_a}$: Cihaz güç anahtarı veya termostat anahtarı durum biti

$\mathbf{S^{i,j,m}_a}$: Ev i içindeki cihaz a'nın j.si için m anındaki güç anahtarı durumu

$S_a^{i,j,k,m}$: Ev i cihaz a'nın j.si için m anındaki k. kullanım güç anahtarı durumu

$SHGC$: Güneş kaynaklı ısıl kazanç

SI^m : Anlık (m anı) güneş ışınım değeri

$S_{Lamba}^{i,j,r,m}$: Ev i lamba j oda r için m anı lamba anahtar durum biti

$SOC_{EV}^{m=0}$: Elektrikli araba başlangıç şarj düzeyi

SOC_{EV}^{m} : Anlık (m anı) elektrikli araba şarj düzeyi

SOC_{EVmax} : Elektrikli araba tam şarj değeri

$t_{aşama,a}$: Aşamada geçen süre

$T_{aşama,a}$: Cihazın aşama süresi

$T_a^{i,j}$: Ev i içindeki cihaz j için program veya çevrim süresi

$t_{basla,a}^{i,j}$: Ev i içindeki cihaz j için çalışma başlama anı

$T_{basla(CD)}$: Çamaşır kurutucu başlama saati

$T_{basla(EV)}$: Elektrikli araç şarj başlama saati

$t_{basla,Lamba}^{i,j,r}$: Ev i lamba j oda r için lamba kullanım başlama anı

$t_{bekleme,a}^{i,j}$: Ev i içindeki cihaz a'nın j.si için bekleme süresi

$T_{bitir(CD)}$: Çamaşır kurutucu bitiş saati

$T_{bitir(EV)}$: Elektrikli araç şarj tamamlama saati

$T_{CDprogram}$: Çamaşır kurutma program süresi

$T_{CDtamamlanan}$: Çamaşır kurutmada geçen süre

T_{EV} : Elektrikli arabanın hedeflenen şarj düzeyi için gereken süre

$T_{a,shift}$: Cihaz görev erteleme süresi

$t_{karcoz,a}^{i,j}$: Ev i içindeki cihaz a'nın j.si için karlanma çözme süresi

$T_{Lamba}^{i,j,r}$: Ev i lamba j oda r için lamba toplam kullanım süresi

$t_{soguk,a}^{i,j}$: Ev i içindeki cihaz a'nın j.si için soğutma süresi

ϑ : Hava akımı hızı

$V[J,Z]$: J satır, Z sütun V isimli tablo

V_{ev} : Ev hacmi

V_i : Parçacık hızı

V_{max} : En büyük hız

V_{min} : En küçük hız

$V_i[k]$: K. yineleme için i. parçacık hızı

V_{tank} : Su tankı hacmi

$\mathbf{w}$: Eylemsizlik ağırlık katsayısı

$\mathbf{W}$: Ağırlık kümesi

$\mathbf{W}_{\mathbf{A_j}}^{\mathbf{m}}$: Anlık (m anı) cihaz A_j için ağırlık değeri

$\mathbf{WS}_{\mathbf{a}}^{\mathbf{m-1}}$: Cihazın m anı öncesi çalışma durum biti

$\mathbf{WS}_{\mathbf{a}}^{\mathbf{m}}$: Cihazın m anı çalışma durum biti

$\mathbf{X}$: Çalışma izin karar matrisi

$\mathbf{X_i[k]}$: K. yineleme için sürü elemanlarının en iyi pozisyonu

$\mathbf{x}_{\mathbf{A_j}}^{\mathbf{m}}$: Cihaz A_j için m anı çalışma karar biti

$\mathbf{y_{DW}}$: Kısmi erteleme izin biti

$\mathbf{Z}$: Değişken

$\boldsymbol{\alpha}$: Çalışma zamanı

$\boldsymbol{\alpha_f}$: Cihazın çalışmadığı aralığın başlangıcı

$\boldsymbol{\alpha_h}$: H. su kullanım aralığı başlangıcı

$\boldsymbol{\alpha_s}$: Cihazın çalıştığı aralığın başlangıcı

$\boldsymbol{\beta}$: Çalışmama zamanı

$\boldsymbol{\beta_f}$: Cihazın çalışmadığı aralığın bitişi

$\boldsymbol{\beta_h}$: H. su kullanım aralığı bitişi

$\boldsymbol{\beta_s}$: Cihazın çalışdığı aralığın bitişi

$\boldsymbol{\eta_{WH}}$: Su ısıtıcı verimi

$\boldsymbol{\theta}_{\mathbf{WHS}}^{\mathbf{m}}$: Su ısıtıcı m anı sıcak su için ayar değeri

$\boldsymbol{\theta}_{\mathbf{WHS,h}}^{\mathbf{m}}$: Su ısıtıcı m anı h. kullanıma ait sıcak su ayar değeri

$\boldsymbol{\theta}_{\mathbf{WHS(alt)}}^{\mathbf{m}}$: Su ısıtıcı m anı sıcak su için alt değer

$\boldsymbol{\theta}_{\mathbf{WHS(üst)}}^{\mathbf{m}}$: Su ısıtıcı m anı sıcak su için üst değeri

$\boldsymbol{\theta_{WHSyeni}}$: Su ısıtıcı m anı sıcak su için güncelleme değeri

$\boldsymbol{\theta}_{\mathbf{ACS}}^{\mathbf{m}}$: Klima m anı için sıcaklık ayar değeri

$\boldsymbol{\theta}_{\mathbf{ACS(alt)}}^{\mathbf{m}}$: Klima m anı için sıcaklık alt ayar değeri

$\boldsymbol{\theta}_{\mathbf{ACS(üst)}}^{\mathbf{m}}$: Klima m anı sıcaklık üst ayar değeri

$\boldsymbol{\theta_{ACSyeni}}$: Klima m anı için sıcaklık güncelleme değeri

$\boldsymbol{\theta_{OV}}$: Fırın iç sıcaklığı

$\boldsymbol{\theta_{OV,set}}$: Fırın sıcaklık ayar değeri

$\boldsymbol{\theta_{inlet}}$: Su giriş sıcaklığı

$\boldsymbol{\theta}_{\mathbf{outlet}}^{\mathbf{m}}$: Anlık (m anı) çıkış suyu sıcaklığı

$\boldsymbol{\theta}_{\mathbf{outlet}}^{\mathbf{m=0}}$: Anlık (m anı) başlangıç suyu sıcaklığı

$\theta_{outlet,h}^{m}$: H. kullanım için m anı çıkış suyu sıcaklığı

$\theta_{CB,petek}^{m}$: Peteklerdeki suyun m anındaki ayar sıcaklığı

$\theta_{peteksu}^{m}$: Peteklerdeki suyun t anındaki sıcaklığı

θ_{air}^{m} : Dış ortam m anı sıcaklığı

θ_{oda}^{m} : Oda m anı sıcaklığı

$\theta_{oda,set}^{m}$: Oda m anı sıcaklık ayar değeri

$\theta_{oda}^{m=0}$: Oda m anı başlangıç sıcaklığı

$\theta_{CB,sicaksu}^{m}$: Kombi m anı sıcak su üretim ayar değeri

θ_{cloth} : Giysinin sıcaklığı

θ_{R} : Radyal sıcaklık

θ_{air} : Hava sıcaklığı

θ_{skin} : Deri yüzeyindeki sıcaklık

$\Phi_{Lamba}^{i,j,r}$: Ev i lamba j'nin oda r'de bulunma durum biti

$\Phi_{a}^{i,j}$: Ev i içindeki cihaz j için mevcut olma durum biti

Φ : Isıl akı

λ_{flat} : Sabit tarife elektrik birim kullanım fiyatı

λ_{gunduz} : Gündüz elektrik birim fiyatı

λ_{puant} : Puant elektrik birim fiyatı

λ_{gece} : Gece elektrik birim fiyatı

λ_{a}^{i} : Ev i içindeki aynı cihaz toplam sayısı

$\lambda_{Lamba}^{i,r}$: Ev i oda r içindeki lamba sayısı

$\mu_{a}^{i,j}$: Ev i cihaz j için kullanıcı alışkanlığı biti

$\Delta\theta_{a}$: Cihaz için sıcaklık eşik değer farkı

Δm : Program ilerleme süresi

$\Delta\theta_{CB}$: Kombi petek su sıcaklık eşik değer farkı

$\Delta\theta_{oda}$: Oda termostatı için sıcaklık eşik değer farkı

$\Delta\theta_{CBsu}$: Kombi sıcak su termostat eşik fark değeri

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Bulaşık yıkama programlarına göre işlem süreleri [s]. **16**
Çizelge 2.2 : Bulaşık makinesinin gün içinde kullanım yüzdesi [34]. **18**
Çizelge 2.3 : Çamaşır yıkama programlarına göre işlem süreleri [s]. **20**
Çizelge 2.4 : Çamaşır makinesinin gün içinde kullanım yüzdesi [34]. **22**
Çizelge 2.5 : Elektrikli süpürge kullanım kalıbı oluşturma algoritması. **27**
Çizelge 2.6 : Elektrikli fırın kullanım kalıbı oluşturma algoritması. **29**
Çizelge 2.7 : TV ve uydu alıcısı kullanım kalıbı oluşturma algoritması. **30**
Çizelge 2.8 : Bilgisayar kullanım kalıbı oluşturma algoritması. **32**
Çizelge 2.9 : Aspiratör kullanım kalıbı oluşturma algoritması. **33**
Çizelge 2.10 : Ütü kullanım kalıbı oluşturma algoritması. **34**
Çizelge 2.11 : Elektrikli su ısıtıcı sıcak su kullanım kalıbı oluşturma algoritması. .. **36**
Çizelge 2.12 : Lamba kullanım kalıbı oluşturma algoritması. **42**
Çizelge 2.13 : Çevre için kalite göstergesi. **43**
Çizelge 2.14 : Binaların çevresel kategorilere özgü parametre sınır değerleri. **43**
Çizelge 2.15 : Talep yönetiminde aktörler, kazanımlar ve yapılması gerekenler [99]. **58**
Çizelge 3.1 : Zamana göre aynı faaliyette bulunan ev sayısı. **64**
Çizelge 3.2 : Bir yıl süreli haftalık evsel elektrik tüketiminin yük ve senaryolara göre gün dilimi bazında dağılımı. **81**
Çizelge 3.3 : Bir yıl süreli haftalık evsel elektrik tüketiminin yük ve senaryolara göre faaliyet bazında dağılımı. **84**
Çizelge 5.1 : 0/1 sırt çantası dinamik programlama ağırlık en çoklama algoritması. **106**
Çizelge 5.2 : 0/1 sırt çantası dinamik programlamada geri izleme algoritması. **106**
Çizelge 5.3 : Dört yönetilebilir yük için dinamik öncelikleme. **109**
Çizelge 5.4 : Genel konfor değerinin öncelik temelli farklı yönetim biçimlerinde hesaplama yöntemi. **113**
Çizelge 5.5 : Olası yönetim senaryoları için CCR sapma değerleri toplamı. **122**
Çizelge 6.1 : Parçacık sürü algoritması adım ve işlemleri. **139**
Çizelge 6.2 : Genetik algoritmanın adım ve işlemleri. **144**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Bulaşık makinesi için alınan ölçüm sonuçları. **15**
Şekil 2.2 : Bulaşık makinesi model ve gerçek ölçüm sonuçları karşılaştırması. **17**
Şekil 2.3 : Çamaşır makinesi için alınan ölçüm sonuçları. **19**
Şekil 2.4 : Çamaşır makinesine ait model ve gerçek ölçümün karşılaştırması. **21**
Şekil 2.5 : Buzdolabı için alınan ölçüm sonuçları. **23**
Şekil 2.6 : Buzdolabına ait model ve gerçek ölçümün karşılaştırması. **24**
Şekil 2.7 : Derin dondurucu için alınan ölçüm sonuçları. **24**
Şekil 2.8 : Derin dondurucunun çalışma ve bekleme süreleri. **25**
Şekil 2.9 : Derin dondurucu model ve gerçek durumun karşılaştırılması. **26**
Şekil 2.10 : Elektrikli süpürge ölçüm sonucu. **26**
Şekil 2.11 : Elektrikli fırın ölçüm sonucu. **28**
Şekil 2.12 : Televizyon ve uydu alıcı için ölçüm sonucu. **29**
Şekil 2.13 : Dizüstü bilgisayar için ölçüm sonucu. **31**
Şekil 2.14 : Aspiratör için ölçüm sonucu. **32**
Şekil 2.15 : Ütü için ölçüm sonucu. **34**
Şekil 2.16 : Cihazlara müdahale edilmediği durum için elektrik talebi. **48**
Şekil 2.17 : Ek müdahalesiz çalışmada su ve oda sıcaklıkları. **49**
Şekil 2.18 : Ek müdahaleli çalışmada elde edilen talep profilleri. **49**
Şekil 2.19 : Ek müdahaleli çalışmada oluşan sıcaklıklar. **49**
Şekil 2.20 : Bulaşık makinesine ek müdahale ile elde edilen talep profili. **50**
Şekil 2.21 : Çamaşır makinesine ek müdahale ile elde edilen talep profili. **50**
Şekil 2.22 : Talep Yönetimi programlarının sınıflandırılması [71]. **52**
Şekil 3.1 : Faaliyet tabanlı (birey odaklı) yük güç modelleri ile evsel elektrik talebinin elde edilmesinde izlenen yöntem. **61**
Şekil 3.2 : Bir numaralı ev için rastgele üretilmiş faaliyetler ve zamana göre değişim. **63**
Şekil 3.3 : Bir numaralı ev için evde en az bir kişi bulunma durumu. **65**
Şekil 3.4 : Yüz ev için faaliyetlerin zamana göre değişimi. **65**
Şekil 3.5 : Yüz ev için kullanım amacına göre üretilmiş sıcak su kullanım durumu: a) Temizlik b) Duş c) Bulaşık d) Toplam **76**
Şekil 3.6 : Rastgele seçili bir ev için kullanım amacına göre üretilmiş sıcak su kullanım durumu: a) Temizlik b) Duş c) Bulaşık d) Toplam **76**
Şekil 3.7 : Talep yönetiminde evsel yüklerin sınıflandırılması. **77**
Şekil 3.8 : Senaryolar ve yüz evdeki faaliyetlerin zamanla değişimi. **78**
Şekil 3.9 : Senaryolar ve faaliyetlerin gün içi dağılımı. **78**
Şekil 3.10 : Senaryolar ve haftalık tüketimlerin günün dilimlerine göre dağılımı. **79**
Şekil 3.11 : Senaryolara göre tüketimde günlük dilimlerin payı. **80**
Şekil 3.12 : Faaliyetlere göre evsel talebin senaryo bazlı durumu. **82**
Şekil 3.13 : Yönetilebilir evsel elektrik talebinin senaryo, faaliyet ve günün dilimine göre sahip olunan pay. **87**

Şekil 3.14 : Normal duruma (Senaryo 1) göre evsel cihazların taleplerinde günün dilimlerine dağıtılmış değişimi. **88**
Şekil 3.15 : Normal duruma (Senaryo 1) göre evsel cihazların taleplerinde faaliyetlere dağıtılmış değişimi. **88**
Şekil 4.1 : Karbondioksit salınımının elde edilmesi için izlenen yöntem. **93**
Şekil 4.2 : Türkiye 2019 yılı elektrik üretim kaynaklarına göre hesaplanan eşdeğer karbondioksit salınım değeri. **94**
Şekil 4.3 : 100 ev içindeki yüklerin senaryolara göre bir hafta süreli yıllık elektrik tüketimi. **95**
Şekil 4.4 : Zaman bazında her bir senaryo için elektrik tüketimi kaynaklı gerçekleşen karbondioksit salınımları. **95**
Şekil 4.5 : Faaliyet bazında her bir senaryo için kombi doğalgaz tüketimi kaynaklı gerçekleşen karbondioksit salınımları. **96**
Şekil 4.6 : Faaliyet ve zaman bazında her bir senaryo için yönetilebilir karbondioksit salınım kapasitesi. **98**
Şekil 4.7 : Faaliyet, zaman ve senaryolara göre yönetilebilir kombi doğalgaz tüketimi kaynaklı karbondioksit salınım kapasitesi. **98**
Şekil 5.1 : Çalışmada kullanılan elektrik tarifeleri. **105**
Şekil 5.2 : Müdahalesiz yönetim sonuçları: a) güç talebi b) sıcak su sıcaklıkları ve tüketim kalıbı c) su kullanım sıcaklığı d) oda sıcaklığı ve PMV değerleri. **115**
Şekil 5.3 : Statik önceliklemeli yönetim sonuçları: a) güç talebi b) oda sıcaklığı ve PMV değerleri. **116**
Şekil 5.4 : Dinamik öncelikleme temelli yönetim sonuçları: a) dinamik öncelik b) günlük güç c) oda sıcaklığı ve PMV değer d) gerçekleşen su kullanım sıcaklıkları. **117**
Şekil 5.5 : Isıl esneklik ekli dinamik öncelikleme temelli yönetim sonuçları: a) günlük güç b) oda sıcaklığı ve PMV değerleri. **118**
Şekil 5.6 : 24 farklı senaryo konfor sonuçları: a) ısıl konfor b) sıcak su konforu c) çamaşır kurutucu çalışma konforu d) elektrikli araba şarj konforu değerleri. **118**
Şekil 5.7 : 24 farklı senaryo tüketim maliyetleri: a) sabit tarife ile yönetim b) üç zamalı tarife ile yönetim c) gerçek zamanlı tarife ile yönetim elektrik tüketim maliyet değerleri. **119**
Şekil 5.8 : Farklı öncelik dizilimleri ve yönetimler için konfor sapma toplamı. **120**
Şekil 5.9 : Farklı öncelik dizilimleri ve yönetimler için toplam konfor yüzde değerleri. **121**
Şekil 5.10 : Farklı öncelik dizilimleri ve yönetimler için CCR sapma değerleri. **122**
Şekil 5.11 : Farklı başlama zamanı ve ısıl esneklikler için erişilen konfor değerleri. **123**
Şekil 5.12 : Farklı başlama zamanı ve ısıl esneklikler için erişilen CCR değerleri. **124**
Şekil 5.13 : Arabaya ait bulanık çıkarım sisteminin birinci girişine ait üyelik fonksiyonları. **125**
Şekil 5.14 : Arabaya ait bulanık çıkarım sisteminin ikinci girişine ait üyelik fonksiyonları. **125**
Şekil 5.15 : Arabaya ait bulanık çıkarım sistemi çıkışına ait üyelik fonksiyonları. **126**
Şekil 5.16 : Kurutucuya ait bulanık çıkarım sisteminin birinci girişine ait üyelik fonksiyonları. **127**
Şekil 5.17 : Kurutucuya ait bulanık çıkarım sisteminin ikinci girişine ait üyelik fonksiyonları. **127**

Şekil 5.18 : Kurutucuya ait bulanık çıkarım sisteminin çıkışına ait üyelik fonksiyonları. **128**
Şekil 5.19 : Klimaya ait bulanık çıkarım sistemi ilk girişe ait üyelik fonksiyonları. **128**
Şekil 5.20 : Klimaya ait bulanık çıkarım sistemi ikinci girişe ait üyelik fonksiyonları. **129**
Şekil 5.21 : Klimaya ait bulanık çıkarım sistemi çıkışa ait üyelik fonksiyonları. ... **129**
Şekil 5.22 : Su ısıtıcıya ait bulanık çıkarım sistemi ilk girişe ait üyelik fonksiyonları. **130**
Şekil 5.23 : Su ısıtıcıya ait bulanık çıkarım sistemi ikinci girişe ait üyelik fonksiyonları. **130**
Şekil 5.24 : Su ısıtıcıya ait bulanık çıkarım sistemi çıkışa ait üyelik fonksiyonları. **131**
Şekil 5.25 : Yüksek güçlü yönetilebilir evsel yüklerin yönetimsiz halde meydana getirdiği talebin şekli. **131**
Şekil 5.26 : Bulanık mantık çıkarım sisteminden alınan öncelikler ve değişimi. ... **132**
Şekil 5.27 : Bulanık mantık çıkarım sisteminden alınan önceliklerin seçilen bir zaman aralığında değişimi. **132**
Şekil 5.28 : Bulanık mantık ile yük önceliklerinin yönetilmesi sayesinde elde edilen evsel talep. **133**
Şekil 5.29 : Güç kısıtlaması olmaması durumu için elde edilen su ve oda sıcaklığı değişimi. **133**
Şekil 5.30 : Bulanık mantık ile önceliklerin yönetilmesi halinde elde edilen su ve oda sıcaklığı değişimi. **134**
Şekil 6.1 : Maliyet en iyileme çalışma öncesi güç profili. **137**
Şekil 6.2 : Sıcak su kullanım kalıbı. **137**
Şekil 6.3 : Maliyet en iyilemesi sonrası su kullanım sıcaklıkları. **142**
Şekil 6.4 : PSO maliyet en iyileme çalışma sonrası güç profili. **142**
Şekil 6.5 : GA ile sabit tarifede talep yönetimi için en az maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **147**
Şekil 6.6 : Güneş santrali varlığında, GA ile sabit tarifede talep yönetimi için en az maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planı güç değişimleri. **149**
Şekil 6.7 : GA ile üç zamanlı tarifede en az maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **150**
Şekil 6.8 : Güneş santrali varlığında, GA ile üç zamanlı tarifede en az maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planı güç değişimleri. **151**
Şekil 6.9 : Rastgele üretilmiş gerçek zamanlı tarifede elektrik fiyatı. **151**
Şekil 6.10 : GA ile gerçek zamanlı tarifede en az maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **152**
Şekil 6.11 : Güneş santrali varlığında, GA ile gerçek zamanlı tarifede en az maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planı güç değişimleri. **153**
Şekil 6.12 : GA ile ısıl konforu en iyileme durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **154**
Şekil 6.13 : Güneş santrali varlığında, GA ile ısıl konfor en iyileyen durumuna özgü cihaz çalışma planı güç değişimleri. **155**
Şekil 6.14 : GA ile sıcak su konforu en iyileme durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **156**
Şekil 6.15 : Güneş santrali varlığında, GA ile sıcak su için konfor en iyileyen durumuna özgü cihaz çalışma planı güç değişimleri. **157**

Şekil 6.16 : GA ile talebin düzgünleştirilmesini en iyileme durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **158**
Şekil 6.17 : Güneş santrali varlığında, GA ile talebin düzgünleştirilmesini en iyileyen durumuna özgü cihaz çalışma planı güç değişimleri. **159**
Şekil 6.18 : Güneş santrali varlığında, GA ile kurutucu görev bitiş zamanını en iyileyen durumuna özgü cihaz çalışma planı güç değişimleri. **160**
Şekil 6.19 : Güneş santrali varlığında, GA ile elektrikli araba şarj görev bitiş zamanını en iyileyen durumuna özgü cihaz çalışma planı güç değişimleri..... **161**
Şekil 6.20 : En iyileme öncesi karbondioksit salınımının değişimi. **162**
Şekil 6.21 : Güneş santrali olan evde en iyileme öncesi karbondioksit salınımının değişimi. **163**
Şekil 6.22 : Güneş santrali olan evde en iyileme sonrası karbondioksit salınımının değişimi. **163**
Şekil 6.23 : Sabit tarifede çoklu amaç en iyileme durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **167**
Şekil 6.24 : Güneş santrali mevcut ev için sabit tarifede çoklu amaç en iyileme durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **168**
Şekil 6.25 : Üç zamanlı tarifede çoklu amaç en iyileme durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **169**
Şekil 6.26 : Güneş santrali mevcut ev için üç zamanlı tarifede çoklu amaç en iyileme durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **170**
Şekil 6.27 : Gerçek zamanlı tarifede çoklu amaç en iyileme durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **171**
Şekil 6.28 : Güneş santrali mevcut ev için gerçek zamanlı tarifede çoklu amaç en iyileme durumuna özgü cihaz çalışma planı güç değişimleri. **172**
Şekil 6.29 : GA ile statik önceliklemeli yönetim sabit tarifede en az maliyetle çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **173**
Şekil 6.30 : GA ile güneş santrali mevcutken statik önceliklemeli yönetim sabit tarifede en az maliyetle çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **174**
Şekil 6.31 : GA ile statik önceliklemeli yönetim üç zamanlı tarifede en az maliyetle çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **175**
Şekil 6.32 : GA ile güneş santrali mevcutken statik önceliklemeli yönetim üç zamanlı tarifede en az maliyetle çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **176**
Şekil 6.33 : GA ile statik önceliklemeli yönetim gerçek zamanlı tarifede en az maliyetle çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **177**
Şekil 6.34 : GA ile güneş santrali mevcutken statik önceliklemeli yönetim gerçek zamanlı tarifede en az maliyetle çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **178**
Şekil 6.35 : GA ile statik önceliklemeli yönetim talebi en iyi düzgünleştiren çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **179**
Şekil 6.36 : GA ile güneş santrali mevcutken statik önceliklemeli yönetim talebi en iyi düzgünleştiren çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **180**
Şekil 6.37 : GA ile statik önceliklemeli yönetim ısıl konforu en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **181**
Şekil 6.38 : GA ile güneş santrali mevcutken statik önceliklemeli yönetim ısıl konforu en iyileyen cihaz çalışma planları ve güç değişimleri..... **182**

Şekil 6.39 : GA ile statik önceliklemeli yönetim sıcak su konforu en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **183**
Şekil 6.40 : GA ile güneş santrali mevcutken statik önceliklemeli yönetim sıcak su konforu en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **184**
Şekil 6.41 : Güneş santrali olan evde statik önceliklemeli yönetimde en iyileme sonrası karbondioksit salınımının değişimi. **185**
Şekil 6.42 : GA ile dinamik önceliklemeli yönetim sabit tarife tutarı en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **186**
Şekil 6.43 : GA ile güneş santrali mevcutken dinamik önceliklemeli yönetim sabit tarife tutarı en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **187**
Şekil 6.44 : GA ile dinamik önceliklemeli yönetim üç zamanlı tarife tutarı en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **188**
Şekil 6.45 : GA ile güneş santrali mevcutken dinamik önceliklemeli yönetim üç zamanlı tarife tutarı en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **189**
Şekil 6.46 : GA ile dinamik önceliklemeli yönetim gerçek zamanlı tarife tutarı en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **190**
Şekil 6.47 : GA ile güneş santrali mevcutken dinamik önceliklemeli yönetim gerçek zamanlı tarife tutarı en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **191**
Şekil 6.48 : GA ile dinamik önceliklemeli yönetim talebin düzgünleştirilmesini en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **192**
Şekil 6.49 : GA ile güneş santrali mevcutken dinamik önceliklemeli yönetim talebin düzgünleştirilmesini en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **193**
Şekil 6.50 : GA ile dinamik önceliklemeli yönetim ısıl konfor en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **194**
Şekil 6.51 : GA ile güneş santrali mevcutken dinamik önceliklemeli yönetim ısıl konforu en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **195**
Şekil 6.52 : GA ile dinamik önceliklemeli yönetim sıcak su konfor en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **196**
Şekil 6.53 : GA ile güneş santrali mevcutken dinamik önceliklemeli yönetim sıcak su konforu en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri. **197**
Şekil 6.54 : Güneş santrali olan evde dinamik önceliklemeli yönetimde en iyileme sonrası karbondioksit salınımının değişimi. **198**
Şekil 6.55 : 100 ev için faaliyetlere göre toplam elektrik tüketimi. **199**
Şekil 6.56 : 100 ev için her bir cihaza ait tüketimler. **199**
Şekil 6.57 : Yönetilebilir ve yönetilemez yük büyüklüğü. **200**
Şekil 6.58 : 100 ev için yönetilebilir ve yönetilemez yükler. **200**
Şekil 6.59 : En iyi maliyet için oluşan talep eğrisi. **201**
Şekil 6.60 : Ev bazında maliyette meydana gelen azalma (kazanç). **201**
Şekil 6.61 : Ev bazında maliyette meydana gelen kazanç yüzdesi. **202**
Şekil 6.62 : En iyi maliyet için oluşan karbondioksit salınımı. **202**
Şekil 6.63 : 100 ev için en iyilenmiş karbondioksit salınımı. **203**
Şekil 6.64 : En iyi karbondioksit salınımı için oluşan talep eğrisi. **203**

Şekil 6.65 : Karbondioksit salınımı azaltma kaynaklı maliyette meydana gelen kazanç yüzdesi. **204**

ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMLERİNDE BİREY ODAKLI KONFOR ÖNCELİKLİ TALEP YÖNETİMİ İÇİN AKILLI YÖNTEM GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Günümüz akıllı şebekesinde, tüketicilerin artan ekonomik beklentileri ve uygulanabilirliği yüksek ileri kontrol mekanizmaları sayesinde elektrik şebekesinde arz ve talep arasında dinamik bir denge geçişken enerji sistemleri ile aranmaktadır. Eskiden talep ve onu karşılayacak güç tahmini üzerine bir çalışmada izin verilen gün öncesi üretim planlarının yetersiz kalması halinde beklenmedik yükler için plansız kesintiler ile denge sağlanmaktaydı. Arz ve talep dengesini korumak için günümüzde talep yönetimi önem kazanmıştır. Talep yönetimi; son kullanıcıların elektrik tüketim veya üretim davranışlarının otomatik veya elle, bir fiyat sinyaline yanıt olarak (örneğin zamanla değişen elektrik fiyatına) veya elektrik piyasasında oluşan teklife göre doğrudan veya bir talep yönetim toplayıcı aracılığıyla (enerji sağlayıcı veya üçüncü taraf), ödül veya gönüllülük esaslı olarak çeşitli yöntem, strateji ve uygulamalarla şebeke olaylarına yardım edecek şekilde değiştirilmesi eylemleridir. Talep yönetiminin elektrik şebekesinde arz ve talebi, üretimin sınırlı olduğu yerlerde, zamanlarda dengelemek için kullanılması yeni bir kavram olmamakla birlikte değişen güç sistemi yapısında kullanımı üzerine yoğun pek çok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmaların yoğun olarak yapıldığı tüketicilerin başında, toplam elektrik tüketiminde sahip olduğu yüksek pay nedeniyle ev elektrik kullanıcıları gelmektedir. Elektrik dağıtım sistemi işleticileri özellikle ev enerji yönetim sistemleri ile evsel ısıtma, soğutma sistemlerini kapatarak, sıcaklık ayar değerleri ile oynayarak talep yönetiminin etkinliğini bu tüketici grubunda tecrübe etmektedir. Tüketicinin konforu (memnuniyeti) için ev enerji yönetim sistemleri aracılığıyla gerçekleşecek talep yönetiminde; tüketici tercihlerine göre gerekli evsel elektrik yük çalışma koşullarını oluşturabilen, katılımcı geri beslemeleri ve tepkilerine uygun yanıt veren bir yapı gerekmektedir. Kişilerin yaşam şekilleri, davranış biçimleri talep yönetiminde çok önemlidir çünkü aslında talep yönetimi; tüketim davranışlarını değiştirmek, geliştirmek için tasarlanmıştır. Talep yönetimi; talep toplayıcının yükü azalt, çoğalt, beklet gibi emrine müşterilerin davranış değişimleri ile cevap verebilme yeteneğinden söz etmektir. Dolayısıyla elektrik sağlayıcılar, iletim ve dağıtım sistemi yük tevzi birimleri, bağımsız sistem işletmecileri, talep yönetimi sağlayıcılar, talep yönetiminin başarısından etkilenirler.

Bu tez çalışmasında elektrik dağıtım sistemlerinde birey odaklı konfor öncelikli talep yönetimi için akıllı bir yönetim yönteminin geliştirilmesi konu edilmiştir. Elektrik dağıtım sistemlerinde, birey odaklı talep yönetiminde ortaya çıkabilen konforsuzluk problemine farklı yaklaşımlarla yanıt aranmıştır. Literatürde talep yönetiminde yeteri kadar yer verilmeyen birey davranışının elektrik tüketimi ile ilişkisi araştırılmış, analizlerde elde edilen sonuçlara uygun birey davranışı odaklı elektrikli cihaz modelleri gerçekleştirilmiştir. Tüketici davranışlarını içeren kısa ve uzun dönem

tüketim profilleri oluşturularak bunların her bir yük, sınıflandırılmış faaliyet, kategorilenmiş yük türleri, farklı zaman dilimi ve tüketim payları için ayrıntılı analizleri yapılmıştır. Talep yönetiminde bireylerin talep yönetim programına katılımında önemli bir teşvik unsuru olan ancak literatürde yeteri kadar yer verilmeyen karbondioksit salınımlarının yönetilebilir potansiyelinin belirlenmesi yine ele alınan bir başka konudur. Birey davranışları ile şekillenen elektrik tüketimi kaynaklı oluşan karbondioksit salınımının her bir faaliyet, yük, kategorilendirilmiş yük türleri ve zaman dilimleri için toplam karbondioksit salınımdaki payları elde edilmiştir. Ev enerji yönetim sistemleri aracılığıyla gerçekleştirilecek konfor tabanlı talep yönetimi için uygulanabilir, yeni konfor ölçme ve değerlendirme yöntemi geliştirilmiştir. Literatürde yaygın kullanılan yük yönetim yöntemlerinin talep yönetimindeki yetersizlikleri yapılan analizlerle gösterilmiştir. Yeni konfor temelli yönetim yöntemi ve literatürde yaygın tercih edilen mevcut yönetim yöntemi için konfor ve maliyet değerlendirmeleri yapılmıştır. Tüketici konforunu, tüketim maliyetini en iyilemek için bulanık mantık temelli yönetim, kural tabanlı yönetim ve dinamik programlama esaslı en iyilemeler yapılmıştır. Parçacık sürü algoritması ve genetik algoritmalar güneş santrali varlığını da içerecek şekilde farklı amaç en iyilemeleri için kullanılmıştır. Çoklu amaç en iyileme için yine genetik algoritmalarla farklı durumlara ait çözümler aranmıştır. Konfor temelli yönetim için talep yönetimi ve mevcut ev enerji sistemleri yönetim altyapıların bu uygulamalara ne derece yatkın olduğu incelenmiş, yetersizliklerinin nasıl giderilebileceği gösterilmiş, konforu ölçen, arttıran önerilerde de bulunulmuştur.

Birey davranışının incelenmesi ve modellenmesi kapsamında yapılan çalışmada, birey davranışına dayalı az girişli oldukça gerçekçi çıkış üreten yük modellerinde, enerji analizörü ile alınmış birer dakikalık ve saniyelik ölçüm verileri kullanılmıştır. Evde elektrik tüketiminde etkin on altı farklı yük için yönetilebilirlik durumu, ilgili yükün çalışmasında yürütülen her bir işlem aşamaları ve süreleri oldukça detaylı sunulmuştur. Bulaşık makinesi, çamaşır makinesi için hem blok hem de kısmi ertelenebilirlik durumları incelenmiş ve buna özgü erteleme yapılabilir yük modelleri oluşturulmuştur. Her bir cihazın kullanıcı ile ilişkisi; kullanım alışkanlığı, davranış uyarlaması, davranış, evin fiziksel ve çevreye özgü iklimsel etkilerine göre kurulmuştur. Buzdolabı ve derin dondurucunun soğuk yük talep artışını önleyen bir biçimde çalışması sağlanmıştır. Elektrikli süpürge kullanım davranışı gerçekte olduğu gibi ev işi faaliyetinde çok sayıda kısa süreli kullanımlara imkan verebilmektedir. Elektrikli fırın için kullanıcının çalışmasını sonlandırabildiği bir yük modeli elde edilmiştir. Pişirme süreleri kullanım durumuna uygun rastgele atanmıştır. Televizyon ve uydu alıcı için bekleme modunu da içeren yük modelleri sağlanmıştır. Televizyon izleme süresine uygun kullanım alışkanlığı modele yansıtılmıştır. Bilgisayar kullanımı internet faaliyeti ile ilişkilendirilmiştir. Aspiratörün yemek faaliyetinde kullanımı gerçekleştirilmiştir. Ütü ev işi faaliyetinde, kullanım süresi rastgele atanarak çalıştırılabilir. Termosifon elektrik tüketiminde belirleyici bir yüktür. Buna ait modellemede sıcak su kullanım profillerinin üretilmesi sağlanmıştır. Banyo, temizlik ve bulaşık yıkama gereksinimleri bu yükün kullanımı ile ilişkilendirilmiştir. Kombinin hem sıcak su hem de ortam ısıtması için kullanımı mümkündür. Oda termostatı bulunması hali de modellerde yer almıştır. Hem ev hem de dış çevrenin iklimsel yansımaları klimanın kullanımını gerektirecek biçimde modellenmiştir. Çalışmada soğutma amaçlı kullanımı sağlanmıştır. Çamaşır kurutucusu için çamaşır yıkama ile bağlılık kurulmuştur. Evler için elektrikli araba yüksek tüketime sahip bir yüktür. Kullanım durumuna uygun başlangıç şarj düzeyi ve hedeflenen şarj seviyesine göre

bir modellemeye yer verilmiştir.Aydınlanma şiddeti yetersizliği kullanıcıları lamba kullanımına yönlendirecek biçimde modeli oluşturulmuştur.

Yönetilebilir cihazlara müdahaleler ile konforda meydana gelen değişimler ele alındığında bulaşık makinesi ve çamaşır makinesinin kısmi erteleme sürelerinin 30 dakika, blok erteleme sürelerinin ise sekiz saate kadar mümkün olabildiği elde edilmiştir. Belirlenmiş bir güç seviyesi altında kalacak biçimde bazı cihazların çalışmasının durdurulması veya ertelenmesinin hem ısıl konfor hem de görev zamanı bitişine ait konforu etkilediği görülmüştür.

Birey odaklı konfor öncelikli talep yönetimi için oluşturulan yapıda faaliyetlerin bir saat önceye veya sonraya alınması toplam tüketimde büyük bir değişime yol açmamasına rağmen gece, sabah, kuşluk, öğleden sonra ve akşam zaman dilimlerinde değişimler oluşturmuştur. Faaliyetlerin normal faaliyet süresinden bir saat öncesi başlamasının kuşluk ve gece 2 olarak belirtilen (22.00-24.00) zaman aralığında tüketimleri azalttığı elde edilmiştir. Faaliyetlerin bir saat sonra başlatılmasının sabah ve akşam elektrik tüketimlerinde normal faaliyet başlangıç zamanına göre azalma sağladığı görülmüştür. Normal faaliyet kalıbında gece 1 (24.00-6.00) ve öğleden sonra zamanları bir saat ertelenmiş senaryolara göre en az tüketime sahiptir. Yönetilebilir talep büyüklüğünün toplam tüketimde önemli bir paya (%56,7) sahip olduğu elde edilmiştir. Yönetilebilir yük potansiyelinin bilinmesi evsel talep yönetiminin başarısını arttıracak tarife ve teşvikler için önemli kazanımlar sunmaktadır.

Evsel talep yönetiminde yönetilebilir karbondioksit salınım potansiyelinin elde edilmesi yönetilebilir elektrikli cihazların kontrolü ile hedeflenmiştir. Gün öncesi planlanan üretim kaynaklarının hedeflenen karbondioksit salınım değerinin altına indirilmesinin talebin yönetilmesi ile gerçekleştirilebilir olduğu görülmüştür. Yönetilebilir doğrudan karbondioksit salınım değerlerinin farklı zamanlardaki durumuna uygun politikalarla çevreye duyarlılığı yüksek katılımcıların talep yönetimine katılımı mümkün olabilir.

Konfor en iyileyen öncelik temelli yeni bir yönetim yöntemi çalışmasıyla ev enerji sistemlerinde kolayca uygulanabilir kural tabanlı yeni bir yöntem gerçekleştirilmiştir. Statik öncelik temelli yönetimlerin neden olduğu konforsuzluklar dinamik öncelikleme yöntemiyle azaltılmıştır. Geliştirilen yöntemin başarısı tüm olası farklı önceliklemeler için analiz edilmiş en iyi fiyat ve en iyi konfor sağlayan çözümlerin ısıl esneklik ekli dinamik öncelikleme temelli yönetimle sağlandığı görülmüştür. Ev enerji sistemlerinde uygulanabilirliği mümkün konfor ölçme, izleme ve değerlendirme yöntemi tanıtılmıştır. Önceliklemeler için bulanık mantık temelli yaklaşımlar da sergilenmiştir.

Evsel talep yönetiminde en iyilemeler popülasyon temelli algoritmalarla güneş santrali mevcut olma durumu da göze alınarak gerçekleştirilmiştir. Önceliklemesiz yönetimde, güç sınırı olup olmama durumuna göre çeşitli en iyilemeler yapılmıştır. Parçacık sürü algoritması ve genetik algoritma tek amaç en iyilemeleri için tercih edilmiştir. MATLAB ortamında yazılan algoritmalarla farklı tarife tiplerinde konfor en iyilemelerini sağlayacak yük çalışma planları elde edilmiştir. Öncelik temelli yönetimlerle belirli güç sınırı altında en iyilemeler genetik algoritmalarla yine farklı tarife seçenekleri için analiz edilmiştir. Konforu en iyileyen çözümler için yük çalışma planlarının ev enerji sistemleri tarafından elde edilmesine yönelik çözümler sunulmuştur. En iyileme çalışmaları aynı zamanda 100 ev için yine toplu maliyet ve karbon salınımı azaltan çözümler için yapılmıştır. Bu tez çalışmasında hem şebeke hem de tüketici beklentilerine özgü çözümlerin mümkün olduğu görülmüştür.

DEVELOPING AN INTELLIGENT METHOD FOR THE USER ORIENTED COMFORT BASED DEMAND RESPONSE STUDIES IN THE ELECTRICITY DISTRIBUTION SYSTEMS

SUMMARY

In today's smart grid, a dynamic balance between supply and demand is sought by the transactive energy systems, thanks to the growing economic expectations of consumers and advanced control mechanisms with high viability. In the past, there was an operating balance between demand and the power generation to meet it. Unplanned outages were carried out mostly for the unexpected loads if the allowable day ahead power generation plans were insufficient. Demand response has an important role today to maintain the balance of supply and demand. End users are encouraged by aggregators to change electricity consumption or production behavior in response to a price signal or a proposal of the electricity market in a way that helps to grid events. Although the use of demand response in the grid to balance supply and demand in the peak times is not a new concept, many intensive studies are being carried out today on its use in the transactive power system structure. Residential electricity users are the most important participants due to their high share in total electricity consumption. Electricity Distribution System Operators (DSO) experience the effectiveness of demand response in this group of consumers, especially by turning off household heating, cooling systems and changing with temperature setting values via home energy management systems (HEMS). Demand response through home energy management systems for consumer comfort requires a structure that can create the appropriate load working schedules according to consumer preferences and participant's feedbacks. How people live and behave is very important in demand response studies. Because in fact, demand response is designed to change and improve users' consumption behavior. Demand response is about the ability of aggregators to respond to an order, such as reduce, increase, interrupt the demand with changes in the behavior of customers. Therefore, electricity providers, transmission and distribution system operators, independent system operators, aggregators are affected by the success of demand response management studies.

In this thesis, the development of an intelligent management method for residential user oriented comfort based demand response that use priorities in electricity distribution systems were discussed. A response to the problem of decrease in comfort that can occur in user-oriented demand response in electricity distribution systems was sought with different approaches. The relationship of individual behavior with electricity consumption, which is not adequately discussed in demand response in the literature, was investigated and device power models focused on individual behavior were performed in accordance with the results obtained from the analyses. Short - and long-term consumption profiles containing consumer behavior were created and detailed analyses were made for each load, classified activity, categorized load types, different time periods and consumption shares. Determining the manageable potential of carbon dioxide emissions, which is an important incentive for individuals to

participate in a demand response program in demand management, but is not adequately included in the literature, is another issue that is again discussed. The share of carbon dioxide emissions caused by electricity consumption, shaped by individual behavior, in total carbon dioxide emissions for each activity, load, categorized load types and time periods were obtained. A new comfort measurement and evaluation method has been developed for comfort-based demand management that can be realized through home energy management systems. The inadequacies of load management methods commonly used in the literature in demand management have been demonstrated by analyses and new comfort-based management methods have been implemented. Comfort and cost assessments have been made for the new comfort-based management method and the current management method, which is widely preferred in the literature. Fuzzy logic-based management, rule-based management, dynamic programming-based optimizations, particle swarm algorithm, and genetic algorithms have been used for different optimizations, including solar plant existence, to optimize consumer comfort, cost of consumption. Solutions to different situations for multi objective optimization were again sought by genetic algorithms. Recommendations have been put forward on demand response studies for comfort-based management and the inadequacies of existing home energy management systems infrastructures are addressed to how they are predisposed to demand response applications.

In the study conducted as part of the this thesis, modeling of individual behavior was carried out by one-minute and one-second measurement data taken with an energy analyzer. Load models were created that produce highly realistic output with a few input parameters based on individual behavior. Manageability status for sixteen different loads effective in household electricity consumption, the stages and times of each operation carried out in the study of the corresponding load are presented in detail. Both block and partial postponement abilities for dishwasher, washing machine were examined. Load models have been created for these loads that can be deferred at run time. The relationship of each device with the user is established according to the usage habit, behavior adaptation, behavior, physical and environmental climatic effects of the house. Refrigerators and freezers have been provided to operate in a manner that prevents the increase in cold load pick up an issue. Vacuum cleaner use behavior can allow for a large number of short-term use in housework activities, as in reality. A load model has been acquired for electric ovens, in which the user can terminate its operation. Cooking times are randomly assigned according to the state of use. Load models are provided, including standby mode for television and satellite receiver. Appropriate usage habits are reflected in television watching time. Computer use has been associated with internet activity. Kitchen hood is a device that is used in food activities. An iron can be operated by randomly assigning the duration of use in a housework activity. Electric water heater is a load that has a decisive role in electricity consumption. Hot water usage profiles have been produced in modeling. Bathing, cleaning and dishwashing needs have been associated with electric water heater. Combi boiler usage is made possible for both hot water generating and space heating in the house. The presence of a room thermostat was also included in the models. The air conditioner is modeled to require the use of climatic reflections of both the home and the external environment. In the study, its use for cooling purposes was provided. Dependency with washing machine is established for the use of tumble dryer. The electric vehicle charging causes high demand in the house. A modeling according to the initial charge level and the target charge level, which is formed

according to the state of use, were created. Lamp models direct users to the use of lamps in case of lack of admissible solar irradiation intensity.

Changes in comfort after interventions to manageable devices were examined. It was found that the partial deferral times of the dishwasher and washing machine were possible for 30 minutes, and the block deferral times were possible for up to eight hours. It has been observed that interrupting or postponing the operation of some devices to remain below a specified power level affects both thermal comfort and other load comforts at the end of the task.

Taking activities one hour earlier or later did not lead to a major change in total consumption in a structure created for individual-oriented, comfort-based demand management. Changes in demand occurred in the time zones of night, morning, midday, afternoon and evening. It was observed that the start of activities one hour earlier than the normal activity period reduced consumption in the night2 period (22.00-24.00) and morning. Starting activities one hour later reduced electricity consumption in the morning and evening compared to the normal start time of activity. In the normal activity pattern, night1 (24.00-6.00) and afternoon have the least consumption, according to one hour deferred scenarios. It has been acquired that the capacity of manageable demand has a significant share (56.7%) in total consumption. Knowing the manageable load potential offers significant benefits for tariffs and incentives that will increase the success of residential demand response.

Acquisition of manageable carbon dioxide emission potential in residential demand response is achieved by controlling manageable electrical devices. It was seen that reducing the target carbon dioxide release were achievable by managing electrical demand, according to the planned day ahead generation sources. It may be possible for users with high environmental sensitivity to participate in demand response events with appropriate policies for the state of manageable direct carbon dioxide emission values at different times.

A new rule-based methodology that can be easily implemented with home energy management systems has been introduced. The proposed method optimizes both comfort and cost under the a specified power threshold value. The loss of comfort caused by static priority-based management have been reduced by dynamic prioritization. The success of the developed method has been tested for all possible different priorities. The best comfort and cost were provided by dynamic prioritization-based management with added flexibility. A new method of measuring, monitoring and evaluating of comfort in home energy management systems has been introduced. Priorities were also changed via fuzzy logic-based approaches.

Optimizations in residential demand response were also made by taking into account the availability of solar plants using population-based algorithms. Various optimizations have been made according to whether there is a power limit or not. Particle swarm and genetic algorithms have been preferred for single-objective optimizations. Load scheduling plans have been obtained to optimize comfort in different tariff types with algorithms written in MATLAB. Optimizations under a certain power limit with priority-based management were again analyzed for different tariff options with genetic algorithms. Comfort based solutions for obtaining load scheduling plans by home energy management systems were presented. Optimisation efforts have also been made to find solutions that reduce cost and carbon emissions for 100 homes. It was seen that residential demand response can address both user and aggregator expectations.

1. GİRİŞ

Üretimin tüketiciden genellikle uzakta olduğu geleneksel elektrik şebekesi, gerek artan ekonomik beklentiler gerekse şebeke kararlılık ve verimliliğini artırmaya yönelik uygulanabilirliği yaygınlaşan ileri kontrol teknikleri sayesinde geçişken enerji sistemlerine dönüşmektedir. Geleceğin akıllı dağıtım şebekesi; geleneksel yapıya ek olarak penetrasyonu gittikçe artan yenilebilir dağıtık üretim kaynaklarını, adalanma kabiliyetli mikro şebekeleri, çift yönlü güç akışlarını ve yoğun müşteri etkileşimlerini içeren bir yapıda olacaktır. Günümüz dağıtık üretim kaynaklarıysa çoğunlukla güneş ve rüzgar dağıtık üretim santralleri, enerji depolama elemanları, elektrikli araba ve yönetilebilir akıllı yükleri kapsar. Geçişken enerji sistemlerine dönüşen yeni yapıda; arz talep dengesizlikleri, frekans, gerilim bozulmaları gibi geleneksel problemlere ek olarak dağıtık üretim yapan yenilebilir enerji santrali kaynaklı normal gerilim seviyesi ihlal problemleri, ters güç akışları, artan güç kayıpları, fider kapasitesinde aşmalar, yetersizlikler ve elektrikli araba şarjı kaynaklı beklenmedik talep artışlarının neden olduğu tıkanıklıklar görülmektedir. Bu bölümde genel bakış başlığıyla günümüz güç sistemlerinde talep yönetimine duyulan gereksinim, tezde çözülmek istenen problem, tezin konusu, araştırılan hususlar ve tezin öneminden söz edilir. Tezin amaç ve içeriğine ise bir diğer alt başlıkta yer verilmiştir.

1.1 Genel Bakış

Geçişken enerji sistemlerine dönüşen elektrik şebekesinde, sadece elektrik dağıtım sağlayıcının değil aynı zamanda elektrik son kullanıcılarının da kendine özgü dağıtık üretim kaynaklarının olması, son kullanıcılara kendi tercihlerine göre enerji alıp satabilen bir üretken tüketici (prosumer) rolü yüklemektedir. Aktif enerji sistemlerine dönüşülen bu yeni süreçte, güç sistemindeki farklı paydaşlar enerji ile ilgili hizmet sunmak üzere teşvik edilmektedir. Güç sistemlerinin bu yeni yapısında, şebeke kararlılığını sağlamak da artık ortak bir sorumluluktur. Ancak üreten tüketici ile elektrik dağıtım sağlayıcının amaçları arasında çoğunlukla çatışma gerçekleşir. Çünkü elektrik şebekesinin bölgesel, yerel işletmecileri, endüstriyel, ticari üreten tüketiciler

ve yine evsel üreten tüketicilerin her biri kendi amacına göre hareket eder. Örneğin üreten tüketici, kendi üretimini artırarak elektrik tüketim fatura kazancını en çoklamak amacını güderken; dağıtım sağlayıcı, artan yenilebilir enerji kaynaklı üretimin şebekede oluşturduğu gerilim yükselme sorunlarını önlemek için bu kaynakların üretimini ilgili zamanda azaltmayı amaçlayabilir. Elektrik dağıtım sağlayıcının birinci amacı; arz ve talebi her daim dengelemek, bu kararlı yapıyı sürdürmektir. Gerektiğinde fider kapasitesini aşmamak için puant talebi azaltma yoluna gider. Yine, karbon salınımını azaltacak biçimde mümkün mertebe dağıtık üretim kaynaklarından yararlanmak bir elektrik dağıtım işletmesi için çok önemlidir.

Akıllı elektrik dağıtım şebekesinde, tüketicinin talep yapısını üretimle uyumlandırabilmek için talep tarafı yönetimi (TTY) uygulanır. Tüketicinin; güç sistemlerinin, kendi tüketim durumunun ve kullanma biçiminin farkında olmaması nedeniyle elektrik şebekesinin daha az verimli çalışmasına sebebiyet verebilecek durumların önüne geçilmek istenir. Talebin istenilen zamanda hedeflenen şekle farklı yaklaşımlar ile ulaşması amaçlanır. Bu yaklaşımlar; tüm zamanlarda talebin stratejik olarak azaltılması, talebin stratejik olarak büyütülmesi, puant talebin kırpılması, talebin bir zaman diliminden diğer dilimlere kaydırılması, düşük talep zaman dilimlerinin doldurulması veya arzulanan bir talep profilin esnek bir şekilde izlemesi olabilir. Talep yönetimi (TY) ise talep tarafı yönetim içinde müşteri iznine bağlı olarak gelişen bir kavramdır. Talep yönetiminin elektrik şebekesinde arz ve talebi, üretimin sınırlı olduğu yerlerde, zamanlarda dengelemek için kullanılması yeni bir kavram olmamakla birlikte, günümüzde değişen güç sistemleri yapısında kullanımı üzerine çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların yoğun olarak yapıldığı tüketicilerin başında, toplam elektrik tüketiminde sahip olduğu yüksek pay nedeniyle ev elektrik kullanıcıları gelmektedir. Elektrik dağıtım sistemi işleticileri (Distribution System Operator, DSO) özellikle ev enerji yönetim sistemleri (Home Energy Management Systems, HEMS) ile evsel ısıtma, soğutma sistemlerini kapatarak, sıcaklık ayar değerleri ile oynayarak talep yönetiminin etkinliğini bu tüketici grubunda tecrübe etmektedir.

Enerji verimliliği ve ev kullanıcılarının konforu, ev enerji yönetim sistemlerinin performansının değerlendirilmesinde kullanılan en öncelikli iki parametredir. Sağlıklı ve konforlu bir ortam kişilerin iyiliği ve üretkenliği için çok önemlidir. Kişilerin binalarda yaşam kalitesini belirleyen üç temel faktör; ısıl konfor, görsel konfor ve iç

hava kalitesi olarak ifade edilir. Bu üç faktör de iklimlendirme sistemi ve aydınlatma sistemi tarafından ve diğer yardımcı elemanlarla (pencere açma, perdelik vs.) sağlanmaktadır. Evlerde elektrik enerjisi tüketimi, kullanıcılarının faaliyetlerine bağlı olarak değiştiği için kişilerin varlığının bilinmesi, algılanması çok önemlidir. Birey durumu dikkate alınmadan yapılan bir talep yönetiminde elektrik tüketiminin azaltılması genellikle konforun da olumsuz yönde etkilenmesini doğurmaktadır. Tüketicinin memnuniyeti için ev enerji yönetim sistemleri aracılığıyla gerçekleşecek talep yönetiminde; tüketici tercihlerine göre gerekli elektriksel yük çalışma koşullarını oluşturabilen, katılımcı geri beslemeleri ve tepkilerine uygun yanıt veren bir yapı gerekmektedir.

Kişilerin yaşam şekilleri, davranış biçimleri talep yönetiminde çok önemlidir çünkü aslında talep yönetimi; tüketim davranışlarını değiştirmek, geliştirmek için tasarlanmıştır. Talep yönetimi; talep toplayıcının (aggregator) yükü azalt, çoğalt, beklet gibi emrine müşterilerin davranış değişimleri ile cevap verebilme yeteneğinden söz etmektir. Dolayısıyla elektrik sağlayıcılar, iletim ve dağıtım sistemi yük tevzi birimleri, bağımsız sistem işletmecileri, talep yönetimi sağlayıcılar, talep yönetiminin başarısından etkilenirler.

Günümüzde akıllı dağıtım sistemleri uygulamaları ile beraber, pek çok tüketici gerçek elektrik tüketim miktarı ve maliyetinin zamanla değişimini izleyebilmektedir. Tüketim esnasında geçerli elektrik birim fiyatlarının bilinmesi, müşterilerin tüketim faturalarını azaltacak önlemleri uygulama istekliliğini artırmaktadır. Talep yönetimi ile artan elektrik fiyatlarının yükselmesine neden olabilecek puant yüklenme durumlarının azaltılması, kirletici gaz emisyonlarının düşürülmesi ve şebekenin daha ekonomik işletilmesi gibi kazanımlar elde edilebilir. Talep yönetiminde, tüketicinin kendi tüketim durumunun ve kullanma biçiminin farkında olması güç sistemlerinde verimlikte artışa yol açabilir.

Ev tüketicilerine yönelik yapılan talep yönetiminde üç temel unsur söz konusudur. Bunlar: tüketicinin farkındalığı, tüketicinin katılımı ve talep esnekliğidir. Birincisi; güç sistemlerinde tüketicinin kendi pozisyonunu nasıl anladığı, tüketim maliyetlerini nasıl düşürebileceği, verimliliği nasıl artırabileceği ve enerji piyasalarının çerçevesinin neler içerdiği ile ilgilidir. İkinci terim; talep yönetimi sağlayıcıların güç sisteminin yönetimi ve işletmesinde enerji pazarında tüketicilerin olduğu, enerjiyi verimli kullanma hususuna ilişkin geliştirilmesi gereken yeni yaklaşımları içermektedir.

Üçüncü terim ise önceki iki terime zemin hazırlamakta, elektrik güç sisteminin işletmesinde tüketim tarafının ayarlanabilme yeteneğini belirtmektedir.

Talep yönetiminde talep esnekliği, yönetilebilir yükler ile sağlanır. Tüketici yüklerinin talep yönetimine uygunlukları, bunların karakteristik özellikleri bakımından gruplanması ve akıllı özelliklere sahip yönetilebilir yüklerin potansiyelinin bilinmesi çok büyük önem arz eder. Yönetilebilir elektrik yük potansiyeli bulunurken evsel cihazların tüketimlerinin birbiriyle ve çevreyle olan bağlılıkların da dikkate alınması gerekir. Cihazlar ve kullanım durumlarına ait esneklik sınırlarının iyi belirlenmesi halinde konforu en iyileyen başarılı bir talep yönetimi gerçekleştirilebilir. Çünkü tüketiciler; kullandığı cihazların konforlarını sağlamaları, güvenlik kaygılarını gidermeleri, cihazların arıza ve durum bilgisinin erişilebilir biçimde kendileri ile paylaşılabilir olması halinde talep yönetiminde yer alabilir. ABD'de 2012 yılı başlarında 49 elektrik sağlayıcı tarafından kurulmuş, 25 eyalette çalışan, 24 doğrudan yük kontrol program (Direct Load Control, DLC) şeklinde yürütülen talep yönetimi çalışmasında, tüketicilerin talep yönetimi programında cayma hakkını kullanmalarındaki birincil neden konforsuzluk olarak ifade edilmiştir. Diğer nedenler; sağlık kaygıları, çok sık devreye girip çıkma, yetersiz teşvikler olarak belirtilmiştir. Yine talep yönetimini uygulayan pek çok şirketin müşterilerin konforunu ölçmeye yönelik bir çalışma içinde olmadıkları, bu konulara dikkat çeken çok az talep toplayıcı olduğu mevcut olanların ise bu işleri kısmi olarak yaptıkları görülmektedir [1].

Tez çalışmasının konusu elektrik dağıtım sistemlerinde birey odaklı konfor öncelikli talep yönetimi için akıllı bir yönetim yönteminin geliştirilmesidir. Elektrik dağıtım sistemlerinde, birey odaklı talep yönetiminde ortaya çıkabilen konforsuzluk problemine farklı yaklaşımlarla yanıt aranmıştır. Literatürde talep yönetiminde yeteri kadar yer verilmeyen birey davranışının elektrik tüketimi ile ilişkisi araştırılmış, analizlerde elde edilen sonuçlara uygun birey davranışı odaklı elektrikli cihaz modelleri gerçekleştirilmiştir. Tüketici davranışlarını içeren kısa ve uzun dönem tüketim profilleri oluşturularak bunların her bir yük, sınıflandırılmış faaliyet, kategorilenmiş yük türleri, farklı zaman dilimi ve tüketim payları için ayrıntılı analizleri yapılmıştır. Talep yönetiminde bireylerin talep yönetim programına katılımında önemli bir teşvik unsuru olan ancak literatürde yeteri kadar yer verilmeyen karbondioksit salınımlarının yönetilebilir potansiyelinin de yine tezde elde edilmesine çalışılmıştır. Birey davranışları ile şekillenen elektrik tüketimi kaynaklı oluşan

karbondioksit salınımının her bir faaliyet, yük, kategorilendirilmiş yük türleri ve zaman dilimleri için toplam karbondioksit salınım payları elde edilmiştir. Ev enerji yönetim sistemleri aracılığıyla gerçekleştirilebilecek konfor tabanlı talep yönetimi için uygulanabilir, yeni konfor ölçme ve değerlendirme yöntemi geliştirilmiştir. Literatürde yaygın kullanılan yük yönetim yöntemlerinin talep yönetimindeki yetersizlikleri yapılan analizlerle gösterilmiş ve konfor temelli yeni yönetim yöntemleri gerçekleştirilmiştir. Yeni konfor temelli yönetim yöntemi ve literatürde yaygın tercih edilen mevcut yönetim yöntemi için konfor ve maliyet değerlendirmeleri yapılmıştır. Tüketicinin konfor ve maliyetini en iyilemek için kural tabanlı iyileme yöntemlerinin yanı sıra, dinamik programlama esaslı en iyilemeler, parçacık sürü algoritması ve genetik algoritmalar ise güneş santrali varlığını da içerecek şekilde farklı amaç en iyilemeleri için kullanılmıştır. Çoklu amaç en iyileme için yine genetik algoritmalarla farklı amaçlar içeren durumlara çözüm aranmıştır. Konfor temelli yönetim için talep yönetimi ve mevcut ev enerji sistemleri yönetim altyapıların bu uygulamalara ne derece yatkın olduğu tespit edilerek yetersizliklerin nasıl giderilebileceğine dair öneriler ortaya konulmuştur.

1.2 Tezin Amacı ve İçeriği

Bu tezin temel amacı, farklı yerleşimlerde (evlerde) tesis edilmiş, küçük güçlü ve çeşitli birincil görevlerini yerine getiren farklı karakteristiklere sahip tüketici cihazlarının, elektrikli arabanın, mevcut olabilecek yenilenebilir üretim kaynaklarının da göz önüne alınarak, birey davranışlarını temel alan, birey konforunu en iyileyen etkin bir yönetim biçimiyle talep yönetimine entegrasyonudur. Konfor temelli yönetim için etkin yaklaşımlar geliştirilmesinin yanısıra, konfor temelli yönetimin şebeke taraflı olumlu ve olumsuz yönlerinin analizi (puant talebin azaltılması, talebin düzgünleştirilmesi), tüketicilerin yönetim uygulamalarına entegrasyonu (birey odaklı yönetim) araştırma kapsamı içerisindedir. Bireylerin yaşları ve konfor beklentileri ile talep yönetimine katılım isteklilikleri değiştiğinden, birey odaklı konfor öncelikli yönetim yöntemi geliştirilmesi çalışmanın özgün nitelikleri arasındadır. Talep yönetimi katılımcıları için önemli bir teşvik unsuru olan karbondioksit salınımlarının yönetilebilir potansiyelinin elde edilmesi ile talep yönetimine katılım için önemli katkı sunmak amaçlanmaktadır. Talep yönetiminde konfor en iyileme için literatürde çok az çalışılmış dinamik önceliklemenin başarılı entegrasyonu sağlanmaktadır. Tezde farklı

yüklerin konfor tanımları ve genel bir konfor değerlendirmesi için özgün bir yöntem sunulmaktadır. Popülasyon temelli en iyileme yöntemleri ile hem katılımcı hem de talep toplayıcı için amaçların en iyilenmesi ile kazanımların analizi yapılmaktadır.

Tez çalışması yedi bölümden oluşturulmuştur. Birinci bölümde; güç sistemlerinde talep yönetimine duyulan gereksinim, tezde çözülmek istenen problem, tezin konusu, araştırılan hususlar (hedefler), tezin önemi, amaç ve içeriğinden söz edilmektedir. İkinci bölüm birey davranışlarının incelenmesi ve modellenmesi ile başlamaktadır. Evde yaygın kullanılan ve evsel talebin şekillenmesinde etkin on altı cihazın incelemesi yapılmaktadır. Tez çalışmasında bu cihazlar için geliştirilen elektrik güç modelleri tanıtılmaktadır. Evsel talep yönetiminde konforu konu alan literatürdeki çalışmalar paylaşılmaktadır. Yönetilebilir cihazlara yapılan müdahaleler ve oluşan konfor değişiklikleri gösterilmektedir. Geniş bir literatür taraması sonrası mevcut talep yönetimi programları ve yakın gelecekteki gelişmeler aktarılmaktadır. Üçüncü bölümde geliştirilen birey odaklı konfor öncelikli evsel talep yönetimi tanıtılmaktadır. Evsel elektrik talebinin elde edilmesi için yeni bir yöntem sunulmaktadır. Faaliyetlerin evlere atanması, cihazların evlere dağıtılması ve faaliyetlerle eşleştirilmesi sağlanmaktadır. Cihaz çalışma sürelerinin tayini ve faaliyet tabanlı güç modelleri oluşturulmaktadır. Sıcak su kullanım kalıbı üretimine ait geliştirilen yöntem tanıtılmaktadır. Yönetilebilir yüklerin kapasitesinin elde edilmesi ayrıntılı olarak sunulmaktadır. Dördüncü bölümde evsel talep yönetiminde talep yönetim programına katılımda önemli bir motivasyon unsuru olan karbondioksit salınımlarının azaltılması ele alınmaktadır. Yönetilebilir evsel karbondioksit salınımın elde edilmesi için önerilen yöntem anlatılmaktadır. Beşinci bölümde evsel talep yönetiminde konfor en iyileyen öncelik temelli yeni bir yönetim yöntemi sunulmaktadır. Kullanıcı odaklı konfor temelli enerji yönetim problemi tanımı, öncelik temelli yönetimler ve geliştirilen dinamik programlama algoritmaları tanıtılmaktadır. Öncelik temelli yönetimde konfor ölçme, izleme ve değerlendirme için önerilen yöntemler paylaşılmaktadır. Önerilen yönetim yönteminin değerlendirilmesi ve kazanımlar aktarılmaktadır. Altıncı bölüm farklı sistem yapı ve durumlarında hem tüketici hem de talep toplayıcıların farklı amaçları ile ilgili en iyileme çalışmaları sunulmaktadır. Tek amaçlı ve çoklu amaçlı popülasyon temelli en iyileme yöntemlerine yer verilmektedir. Farklı fiyat tarifelerinin yönetimde başarısı araştırılmaktadır. GMT+3 saat diliminde yapılan çalışmanın son bölümde ise tez çalışmasının sonuçları değerlendirilmiştir.

2. BİREY DAVRANIŞLARININ VE ELEKTRİKLİ EV ALETLERİNİN İNCELENMESİ, MODELLENMESİ VE LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Birey Davranışlarının İncelenmesi ve Modellenmesi

Geleneksel evsel elektrik yük modellerinde birey davranışına yer verilmemesi nedeniyle talep yönetimi olaylarında gerçekleşmesi beklenen esnek talebin gerçek büyüklüğü elde edilememektedir. Bu durum talebin yönetilebilir kısmı için tatminkar teşvikler ile katılımın sağlanamaması veya mevcut katılımların korunması konusunda paydaşlar (talep toplayıcı ve katılımcı) arasında soruna yol açabilmektedir. Tüketicinin tüketim yapısından davranışlarını tanımlayıp modelleme yapmak için literatürde yaygın olarak kullanılan iki yöntem bulunmaktadır [2-3]. Bunlardan birincisi tüm cihazların akıllı sayaçlarla haberleşebildiği, sensörlerin, kameraların bulunduğu ve bu yolla istenilen verilerin elde edildiği yöntemdir. Uygulamanın evlerde yaygın bir biçimde gerçekleştirilmesi; teknik, ekonomik ve özel yaşam gizliliği gibi sebeplerden dolayı oldukça güçtür [4]. İkinci yöntem toplanan tüketim verilerinden bilinen tüketim yapılarının çıkartılarak elde edilmesi üzerinedir. Bu yönteme cihaza müdahalesiz yük izleme (nonintrusive appliance load monitoring) denilir. İkinci yöntemin yaygın uygulanabilirliği için de ilk yöntem ile benzer güçlükler bulunmaktadır.

Zhang ve arkadaşları [5] binalarda enerji tüketimini belirleyen dört faktörü; enerji yönetim politikaları, regülasyonları, binalarda kurulu enerji yönetim cihazları (sayaçlar, izleme cihazları ve aç, kapat anahtarlar), elektrikli cihazlarının tip ve sayıları ile tüketici davranışı olarak belirtmektedir. Yu ve arkadaşları [6] yine binalarda enerji tüketiminin özellikle kullanıcı faaliyet ve davranışları ile şekillendiğini vurgulamaktadır. Evlerde elektrik talebi sahip olunan cihazlar, bu cihazların güçleri ve kullanım sürelerine bağlı olarak değişkenlik gösterir [7]. Cihaz kullanım sürelerinin elde edilmesi çözülmesi gereken en önemli sorundur. Literatürde evde kişi varlığına dayalı olarak cihazların kullanım sürelerinin elde edilmesi yoluna gidilir. Evde en az bir kişinin bulunması halinde kişi varlığına dayalı bir tüketimden söz edilebilir. Araştırmacılar, evde bulunan kişi davranış ve davranış uyarlamaları ile elektrik tüketimi arasında ilişki kurmaktadır. Hoes ve arkadaşları [8], davranışı evde kişinin

varlığı olarak görmektedir. Kişinin evde olmaması çoğu cihazın kullanılmamasını yani tüketime yönelik davranış oluşmamasını sağlar. Pek çok araştırmacı [9-12] evde bulunan bir elektrik ev tüketicisi için davranışı, konutun enerji tüketimini etkileyen kararları ve eylemleri şeklinde ele almaktadır. Bu bağlamda iklimlendirme sistemlerini açma, kapama, sıcaklık ayarlarını değiştirme, aydınlatma yüklerinin tüketimlerini başlatma, sonlandırma, loşlaştırma (dim etme) yaparak azaltma, pencerelerin açılıp kapanması veya perdelerin aşağı, yukarı hareketi bir davranış olarak kabul görmektedir [9]. Kişinin evde bulunduğu ortamda kıyafetlerini ince, kalın seçmesi, sıcak, soğuk içecek tüketimleri ve insan metabolizmasını değiştiren faaliyetleriyse (örneğin evde spor faaliyeti) bir davranış uyarlaması olarak ifade edilmektedir [10-11]. Evdeki kişi varlığı ile gerçekleşen davranışlar, alışkanlıklar ve fiziksel dış etkenler (belirleyiciler) arası bir ilişki kurulur [12]. Alışkanlıklar, elektrik tüketiminde iklimsel değişimlerden neredeyse hiç etkilenmeyen davranışsal belirleyiciler olarak görülür. Elektrik tüketiminde kişinin saatlik, günlük, haftalık olarak cihazlarını ne sıklıkla kullandığı alışkanlıklarıyla tanımlanır. Fiziksel dış belirleyiciler, birey davranışından daha çok iklimsel ve binanın fiziksel yapısıyla ilgili olan ve elektrik tüketiminde birey davranışına bu az ilişkili haliyle yansıtılan unsurlardır. Birey davranışını, üreten tüketiciler için kendi üretiminden tüketimini sağlamak için tüketicinin yaptığı eylemler olarak gören çalışmalar da [13-14] bulunmaktadır. McMakin ve arkadaşları ise birey davranışını, enerji tasarrufu yapmak için tüketici tarafından gerçekleştirilen eylemler olarak görmektedir [15]. Birey davranışını talep yönetiminde, talebin artışını sağlayan eylemler veya bunu azaltmaya yönelik girişilen faaliyetler olarak tanımlayan yazarlar [16-17], talep yönetiminde fiyat esnekliğine uygun eylemleri bir birey davranışı olarak görmüştür [17].

Birey davranışı ile ilgili literatürdeki çalışmalara bakıldığında, Swan ve Ugursal [18] evlerde enerji tüketimi için kullanılan modelleme yöntemlerini inceleyen bir çalışmasında modelleme yapmanın zorluklarını; evlerin farklı büyüklüklerde, geometrik yapılarda, farklı ısıl malzemelere sahip olması, ev kullanıcı davranışının çok büyük bir değişkenlik içermesi, evlerde veri toplamanın özel yaşam ile ilgili görülebildiği ve maliyeti nedeniyle her bir kullanım için detaylı ölçümlerin yapılamaması olarak sıralamıştır. Kullanılacak modellemeler için giriş bilgileri olarak evin fiziksel büyüklükleri, ev kullanıcı ve cihazlara ait bilgiler, geçmiş tüketim verileri,

iklim durumu ve makroekonomik belirteçler gerekebilmektedir. Temel bilgi toplama yöntemi çoğunlukla saha araştırmaları (anket) olmaktadır.

Elektrik tüketimlerinin modellenmesi çalışmalarında tümevarım veya tümdengelim yöntemleri yaygın olarak kullanılır [15]. Tümdengelim ile yapılan modellerin; değişen arz ve fiyatla, geniş ekonometrik ve teknolojik modelleme yaklaşımları geliştirerek enerji planlamalarında kullanımı vardır. Ekonometrik modellerde fiyat ve gelir temel alınırken teknolojik modellemede cihaz sahiplik oranı gibi tüm ev sektörü pazarına ilişkin veriler baz alınır. Tümevarım modellemede ise giriş verileri genel olarak; eve ait geometri, yalıtım, kullanılan cihaz ve aletler, iklimsel özellikler, iç sıcaklık, kişilerin evde bulunma ve cihaz kullanma zamanlamaları tercih edilir. Tümevarım yöntemi ile modelleme yapılması mühendislik uygulamalarında daha çok tercih edilir [16]. Tümevarım modelleme; istatistiksel ve mühendislik temelli olarak ikiye ayrılabilir [19]. İstatistiksel modellemede, geçmiş veriler üzerinde bir dizi doğrusal bağlılık çıkartılarak (lojistik regresyon) enerji kullanımına ait yapı oluşturulmaktadır. Öne çıkan parametrelere göre regresyon tekniği, şartlı talep analizi (conditional demand analysis) ve doğrusal olmayan ilişkilere yönelik yapay sinir ağları tercih edilir. Regresyon tekniğinde; enerji fiyatı, demografik yapı, hava durumu ve cihazların parametre olarak seçimi yaygındır. Şartlı talep analizinde tüketim fatura verilerinden ve tüketici anketlerinden veri toplanır. Ev kullanıcı sayısı, elektrik fiyatı, ev geliri, ev yüz ölçümü, ısıtma, soğutma alanı, buzdolabı, sıcak su ve ısıtma, soğutma cihazlarının verilerine yer verilir. Yapay sinir ağları ile modelde her parametre için ağırlık katsayıları elde etmeye çalışılır. Mühendislik yöntemi ile modellemede; enerji seviyelendirmelerine, kullanılan cihazlara, sistem ve ısı transferine ilişkin termodinamik esaslara yer verilir. Bu modellemede; dağılımlar yöntemi, prototipler ve örnekleme teknikleri kullanılır. Dağılımlar yöntemi ile cihaz sahipliliği, cihaz kullanım durumu, kullanım sıklığı, cihaz verimlilikleri her bir son kullanıcı için elde edilir. Prototipler geniş ölçüde evlerin yaşı, büyüklüğü ve türü gibi parametreler için tercih edilir. Örnekleme tekniği ise gerçek evlerden seçilen parametrelerin (ölçüm verilerinin) kullanılması esasına dayanır.

Literatürde rastgele çok sayıda üretilmiş tüketici profillerine ait yük tüketim verilerinden tümevarım yöntemiyle talebin elde edilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır [20-22]. Firth ve arkadaşları tüketim modellerinde evsel cihazları güç profillerine göre sürekli çalışan cihazlar, beklemede (standby mod) tutulabilen

cihazlar, aktif cihazlar ve termostat kontrollü çalışan cihazlar şeklinde bir sınıflandırma yoluna gitmiştir [23]. Sürekli çalışanlar, sabit bir enerji tüketimi olan internet modemi gibi cihazlar bu kategoride yer alır. Bekleme modunda bırakılanlar; kullanım moduna alındığında cihazın çalışması ile gerçek tüketimleri ortaya çıkan, bekleme modunda cihaz çalışmadığı için çok az tüketime sahip, güç anahtarı kapalı durumda ise hiç enerji tüketmeyen veya çalışmayan cihazın bekleme modundaki gibi çok az enerji tüketimi yapması durumudur. Soğuk yükler; buzdolabı, derin dondurucu gibi sürekli çalışan ancak tüketim değerleri kesintili ve süresi değişken termostat kontrollü cihazlardır. Aktif cihazlar; aydınlatma, çay su ısıtıcısı, fırın gibi çalışmasına kullanıcı tarafından karar verilen, bekleme modunda tutulmayan ve gereksinim olmadığında hiç enerji tüketimi olmayan cihazlardır.

Zhang ve arkadaşları, yönetilebilirliğine göre yükleri temel yük ve esnek yük olarak kategorilendirmektedir [5]. Temel yükler, sürekli çalışan yükler ve soğuk yükler olarak tanımlanmıştır. Esnek yükler tanımı ise bekleme modundaki cihazlar ve aktif cihazlar için kullanılmıştır. Gruplanmış bu yüklerin kullanımını gerektiren eylemlerin elde edilmesine gereksinim duyulmuş, bunun içinse araştırmacılar ev içi senaryolar ile çözüm aramıştır [12]. Örneğin üç kişilik bir aile için belirlenmiş beş senaryoya uygun olarak çalışması halinde gerçekleşen tüketimler Yao ve Steemers tarafından [12] sunulmuştur. Ev kullanıcı kalıbını tanımlarken kişi sayısı, kalkış ve yatış saati, evin boş kaldığı zaman dilimlerine yer verilmiştir. Güç hesaplamalarında cihazların elektrik ve sıcak su tüketimleri için ortalama değerlerin kullanılması tercih edilmiştir. Groot ve arkadaşlarına ait bir çalışmada [24], yükleri sınıflandırmak yerine tüketicileri gruplara ayırma tercih edilmiştir. Dört gruba ayrılan tüketiciler için kolaycılar (easing), bilinçliler, maliyete bakanlar ve çevreciler şeklinde tüketici profilleri tanımlanmıştır. Kolaycılar; sadece konforu dikkate alan elektrik kullanımını, maliyetini önemsemeyen ve çevresel kaygıları yüksek olmayan kullanıcılardır. Bilinçli profildekiler; konfora ek olarak maliyet ve çevresel sorunları da önemseyen tüketicilerdir. Maliyetçiler ise en düşük maliyeti hedefleyen kullanıcılardan oluşur. Çevreciler profilindekiler çevresel kaygılarına göre hareket eden tüketicilerdir.

Buraya kadar değinilen modellerin; çok sayıda veri girişine gereksinim duyması, araştırmacı varsayımlarına çokça yer vermesi, oldukça karmaşık ve gerçekçi sonuç üretmek konusunda güçlükler içermesi önemli bir sorundur. Bu durumun farkında olan araştırmacılar [7], [25-29] mümkün olduğunca az veri girişine gereksinim duyan ancak

oldukça gerçekçi sonuç üreten basit bir ev elektrik tüketici modeli yaratmayı amaçladılar. Widén ve Wäckelgård, dokuz yapay faaliyet kalıplarını kullanıldıkları bir çalışmada [7], her faaliyeti elektrik tüketimine dönüştürme yoluna gitmiştir. Aydınlatma yükleri için yapılan modelde gün ışığı seviyesi dikkate alınmıştır. Araştırmacılar, gün içi tanımlı faaliyetler arası değişimi Markov zinciri geçiş olasılıkları ile elde etmeyi amaçladılar. Geçiş olasılıklarını da, mevcut araştırmaların zamana göre ev kullanım verileriyle elde edilmesi yoluna gittiler. Ajan temelli modellemenin yalnızca ısıl konforu sağlamak için yapıldığı Lee ve Malkawi'nin bir çalışmasında [25] ticari kullanıcılara yönelik bir modelleme yapılmıştır. Aydınlatma yükleri için yapılan modelleme çalışmalarında [26-27] yazarlar, hem kullanıcı faaliyetlerini hem de dış ortam gün ışığı seviyesini kullanmışlardır. Bu tür çalışmalarda yine Markov zinciri geçiş olasılıkları ile kullanıcı eylemlerinde değişkenlik sağlanmıştır. Stokes ve arkadaşları, aydınlatma amaçlı yapılan bir başka çalışmada [28], 100 evden toplanılmış verileri kullanmıştır. Çok fazla değişken profillere sahip aile verilerini içeren Bottaccioli ve arkadaşlarına ait çalışmada [29] yazarlar, istatistiksel yöntemlerle yeni kararlı aile profilleri üretme yoluna gittiler. Ailelere ilgili cihazların dağıtımı istatistiki yöntemle sağlanmıştır. Her bir faaliyetinin günün belirli bir döneminde gerçekleşmesine yönelik olasılıklar hesaplanmış bu şekilde faaliyetler gerçekleştirilmiştir.

Literatürde faaliyet kalıpları ve daha az girişle gerçekçi çıkış üretmek üzere yapılan yukarıda örnekleri verilen yük modelleme çalışmalarında iyileştirilmesi, geliştirilmesi gereken hususlar bulunmaktadır. Gerçek anlık yük güçleri yerine Widén ve Wäckelgård çalışmalarını [7], ortalama tüketim değerleri ile gerçekleştirmiştir. Oysa bu puant talebin gerçek durumunu yansıtmayabilir. Talebin şekillenmesinde önemli etkisi olan yüksek güçlü cihazlar modelde yer almamıştır. Oldukça sınırlı sayıda faaliyet kullanılmıştır. Groot ve arkadaşlarının çalışması [25] ise gerçekçi sonuç üretebilmek için iyi bir öğrenme yapısının da oluşturulmasına gereksinim duyar. Faaliyetler arası geçişlerin Markov zinciri ile yapıldığı çalışmalarda [26-28] en belirleyici faktörün geçiş olasılıkları olması gerçekçi tüketim elde edilmesini güçleştirebilir. Bottaccioli ve arkadaşlarının çalışmasında [29] bunlara ek olarak ev tüketiminde etkin ve önemli paya sahip bazı cihazlara modellerde yer verilmemiştir. Geçiş olasılıklarının değişiminin yine bir dakikadan uzun süreli yapılması gerçek tüketim profillerinden uzaklaşılmasına neden olabilir.

2.2 Ev Aletlerinin İncelenmesi ve Elektriksel Güç Talebi Bakımından Modellenmesi

Evsel tüketicilerle etkili bir talep yönetimi yapılması, diğer tüketicilere göre sahip olunan tüketim kalıplarının çok daha karmaşık ve neredeyse rastgele oluşması nedeniyle zor olmaktadır. Evsel talep modelleme çalışmalarının oldukça ihtiyatlı yapılması gerekir [18]. Evlerde talep yönetimi programı, evler için yapılmış yük yönetim uygulamaları [30] veya yük ertelemesi gerçekleştirecek ev enerji yönetim sistemleri ile gerçekleştirilir [31].

Talep yönetiminde yer alan evsel bazı elektrikli cihazlar (yükler) akıllı özelliklere sahiptir. Yüklerin çalışmasını erteleyebilmek ve çalışmasına müdahale (kesinti) edilebilmek akıllı özellik ile ilişkilendirilir. Yükler bu manada ertelenebilir ve ertelenemez yükler olarak iki başlıkta toplanır. Ertelenebilir yükler; ev enerji yönetim sisteminden erteleme isteği geldiğinde, çalışma zamanını başka bir zaman aralığına ertelemeye muktedir akıllı yapıdadır [32]. Ertelenebilir yükler yine kendi arasında bekletilebilir olma (kesinti yapılabilir) özelliğine göre değerlendirilir. Örneğin elektrikli araba hem ertelenebilir hem de şarj işlemi kesintiye uğratılabildiği için bekletilebilir bir yük niteliğine sahiptir. Bazı cihazlarda kesinti gerçekleştirilemez veya uzun süreli yapılması halinde kullanıcı memnuniyetsizliğine (konforsuz kullanıma) yol açar. Ertelenemez yükler tüketimin azaltılması durumuna uygunluğuna göre ele alınır. Tüketimin kısılması, enerji yönetim sisteminden istek geldiğinde yapılan işi azaltmaktadır. Örneğin TV izleme süresi azaltılabilir ancak ertelenemez ve kesintiye uğratılamaz bir eylemdir. Veri toplama çalışmaları İTÜ Elektrik Dağıtım Otomasyonu Laboratuarı ve meskenlerde farklı evsel cihazlar için gerçekleştirilmiş olup, ölçümler Fluke 435 ve CA8332b enerji analizörü ile bilgisayar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bölüm 2.2'nin alt bölümlerinde evlerde elektrik talebinin şekillendirilmesinde etkin olan cihazlar için enerji analizörüyle dakikalık ve saniyelik ölçüm sıklıklarıyla alınan verilere dayalı incelemelere ve gerçekleştirilen modellemele çalışmalarına yer verilmiştir.

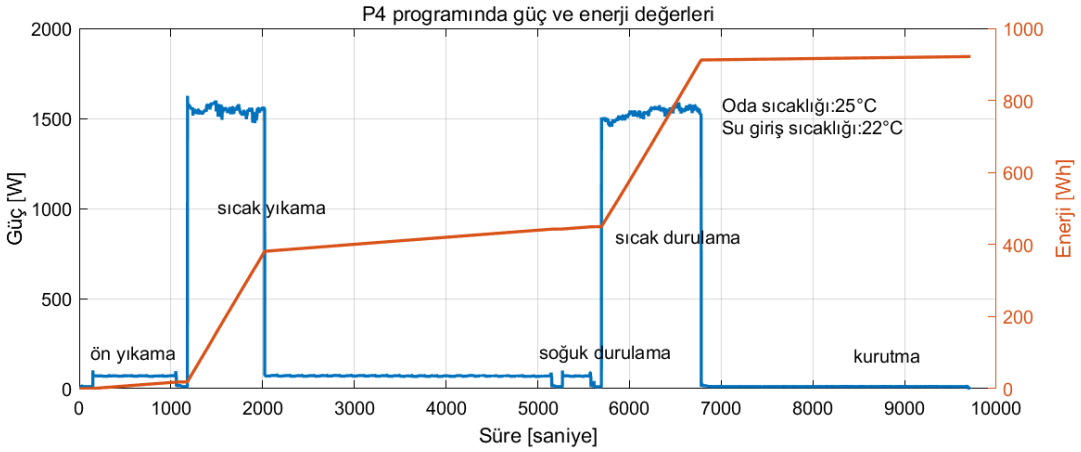
2.2.1 Bulaşık makinesi

Bulaşık makinesi; ön panel, yıkama, kapı ve kazan grubu olmak üzere dört bölüme ayrılarak incelenir [33]. Ön panel grubu, gösterge kartı ve ana kart ile gösterge, program seçim düğmeleri ve tutamaktan oluşmaktadır. Yıkama programlarının

kaydedildiği ana kart üzerinde yer alan giriş çıkışlarla; yıkama boyunca devir daim (sirkülasyon) pompası, ısıtıcı, tahliye pompası, deterjan kutusu ve parlatıcı kutusu gibi parçaların çalışması kontrol edilir. Yıkama grubu; yıkanacak bulaşıkların yerleştirildiği alt ve üst parçaları, çatal, kaşık sepeti, pervaneler ve filtreleri içeren yıkamanın gerçekleştiği bölümdür. Sepete bağlı olan üst pervane ve kazan alt bölgesine bağlı olan pervane üzerinde bulunan delikler ve yerleşimleri, yıkama performansının artırılmasına yönelik olarak tasarlanmıştır. Yıkama haznesindeki filtre grubu ise bulaşık kirlerinin, yıkama adımı boyunca devir daim edilen yıkama suyundan ayrılmasını sağlar. Kapı grubu; tekmelik adı verilen kapı koruma bloğu, ses yalıtımı, kapı sacları, keçe, menteşe ve kapı iç sacına tutturulan deterjan kutusundan oluşmaktadır [33]. Kapı iç sac ile suyun temasından kaynaklanan sesin azaltılmasında özellikle bitüm etkili olurken kapı keçesinin de ses azaltılmasında rol oynadığı bilinmektedir. Kapı iç sacındaki deterjan kutusu ise yıkamanın belirli bir adımında ana kart tarafından otomatik olarak açılmakta ve deterjanın yıkama suyuna karışması sağlanmaktadır. Kazan grubuysa kazan ve kazana tutturulan parçalardan oluşmaktadır. Kazan, kazan etrafındaki ses yalıtımı, keçe, su haznesi, ana yıkama ve atık su pompaları, su yumuşatma ünitesi, su haznesi, dış saclar ve tahta malzemeden üretilen üst tabla bu grupta yer almaktadır. Ses yalıtımı amacıyla bütün kazanın yüzeyine kaplanmış olan bitüm aynı zamanda darbe sönümleme özelliği de sağlamaktadır. Kazan grubunun bir diğer parçası olan su cebi ise yıkama suyunun şebekeden sisteme girişi sırasında basıncın düşürülmesine, yıkama ve kurutma sırasında kazanın içinde oluşan buharın tahliyesinde ve reçinenin yenilenmesi için kullanılacak suyun depolanmasında görev almaktadır. Kazan grubunun bir diğer parçası olan su yumuşatma ünitesi ise sertlik iyonlarının yıkama suyundan uzaklaştırılmasını sağlamaktadır [33].

Bu doktora tez çalışmasında pek çok yıkama programı için veri toplanmıştır. Bulaşık makinesinin çalışması -seçili P4 yıkama programı üzerinden- açıklanacak olunursa; cihaz her yıkama programının başlatılmasını müteakip haznesinde önceki yıkamalardan kalmış olabilecek suyu tahliye pompası aracılığıyla 15 saniye süresince emniyet amaçlı boşaltmaktadır. Cihaz, üst pervane üzerinde bulunan ve jet diye adlandırılan deliklerden 112 saniye süresince su alır. Sonrasında soğuk yıkama (ön yıkama) başlatılır. Soğuk yıkama kirlerin yumuşatılması ve tabak üzerindeki kirin ani sıcaklığa maruz kalarak tabak üzerinde pişmesinin engellenmesi maksadıyla

şebekeden gelen soğuk suyla yapılır. Bu adımda, makine haznesine alınmış olan su, pompa aracılığıyla üst pervanenin deliklerden yüksek basınçla püskürtülür. Yıkamada; her zaman sadece bir pervaneden olacak şekilde, üst ve alt pervanelerden ardışık su püskürtme işi devam eder. Üst pervaneden yapılan su püskürtme süresinin alt pervaneden yapılanlara göre biraz daha uzun olduğu görülmüştür. Soğuk yıkama süresi 911 saniye olarak kaydedilmiştir. Makine, 57 saniyelik su boşaltma işlemi ile soğuk yıkama adımını sonlandırır. İlgilenilen bulaşık makinesinin soğuk yıkama adımı 1080 saniye sürmüştür. 63 saniye süre ile makine haznesine su alınması sonrası sıcak yıkama adımına geçilir. 843 saniye süresince hem su 50 °C oluncaya kadar ısıtıcı devreye alınarak ısıtılır hem de pompa aracılığıyla yine sadece üst ve alt bir pervaneye ait deliklerden su püskürtülür. Bu aşamada üst ve alt pervanelerden su püskürtmesi ardışık biçimde sürer. Suyun 50 °C olduğu sürenin sonunda ısıtıcı devre dışı kalır. Haznedeki sıcak su 330 saniye süresince kullanılarak sıcak yıkmaya devam edilir. Bunun sonunda 42 saniye süresince su tahliyesi gerçekleşir. Sıcak yıkama adımı tamamlanır. Sıcak yıkama adımı 4078 saniye sürmüştür. Sıcak yıkama adımında suyunun tahliyesini takiben 75 saniye süresince soğuk su alınır. 313 saniye süresince pervanelerden püskürtülen basınçlı sularla soğuk durulama yapılır. 40 saniye süresince su tahliyesi gerçekleştirilerek soğuk yıkama adımı bitirilir. Soğuk durulama (yıkama) adımı 428 saniye olarak ölçülmüştür. Soğuk yıkamanın bitirilmesi sonrası 71 saniye süresince soğuk su alınır. 1088 saniye süresince hem su ısıtılır hem de üst ve alt pervanelerden yine ardışık olarak su püskürtülerek sıcak durulama yapılır. Sonrasında ısıtıcı devre dışı bırakılır. 67 saniye süresince su tahliyesi gerçekleşir. Sıcak durulama adımı 1226 saniye sürmüştür. Sıcak durulama işlemlerinde su sıcaklığının 80 °C'nin üzerinde olması önerilir [33]. Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen ölçümlere göre; 2813 saniye süresince fan çalışır. 29 saniyelik su tahliyesi ile yıkama programı bitirilir. Kurutma işlemi 2842 saniye olarak ölçülmüştür. Programın başlangıç ve bitiş süresi 9674 saniye (161 dakika) olarak gerçekleşmiş olup cihaza ait kullama klavuzunda program süresi 155 dakika olarak belirtilmiştir. Şekil 2.1 güç ölçümü yapılan bulaşık makinesine ait yıkama adım ve sürelerini göstermektedir.



Şekil 2.1 : Bulaşık makinesi için alınan ölçüm sonuçları.

Ölçümlerde kullanılan bulaşık makinesindeki su ventilinin 2,5 L/dk ile su alımı gerçekleştirdiği görülmüştür. Toplam su tüketimi 13,3 litre bulunmuştur. Kullanım klavuzunda su tüketim miktarı ilgili yıkama için 13 litre olarak belirtilmiştir. Su giriş sıcaklığının 22 °C olduğu bir ortamda yapılan inceleme çalışması sonucunda soğuk yıkamada 4,6 kg, sıcak yıkamada 2,6 kg, soğuk durulamada 3,1 kg ve sıcak durulamada ise 3 kg su tüketimi olduğu hesaplanmıştır. İlgilenilen bulaşık makinesi için ısıtıcı gücü değeri, $P_{isitici,DW}$ 1546 W bulunmuştur. Sirkülasyon pompası ortalama gücü, $P_{dolasim}$ 70 W, tahliye pompası gücü, $P_{tahliye}$ 15 W, su alma valflerinin gücü, P_{sual} 11 W, fan gücü, $P_{fan,DW}$ 11,5 W olarak görülmüştür. Bekleme gücü, $P_{bekleme,DW}$ 2 W ölçülmüştür. Her bir aşamada gerçekleşen anlık tüketimler, $P_{DW,step}$, ilgili program aşamasındaki aktif olan unsurların güçler toplamına bağlıdır. Tüketilen enerjilere bakıldığında soğuk yıkamada 18,5 Wh, sıcak yıkamada 424,3 Wh, soğuk durulamada 6,5 Wh, sıcak durulamada 463,1 Wh ve kurutma içinse 9,2 Wh harcanmıştır. Bu hesaplamalarda her bir program adımı su alma ile başlar, su tahliyesi ile biter. Hesaplamalara; pompa, kart, selenoid valf tüketimleri de dahildir. Isıtıcının devrede olduğu süre 843 saniyedir.

Bulaşık makinesinde mevcut tüm yıkama programları (P2, P3, P4, P5, P6, P7) için her aşamada (işlemde) geçen süreleri, $T_{aşama,DW}$ Çizelge 2.1'de verilmiştir. Bazı yıkama programlarında (P6 ve P7) işlemlerin ardışıl gerçekleşme sırası farklıdır. Cihaz yük modeline yönelik MATLAB'da gerçekleştirilen algoritmada, cihazın m anındaki gücü LP_{DW}^{m}, cihaz çalışma izni LE_{DW}, seçili yıkama programının bulunulan aşaması D_{DW}, bu aşama süre içerisinde cihazın çalışan unsur güçleri toplamı, P_{DW} olmak üzere denklem (2.1)'de elde edilir. LE_{DW} cihaz çalışma izin biti 1 ise yıkama programı

gerçekleşir ancak bit değeri 0 ise cihaz çalışmaz. Bulaşık makinesi için oluşturulan algoritmada yine her bir m anı için çıkış bilgisi olarak içinde bulunan aşama bilgisi D_{DW}, programda geçirilen süre O_{DW}^{m} elde edilebilir. Yıkama programının blok olarak ertelenebilmesi Bd_{DW} ile belirtilen süre kadar yine sıcak yıkama öncesi kısmi ertelenmesi Pd_{DW} ile verilen süre kadar mümkündür. Blok erteleme izni b_{DW}, kısmi erteleme izni y_{DW} ile belirtilir. İzin istekleri 1 olduğunda erteleme mümkünken 0 olduğunda normal çalışma durumu sağlanır. Yıkama programı süresince güç P_{DW} denklem (2.2)'de verilen her aşamadaki güçlerden oluşur. Yıkama programına özgü aşama süresi $T_{aşama,DW}$, aşamada geçirilen süre $t_{aşama,DW}$ olmak üzere aşama değişimleri (2.3)'de verildiği gibi gerçekleşir.

Çizelge 2.1 : Bulaşık yıkama programlarına göre işlem süreleri [s].

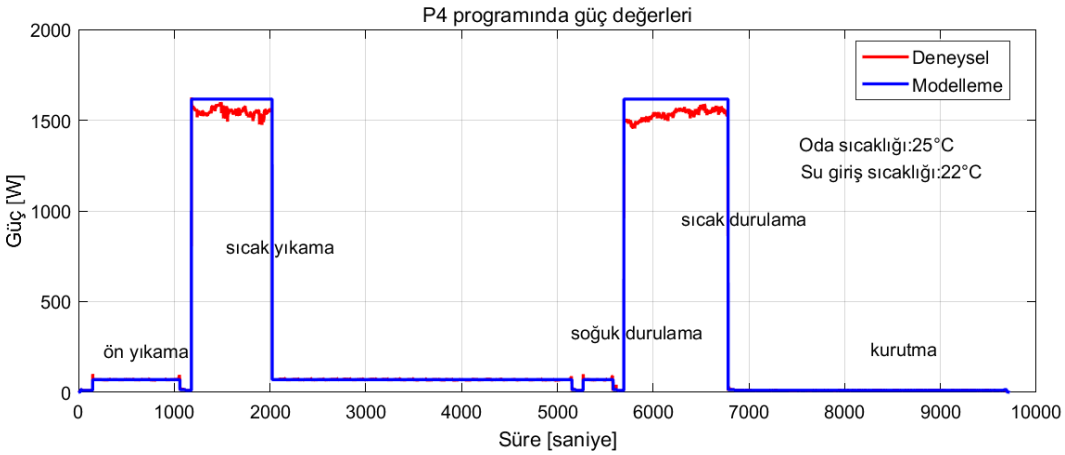
İşlem	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Su tahliye1	30	30	15	45	30	45
Su al1	96	96	112	87	106	86
Soğuk yıkama1	0	611	911	0	0	0
Su tahliye2	0	42	57	0	54	54
Su al2	0	68	63	0	83	78
Su ısıtıcı1	643	571	843	1975	824	411
Sıcak yıkama1	70	310	3130	369	2478	1657
Sıcak yıkama1 devam	0	0	0	0	313	1076
Su tahliye3	42	42	42	42	35	51
Su ısıtıcı2	0	0	0	0	1508	703
Su al3	74	71	75	75	84	63
Soğuk durulama1	190	311	313	131	436	315
Su tahliye4	43	43	40	40	40	40
Su al4	72	72	72	72	72	72
Sıcak yıkama2	894	1193	1088	768	1263	1061
Sıcak yıkama2 devam	0	0	0	0	190	131
Su tahliye5	40	68	67	57	57	50
Bekleme	0	0	0	0	1440	600
Fan	0	1012	2813	300	0	1500
Su tahliye6	0	30	29	30	30	30

Modellenen durum ile gerçek ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 2.2'de verilmiştir.

$$[LP_{DW}^{m}, D_{DW}, O_{DW}^{m}] = f(P_{DW}, D_{DW}, LE_{DW}, Bd_{DW}, Pd_{DW}, b_{DW}, y_{DW}, m) \quad (2.1)$$

$$P_{DW} = \{P_{tahliye}, P_{sual}, P_{dolasim}, P_{isitici,DW}, P_{fan,DW}, P_{bekleme,DW}\} \quad (2.2)$$

$$D_{DW} = \begin{cases} mevcut\ D_{DW} & eğer\ t_{aşama,DW} < T_{aşama,DW} \\ yeni\ D_{DW} & değilse \end{cases} \quad (2.3)$$



Şekil 2.2 : Bulaşık makinesi model ve gerçek ölçüm sonuçları karşılaştırması.

Bulaşık makinesinin kullanım sıklığına yönelik yapılmış çalışmalarda günlük 0,95 yıkama gerçekleştiği belirtilmektedir [12]. Yani makine sahipleri neredeyse her gün bir kez cihazı kullanmaktadır. Yıkama işlemi süresi ve sıcaklıklar yıkama programların türlerine göre değişir [34]. Seçilen yıkama sıcaklığı ortalama 59 °C civarındadır. Kullanıcıların %72'si 50 °C, 55 °C ve 65 °C sıcaklıklarını yıkama için tercih etmektedir [34]. Bulaşık makinesi kullanım alışkanlıkları Çizelge 2.2'de gösterildiği gibi gün içinde sabah, kuşluk, öğleden sonra, akşam ve gece olmak üzere incelenmiştir [34]. Sabah tanımı saat 6 ile 10 arasını, kuşluk vakti 10 ile 14 saatleri arasını, öğleden sonra dilimi saat 14 ile 18 arasını, akşam tanımı saat 18 ile 22 arasını ve gece vakti ile saat 22 ile 24 arası olarak ifade edilmiştir [34]. Kullanım alışkanlıklarında; daimada %100 gerçekleşme, sıklıkla terimiyle %75, nadiren terimiyle %25, bazen terimiyle %20 ve asla terimiyle ise %0 gerçekleşme eşleştirilmiştir. Otomatik erteleme özelliğine sahip cihaz oranı %39 olarak belirtilmektedir. Bu cihazlarla erteleme özelliği kullanıcıların %66'sı tarafından genellikle üç saat olarak tercih edilmekle beraber, bu sürenin yedi saatin üzerinde gerçekleşmesini kabul edebilir bulan %10'luk bir kullanıcı vardır. Genel olarak tüketiciler sekiz saate kadar ertelenebilir süre ve 15 dakikalık bir durdurmayı kabul edebilmektedir [35-36].

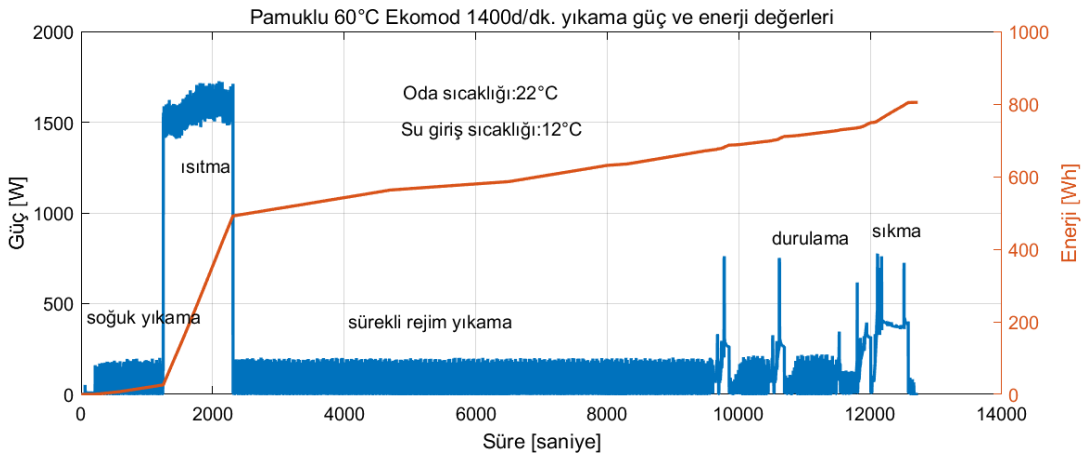
Çizelge 2.2 : Bulaşık makinesinin gün içinde kullanım yüzdesi [34].

Kullanım durumu	Günlük kullanım zaman dilimleri ve yüzdelikler [%]				
	Sabah	Kuşluk	Öğleden sonra	Akşam	Gece
Daima	3	3	3	9	9
Sıklıkla	13	8	17	43	19
Nadiren	33	35	30	15	16
Bazen	26	27	33	23	14
Asla	25	27	17	10	42

2.2.2 Çamaşır makinesi

Çamaşır makinelerinde güç, enerji ve performans değerlendirmesi EN 60456 standardı ile 60 °C pamuklu programı esas alınarak gerçekleştirilir [37]. Bu program tüm çamaşır makinelerinde sırasıyla soğuk yıkama, ısıtma, sürekli rejim yıkama, durulama ve sıkma aşamalarından oluşur. Burada, çamaşır makinesinin çalışması ekonomik mod olarak belirtilen, 60 °C pamuklu yıkama programının, 1400 d/dk için alınan ölçümleri üzerinden anlatılmıştır. Çamaşır yıkama programına daha önceki yıkamadan kalan suyun emniyet amaçlı tahliyesi ile başlanır. Çamaşırın her tarafının yeterince ıslatılması için aralıklı olarak su alınır. Soğuk yıkama adımını mevcut suyun ısıtılması, ısıtılmanın tamamlanması sonrası ise sürekli rejim yıkama adımı izler. Suyun ısıtılması aşamasında da tambur motor aracılığıyla belirli aralıklarla saat yönünde veya tersi yönde hareket yaptırılarak lekelere etki etmesi sağlanır. Sürekli rejim yıkama bir ara sıkma ile tamamlanır. Böylelikle ana yıkama olarak adlandırılan adım bitirilir. Ana yıkama adımının sonrasında birinci durulama ve sıkma işlemleri gerçekleşir. İkinci durulama ve sıkma adımının da tamamlanmasını müteakip üçüncü durulama adımında yumuşatıcı alınarak durulama başlatılır. Sonrasında ana sıkma işlemine geçilir. Programın başlangıcı ve bitişi arasında geçen süre 212 dakika olarak ölçülmüştür. Cihaz kullanma klavuzunda, bu yıkama programının süresi 259 dakika olarak belirtilmiştir. Yıkama programlarında seçilen sıcaklıklar gerçek uygulamada bir miktar altında kalacak biçimde sağlanmaktadır. Örneğin 60 °C seçilen yıkama programında sıcaklık 53 °C - 58 °C arası değerlerde gerçekleştirilir. Sürekli rejim yıkamada su 0,08 °C/dk'lık bir oranla ısı kaybetmektedir [37]. Doktora tez kapsamındaki veri toplama çalışmalarında 60 °C pamuklu programı 1400 d/dk için üç farklı biçimde incelenmiştir. Bunlar: ekomod, ekomod hızlı ve hızlıdır. Ekomod seçimi yapıldığında 259 dakikalık program bitiminde 804 Wh enerji tüketimi olmuştur. Ekomod ve hızlı özelliği birlikte seçildiğinde 155 dakika süren program

bitiminde 1653 Wh enerji harcanmıştır. 123 dakikalık hızlı modda yıkama gerçekleştirildiğinde 1434 Wh enerji tüketimi ölçülmüştür. Program ana yıkama süresi; soğuk yıkama süresi, ısıtıma süresi ve sürekli rejim yıkama süreleri toplamıdır. Pamuklu 60 °C ekomod olarak sunulan yıkama işleminde; soğuk yıkama süresi 1200 saniye, ısıtma 1060 saniye, sürekli rejim yıkama 7550 saniye, durulama 1750 saniye ve sıkma 1070 saniye ölçülmüştür. Sürekli rejim yıkamaya 200 saniyelik ilk sıkmalar da dahildir. Durulama adımındaki ilk sıkmaların süresi 200 saniye ve sonrası yavaş hızda gerçekleşen sıkma 50 saniyedir. İlk durulama 600 saniye, diğer durulama işlemi toplam süresi ise 850 saniye sürmüştür. Şekil 2.3'de çamaşır makinesinin seçili pamuklu 60 °C ekomomod 1400 d/dk programının ilgili yıkama adımları ve bu adımlarda geçen süreler gösterilmektedir.



Şekil 2.3 : Çamaşır makinesi için alınan ölçüm sonuçları.

Isıtmada harcanan enerji ilgili yıkama programı için 465 Wh olarak gerçekleşmiştir. Soğuk yıkama adımında harcan enerjinin 26 Wh olduğu hesaplanmıştır. Sürekli rejim yıkamada 195 Wh, durulamada 44 Wh ve sıkma içinse 74 Wh tüketim gerçekleşmiştir. Yıkama suyu kütelesi 8,79 kg ve soğuk yıkama öncesi su sıcaklığının ise 14,5 °C olduğu bulunmuştur. Isıtıcı gücünün 1580 W olduğu görülmüştür. Motor gücü düşük devirlerde 200 W olarak ölçülmüştür. Tam yükte yüksek hızda 750 W değerine çıkmıştır. A+++ türünde olan cihazın çalışma öncesindeki beklemede gücü 0,5 W'dır. Makinede mevcut farklı yıkama programlarına ait ölçülen işlem süreleri Çizelge 2.3'de verilmiştir. Bazı yıkama programlarında (Sentetik 40 °C ve 30 °C) işlemlerin ardışıl gerçekleşme sırası farklıdır.

Çizelge 2.3 : Çamaşır yıkama programlarına göre işlem süreleri [s].

İşlem	Pamuklu 60°C	Sentetik 40°C	Sentetik 30°C
Soğuk yıkama	1200	900	922
Su ısıt	1060	1200	563
Sürekli rejim	7350	3691	3736
Sıkma tahliye1	200		
Durula ara sıkma1		592	584
Durula1	600		
Sıkma2	250		
Durula2	800	481	512
Sıkma3	50		
Durula3	230	721	544
Ana sıkma tahliye	890		
Ana sıkma1		93	87
Ara sıkma2		71	54
Ana sıkma2		90	87
Ara sıkma3		268	352
Ana sıkma3		215	215

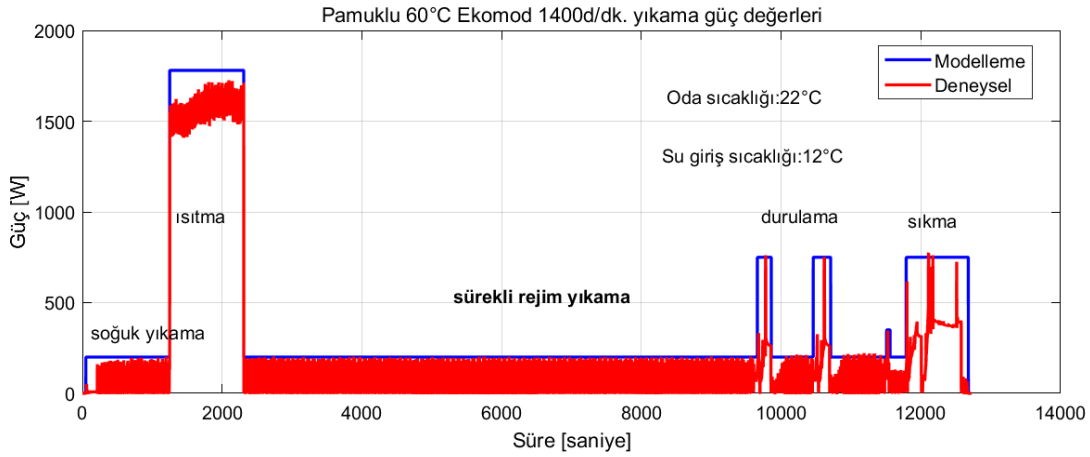
Çamaşır makinesi yük modeline yönelik MATLAB'da gerçekleştirilen algoritmada, cihazın m anındaki gücü LP_{WM}^{m}, cihaz çalışma izni LE_{WM}, seçili yıkama programının ilgili aşaması D_{WM}, bu aşama süre içerisinde cihazın çalışan unsur güçleri toplamı, P_{WM} olmak üzere denklem (2.4)'de elde edilir. LE_{WM} cihaz çalışma izin biti 1 ise yıkama programı gerçekleşir ancak bit değeri 0 ise cihaz çalışmaz. Çamaşır makinesi için oluşturulan algoritmada yine her bir m anı için çıkış bilgisi olarak içinde bulunan aşama bilgisi D_{WM}, programda geçirilen süre O_{WM}^{m} elde edilebilir. Yıkama programının blok olarak ertelenebilmesi Bd_{WM} ile belirtilen süre kadar yine sıcak yıkama öncesi kısmi ertelenmesi Pd_{WM} ile verilen süre kadar mümkündür. Blok erteleme izni b_{DW}, kısmi erteleme izni y_{DW} ile belirtilir. İzin istekleri 1 olduğunda erteleme mümkünken 0 olduğunda normal çalışma durumu sağlanır. Yıkama programı süresince güç P_{WM} denklem (2.5)'de verilen her aşamadaki güçlerden oluşur. $P_{sogukWM}$ soğuk yıkamadaki motor gücüdür. $P_{surekli}$ sürekli yıkamadaki motor gücüdür. $P_{isitici,WM}$ ısıtıcının devrede olduğu zamanki güçtür. $Py_{sıkma}$ çamaşır makinesinin yüksek hızda sıkma yaptığındaki gücünü belirtir. $P_{sıkma}$ düşük devir sıkma gücüdür. P_{durula} durulama esnasındaki cihaz gücünü temsil eder. $P_{bekleme,WM}$ ise cihaz çalışmadan önceki bekleme durumu gücüdür. Yıkama programına özgü aşama süresi $T_{aşama,WM}$, aşamada geçirilen süre $t_{aşama,WM}$ olmak üzere aşama değişimleri (2.6)'da verildiği gibi gerçekleşir.

$$[LP_{WM}^{m}, D_{WM}, O_{MW}^{m}] = f(P_{WM}, D_{MW}, LE_{WM}, Bd_{WM}, Pd_{WM}, b_{WM}, y_{WM}, m) \quad (2.4)$$

$$P_{WM} = \{P_{sogukWM}, P_{surekli}, P_{isitici,WM}, Py_{sıkma}, P_{sıkma}, P_{durula}, P_{bekleme,WM}\} \quad (2.5)$$

$$D_{WM} = \begin{cases} mevcut\ D_{WM} & eğer\ t_{aşama,WM} < T_{aşama,WM} \\ yeni\ D_{WM} & değilse \end{cases} \quad (2.6)$$

Modellenen durum ile gerçek ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2.4 : Çamaşır makinesine ait model ve gerçek ölçümün karşılaştırması.

Haftada ortalama sekiz çamaşır yıkamasının yapılmakta olduğu çalışma [12] yazarlarınca belirtilmektedir. Makine sahipleri her gün ortalama bir kez cihazı kullanmaktadır. Yıkama işlemi süresi ve sıcaklıklar yıkama programların türlerine göre değişir [34]. Seçilen yıkama sıcaklığı ortalama 46 °C civarındadır. Kullanıcıların %77'si 30 °C, 40 °C ve 60 °C sıcaklıkları yıkama için tercih etmektedir [34]. Çamaşır makinesi kullanım alışkanlıkları Çizelge 2.4'de gösterildiği gibi gün içinde sabah, kuşluk, öğleden sonra, akşam ve gece olmak üzere incelenmiştir [34].

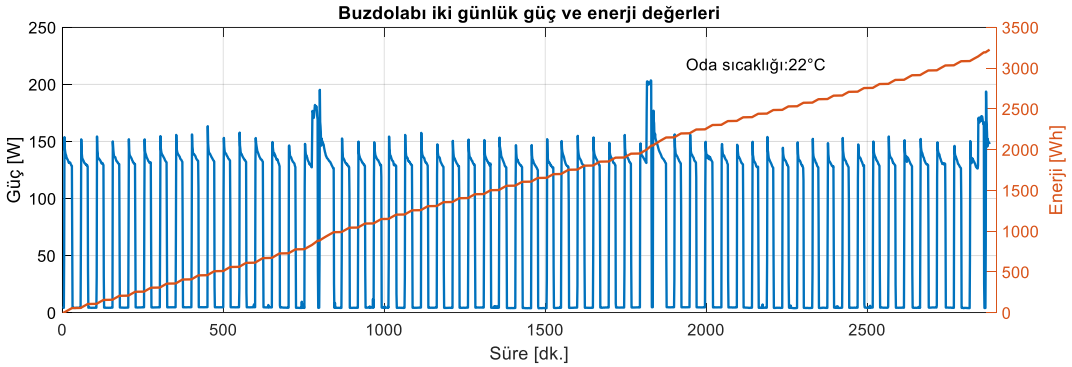
Çizelge 2.4 : Çamaşır makinesinin gün içinde kullanım yüzdesi [34].

Kullanım durumu	Günlük kullanım zaman dilimleri ve yüzdelikler [%]				
	Sabah	Kuşluk	Öğleden sonra	Akşam	Gece
Daima	8	2	3	5	7
Sıklıkla	30	14	26	35	14
Nadiren	21	27	22	20	15
Bazen	26	35	35	25	12
Asla	15	22	14	15	52

Çalışmada sabah tanımı saat 6 ile 10 arasını, kuşluk vakti 10 ile 14 saatleri arasını, öğleden sonra dilimi saat 14 ile 18 arasını, akşam tanımı saat 18 ile 22 arasını ve gece vakti ile saat 22 ile 24 arası ifade edilmiştir [34]. Kullanım alışkanlıklarında daima ile %100 gerçekleşme, sıklıkla terimiyle %75, nadiren terimiyle %25, bazen terimiyle %20 ve asla terimiyle ise %0 gerçekleşme eşleştirilmiştir. Otomatik erteleme özelliğine sahip cihaz oranı %95 olarak belirtilmektedir. Bu cihazlarla erteleme özelliği kullanıcıların %56'sı tarafından genellikle üç saat olarak tercih edilmekle beraber bu sürenin yedi saatin üzerinde gerçekleşmesini kabul edebilir bulan %16'lık bir kullanıcı vardır. Genel olarak tüketiciler sekiz saate kadar ertelenebilir süre ve on beş dakikalık bir durdurmayı kabul edebilmektedir [35-36].

2.2.3 Buzdolabı

Tez çalışmasında, A enerji sınıfına sahip karlanma yapmaz (no frost) soğutucu bölme net hacmi 90 litre, dondurma kapasitesi 5 kg / 24 saat ve yıllık enerji tüketimi 492 kWh olan bir buzdolabında güç ölçümleri dakikalık olarak alınmıştır. Kompresörün ortalama bekleme süresi 26 dakika, devrede olduğu süre 22,5 dakika olarak elde edilmiştir. Dolap her 1035 dakika sonrası karlanmayı çözmek (defrost) için ısıtıcısını çalıştırmaktadır. Isıtıcı ortalama 18 dakika süresince çalışıp 4 dakika beklemekte sonrasında tekrar 5 dakika daha devrede kalmaktadır. Karlanma önleme işlemini ortalama 40 dakikalık bir kompresör çalışması izlemektedir. Ölçüm sonuçları Şekil 2.5'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5 : Buzdolabı için alınan ölçüm sonuçları.

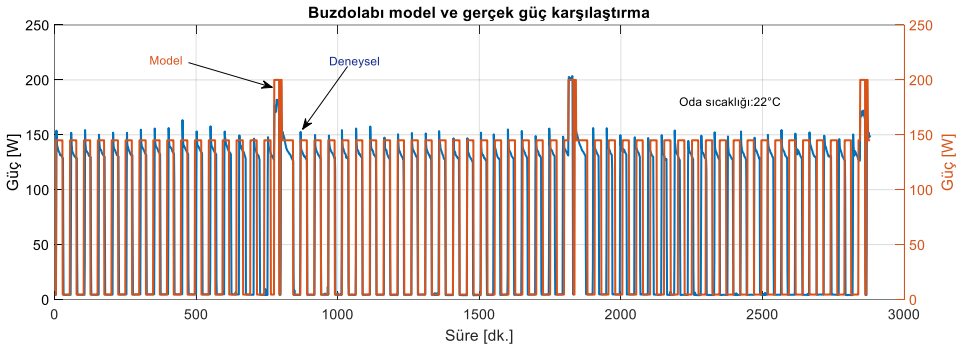
Buzdolabı yük modeline yönelik MATLAB'da gerçekleştirilen algoritmada, cihazın m anındaki gücü LP_{RF}^{m}, cihaz çalışma izni LE_{RF}, seçili programının ilgili aşaması D_{RF}, bu aşama süre içerisinde cihazın çalışan unsur güçleri toplamı, P_{RF} olmak üzere denklem (2.7)'de elde edilir. LE_{RF} cihaz çalışma izin biti 1 ise cihazın programı gerçekleşir ancak bit değeri 0 ise cihaz çalışmaz. Buzdolabı için oluşturulan algoritmada yine her bir m anı için çıkış bilgisi olarak içinde bulunan aşama bilgisi D_{RF}, programda geçirilen süre O_{RF}^{m} elde edilebilir. Buzdolabının çalışması süresince güç P_{RF} denklem (2.8)'de verilen her aşamadaki güçlerden oluşur. İlgilenilen buzdolabında $P_{sogut,RF}$ kompresör gücüdür ve değeri 145 W olarak ölçülmüştür. Karlanmayı çözmek için devreye giren ısıtıcı gücü, $P_{isitici,RF}$ 200 W değerindedir. Buzdolabı bekleme durumundaki gücü, $P_{bekleme,RF}$ ise ölçüm sonucu 4,5 W olarak bulunmuştur. Buzdolabının içinde bulunduğu aşama süre durumu $T_{aşama,RF}$ ve aşamada geçirilen süre $t_{aşama,RF}$ olmak üzere aşama bilgisi D_{RF} (2.9)'da bulunur.

$$[LP_{RF}^{m}, D_{RF}, O_{RF}^{m}] = f(P_{RF}, D_{RF}, LE_{RF}, m) \tag{2.7}$$

$$P_{RF} = \{P_{sogut,RF}, P_{isitici,RF}, P_{bekleme,RF}\} \tag{2.8}$$

$$D_{RF} = \begin{Bmatrix} mevcut\ D_{RF} & eğer\ t_{aşamaRF} < T_{aşamaRF} \\ yeni\ D_{RF} & değilse \end{Bmatrix} \tag{2.9}$$

Modellenen durum ile gerçek ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 2.6'da verilmiştir.

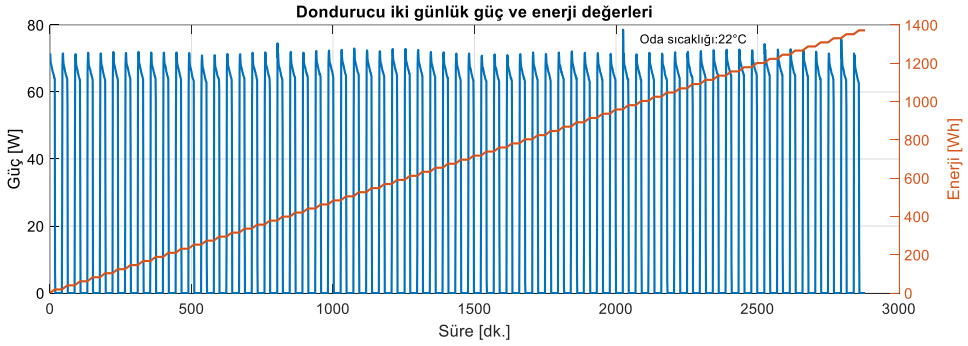


Şekil 2.6 : Buzdolabına ait model ve gerçek ölçümün karşılaştırması.

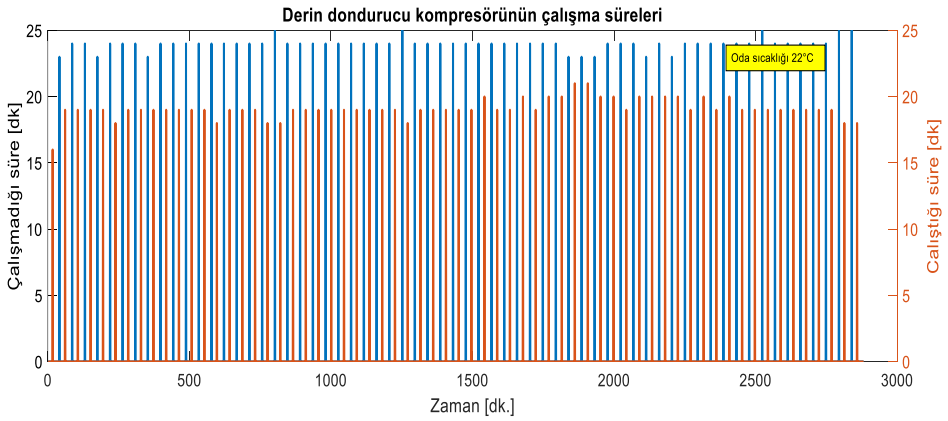
Yaygın kanaatin aksine kullanımda kapı açıp kapamalar dolabın aşama sürelerinde çok büyük farklar oluşturmamaktadır [34]. Bazı araştırmacılar tarafından çalışma aşamalarının bir süre ötelenmesi veya durdurulması uygulanabilir bulunmaktadır [35]. Buzdolabının yaygınlık oranı evlerde %106 yani bazı evlerde birden fazla bulunma durumu söz konusudur [34].

2.2.4 Derin dondurucu

Evlerde buzdolabına ek olarak derin dondurucu da bulunabilmektedir [12, 34]. Bu tez çalışmasında; A+ enerji sınıfına sahip, dondurucu net hacmi 186 L, dondurma kapasitesi 15 kg / 24 saat ve yıllık enerji tüketimi 240 kWh olan dikey bir derin dondurucu için toplanan dakikalık güç ölçümü verileri Şekil 2.7'de görülmektedir. Kompresörün çalışma ve bekleme süreleri ise Şekil 2.8'de sunulmuştur. Yapılan analizlerde kompresörün ortalama çalışma süresi 19 dakika, bekleme süresi ise 24 dakika bulunmuştur. Derin dondurucu, kompresör çalışmasına izin verildiğinde ortalama çalışma süresini tamamlar sonra tekrar bekler. Döngüye kompresör çalışsın beklesin şeklinde ardışıl devam edilir.



Şekil 2.7 : Derin dondurucu için alınan ölçüm sonuçları.



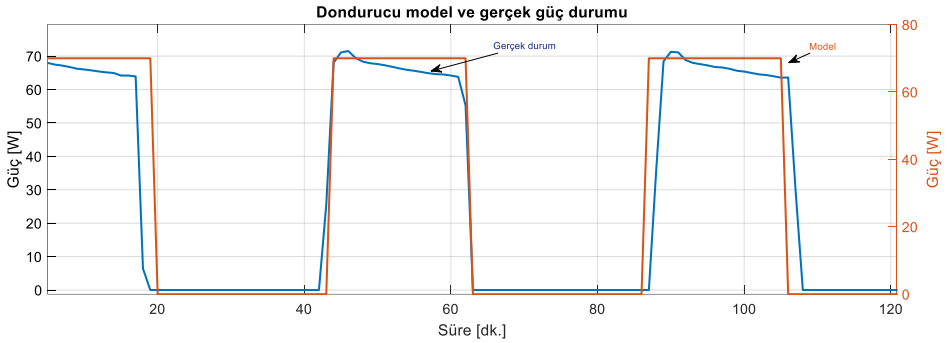
Şekil 2.8 : Derin dondurucunun çalışma ve bekleme süreleri.

Derin dondurucu yük modeline yönelik MATLAB'da gerçekleştirilen algoritmada, cihazın m anındaki gücü LP_{FR}^{m}, cihaz çalışma izni LE_{FR}, seçili programının ilgili aşaması D_{FR}, bu aşama süre içerisinde cihazın çalışan unsur güçleri toplamı, P_{FR} olmak üzere denklem (2.10)'da elde edilir. LE_{FR} cihaz çalışma izin biti 1 ise cihazın programı gerçekleşir ancak bit değeri 0 ise cihaz çalışmaz. Derin dondurucu için oluşturulan algoritmada yine her bir m anı için çıkış bilgisi olarak içinde bulunan aşama bilgisi D_{FR}, programda geçirilen süre O_{FR}^{m} elde edilebilir. Derin dondurucunun çalışması süresince güç P_{FR} denklem (2.11)'de verilen her aşamadaki güçlerden oluşur. İlgilenilen derin dondurucuda $P_{sogut,FR}$ kompresör gücüdür ve değeri 70 W olarak ölçülmüştür. Derin dondurucu bekleme durumunda enerji harcamamakta yani bekleme anı gücü $P_{bekleme,FR}$ sıfırdır. Derin dondurucunun içinde bulunduğu aşama süresi durumu $T_{aşama,FR}$, aşamada geçirilen süre $t_{aşama,FR}$ olmak üzere aşama değişimleri D_{FR} (2.12)'de verildiği gibi gerçekleşir. Modelleme ve gerçek ölçüm sonucu karşılaştırılması Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Derin dondurucuların evlerde yaygınlık oranı %52 olup 15 Avrupa ülkesindeki derin dondurucuların ortalama dondurucu kapasitesi 230 L ve yıllık tüketimleri ise 414 kWh olarak belirtilmektedir [34]. Derin dondurucu kullanımı buzdolabından oldukça farklıdır. Kapısının açılıp içine malzeme konması veya alınması haftada en fazla üç kez olmaktadır. Dolayısıyla buzdolabından daha az kapı aç, kapat işlerinden etkilenir.

$$[LP_{FR}^{m}, D_{FR}, O_{FR}^{m}] = f(P_{FR}, D_{FR}, LE_{FR}, m) \tag{2.10}$$

$$P_{FR} = \{P_{sogut,FR}, P_{bekleme,FR}\} \tag{2.11}$$

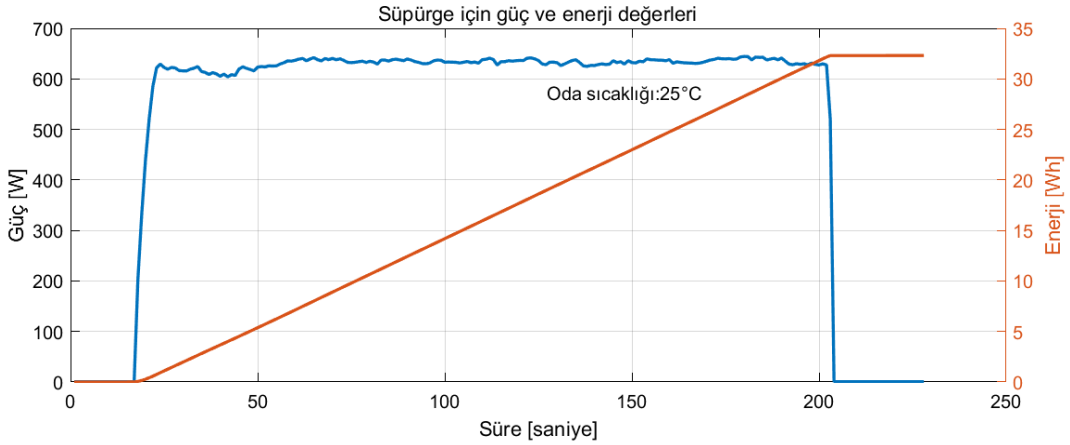
$$D_{FR} = \begin{cases} mevcut\ D_{FR} & eğer\ t_{aşama,FR} < T_{aşama,FR} \\ yeni\ D_{FR} & değilse \end{cases} \quad (2.12)$$



Şekil 2.9 : Derin dondurucu model ve gerçek durumun karşılaştırılması.

2.2.5 Elektrikli süpürge

Çalışmada elektrikli süpürgenin günümüzde tüm evlerde mevcut bir ev aleti olduğu kabul edilmiştir. Süpürge kullanımı ev işi faaliyeti altında gerçekleştirilir. A+++ enerji sınıfına sahip bir elektrikli süpürge için saniyelik olarak alınan güç ölçümleri Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Elektrikli süpürge motor gücü, $P_{motor,VC}$ kullanım esnasında 600 W ölçülmüştür. Kullanıcının çalışma izni vermediği yani güç anahtarı kapalıyken elektrik tüketimi gerçekleşmez, $P_{VC,off}$ değeri sıfırdır.



Şekil 2.10 : Elektrikli süpürge ölçüm sonucu.

Elektrikli süpürge yük modeline yönelik MATLAB'da gerçekleştirilen algoritmada, cihazın m anındaki gücü LP_{VC}^{m}, cihaz çalışma izni LE_{VC}, kullanım süresi içerisindeki cihaz gücü, P_{VC} olmak üzere denklem (2.13) ve (2.14)'de elde edilir. LE_{VC} cihaz çalışma izin biti 1 ise cihazın kullanımı gerçekleşir ancak bit değeri 0 ise cihaz çalışmaz. Elektrikli süpürgenin her bir kullanım süresi O_{VC}^{m} elde edilebilir.

$$[LP_{VC}^{m}, O_{VC}^{m}] = f(P_{VC}, LE_{VC}, m) \quad (2.13)$$

$$P_{VC} = \{P_{motor,VC}, P_{VC,off}\} \quad (2.14)$$

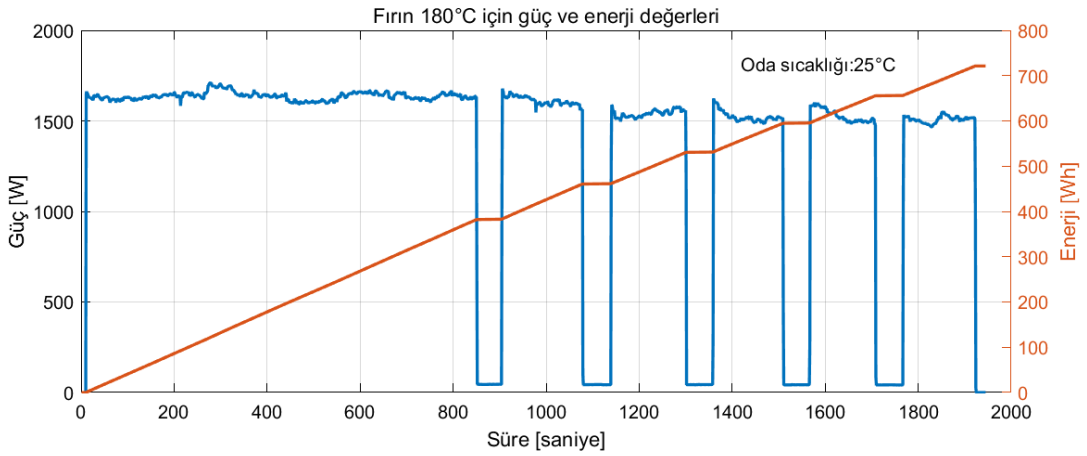
Bu çalışmada elektrikli süpürgenin günlük kullanım olasılığı %50 kabul edilmiştir. Elektrikli süpürge kullanım kalıbı kesikli bir yapıdadır ve ev işi faaliyeti ile ilişkilendirilmiştir. Temizlenecek odalara geçişlerde veya mevcut odada bir çok kez süpürgenin durdurulup tekrar çalışması mümkündür. Elektrikli süpürge kullanım kalıbı için gerçekleştirilen algoritma Çizelge 2.5'de verilmiştir.

Çizelge 2.5 : Elektrikli süpürge kullanım kalıbı oluşturma algoritması.

Adım	İşlem
1	Ev işi süresini bul, elektrik süpürge kullanımı olan ev için aşağıdaki adımları izle, aksi halde tüketim hesaplama.
2	Elektrikli süpürge için rastgele en uzun kullanım süresi ata.
3	Ev işi süresince rastgele toplam kullanım sayısı ata.
4	Süpürgenin kesik kesik çalışacağı toplam süreyi hesapla.
5	Her bir süpürge kullanım süresi en büyük kullanım süresine eşit veya daha az olacak şekilde ev işi faaliyeti içerisinde rastgele bir dağılım kalıbı yarat.
6	Oluşturulan dağılımda süpürge kullanımı olan yerler için süpürge kullanım izni 1 kullanılmayan anlar icin sıfır ata.

2.2.6 Elektrikli fırın

15 Avrupa ülkesini kapsayan araştırmada, elektrikli fırın sahiplik oranı %77 olarak belirtilmektedir. Fırın kullanımının yıllık ortalaması 110'dur [34]. Fırının gün içi sabah saat 6.00-7.00 arası kahvaltı, 10.00 ile 12.30 arası öğle yemeği, akşam 8.00 ile 9.00 arasında akşam yemeği için kullanımının olduğunu belirten araştırmacılar vardır [38]. Ortalama olarak bir elektrikli ocak ve fırın günlük olarak sırasıyla 60 ve 30 dakikalık bir kullanıma sahiptir [12]. Elektrik fırın kullanımı kaynaklı elektrik tüketiminin yıllık ortalaması ise 120 kWh olarak ifade edilmektedir [34]. Isıtıcı gücü $P_{isitici,OV}$ 1600 W, fan gücü $P_{fan,OV}$ 30 W ve lamba gücü $P_{lambaOV}$ ise 15 W olarak belirtilen, 180 °C'ye ayarlı kullanıcı tarafından pişirme süresi bitimine karar verilen, fanlı bir fırında saniyelik alınan güç ölçümü Şekil 2.11'de gösterilmiştir. Ana ısıtma süresi 842 saniye sürmüştür. Termostatın tekrar devreye girmesi için bekleme süresi 57 saniyedir. Ana ısıtma sonrası termostatın ıstıcıyı devrede tuttuğu süre 158 saniye olarak ölçülmüştür.



Şekil 2.11 : Elektrikli fırın ölçüm sonucu.

Ana ısıtma süresince ısıtıcı, fan ve lamba devrededir. Ana ısıtma süresi fırın iç sıcaklığı θ_{OV}, istenen pişirme sıcaklığı $\theta_{OV,set}$ değerine erişinceye kadar sürer. İç sıcaklığın durumuna göre termostat konumu S_{OV} değişir. S_{OV} değeri 1 olduğunda ısıtıcı devrededir ancak 0 olduğunda devre dışıdır. Isıtıcının devreden çıktığı süreler boyunca sadece fan ve lambaya dayalı bir tüketim gerçekleşir. Elektrikli fırın yük modeline yönelik MATLAB'da gerçekleştirilen algoritmada, cihazın m anındaki gücü LP_{OV}^{m}, cihaz çalışma izni LE_{OV}, kullanım süresi içerisindeki cihaz gücü, P_{OV} denklem (2.15), (2.16) ve (2.17)'de elde edilir. LE_{OV} cihaz çalışma izin biti 1 ise cihazın ilgili kullanımı gerçekleşir ancak bit değeri 0 ise cihaz çalışmaz. Elektrikli fırının her bir kullanım süresi O_{OV}^{m} elde edilebilir.

$$[LP_{OV}^{m}, O_{OV}^{m}] = f(P_{OV}, \theta_{OV}, LE_{OV}, S_{OV}, m) \tag{2.15}$$

$$P_{OV} = \{P_{isitici,OV}, P_{fan,OV}, P_{lambaOV}\} \tag{2.16}$$

$$S_{OV} = \begin{cases} 1 & eğer\ \theta_{OV,set} < \theta_{OV} \\ 0 & değilse \end{cases} \tag{2.17}$$

Bu çalışmada kullanılan elektrikli fırının pişirme işlemini sonlandırma, kişi kontrolü ile gerçekleşmektedir. Fırın kullanımı, evlerde yemek faaliyeti ile ilişkili olduğundan yemek faaliyetinin uzunluğu fırın kullanımının süresini etkiler. Çalışmada fırın kullanım süresinin 15 dakika ile 150 dakika arası değişebileceği kabulü yapılmıştır. Cihazın günlük kullanma olasılığı yıllık kullanım sayısının 110 olması göz önüne alınarak elde edilmektedir [34]. Elektrikli fırının evlerde günlük kullanım olasılığı

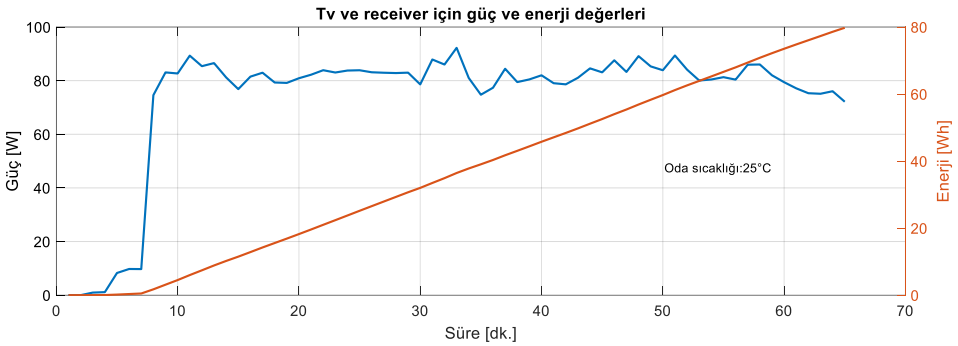
%30 kabul edilmiştir. Elektrikli fırın kullanım kalıbı kişiler için rastgele dağılımla elde edilmektedir. Geliştirilen algoritma Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.6 : Elektrikli fırın kullanım kalıbı oluşturma algoritması.

Adım	İşlem
1	Yemek faaliyeti süresini bul. Fırın kullanımı olan ev için aşağıdaki adımları izle, aksi halde tüketim hesaplama.
2	Elektrikli fırın için rastgele kullanım süresi ata.
3	Yemek faaliyeti süresince toplam kullanım sayısı olarak 1 değerini ata.
4	Kullanım süresine eşit olacak şekilde yemek faaliyeti içerisinde rastgele bir dağılım kalıbı üret.
5	Oluşturulan dağılımda fırın kullanımı olan yerler için fırın kullanım izni 1 kullanılmayan anlar icin sıfır ata.

2.2.7 Televizyon ve uydu alıcısı

Televizyon ve uydu alıcısı her evde bulunan yaygın cihazlardır. Bu cihazlar için dakikalık olarak alınan güç ölçüm sonuçları Şekil 2.12'de gösterilmiştir. Televizyonun bekleme modu gücü $P_{bekleme,TV}$ 1 W, kullanımdaki gücü, $P_{TV,on}$ 75 W, güç anahtarı kapalı halde gücü $P_{TV,off}$ sıfır yani tüketim olmamaktadır. Uydu alıcısı bekleme modu gücü $P_{bekleme,SR}$ 5 W, kullanımdaki gücü, $P_{SR,on}$ 10 W, güç anahtarı kapalı halde gücü $P_{SR,off}$ sıfır yani tüketim olmamaktadır.



Şekil 2.12 : Televizyon ve uydu alıcı için ölçüm sonucu.

Televizyon için ölçüm sonuçlarına göre güç modelleri (2.18) ve (2.19)'de formüle edilebilir. Cihazın m anındaki gücü LP_{TV}^{m}, cihaz çalışma izni LE_{TV}, kullanım süresi içerisindeki cihaz gücü, P_{TV} ile gösterilmiştir. LE_{TV} televizyon bulunan evde cihaz çalışma izin biti 1 ise cihazın kullanımı gerçekleşir ancak bit değeri 0 ise cihaz çalışmaz. S_{TV} ve S_{SR} televizyon ve uydu alıcısı cihazın güç anahtarının durumunu temsil eder. Güç anahtarının açık olması durumunda değeri 1 aksi halde değeri 0 olur.

Uydu alıcısı için alınan ölçüm sonuçlarına göre güç modelleri (2.20) ve (2.21)'de formüle edilebilir. Uydu alıcısının m anındaki gücü LP_{SR}^{m}, cihaz çalışma izni LE_{SR}, kullanım süresi içerisindeki cihaz gücü, P_{SR} ile gösterilmiştir. LE_{SR} uydu alıcısı bulunan evde cihaz çalışma izin biti 1 ise cihazın kullanımı gerçekleşir ancak bit değeri 0 ise cihaz çalışmaz.

$$[LP_{TV}^{m}, O_{TV}^{m}] = f(P_{TV}, LE_{TV}, S_{TV}, m) \tag{2.18}$$

$$P_{TV} = \{P_{TV,on}, P_{TV,off}, P_{bekleme,TV}\} \tag{2.19}$$

$$[LP_{SR}^{m}, O_{SR}^{m}] = f(P_{SR}, LE_{SR}, S_{SR}, m) \tag{2.20}$$

$$P_{SR} = \{P_{SR,on}, P_{SR,off}, P_{bekleme,SR}\} \tag{2.21}$$

Bu çalışmada televizyon ve uydu alıcısının kullanımının evlerde televizyon izleme faaliyeti içerisinde gerçekleştiği düşünülmüştür. Ortalama TV izleme süresi 5,17 saat, olarak ifade edilmektedir [12]. Tez çalışmasında televizyon izleme kalıbı televizyon faaliyeti içerisinde rastgele oluşturuldu. Rastgele seçilen bir izleme süresine uygun dağılımlar faaliyet içerisine dağıtılarak tüketimlerinin elde edilmesi sağlandı. İzlenen algoritma Çizelge 2.7'de verilmiştir.

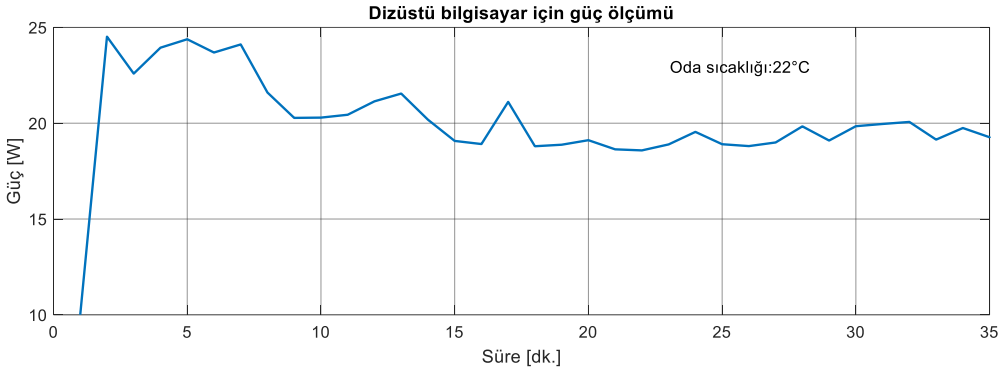
Çizelge 2.7 : TV ve uydu alıcısı kullanım kalıbı oluşturma algoritması.

Adım	İşlem
1	Televizyon faaliyeti süresini bul. TV kullanımı olan ev için aşağıdaki adımları izle, aksi halde tüketim hesaplama.
2	Televizyon için rastgele kullanım süresi ata.
3	Televizyon faaliyeti süresince toplam kullanım sayısı ata.
4	Kullanım süresine eşit olacak şekilde televizyon faaliyeti içerisinde rastgele bir dağılım kalıbı üret.
5	Oluşturulan dağılımda televizyon ve uydu alıcısı kullanımı olan yerler için kullanım izni 1 kullanılmayan anlar icin sıfır ata.
6	Güç anahtarı açık ancak televizyon kullanımı olmayan anlar için bekleme moduna al aksi halde normal mod için tüketimleri hesapla.

2.2.8 Dizüstü bilgisayar

Dizüstü bilgisayar için dakikalık olarak alınan güç ölçümü verileri Şekil 2.13'de gösterilmiştir. Cihazın gücü çalıştırılan uygulamalara göre değişim göstermektedir.

Ölçüm yapılan cihaz ilk açılışta normal kullanıma göre bir miktar fazla tüketim yapmaktadır. Normal kullanım durumunda güç $P_{PC,on}$ 20 W değerindedir. Güç anahtarı kapalı halde güç $P_{PC,off}$ sıfırdır yani tüketim olmamaktadır.



Şekil 2.13 : Dizüstü bilgisayar için ölçüm sonucu.

Bilgisayarın ölçüm sonuçlarına göre güç modelleri (2.22) ve (2.23)'de formüle edilebilir. Cihazın m anındaki gücü LP_{PC}^{m}, cihaz çalışma izni LE_{PC}, kullanım süresi içerisindeki cihaz gücü, P_{PC} ile gösterilmiştir. LE_{PC} bilgisayar bulunan evde cihaz çalışma izin biti 1 ise cihazın kullanımı gerçekleşir ancak bit değeri 0 ise cihaz çalışmaz. S_{PC} cihazın güç anahtarının durumunu temsil eder. Güç anahtarının açık olması durumunda değeri 1 aksi halde değeri 0 olur. O_{PC}^{m} ise m anındaki toplam kullanım süresidir.

$$[LP_{PC}^{m}, O_{PC}^{m}] = f(P_{PC}, LE_{PC}, S_{PC}, m) \tag{2.22}$$

$$P_{PC} = \{P_{PC,on}, P_{PC,off}\} \tag{2.23}$$

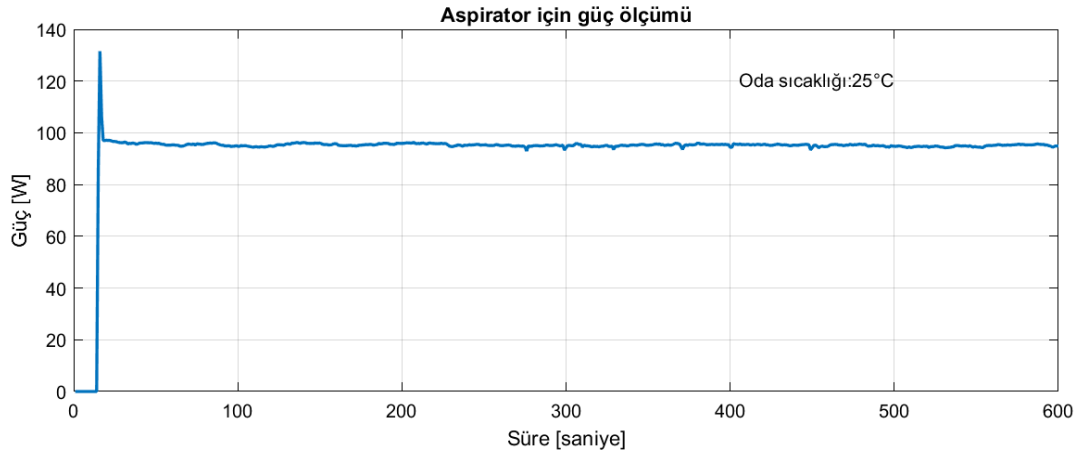
Bu çalışmada bilgisayar kullanımının evlerde internet faaliyeti içerisinde gerçekleştiği düşünülmüştür. Cihaz sahiplik oranı %25 kabul edilmiştir. İnternet faaliyeti en fazla gençlerde gerçekleşmekte ve süresinin ise üç saat olduğu ifade edilmektedir [39]. Tez çalışmasında bilgisayar kullanım kalıbı internet faaliyeti içerisinde rastgele oluşturuldu. Rastgele seçilen bir kullanım süresine uygun dağılımlar faaliyet içerisine dağıtılarak tüketimlerinin elde edilmesi sağlandı. İzlenen algoritma Çizelge 2.8'de verilmiştir.

Çizelge 2.8 : Bilgisayar kullanım kalıbı oluşturma algoritması.

Adım	İşlem
1	İnternet faaliyeti süresini bul. Bilgisayar kullanımı olan ev için aşağıdaki adımları izle, aksi halde tüketim hesaplama.
2	Bilgisayar için rastgele kullanım süresi ata.
3	İnternet faaliyeti süresince toplam kullanım sayısı ata.
4	Kullanım süresine eşit olacak şekilde internet faaliyeti içerisinde rastgele bir dağılım kalıbı üret.
5	Oluşturulan dağılımda bilgisayar kullanımı olan yerler için kullanım izni 1 kullanılmayan anlar icin sıfır ata.
6	Güç anahtarı kapalı anları için tuketimi hesaplama aksi haldeyse normal mod için tüketimleri hesapla.

2.2.9 Aspiratör

Aspiratörler yemek pişirme esnasında oluşan yemek buharını bir fan yardımıyla emip dışarı atan cihazlardır. Cihaz sahiplik oranı bu çalışmada fırın sahiplik oranından bir miktar düşük olacak şekilde %70 seçilmiştir. Aspiratör güç anahtarı ile çalışması başlatılıp sonlandırılır. Aspiratör için saniyelik güç ölçümü sonuçları Şekil 2.14'de görülmektedir. Cihaz çalıştığındaki gücü $P_{KH,on}$ 100 W olup cihazın kapalı halde gücü $P_{KH,off}$ sıfır yani tüketim yoktur.



Şekil 2.14 : Aspiratör için ölçüm sonucu.

Aspiratör için toplanan ölçüm sonuçlarına göre güç modelleri (2.24) ve (2.25)'de formüle edilebilir. Cihazın m anındaki gücü LP_{KH}^{m}, cihaz çalışma izni LE_{KH}, kullanım süresi içerisindeki cihaz gücü, P_{KH} ile gösterilmiştir. LE_{KH} aspiratör bulunan evde cihaz çalışma izin biti 1 ise cihazın kullanımı gerçekleşir ancak bit değeri 0 ise cihaz çalışmaz. S_{KH} cihazın güç anahtarının durumunu temsil eder. Güç anahtarının açık olması durumunda değeri 1 aksi halde değeri 0 olur. O_{KH}^{m} ise m anındaki toplam kullanım süresidir.

$$[LP_{KH}^{m}, O_{KH}^{m}] = f(P_{KH}, LE_{KH}, S_{KH}, m) \quad (2.24)$$

$$P_{KH} = \{P_{KH,on}, P_{KH,off}\} \quad (2.25)$$

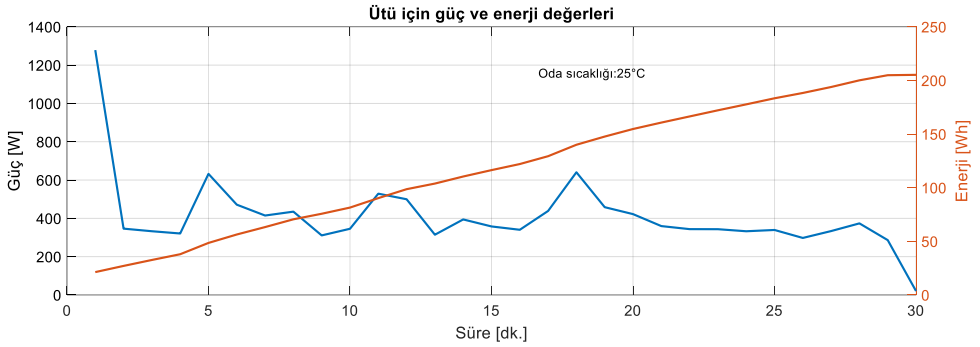
Bu çalışmada aspiratör kullanımının evlerde yemek faaliyeti içerisinde gerçekleştiği düşünülmüştür. Yemek faaliyeti süresinin ortalama iki saatten biraz fazla olduğu ifade edilmektedir [39]. Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2014-2015 yıllarını kapasayan çalışmasındaysa [40] uyku sonrası en fazla zamanın, 2 saat 45 dakikalık ortalama ile yemek için harcandığı vurgulanmaktadır. Tez çalışmasında aspiratör kullanım kalıbı yemek faaliyeti içerisinde rastgele oluşturuldu. Rastgele seçilen bir kullanım süresine uygun dağılımlar faaliyet içerisine dağıtılarak tüketimlerinin elde edilmesi sağlandı. İzlenen algoritma Çizelge 2.9'da verilmiştir.

Çizelge 2.9 : Aspiratör kullanım kalıbı oluşturma algoritması.

Adım	İşlem
1	Yemek faaliyeti süresini bul. Fırın sahibi evlerden aspiratör kullanımı olan ev için aşağıdaki adımları izle, aksi halde tüketim hesaplama.
2	Aspiratör için rastgele kullanım süresi ata.
3	Yemek faaliyeti süresince toplam kullanım sayısı ata.
4	Kullanım süresine eşit olacak şekilde yemek faaliyeti içerisinde rastgele bir dağılım kalıbı üret.
5	Oluşturulan dağılımda aspiratör kullanımı olan yerler için kullanım izni 1 kullanılmayan anlar icin sıfır ata.
6	Güç anahtarı kapalı anlar için tuketimi hesaplama aksi haldeyse normal mod için tüketimleri hesapla.

2.2.10 Ütü

Her evde bir ütünün bulunduğu kabul edilen bu çalışmada, kademesi pamuklu giysiler için ayarlanmış bir ütüden alınan dakikalık güç ölçümü sonuçları Şekil 2.15'te verilmiştir. Ütü ilk çalıştığında gücü, P_{IRon1} iki dakikalık süre boyunca 1200 W güce ulaşır. Tabanın ısınması ile ütü gücü P_{IRon2} 650 W olur. Kullanıcı tarafından ütüleme işinin tamamlanmasına karar verilir. Ütü kullanımı ev işi faaliyeti içinde gerçekleşir.



Şekil 2.15 : Ütü için ölçüm sonucu.

Ütü için toplanan ölçüm sonuçlarına göre güç modelleri (2.26) ve (2.27)'de formüle edilebilir. Cihazın m anındaki gücü LP_{IR}^{m}, cihaz çalışma izni LE_{IR}, kullanım süresi içerisindeki cihaz gücü, P_{IR} ile gösterilmiştir. LE_{IR} aspiratör bulunan evde cihaz çalışma izin biti 1 ise cihazın kullanımı gerçekleşir ancak bit değeri 0 ise cihaz çalışmaz. S_{IR} cihazın güç anahtarının durumunu temsil eder. Cihazın prize takılı olması durumunda S_{IR} değeri 1 aksi halde değeri 0 olur. Güç değeri prize takılı değilken $P_{IR,off}$ sıfırdır. O_{IR}^{m} ise m anındaki toplam kullanım süresidir.

$$[LP_{IR}^{m}, O_{IR}^{m}] = f(P_{IR}, LE_{IR}, S_{IR}, m) \tag{2.26}$$

$$P_{IR} = \{P_{IRon1}, P_{IRon2}, P_{IR,off}\} \tag{2.27}$$

Tez çalışmasında ütü kullanım kalıbı ev işi faaliyeti içerisinde rastgele oluşturuldu. Rastgele seçilen bir kullanım süresine uygun dağılımlar faaliyet içerisine dağıtılarak tüketimlerinin elde edilmesi sağlandı. İzlenen algoritma Çizelge 2.10'da verilmiştir.

Çizelge 2.10 : Ütü kullanım kalıbı oluşturma algoritması.

Adım	İşlem
1	Ev işi faaliyeti süresini bul. Ütü kullanımı olan ev için aşağıdaki adımları izle, aksi halde tüketim hesaplama.
2	Ütü için rastgele kullanım süresi ata.
3	Ev işi faaliyeti süresince toplam kullanım sayısı ata.
4	Kullanım süresine eşit olacak şekilde ev işi faaliyeti içerisinde rastgele bir dağılım kalıbı üret.
5	Oluşturulan dağılımda ütü kullanımı olan yerler için kullanım izni 1 kullanılmayan anlar icin sıfır ata.
6	Ütünün prize takılı anları için tuketimi hesapla aksi haldeyse tüketimleri hesaplama.

2.2.11 Elektrikli su ısıtıcısı

Elektrikli su ısıtıcılar (termosifonlar) talep yönetiminde en çok tercih edilen ev cihazlarıdır. ABD'de ev elektrik tüketimleri içindeki payı %30 civarındadır [41]. İngiltere'de sıcak su üretmek için harcanan enerji, tüm tüketimde %20 yer tutmaktadır [12]. Avrupa'da araştırma yapılan 15 ülkede elektrikli su ısıtıcısının evlerde yaygınlık oranı ortalama %23 olarak ifade edilmektedir [34]. Reaktif bileşen içeren bir yük olmaması anahtarlama ve kontrolünü kolaylaştırmaktadır. 5-30 litre arası kapasiteli olanları yaklaşık 2000 W gücünde olmaktadır. Çıkış su sıcaklığı 95 °C'ye kadar seçilebilmektedir. 400 litre kapasiteye kadar çıkan büyük termosifonlarda ise güç 2000 W ile 6000 W arası olabilmektedir. Çıkış suyu sıcaklığı için en fazla 85 °C seçilebilir [34]. Termosifonun modellenmesinde [42] ile verilen çalışmadan faydalanılmıştır. Termosifon; su ısıtıcı gücü P_{WH}, su tankının hacmi V_{tank}, ısıl direnci R_{tank}, yüzey alanı A_{tank}, giriş suyu sıcaklığı θ_{inlet}, m anı dış ortam sıcaklığı θ_{air}^{m}, su kullanım durumu fr_m, istenilen su sıcaklık ayar değeri θ_{WHS}^{m} ve arzu edilen sıcaklık eşik aralıkları $\Delta\theta_{WH}$ göz önüne alınarak modelleme yoluna gidilmiştir. Su tüketim durumuna göre su tankının sıcaklığı değişmekte, eğer alt eşik değerinin altına inilmişse termosifon istenilen en üst değer sıcaklığa erişinceye kadar çalışmakta, elektrik tüketmektedir. Elektrikli su ısıtıcı için çalışma durumu (2.28)'de formüle edilmektedir. Bu formülde, WS_{WH}^{m} su ısıtıcısının zamanın m anındaki çalışma durumunu göstermektedir. Değerin 0 olması cihazın tüketim yapmadığını, 1 olması cihazın çalıştığını, WS_{WH}^{m-1} olması önceki durumunu muhafaza ettiğini belirtir. θ_{WHS}^{m} , istenilen su sıcaklık değeridir. $\Delta\theta_{WH}$, sıcak su çıkışı için kabül edilebilir termostat toleransını, θ_{outlet}^{m} tanktan çıkan suyun sıcaklığını göstermektedir. Tank su sıcaklığı zaman serileri olarak izlenmektedir. Suyun tank çıkış sıcaklığı (2.29)'da formüle edilmiştir. Su ısıtıcının ısıtma verimine η_{WH} ve çalışma isteklilik durumuna WS_{WH}^{m} göre m anındaki her bir gücü P_{WH}^{m}, (2.30)'da algoritma ilerleme süresi Δm aralıklarıyla hesaplanmaktadır. Su ısıtıcı gücü 4 kW, ısıl verimi 0,85 alınmıştır.

$$WS_{WH}^{m} = \begin{cases} 0 & \theta_{outlet}^{m} > \theta_{WHS}^{m} \\ 1 & \theta_{outlet}^{m} < \theta_{WHS}^{m} - \Delta\theta_{WH} \\ WS_{WH}^{m-1} & \theta_{WHS}^{m} - \Delta\theta_{WH} < \theta_{outlet}^{t} < \theta_{WHS}^{m} \end{cases} \quad (2.28)$$

$$\theta_{outlet}^{m+1} = \frac{\theta_{outlet}^{m}.(V_{tank} - fr_m\,.\Delta m)}{V_{tank}} + \frac{\theta_{inlet}\,.fr_m.\Delta m}{V_{tank}} + \frac{1gal}{8{,}34lb}\left[P_{WH}^{m}.\frac{3412Btu}{kWh} - \frac{A_{tank}.(\theta_{outlet}^{m} - \theta_{air}^{m})}{R_{tank}}\right].\frac{\Delta m}{60\frac{min}{h}}.\frac{1}{V_{tank}} \quad (2.29)$$

$$P_{WH}^{m} = P_{WH}\,.WS_{WH}^{m}\,.\eta_{WH} \quad (2.30)$$

Sıcak su kullanımı; evlerde yüzey temizliği, bulaşık yıkama, banyo ve tuvalet için söz konusu olmaktadır. Bu tez çalışmasında toplam sıcak su kullanım miktarı [12] ve [43] ile verilen yöntemlere göre bulunmuştur. Çalışma [12] evdeki kişi sayısı ile sıcak su ihtiyacı miktarını hesaplama yoluna gitmiştir. Diğer çalışmada [43] ise buna ek olarak ısıtılacak şebeke suyu sıcaklığı, her amaç için tercih edilebilecek sıcaklık değeri ve yatak odası sayısı kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında bulunan toplam sıcak su kapasitesi; sıcak su kullanımı gerçekleşebilecek mutfak, banyo ve tuvalet için lamba kullanım durumlarıyla ilişkilendirilerek rastgele Çizelge 2.11'deki algoritma ile oluşturulmuştur. Banyoda sıcak su ihtiyacı temizlik ve yıkanma amaçlı düşünülmüştür. Mutfakta; temizlik, bulaşık yıkama amaçlı sıcak su kullanımı planlanmıştır. Tuvalette temizlik amaçlı sıcak su kullanımı oluşturulmuştur.

Çizelge 2.11 : Elektrikli su ısıtıcı sıcak su kullanım kalıbı oluşturma algoritması.

Adım	İşlem
1	Kişi sayısını rastgele oluştur ve gerekli su ihtiyacını bul.
2	Şebeke suyu sıcaklığı için geçmiş verilerle tahmin yap.
3	Banyo, tuvalet ve mutfak için su tüketim beklentilerini çıkış su sıcaklık isteklerine uygun hesapla.
4	Banyo, bulaşık ve temizlik için kullanılacak toplam su miktarlarını hesaplanan değerler arasında rastgele seç.
5	Sıcak su kullanımı olacak yerlere ait lamba kullanım süreleri toplamını bul ve toplam su miktarını bu sürede gerçekleşecek şekilde rastgele dağıt.
6	Sıcak su kullanımını elektrikli su ısıtıcıya sahip evlere ata.

2.2.12 Kombi

Kombi, evlerde ısınma ve sıcak su temini amaçlı kullanılan cihazlardır. İstenilen sıcaklığa kadar suyun ısıtılması doğal gaz ile gerçekleşir. Su sıcaklığı istenilen değerin üzerinde ise gaz tüketimi dolayısıyla su ısıtma işlemi durdurulur. Doğalgaz ile ısıtılan

su, bir pompa aracılığıyla radyatörlere (kalorifer peteklerine) devir daimli olarak ulaştırılır. Evlerde yaygın olarak 22PKKP600 radyatörler kullanılır [44]. Bu radyatörlerin her bir metresinde yaklaşık 5,8 litre su bulunur. Bir dairede ortalama 6 m toplam uzunluğuna sahip radyatör kullanılır. Radyatör ve kombi arası tesisatta 20 mm ve 25 mm çaplı boru tercih edilir. 20 mm çaplı boruların bir metresinde 0,137 litre su bulunurken 25 mm boru için bu değer 0,216 litredir. Tez çalışmasında her daire için 40 metre 25 mm çaplı ve 20 metre 20 mm çaplı boru tesisatı göz önüne alınmıştır [45]. Evler için ısıl kayıp hesaplaması dikkate alınmıştır. Isıl kayıp hesaplaması her ev için dış sıcaklık ve evin her bölümünde istenilen sıcaklıklara göre ayrı hesaplanmaktadır [46]. Bu hesaplamalarda; dış duvar, iç duvar, pencere sayısı, evin bulunduğu yön, binadaki yeri dikkate alınır. Tez çalışmasında kalorifer peteğinden doğal taşınımla ortama geçen ısı için taşınım katsayıları kullanılmıştır. Kombi kontrol paneli üzerinde m anındaki petek sıcaklığı istenen (ayar) değeri $\theta_{CB,petek}^{m}$, petekteki su sıcaklığı $\theta_{peteksu}^{m}$ ve ısıtma sıcaklık tolerans değeri $\Delta\theta_{CB}$ olmak üzere kombinin çalışma durumu WS_{CB}^{m} elde edilir. Kombinin çalışması gereken durumda WS_{CB}^{m} değeri 1 aksi halde sıfırdır. WS_{CB}^{m-1} içinde bulunan an öncesi kombinin çalışma durumunu belirtir. Geliştirilen kombiye ait modelde oda termostatı olmayan durumlar için hesaplanan büyüklükler (2.31) ile (2.35) arası denklemlerle verilmiştir. Formülde; toplam ısıl güç Q^{m}, kombi ısıtma gücü Q_{CB}^{m}, kişi sayısı N_{p}^{m}, kişi başı kazanılan ısıl kazanç HG_{p}, penceden güneş kaynaklı ısıl kazanç $SHGC$, güneye bakan pencere alanı A_{guney}, güneş ışınım değeri SI^{m}, pencere açık kapalı hali $D_{pencere}^{m}$, havanın hissedilebilir ısıl faktörü CS, bir saatte hava akışı ACH, ev hacmi V_{ev}, ev dışı ortam sıcaklığı θ_{air}^{m}, oda sıcaklığı θ_{oda}^{m}, bina ısıl kayıbı $Q_{isilkayip}^{m}$, hava için özel ısı kapasitesi C_{air}, havanın yoğunluğu q_{air}, kombi elektrik gücü P_{CB}, anlık elektrik gücü P_{CB}^{m} olarak temsil edilmiştir.

$$WS_{CB}^{m} = \begin{cases} 0 & \theta_{peteksu}^{m} > \theta_{CB,petek}^{m} \\ 1 & \theta_{peteksu}^{m} < \theta_{CB,petek}^{m} - \Delta\theta_{CB} \\ WS_{CB}^{m-1} & \theta_{CB,petek}^{m} - \Delta\theta_{CB} < \theta_{peteksu}^{m} < \theta_{CB,petek}^{m} \end{cases} \tag{2.31}$$

$$\theta_{peteksu}^{m} = \theta_{peteksu}^{m-1} + \frac{Q^{m}}{m_{tesisat} \cdot 4{,}2} \tag{2.32}$$

$$Q^m = Q_{CB}^m + N_p^m . HG_p + \frac{SHGC . A_{guney} . SI^m . 3{,}412}{10{,}763} + D_{pencere}^m . \left(CS . ACH . V_{ev} . (\theta_{air}^m - \theta_{oda}^m)\right) - Q_{isilkayip}^m \quad (2.33)$$

$$\theta_{oda}^m = \theta_{oda}^{m-1} + \left(\frac{Q_{CB}^m}{60 . C_{air} . q_{air} . V_{ev}}\right) \quad (2.34)$$

$$P_{CB}^m = P_{CB} . WS_{CB}^m \quad (2.35)$$

Oda termostatı bulunması halinde oda sıcaklığı θ_{oda}^m istenen oda sıcaklığı $\theta_{oda,set}^m$ ve termostat hassasiyeti $\Delta\theta_{oda}$ olmak üzere kombi çalışma durumu (2.36)'da modellenir.

$$WS_{CB}^m = \begin{cases} 0 & \theta_{oda}^m > \theta_{oda,set}^m \\ 1 & \theta_{oda}^m < \theta_{oda,set}^m - \Delta\theta_{oda} \\ W_{CB}^{m-1} & \theta_{oda,set}^m - \Delta\theta_{oda} < \theta_{oda}^m < \theta_{oda,set}^m \end{cases} \quad (2.36)$$

Kombinin banyo, mutfak ve tuvalette sıcak su üretmek için kullanılması halinde hesaplanan büyüklükler (2.37) ile (2.39) arası denklemlerle verilmiştir. İstenilen sıcak su değeri $\theta_{CB,sicaksu}^m$, mevcut çıkış suyu sıcaklığı θ_{outlet}^m, kombi sıcak su hassasiyeti $\Delta\theta_{CBsu}$, ve m anındaki su ihtiyacı fr_m, ısıtmak için gereken enerji Q_{outlet}^m ile modelde yer almıştır. Tüketilen doğal gaz miktarı $Gas_{sicaksu}^m$ ise sıcak su için (2.40) ve radyatörlerle ısınma için tüketilen gaz miktarı $Gas_{radyator}^m$ (2.41)'de elde edilir.

$$WS_{CB}^m = \begin{cases} 0 & Su\ ihtiyacı\ yok \\ 1 & \theta_{outlet}^m < \theta_{CB,sicaksu}^m - \Delta\theta_{CBsu} \\ W_{CB}^{m-1} & \theta_{CB,sicaksu}^m - \Delta\theta_{CBsu} < \theta_{outlet}^m < \theta_{CB,sicaksu}^m \end{cases} \quad (2.37)$$

$$Q_{outlet}^m = \frac{fr_m . 4{,}2 . (\theta_{CB,sicaksu}^m - \theta_{outlet}^m)}{60} \quad (2.38)$$

$$\theta_{outlet}^m = \theta_{outlet}^{m-1} + \left(\frac{Q_{outlet}^m . 60}{fr_m . 4{,}2}\right) \quad (2.39)$$

$$Gas_{sicaksu}^m = Q_{outlet}^m . 0{,}093/60 \quad (2.40)$$

$$Gas_{radyator}^m = Q_{CB}^m . 0{,}093/60 \quad (2.41)$$

Kombi yaygınlık oranı 15 Avrupa ülkesini kapsayan çalışmada ortalama %70'tir. Oda termostatı bulunan ev oranı için %10 kabulü yapılmıştır. Kombi odayı ısıtmak için yaz aylarında kullanılmaz ancak sıcak su üretimi için tüm aylarda kullanılır.

2.2.13 Klima

Klima (iklimlendirme cihazı), evin yapısına ait alan bilgisi, duvarların ısıl dirençleri, çatı (tavan), taban ve pencere ısıl dirençlerine göre gerçek bir ev ortamı oluşturularak çalışması sağlanmaktadır. Klimanın modellenmesinde [42] ile verilen çalışmadan faydalanılmıştır. Modelde; klimanın soğutma veya ısıtma kapasitesi ve gücü, evde yaşayan kişi sayısı, havaya ait karakteristik bilgiler (dış ortam sıcaklığı, güneş ışınım bilgisi) kullanılmaktadır. Oda sıcaklığının m anındaki ayarlanan değeri $\theta^{m}_{oda,set}$, eşik değerleri $\Delta\theta_{oda}$ arasında tutulmaya çalışılmaktadır. Klima soğutma modunda çalışıyorsa, istenilen üst eşik sıcaklık değerinin aşılması halinde elektrik tüketmeye başlamaktadır. Isıtma moduna ayarlanmışsa bu durumda, alt eşik sıcaklık değerinden daha düşük bir sıcaklığa ulaşılması durumunda klima çalışmaktadır. Oda sıcaklığı θ^{m}_{oda} yine zaman serileri olarak hesaplanmakta ve an itibari ile elektrik tüketim verileri bulunmaktadır. Soğutma modunda klimanın çalışma durumu WS^{m}_{AC}, (2.42)'de formüle edilmektedir.

$$WS^{m}_{AC} = \begin{cases} 0 & \theta^{m}_{oda} > \theta^{m}_{oda,set} - \Delta\theta_{oda} \\ 1 & \theta^{m}_{oda} < \theta^{m}_{oda,set} + \Delta\theta_{oda} \\ WS^{m-1}_{AC} & \theta^{m}_{oda,set} - \Delta\theta_{oda} < \theta^{m}_{oda} < \theta^{m}_{oda,set} + \Delta\theta_{oda} \end{cases} \quad (2.42)$$

Oda sıcaklığı m anında θ^{m}_{oda}; ısıl kazanç G^{m}, bir önceki sıcaklık değeri θ^{m-1}_{oda}, klimanın kapasitesi $C_{HV,AC}$ ve odanın sıcaklığını 1 derece artırmak için gereken enerji Δc için denklem (2.43)'te ifade edilebilir. Denklem (2.44)'te ise duvar alanı A_{duvar}, duvar ısıl direnci R_{duvar}, tavan alanı A_{tavan}, tavan ısıl direnci R_{tavan}, pencere alanı $A_{pencere}$, pencere ısıl direnci $R_{pencere}$, hissedilebilir ısıl katsayı CS, saatlik hava değişimi ACH, ev hacmi V_{ev}, dış ortam sıcaklığı θ^{m}_{air}, pencerelerin güneş ışınım kazancı $SHGC$, güneye bakan pencere alanı A_{guney} , güneş ışınım gücü SI^{m} , kişi başı ısıl kazanç HG_{p} , evdeki kişi sayısı N^{m}_{p} ile gösterilmiştir. Her bir m anındaki klima gücü P^{m}_{AC} çalışma durumuna göre (2.45)'te hesaplanmaktadır. Klima gücü P_{AC}, 2352 W alınmıştır. Tez çalışmasında klima kapasitesi olarak 9000 Btu, 12000 Btu, 18000 Btu ve 33000 Btu seçilebilir.

$$\theta_{oda}^{m} = \theta_{oda}^{m-1} + \frac{\Delta m.\, G^{m-1}}{\Delta c} + \frac{\Delta m.\, C_{HV,AC}.\, WS_{AC}^{m-1}}{\Delta c} \tag{2.43}$$

$$G^{m} = \left(\frac{A_{duvar}}{R_{duvar}} + \frac{A_{tavan}}{R_{tavan}} + \frac{A_{pencere}}{R_{pencere}} + \frac{CS.ACH.V_{ev}}{60}\right).(\theta_{air}^{m} - \theta_{oda}^{m}) + N_{p}^{m}.HG_{p} + \frac{SHGC.A_{guney}.SI^{m}.3{,}412}{10{,}763} \tag{2.44}$$

$$P_{AC}^{m} = P_{AC}\,.WS_{AC}^{m} \tag{2.45}$$

Klima yaygınlık oranı 15 Avrupa ülkesini kapsayan çalışmada ortalama %8'dir [34]. Çalışmada odayı soğutmak için yaz aylarında klima kullanımı vardır.

2.2.14 Çamaşır kurutucu

Çamaşır kurutucu kullanımının en fazla kış ve sonbaharda haftada 3,4 kurutma şeklinde [12] gerçekleştiği belirtilmektedir. Yaygınlık oranı 15 Avrupa ülkesi ortalaması %34 olarak ifade edilmektedir [34]. Kurutucu cihazın modellenmesinde [42] ile verilen çalışmadan faydalanılmıştır. Çamaşır kurutucu makinede, cihaza özgü motor $P_{motor,CD}$ ve ısıtıcı direncinin güçleri $P_{isitici,CD}$, başlangıç saati sonrası kurutmada geçen süre $T_{CDtamamlanan}$, kurutma işini bitirmesi istenilen program süresi $T_{CDprogram}$, kurutma cihazının kaç aşamada bu işi yapacağı k, modelde kullanılmıştır. Cihaz çalışma süresi ve işin bitirilmesi için gereken sürelere göre kurutucunun m anındaki çalışma durumu WS_{CD}^{m}, gücü P_{CD}^{m}, sırasıyla (2.46) ve (2.47)'de ifade edilebilir. Çalışma durumunun 1 olması kurutucunun devrede olduğunu göstermektedir. Kurutucunun çalışmasının ertelenmesi gerekiyorsa bu durumda sadece motor için tüketim söz konusu olur. Aksi halde hem motor hem de ısıtıcı direncinin tüketim toplamı göz önüne alınarak zaman serilerinde tüketimi izlenir.

$$WS_{CD}^{m} = \begin{cases} 1 & T_{CDtamamlanan} < T_{CDprogram} \\ 0 & diğer\ durumlarda \end{cases} \tag{2.46}$$

$$P_{CD}^{m} = k.P_{isiticiCD}\,.WS_{CD}^{m} + P_{motor,CD}\,.WS_{CD}^{m} \tag{2.47}$$

Cihazın ısıtıcı gücü $P_{isitici,CD}$, 3,7 kW motor gücü $P_{motor,CD}$, 0,3 kW olarak çalışmada yer almıştır. Çamaşır kurutucu cihazının çalıştırılması, çamaşır yıkama adımı sonrası rastgele seçim ile gerçekleştirilir. Günlük kullanım olasılığı 1/3 alınmıştır.

2.2.15 Elektrikli araba

Elektrikli arabanın modellenmesinde Shao ve arkadaşlarına ait [42] ile verilen çalışmadan faydalanılmıştır. Aracın batarya kapasitesi, şarj gücü, şarj için başlangıç zamanı, aracın başlangıç şarj düzeyi göz önüne alınarak modelleme gerçekleştirilmiştir. Şarj işleminin tamamlanması (%100 şarj edilmesi) SOC_{EVmax} sırasında oluşan elektrik tüketimi, zaman serileri olarak kaydedilmiştir. Elektrikli arabanın m anındaki şarj işlemi durumu WS_{EV}^{m}, şarj düzeyi SOC_{EV}^{m} (2.48)'de verilen formülle elde edilebilir. Başlangıç şarj seviyesi $SOC_{EV}^{m=0}$, (2.49)'da verilen denklemdeki sürüşte harcanan enerji $E_{EVdrive}$ ve akünün şarj kapasitesi $C_{EVbatarya}$ ile ilişkilidir. Her bir m anındaki akü şarjı sonucu seviye SOC_{EV}^{m}, şarj cihazı gücü P_{EV} (3,6 kW) için, Δm zaman ilerleme aralık süresince (2.50)'de hesaplanabilir. Her bir m anındaki şarj gücü P_{EV}^{m}, elektrikli arabanın şarj iznine bağlı olarak (2.51)'de bulunur.

$$WS_{EV}^{m} = \begin{cases} 1 & SOC_{EV}^{m} < SOC_{EVmax} \\ 0 & SOC_{EV}^{m} \geq SOC_{EVmax} \end{cases} \tag{2.48}$$

$$SOC_{EV}^{m=0} = 1 - \frac{E_{EVdrive}}{C_{EVbatarya}} \tag{2.49}$$

$$SOC_{EV}^{m} = SOC_{EV}^{m-1} + \left(\frac{P_{EV}.\Delta m}{C_{EVbatarya}}\right) \tag{2.50}$$

$$P_{EV}^{m} = P_{EV}\,.WS_{EV}^{m} \tag{2.51}$$

2.2.16 Lambalar

Aydınlatma amaçlı elektrik tüketiminin bulunması için yapılan mevcut çalışmalarda ortalama aydınlık şiddeti, aydınlatmanın yapıldığı saat cinsinden süre, watt başına düşen lümen biriminden ışık akısı, ev taban alanı, kişi sayısı ve oda sayısı modellerde yer almıştır [12]. Aydınlatmada elektrik kullanım kalıbı gün ışığı ve tüketici kalıplarının etkileşimiyle oluşturulmuştur. Eğer ev içerisindeki aydınlık düzeyi erişilebilir aydınlık şiddetinden az ise ortamı aydınlatma ihtiyacı doğar. Mevsimsel etkilerle kışın özellikle sabah uyanan insanlar faaliyetlerini yürütebilmek için aydınlatmayı yaz mevsimine göre daha fazla kullanır [12]. Bu tez çalışmasında lamba güçleri $P_{Lamba,on}$; giriş, mutfak, yatak odası, balkon için 20 W ile 60 W arası, salon

için 40 W ile 100 W arası, misafir odası, çocuk odası, banyo, tuvalet içinse 30 W ile 80 W arası rastgele atanır. Güneş ışınım değerleri de modelde kullanılır. Evin her bölümü için tüketiciyi aydınlatma kullanmaya sevk edecek ışınım değeri rastgele atanır. Atanan ışınım değeri altında bir değer içeride mevcutsa lamba kullanımı yoluna gidilir. Salon, yatak odası, çocuk odası, balkon, misafir odası için bu değerler 60 W/m^2 ile 100 W/m^2 arası ayrı ayrı rastgele seçilir. Mutfak için bu rastgele seçim 200 W/m^2 ile 300 W/m^2 arasındadır. Banyo ve tuvalet için 600 W/m^2 ile 800 W/m^2 arası yüksek bir değer rastgele seçilir. Ev giriş kısmında rastgele seçilen değer 100 W/m^2 ile 200 W/m^2 arasındadır. Her bir m anı için eşik seviye ve mevcut değer karşılaştırılarak lamba kullanım kararı S_{Lamba} verilir. Lambalar evde uyku faaliyeti yoksa ve evde kişi varlığı mevcutsa kullanım izni LE_{Lamba} verilir ve LE_{Lamba} değeri 1 olur aksi halde değeri sıfırdır. Lambanın m anı kullanım kaynaklı gücü LP^m_{Lamba}, denklem (2.52) ve (2.53)'te bulunur. Lamba kullanım iznine bağlı olarak P_{Lamba} değeri, kullanılması halindeki güç $P_{Lamba,on}$ veya çalışmadığı haldeki güç yani sıfır olur. O^m_{Lamba} ise m anı dahil lambaların kullanım süresi toplamıdır. Lamba kullanım kalıbı oluşturmak için izlenen algoritma Çizelge 2.12'de sunulmuştur.

$$[LP^m_{Lamba}, O^m_{Lamba}] = f(P_{Lamba}, LE_{Lamba}, S_{Lamba}, m) \tag{2.52}$$

$$P_{Lamba} = \{P_{Lamba,on}, 0\} \tag{2.53}$$

Çizelge 2.12 : Lamba kullanım kalıbı oluşturma algoritması.

Adım	İşlem
1	Evin bölümlerine gün ışığı eşik seviyesi ata.
2	Lamba gücünü her bölüm için seç.
3	Mevcut gün ışığı düzeyini eşik seviye ile karşılaştır. Gün ışığının yeterli ve yetersiz olduğu zaman dilimlerini bul.
4	Gün ışığının yetersiz olduğu zaman dilimleri için rastgele kullanım süresi oluştur.
5	Uyku faaliyeti dışında evde kullanıcı bulunması gereken faaliyetlerle lamba kullanımına izin ver.
6	Lamba kullanımı olan anlar için aydınlatma gücü hesapla.

2.3 Evsel Talep Yönetiminde Konfor ile İlgili Çalışmaların İncelenmesi

EN15251 standardı, binaları enerji sınıflarına göre iç mekanlarının konfor performansını sıcaklık-nem (thermo-hygrometric), görsel, akustik ve hava kalitesi yönünden değerlendirmekte kullanılmaktadır. Çevresel Kalite Göstergesi ve Bina

Kalite Göstergesi olarak iki gösterge (endeks) göz önüne alınır [47]. Çizelge 2.13 ve Çizelge 2.14'te bunlara ait içeriklere yer verilmiştir.

Çizelge 2.13 : Çevre için kalite göstergesi.

Kategori	Açıklama
1	Oldukça hassas ve bakım gerektiren engelli, hasta kişilerin yaşadığı üst düzey beklenti duyulan yerler.
2	Normal beklenti duyulan yeni binalar.
3	Kabul edilebilir düzeyde beklenti duyulan mevcut binalar.
4	Yukarıdaki kategori dışında bir süreliğine kabul edilebilir yerler.

Çizelge 2.14 : Binaların çevresel kategorilere özgü parametre sınır değerleri.

Parametre	Çevre için kalite gösterge kategorisi			
	I	II	III	IV
Çalışma sıcaklığı (°C, kış mevsimi)	21.0-25.0	20.0-21.0 25.0-26.0	18.0-20.0 26.0-28.0	<18.0 >28.0
Çalışma sıcaklığı (°C, yaz mevsimi)	23.5-25.5	23.0-23.5 25.5-26.0	22.0-23.0 26.0-27.0	<22.0 >27.0
Hava hızı (m/s)	<0.15	0.15-0.18	0.18-0.21	>0.21
CO_2 seviyesi (ppm)	<350	350-500	500-800	>800
Aydınlanma şiddeti (Lx)	>750	500-750	300-500	<300
Ses şiddeti (dB)	<40	40-45	45-50	>50

Literatürde doğrudan olmasa da talep yönetiminde konforu dikkate alan oldukça sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmaktadır. Bu tür çalışmaların az olmasının en önemli nedeni talep toplayıcıların son kullanıcıların yüklerinden daha çok hedeflenen talebin bir şekilde gerçekleşmesine odaklanmalarıdır. Talep yönetimi uygulamaları yaygınlaştıkça artık tüketici konforu da mevcut programların yürütülmesi açısından önem kazanmaktadır. Tüketicinin mevcut tüketim durumunun ve cihaz yeteneklerinin farkında olması konfor beklentilerini de değiştirmektedir. Mevcut çalışmalar daha çok talep yönetiminden bağımsız, ev enerji sistemleri ile konforlu bir ev ortamı oluşturulmasını konu almaktadır. Yang ve arkadaşları çoklu ajanlı bir sistem ile konfor ve enerji verimliliğini ilişkilendiren bir yapı önermiştir [48]. Guo ve arkadaşları [49] ile Ku ve arkadaşları [50], iklimlendirme sistemlerinin Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Mantık temelli kontrolünü yaparak enerji tasarrufu sağlamayı hedeflemiştir. Safdar ve DoHyeun [51] çalışmalarında, genetik algoritma temelli bir yöntemle ev kullanıcısı konforunu arttırmak ve enerji tüketimini azaltmak amaçlamıştır. Çalışmada sıcaklık, aydınlatma ve hava kalitesi konfor parametreleri olarak seçilmiştir. Wang ve arkadaşları elektrik aydınlatma sistemini görsel konforu yönetmek için kullanmaktadır

[52]. Emmerich ve arkadaşları [53], CO_2 konsantrasyonunu hava kalitesinin bir belirteci olarak ölçümlemektedir. Çalışmada havalandırma sistemleri ile CO_2 konsantasyonunu en aza indirmek amaçlanmıştır [53]. Marino ve arkadaşlarınca tek bir çevre ve tüm bir bina için uygun konfor sınıflandırmasının yapılmasına yönelik bir yöntem geliştirilmiştir [47]. Önce konfor parametreleri ve etkenleri tanımlandı. İkinci olarak tek bir çevrede çevresel kalite değerlendirildi. Üçüncü olarak her bir çevreden elde edilen sonuçlar tüm binanın kalitesinin tanımlanmasında kullanıldı. Son olarak ise tek çevre ve tüm çevre için konfor sınıflandırmaları yapıldı. Huang ve arkadaşları tarafından kontrollü bir saha çalışması ile farklı çevresel faktörlerin kabul edilebilirlik durumu ortaya konuldu [54]. Bu çalışmada kabul edilebilir sıcaklık sınırı 20,9 °C ile 30,4 °C, kabul edilebilir aydınlanma şiddeti en az 300 Lux ve kabul edilebilir gürültü düzeyi 49,6 dB olarak ifade edilmektedir.

Isıl konfor, uluslararası ASHRAE55 [55] ve ISO 7730 [56] tarafından bir takım ısıl fiziksel büyüklükleri kişinin nasıl hissettiği ile ilgili olarak tanımlanır [57]. Isıl konforda kişisel ve çevresel faktörler göz önüne alınır [58]. Isıl algılayıcılarımız deri yüzeyimizden 0,15-0,20 mm derinde yer almaktadır. Kişisel faktörler; giyinme ve kişinin uğraşının türü olarak genelleştirilebilir. Çevresel faktörler ise; hava sıcaklığı, hava akımı akış hızı, radyant sıcaklık ve nem olarak belirtilir. Giyinme insanın ısı kaybını azaltır. Giyinmenin sağladığı ısı yalıtımının ölçü birimi Clo olarak tanımlanır. 1 Clo, 21 °C sıcaklıkta %50 nem, 0,1 m/s hava akımında oturarak dinlenen bir kişinin giysi ısıl direncinin miktarıdır. İnsan vücudu yüzey alanının normal değeri 1,7 m^2 kabul edilmektedir. Metabolizmamız hareketliliğimize bağlı olarak ısı yayar. Metabolizmamızın yaydığı bu ısı enerjisi Met birimi ile ifade edilir. Hissedilen sıcaklıklar, kişisel ve çevresel bu parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Gagge tarafından insan vücudunun çevre ile ısıl etkileşimini açıklamak amacıyla enerji dengesi kavramını esas alan iki düğümlü model üretilmiştir [59]. Bunun dışında ısıl algı için en yaygın kullanılan diğer model, tahmin edilen ortalama oy (Predicted Mean Vote, PMV) ya da diğer bilinen adıyla ısıl his modelidir [57]. Uluslararası standart ISO-7730-2005, ısıl konforu tanımlamak için PMV olarak bilinen yöntemi önermektedir. PMV ile ısıl konfor, evi (iklimlendirme sistemi bulunan yeri) kullanan kişilerin en az %80'ninin belirlenen bir band aralığında tanımlanmış sıcaklık ve nem düzeyinden elde ettiği memnuniyeti belirlemektedir. Dinlenen veya çok hafif işlerle uğraşan bir insan için ısıl konforun en iyi olarak tanımlandığı koşullar; 22±2 °C

sıcaklıkta, %50±20 nem, 0,2 m/s'den daha az hava akımının olduğu durumdadır. PMV'de kişiler, sıcaklıkları; çok soğuk (PMV=-3), soğuk (PMV=-2), hafif soğuk (PMV=-1), konforlu (PMV=0), hafif sıcak (PMV=1), sıcak (PMV=2), çok sıcak (PMV=3) olarak oylamaktadır. PMV kullanılarak memnun olmayan insanlar yüzdesi (Predicted Percentage of Dissatisfied People, PPD) ya da diğer bilinen adıyla ısıl memnuniyetsizliğin derecesi de tanımlanmaktadır.

Bu tez çalışmasında ısıl konforun değerlendirmesi Fanger'in ısıl konfor için geliştirmiş olduğu bir dizi denklemler kullanılarak yapılmıştır [56-57]. Havadaki nem oranına bağlı olarak su buharı basıncı p_{air} denklem (2.54) ile, bağıl nem yüzde değeri h_r ve hava sıcaklığı θ_{air} vasıtasıyla bulunur.

$$p_{air} = h_r . 10 . exp(16{,}6536 - \frac{4030{,}183}{\theta_{air} + 235}) \tag{2.54}$$

Giysinin Clo cinsinden tanımlanan ısıl yalıtım değeri D_{clo}, m^2K/W birimine uygun dönüşümle önce I_{cloth}, elde edilir sonra giysinin kapladığı alan değeri f_{cloth} denklem (2.55) ve (2.56) yardımıyla hesaplanır.

$$I_{cloth} = 0{,}155 . D_{clo} \tag{2.55}$$

$$f_{cloth} = \begin{cases} eğer\ I_{cloth} < 0{,}078 & f_{cloth} = 1 + 1{,}29 . I_{cloth} \\ aksi\ halde & f_{cloth} = 1{,}05 + 0{,}645 . I_{cloth} \end{cases} \tag{2.56}$$

Kişinin deri yüzeyi sıcaklığı θ_{skin}, metabolik oran P_{met}, ve mekanik güç P_{mek} değerine bağlı olarak (2.57)'de verilen biçimde değişir.

$$\theta_{skin} = 35{,}7 - 1{,}6282 . (P_{met} - P_{mek}) \tag{2.57}$$

Terleme ve terde oluşan ısıl akılar sırasıyla $E_{perspiration}$ ve $E_{sweating}$, olup bunların toplamı buharlaşma yoluyla derideki ısıl değişimi E_{cm} oluşturur. Denklem (2.58) ile (2.60) arası işlemlerle bunlar bulunur.

$$E_{perspiration} = 3{,}05x10^{-3} . (5733 - 406{,}4685 . (P_{met} - P_{mek}) - p_{air}) \tag{2.58}$$

$$E_{sweating} = 24{,}423 . (P_{met} - P_{mek} - 1) \tag{2.59}$$

$$E_{cm} = E_{perspiration} + E_{sweating} \tag{2.60}$$

Solunum yoluyla oluşan buharlaşma nedeniyle ısıl değişim E_{resv}, (2.61)'de bulunur.

$$E_{resv} = 100.10^{-5}.(5867 - p_{air}) \tag{2.61}$$

Toplam ısıl akı Φ, solunum kaynaklı iletimle taşınan ısıl transfer miktarı $C_{respiratory}$, ışıma yoluyla ısıl transfer $E_{radiation}$, iletim yoluyla ısıl transfer $E_{convection}$, giysi sıcaklığı θ_{cloth} ve radyal sıcaklık θ_R, formül (2.62) ile (2.65) izlenerek ayrı ayrı hesaplanır.

$$C_{res} = 0{,}08141.P_{mek}.(34 - \theta_{air}) \tag{2.62}$$

$$E_{radiation} = 3{,}96.10^{-8}.f_{cloth}.\{(\theta_{cloth} + 273)^4 - (\theta_R + 273)^4\} \tag{2.63}$$

$$E_{convection} = f_{cloth}.h_{convective}.(\theta_{cloth} - \theta_{air}) \tag{2.64}$$

$$\Phi = E_{perspiration} + E_{sweating} + E_{resv} + C_{res} + E_{radiation} + E_{convection} \tag{2.65}$$

Doğal yolla iletim ısısı $h_{cnatural}$ ise (2.66)'da elde edilir.

$$h_{cnatural} = 2{,}338.(abs(\theta_{cloth} - \theta_{air}))^4 \tag{2.66}$$

Hava akımı hızına ϑ bağlı olarak cebri yolla iletim ısısı $h_{cforced}$, (2.67)'de bulunur.

$$h_{cforced} = 12{,}1.\vartheta^{0.5} \tag{2.67}$$

Giysinin sıcaklığı θ_{cloth} bu durumda (2.68)'de formüle edilir.

$$\theta_{cloth} = \theta_{skin} - 0{,}155.I_{cloth}.3{,}96x10^{-8}.f_{cloth}x((\theta_{cloth} + 273)^4 - (\theta_R + 273)^4 - 0{,}155.I_{cloth}.f_{cloth}.h_c.(\theta_{cloth} - \theta_{air})) \tag{2.68}$$

Yukarıdaki denklemlerle ısıl konfor hissi PMV, (2.69)'da yazılabilir.

$$PMV = \left(0{,}303.\, e^{-0{,}036.58{,}15.(P_{met}-P_{mek})} + 0{,}028\right).\left(58{,}15.\,(P_{met}-P_{mek}) - E_{perspiration} - E_{sweating} - E_{resv} - C_{res} - E_{radiation} - E_{convection}\right) \quad (2.69)$$

Isıl konfordan duyulan memnuniyetsizlik yüzdesi PPD, (2.70)'de elde edilir.

$$PPD = 100 - 95.\, e^{-\left(0{,}00353.PMV^4 + 0{,}2179.PMV^2\right)} \quad (2.70)$$

Fanger'in ısıl memnuniyet ölçümü için belirlediği PMV değeri, (-3) ile (+3) arasında yer alan 7 skalalı bir yapıdadır. Değerin sıfır olması ısıl konforun en iyi olduğu doğal hali belirtir. Bu modelde ısıl konfor ölçme yönteminde PPD değeri için bulunacak en küçük değer %5 olup bunun altında bir değer elde edilemez.

Bu tez çalışmasında bazı cihazların elektrik tüketiminde aralarında bir bağlılık bulunması durumu da dikkate alınmıştır. Tüketici memnuniyetinin (konfor) en iyilenmesi hedeflenmiştir. Bağlılıklar, iç ve dış bağlılık olarak ikiye ayrılabilir. İç bağlılıkta iki farklı cihaz arası olan bir ilişki söz konusudur. Örneğin çamaşır makinesi ve çamaşır kurutucusu arasında bir iç bağlılık söz konusudur. Çamaşır yıkama sonrası kurutucunun kullanımı istenilebilir. Cihaz ve çevre arası ilişkiler dış bağlılık olarak adlandırılır. Hava sıcaklığının artması ile klima kullanım sürelerinde de bir artış olur. Bağlılıklar ardışık ve eş zamanlı olmak üzere yine ikiye ayrılabilir. Çamaşır makinesinin ardından kurutucunun çalışması ardışık bağımlılığa bir örnek olarak verilebilir. Eş zamanlı bağlılık içinse fırın ve lambaların birlikte çalışması bu duruma bir örnektir.

Bireyler elektrikli cihazlarının kullanımını tercihlerine göre önceliklendirebilir. Bu önceliklendirme statik ve dinamik olmak üzere ikiye ayrılır. Statik önceliklendirilmiş bir yapıda zaman bağımsız, acil kullanım durumu, rahatı veya elektrik maliyeti göz önüne alınır. Statik önceliklemeli yapıda önceliklerin değiştirilmesi söz konusu değildir. Dinamik önceliklendirmede ise önceliklerde zamana göre bir değişim gerçekleşir. Örneğin bulaşık makinesini sabah, çamaşır makinesininse öğleden sonra çalışması daha önceliklenmiş olabilir ancak bunun değişimi mümkündür.

Bazı cihazların kullanımı için esneklik tanımlamaları yapılabilir. Esneklik tanımlamaları, zaman kısıtlı bir çalışmada ileri bir bitiş süresi atamak şeklinde, sıcaklık

değerlerini azaltma, artırma veya parasal beklentilerde artış, azalış şeklinde olabilir. Çamaşır ve kurutma makinelerinde esneklikler altı saat ve üzeri olabilmektedir [34]. Bu cihazların çalışmalarının durdurulması yine 15-30 dakikalık süreler için kabul edilebilir bulunmuştur.

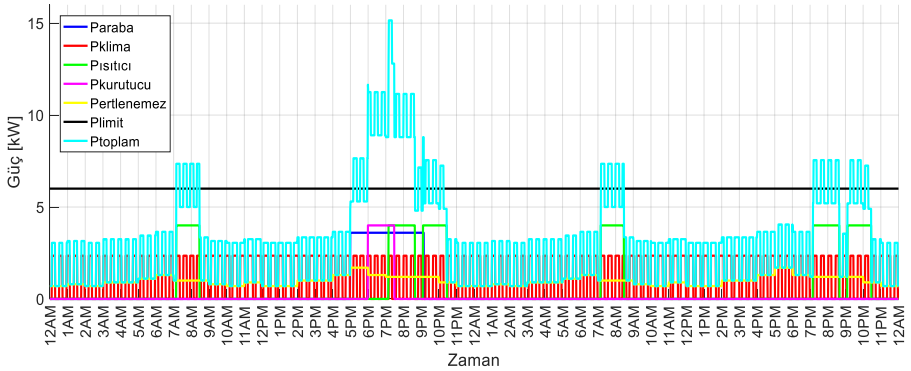
İngiltere'de evlerde günlük sıcak su tüketimleri için tercih edilen sıcaklıklar ihtiyaca göre şu şekilde değişmektedir [12]. Yıkanma, duş için sıcak su değeri 40 °C. El, yüz lavabolarında sıcak su değeri 35 °C. Elde bulaşık yıkama içinse sıcak su değeri 55 °C seçilmektedir. Ancak Lejyoner hastalığına karşı sıcak su üretiminde kullanılan cihazların 60 °C ve üstü sıcaklıklara ayarlanması önerilmektedir [60].

Bu tez çalışmasında aydınlatma amaçlı yükler belirlenen aydınlık şiddeti seviyesinin altında olması halinde aktif edilerek görsel konfor iyilenmektedir. Akustik konfor için gürültü seviyeleri 40 dB ve altında olmak ile ilgili standarda sahip buzdolabı ve derin dondurucunun uyku faaliyetindeki bir evde kullanımına izin verilmiştir. Bunun dışında çamaşır ve bulaşık makineleri uyku faaliyeti öncesi çalışmış olmaları şartıyla yıkama programlarının tamamlanmasına izin verilir.

Evlerde elektrik ve gaz tüketimi kaynaklı salınan karbondioksit miktarları talep yönetiminde tüketici farkındalığı oluşturma ve çevre duyarlılık motivasyonunu artırmak amacıyla elde edilmiştir.

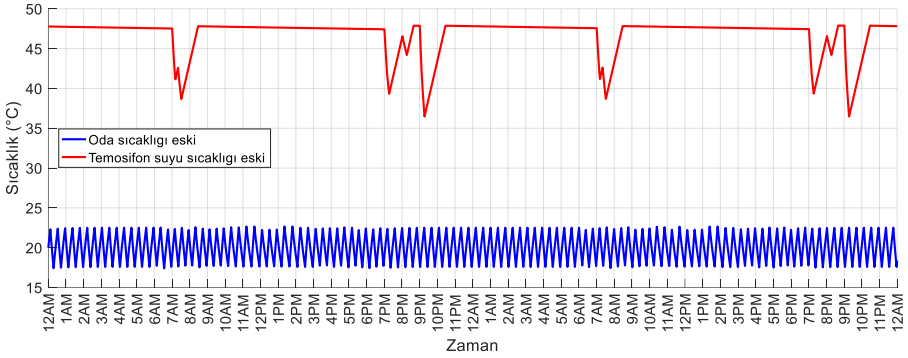
2.4 Yönetilebilir Cihazlara Yapılan Müdahaleler ve Konfor Değişiklikleri

Evlerde yüksek tüketime neden olan yönetilebilir büyük güçlü yüklerden; klima, elektrikli su ısıtıcı (termosifon), çamaşır kurutucu ve elektrikli arabanın çalışması yapılan ek müdahalelerle incelenmiştir. Cihazlara herhangi bir müdahale olmaması durumunda oluşan toplam talep Şekil 2.16'da görülmektedir



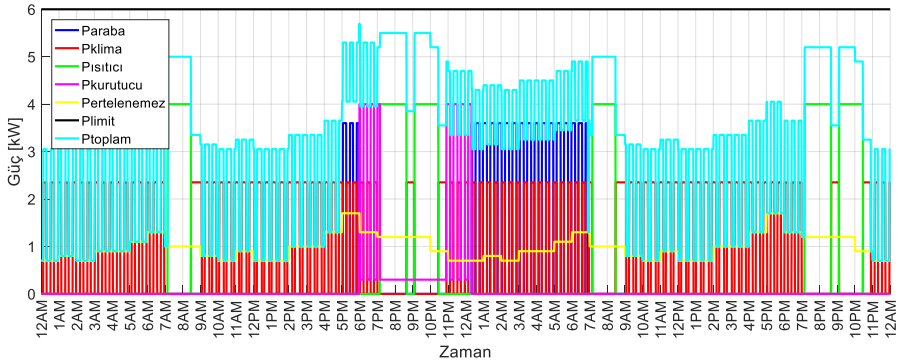
Şekil 2.16 : Cihazlara müdahale edilmediği durum için elektrik talebi.

Elektrikli araba ve kurutucu çalışmasını herhangi bir erteleme ve kesinti olmaksızın tamamlamaktadır. Termosifon ve klima ile sağlanan sıcak su ve oda sıcaklığı ise Şekil 2.17'de gösterilmiştir.

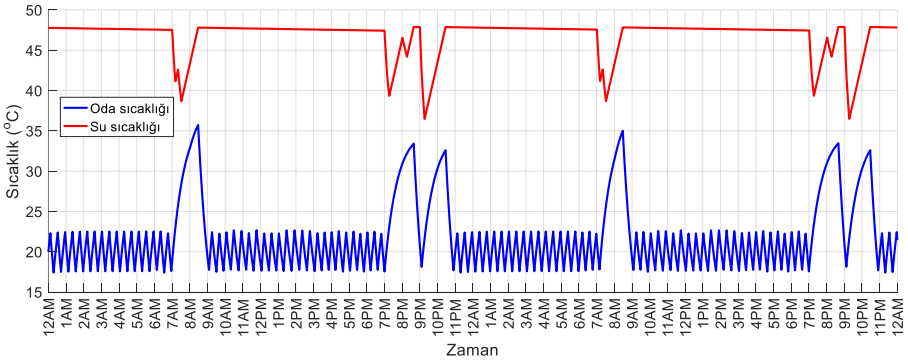


Şekil 2.17 : Ek müdahalesiz çalışmada su ve oda sıcaklıkları.

Cihazlara toplam talep 6 kW üzerini aşmayacak şekilde müdahale edildiğinde oluşan yeni talep profili ve elde edilen sıcaklıklar Şekil 2.18 ve Şekil 2.19'da gösterilmektedir.



Şekil 2.18 : Ek müdahaleli çalışmada elde edilen talep profilleri.

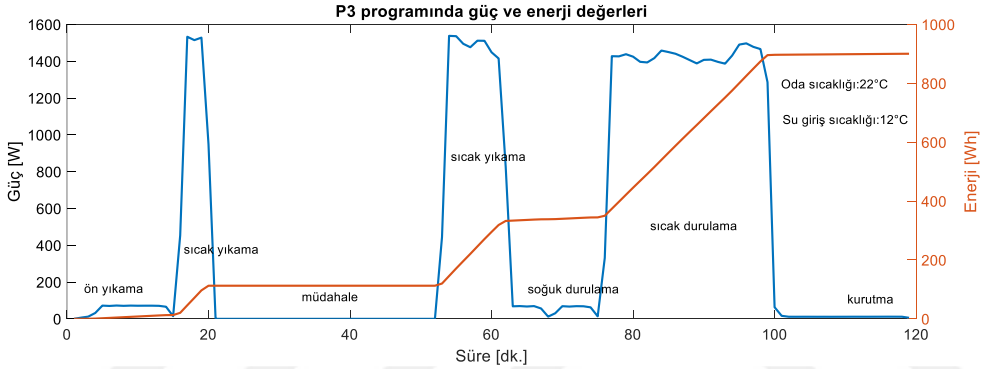


Şekil 2.19 : Ek müdahaleli çalışmada oluşan sıcaklıklar.

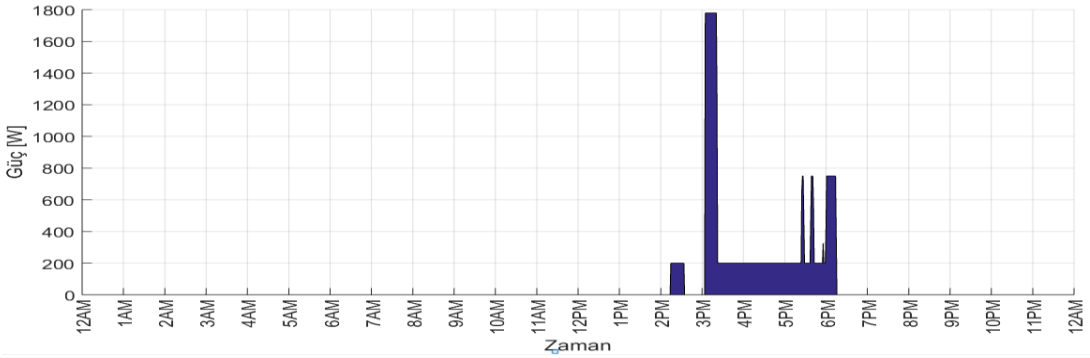
Şekil 2.18'den görüldüğü üzere toplam talebin 6 kW değerini aşmadan çalışılması çamaşır kurutucu ve elektrikli arabanın daha uzun bir zamanda görevlerini

tamamlamalarına neden olmuştur. Yine, Şekil 2.19'da gösterildiği üzere oda sıcaklıkları klimaya yapılan müdahaleler nedeniyle artmıştır.

Otomatik ertelenebilir yüklerden bulaşık makinesinin çalışmasına sıcak yıkama esnasında müdahale edilmesi durumunda oluşan güç profili Şekil 2.20'de verilmiştir. Otomatik ertelenebilir yüklerden çamaşır makinesinin çalışmasına sıcak yıkama esnasında müdahale edilmesi durumunda oluşan güç profili Şekil 2.21'de verilmiştir. Bulaşık makinesi ve çamaşır makinesinin hem blok hem de ısıtma evresi öncesi kısmi ertelenebilir oldukları bu müdahale çalışmalarında görülmüştür. Kısmi erteleme süresi 30 dakika olarak uygulanmıştır. İncelenen bulaşık makinesi ve çamaşır makinesi sekiz saate kadar blok ertelenebilir süreye sahiptir.



Şekil 2.20 : Bulaşık makinesine ek müdahale ile elde edilen talep profili.



Şekil 2.21 : Çamaşır makinesine ek müdahale ile elde edilen talep profili.

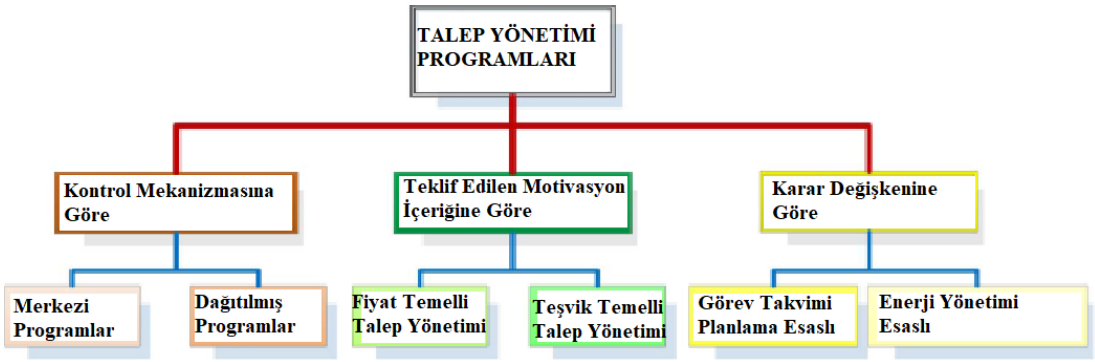
2.5 Mevcut Talep Yönetimi Programları ve Yakın Gelecekteki Gelişmeler

Pek çok ülke, geleceğin akıllı enerji verimliliği yüksek ve çevre dostu evleri için yoğun çalışma yürütmektedir [61]. Bu evlerde gaz, su ve elektrik yönetimi büyük bir öneme sahiptir. Bunlara olan gereksinimler; ekonomi, nüfus artışı, sanayileşme ve şehirleşmeyle artmaktadır. Evlerde enerji tüketimi dünya genelinde %30-%40 arası bir paya sahiptir [62]. Günlük ve mevsimsel değişimler ev elektrik enerji tüketiminde

puant talep artışında çok etkilidir. Puant talebin karşılanamaması; gerilim, frekans bozulmaları, aşırı yüklenmiş hatlar, artan kayıplar, elektrik kesintileri ve tüketici cihazında arızalara sebep olabilmektedir. Puant talep artışının ek üretim, depolama elemanlarının koordinasyonu ve talep yönetimi uygulamaları ile karşılanması yoluna gidilir [63].

Günümüzde talep artışını ek geleneksel santrallerin inşaası ile karşılama yaklaşımı çok tercih edilmemektedir [64-65]. Güneş ve rüzgar santrali gibi düşük karbon kaynaklarına doğru artan bir yönelim bulunmaktadır [66]. Ancak ilk yatırım maliyeti yüksekliği, kesikli üretim karakteristiği, her coğrafyada verimli kullanılamaması, değişen hava olayları ve bunların iyi bir hava tahmin üretim planı ihtiyacı bu kaynakların kullanımda ortaya çıkan dezavantajlardır [67]. Günümüzde enerji depolama elemanlarının verimli ve ekonomik kullanımı ile ilgili kaygılar nedeniyle enerji piyasasında ve iş yapısında değişiklikler oluşmaktadır.

Geleceğin akıllı şebekelerinde elektriği verimli bir biçimde kullanmak için talebi, enerji depolama elemanlarını, yenilenebilir enerji kaynaklarını, geleneksel üretim kaynaklarını iyi yönetmek gerekmektedir. Amaç, elektrik tüketimini üretime sürekli dengeleyerek şebekeyi ayakta tutmaktır [68]. Talep tarafı yönetim (TTY); tüketicinin talep profilini değiştirmeyi hedefleyen tüm faaliyetleri içeren, zamanlama veya şekil olarak arzulanan değişimleri sağlayarak üretimle uyumlandıran, burada yenilenebilir kaynakların da en verimli biçimde katılımını amaçlayan bir yapıdır. Talep yönetimi (TY), TTY'nin bir alt kümesi olarak ele alınır. TY, müşteri iznine dayalı bir yönetim biçimidir. Talep Yönetimi kullanıcının elektrik tüketim veya üretim davranışını otomatik veya elle fiyat veya teşvik programlarıyla üretime eşitlemeye yönelik bir uygulamadır [69]. Örneğin bu uygulama, sabah oluşan puant talepte %11,7 akşam ise %9 puant talep azalmasını sağlayabilmiştir [70]. TY programları üç kategoride incelemek mümkündür. TY; planlamaları kontrol mekanizmaları, elektrik tüketimini azaltmak için sunulan teklifler ve TY karar değişkenine göre sınıflandırılabilinir [71]. Sınıflandırma Şekil 2.22'de gösterilmiştir.



Şekil 2.22 : Talep Yönetimi programlarının sınıflandırılması [71].

TY programları merkezi veya dağıtılmış olarak uygulanabilir. Merkezi kontrol TY yapıda müşteriler doğrudan doğruya program sağlayıcı ile haberleşirler. Ancak bu program türünde doğrudan müşteriler arası bir etkileşim yoktur. Dağıtılmış kontrollü TY yapıda ise toplam tüketim ile ilgili sağlayıcıya bir fikir vermek için tüketiciler arası doğrudan etkileşim gerekir. Teklif edilen motivasyon kaynağına göre TY programları fiyat temelli (price-based) ve teşvik temelli (incentive-based) olmak üzere ikiye ayrılır [71]. Fiyat temeli programlar aynı zamanda zaman temelli programlar olarak da adlandırılır. Farklı zamanlarda tüketiciye farklı elektrik fiyatı sunulması üzerine ilerler [72-74]. Teşvik (insiyatif) temelli programlar ise bunun tersine çoğunlukla sabit veya zamanla değişen bir ödeme sistemin stres altında olduğu dönemlerde ödenmesi üzerine ilerler. Burada belirlenmiş bir hedef ve bundan sapılma halinde cezalandırma da olabilmektedir. TY programlarını karar değişkenine göre sınıflandırmak mümkündür. Bunu görev takvimi planlama (task-scheduling) ve enerji yönetim temelli TY (Energy-management-based demand response) olarak adlandırılır. Görev takvimi planlama temelli TY programlarında ana fonksiyon istenen yüklerin belirlenen zamanlarda faaliyete geçmesini örneğin puant zamanlarda erteleme yaparak yerine getirmektir. Enerji temelli TY programlarında ise farklı tüketim değerinin belirlenen yüklerin tüketimleri azaltılarak yapılmasını esas alır [71].

Talep yönetiminde en iyileme yapılan hususlar; elektrik tüketim maliyetini azaltmak, birleştirilmiş tüketimi azaltmak, hem elektrik tüketim maliyetini hem de tüketimi azaltmak, tüketim maliyetini azaltıp sosyal refahı artırmaktır. Talep yönetiminin amaçları ise toplam tüketimi azaltmak, gereksinim duyulabilecek üretimi azaltmak, erişilebilir üretim durumuna uygun onu izleyen bir talep şeklini değiştirerek oluşturmak, dağıtım sisteminde aşırı yüklenmelerin önüne geçebilmektir. Uygulanan talep yönetimi programlarında tüketicinin elektrik tüketim davranışını kontrol etmek

hedeflenir. Müşterinin elektrik tüketiminin sistem gereksinimi doğrultusunda ayarlanmasında dört ana aktör yer alır [75]. Aktörler; elektrik tüketicileri, talep toplayıcılar, dağıtım sistemi operatörleri ve bağımsız sistem operatörü veya bölgesel iletim hattı operatörleridir. Elektrik tüketicileri; ev, ticari ve sanayi grubu kullanıcılardan oluşur. Talep toplayıcılar elektrik piyasasında talep yönetimi için müşteri toplayan gruptur. Dağıtım sistemi operatörleri dağıtım şebekesinin işletme ve kontrolünü yapar. İletim hattı operatörleri ise üretilen elektriğin dağıtım operatörlerine ulaştırılmasında görev yapar.

Evlerde etkili bir talep yönetimi yapılması diğer yerlere göre çok daha karmaşık ve neredeyse rastgele tüketim kalıbı oluşması nedeniyle ihtiyatlı modelleme ile çalışmayı gerektirir. Evsel talep yönetimi evler için yapılmış yük yönetim uygulamaları veya yük erteleme programları ile gerçekleştirilir. Ev tüketicileri davranışsal olarak [31]; kısa süreli tüketici, gerçek duruma göre ilerleyenler, gerçek durumunu erteleyenler, gerçek durumu karmaşık yapıdakiler ve uzun süreli tüketiciler olarak sınıflandırılır.

Merkezi kontrolle yürütülen talep yönetimi ile ilgili literatürde termostatik kontrollü yükler, binalar, elektrikli araçların şarj edilmesiyle ilgili pek çok çalışma vardır [76-81]. Dağıtık kontrol temelli talep yönetimi programlarında; gerilim, reaktif güç, frekans düzenlemesi, elektrikli araç şarjı gibi konular literatürde ele alınmıştır [82]. Dağıtılmış kontrol algoritmaları ile hem dağıtık üretim kaynaklarını hem de talep yönetimi kaynaklarını kontrol ve koordine etmek amaçlanır [82].

Fiyat temelli yönetimde; sabit fiyat (flat price, FP), zamana göre kullanım tarifeli (time of use, TOU), puant zaman ücretlendirmeli (critical peak pricing, CPP), puant yük fiyatlamalı (peak load pricing, PLP), puant günü geri satılabilir (peak day rebates, PDR) ve gerçek zamanlı ücretlendirme (real time pricing, RTP) esaslı talep yönetimi uygulamaları vardır.

Sabit fiyat tarifeli programda, tüketiciler elektrik faturasında düşüşü ancak tüketimlerini azaltarak gerçekleştirebilir. Mevsimsel fiyat şeklinde uygulanması da olabilir [83].

Zamana göre kullanım tarifeli uygulamalar, sabit fiyatın farklı zaman diliminde gerçekleştirildiği yapıdadır. Bu zaman aralıkları günün farklı saatleri veya haftanın farklı günlerinde olacak şekilde düzenlenme olabilir [84]. Zamana göre kullanım

temelli yürütülen talep yönetiminin puant anlarda tüketimde çok etkili olmadığını ortaya çıkarmış çalışmalar da vardır [85].

Puant zamanı ücretlendirmeli program, zamana göre kullanım temelli tarifede uygulanan tarife yapısıyla aynıdır. Ancak farklılık, en az bir zaman aralığındaki fiyat sistem gereksinimleri veya şebeke işletmeni tarafından düzenli olarak değiştirilmesi ile gerçekleştirilir [86]. Program katılımcılarına yeni elektrik fiyatı bir gün önceden iletilir. Puant zamanı ücretlendirmeli program, sabit periyotlu ve değişken periyotlu puant fiyatlı olarak ikiye ayrılır. Sabit periyotlu puant zamanı ücretlendirmeli programlarda, enerji sağlayıcı kendi kazanımlarını en çoklamak için tek bir puant zaman kullanım ücreti ve toptan satış pazarında olay için en uzun zaman aralığı (pencere) seçer [86]. Bu tek bir puant zaman aralığında kullanım fiyatının değişken olmasının düşünüldüğü değişken periyotlu puant zamanı ücretlendirmeli programlarda olayın başlangıç zamanı ve olay periyodunun ne kadar olacağı enerji sağlayıcı tarafından kontrol edilir. Yani olay saatinin süresinin en çok yapılması hedeflenir. Bu yapı içerisinde aşırı günlük puant zamanı ücretlendirme şeklinde yapılan çalışmalarda vardır. Puant talep ücreti puant saatlerde uygulamaya devam edilir ancak bu programın farkı diğer günlerde değişken tarife kullanılmamasıdır [86].

Puant yük fiyatlamalı yapıda günün her bir periyodu belirlenmiş farklı ücretler içeren bir çok periyotlar içerir. Bu fiyatlar bir gün öncesi tüketiciye ilan edilir [87]. Burada her bir periyot aralığındaki fiyat değeri tüketicilerin ortalama tüketimleri göz önüne alınarak işletmeci çıkarlarına göre belirlenir. Burada fiyat hesaplamalarıyla puant anlarda tüketicinin talebini ertelemesi amaçlanır.

Puant günü geri satılabilir programında fiyatlama planına göre tüketiciler kritik bir olayı yanıtlamak için katılıma karar verir. Tüketiciler standart bir tarife ile tüketim yaparken kendilerine iletilen yük eşik seviyesi altına inebilirlerse, bu yük azaltma kaynaklı olarak elektrik sağlayıcıdan geri ödeme alabilmektedir [83]. Tüketicilerin gönüllü olarak katılımlarının sağlandığı bir başka program Vickrey-Clarke-Groves (VCG) olarak yürütülür [88]. Her bir tüketiciden gerekli olan tüketim miktarı için talepleri merkezi olarak alınarak fiyat hesaplanır. Ödemelerle müşteri talebi yönetilir.

Gerçek zamanlı ücretlendirme programı elektrik fiyatları enerji sağlayıcı tarafından her bir zaman aralığı için bir süre önce (15 dakika öncesi gibi) bildirilerek iler [89].

Bu programın başarılı bir biçimde yürütülebilmesi için kullanıcının ev enerji yönetim sistemi ile enerji sağlayıcı arasında iyi bir haberleşme altyapısı gerekir.

Teşvik temelli (incentive based DR) talep yönetim programları; sistemin stres altında olduğu zamanlarda tüketimi azaltmak için müşterilere sabit veya değişken teşvikler (ödemeler) vererek ilerlenen bir yapıdadır. Tüketicilerin programa katılımı gönüllülük esaslı olup bazı hallerde programdan çıkışlar cezalandırılabilmektedir [90]. Bu talep yönetimi uygulaması; doğrudan yük kontrolü (Direct Load Control, DLC), kesinti yapılabilir, azaltılabilir yük programı, acil talep yönetim programı, kapasite piyasası programı, talep artırma ihale programı, yardımcı hizmet piyasası programı (ancillary service market) olarak sınıflandırılabilir.

Doğrudan yük kontrolü; olay bazlı olarak, elektrik sağlayıcının uzaktan veya tüketicinin kendisinin gereksinim duyması halinde yükünü kapattığı veya çalışma ayarlarını değiştirdiği (klima ve ısıtıcılarda sıcaklık değeri) alışıla gelen bir talep yönetimi uygulamasıdır [32].

Kesinti yapılabilir, azaltılabilir yük programı uygulamaları, özel bir cihazın tüketiminin veya toplam tüketimin belirlenmiş bir seviye altında olması için yürütülür. Burada faturada indirim, ek bir kredi vermek gibi teşvikler sunulur [91].

Acil talep yönetim programları pazar temelli bir yaklaşımla ilerler. Doğrudan yük kontrolü, kesinti yapılabilir, azaltılabilir yük programlarının kombinasyonundan oluşur [17].

Kapasite piyasası programı, belirlenmiş yük azaltma miktarını yapabilecek önceden belirlenmiş müşterilere iletilmesi şeklinde yürütülür [92]. Genellikle tüketiciler programa bir gün önce belirtilen plana göre katılım sağlar. Tüketicilerin belirtilen yük değerini gerçekleştirememesi halinde ceza verilir.

Talep artırma (ihale) programı pazar kaynaklı bir diğer uygulamadır. Genellikle büyük müşterilere toptan satış pazarında uygulanır [17]. Burada piyasa fiyatının altında bir teklif gelirse programın uygulanması kabul edilir. Teklif edilen miktar sağlanamazsa ceza uygulanır.

Yardımcı hizmet piyasası programı talep artıma (ihale) programının bir alt ailesi olarak da görülebilir. Yük azaltma ihtiyacı oluştuğunda enerji sağlayıcı tarafından katılımcılara iletilir ve teşvik sunulur [17].

Karar değişkenine göre talep yönetimi programları iki grupta incelenir. Gruplar, görev takvimi planlama esaslı TY ve enerji yönetimi temelli TY şeklinde olur. İlk grupta talep yönetiminde yer alacak yüklerin ne zaman çalışmaya başlayacağının ayarlanması amaçlanır. İkinci grupta ise her bir tüketici veya cihazı için ne kadarlık bir enerjinin ayrılacağını esas alarak ilerler.

Görev takvimi planlama esaslı TY (task scheduling demand response); çalışması istenen cihazların ne zaman çalıştırılacağını planlamak, ayarlamak üzerine kuruludur. Bu programdaki cihazlar, sürekli çalışması gereken cihazlar ve planlama gerektiren cihazlar olarak gruplanır. Planlama yapılabilir yükler; durdurulabilir, güç tüketim ayar değerleri ile oynanabilir, ertelenebilir olma gibi niteliklere sahiptir. Erişilebilir tüketim değerine göre cihazların çalışması istenilen zaman aralıkları ve işletim sürelerine uygun planlanır [93]. Hedef, cihazların tüketimini puant zaman dışı gün dilimlerine erteleyerek puant talebi azaltmaktır.

Enerji yönetimi temelli TY programı, puant zamanlarda toplam talebi azaltmak için belirli yüklerin tüketiminin azaltılması düşüncesiyle ilerler [94]. Bir klimanın sıcaklık ayar değerinin yaz mevsiminde 22°C yerine 25°C yapılarak tüketiminin azaltılması bu program için bir uygulama örneğidir. Burada tüketicinin uygulamadan memnuniyeti ve sosyal kazanımı çok önemlidir. Programda yine bazı yüklerin görev takviminin ayarlanması da mümkündür. Bu yönetimde görev takvimi planlama; görev takvimi oluşturulamaz yüklerle ve ayarlanabilir zaman aralıklarında esnek talebe sahip tüketimi bulunan cihazlarla yapılır. Enerji yönetim sistemleri; evler için ev enerji yönetim sistemi (home energy management systems, HEMS), bina ve bürolar için bina enerji yönetim sistemi, toplu binalar için toplu enerji yönetim sistemi olarak adlandırılmaktadır.

Otomatik talep yönetimi için standard olarak OpenADR yapısı önerilir. OpenADR kar amacı gütmeyen bir organizasyondur. Bu organizasyon 2012 yılında OpenADR 2.0 profilini yayınlayarak faliyete başlamıştır [95]. OpenADR'de talep yönetiminin gönderildiği bir düğüm noktası (node) tanımlanır. Bu düğüme sanal üst düğüm (virtual top node, VTN) denir. Üst düğüm bir enerji sağlayıcı veya talep toplayıcı (aggregator) olabilir. Bir diğer düğüm, talep yönetim olayını alan yer olup sanal uç düğüm olarak (virtual end node, VEN) isimlendirilir. Sanal uç düğümler müşteriler, tüketicilerdir. VTN ve VEN arasında özel bir bilgi değiş tokuşu gerçekleşir [96]. Veri alışverişi bir VEN (EiRegistration service) kayıdı ile başlar. Kayıt sırasında VEN desteklenen

haberleşme protokollerini VTN düğüme iletir. VEN kayıt isteğine VTN bir kayıt kimlik bilgisi ile dönüş yapar. İsteğe uygun bilgiye göre haberleşme devam eder.

Vardakas ve arkadaşları [97] evde enerji tüketim kontrol ünitesi bulunan bir yapı ele almıştır. Bu yapıda evdeki cihazların kontrolü ve haberleşmesi enerji tüketim kontrol ünitesi cihazı aracılığıyla gerçekleştirilir. Giorgio ve Pimpinella [98] akıllı ev kontrol cihazlarının bulunduğu bir mimari önermiştir. Akıllı ev kontrol cihazları dağıtım sistemi operatörünün amaçlarına uygun bir biçimde yüklerin yönetimini gerçekleştirmektedir. Tüketicinin cihazı çalıştırma isteği, kullanıcı tercihlerinin alınması sonrası kontrol cihazı, yüklerin çalışmasını başlatır ve kontrol eder. Baboli ve arkadaşları [99] talep yönetim programlarını uygulama amaçlarına göre sınıflandırmıştır. Gruplar; ekonomik güdümlü talep yönetim uygulamaları, güvenlik güdümlü talep yönetim uygulamaları ve yardımcı hizmet için talep yönetim uygulamalarıdır. Ekonomik güdümlü talep yönetimi; gün öncesi (ihale, teklif temelli) ve gerçek zamanlı (fiyat temelli) olmak üzere ikiye ayrılır. Güvenlik güdümlü (reliability-driven) uygulamalar; acil durum talep yönetimi (enerji ücret ödemeli) ve aktif yük yönetimi (kapasite ödemeli) olarak ilerler. Yardımcı hizmet esaslı talep yönetim programları ise frekans düzenleme ve yedek rezerv oluşturma amacına göre ilerler. ABD'de şebeke güvenliği güdümlü programlar ağırlıklı olarak uygulanır [99]. Talep yönetimi programlarının etkili olması için paydaşların yapması gerekenler ve kazanımları Çizelge 2.15'de verilmiştir.

Çizelge 2.15 : Talep yönetiminde aktörler, kazanımlar ve yapılması gerekenler [99].

Aktör	Kazanım	Yapılması gerekenler
Toplum	Toplam enerji sağlama maliyetini azaltmak.	Birey katılımı için uygun teşvikler sağlanmazsa toplumsal kazanımlar kaybedilir.
Regülasyon	Daha düşük enerji maliyeti ve pazar gücünde yatışma.	Talep yönetimi teşvik yolları belirlenmelidir.
Sistem işletmecisi	Adil ve güvenilir bir şebeke.	Haberleşme ve veri toplama sayaçlarının koordineli ve bütünleşik çalışması.
Enerji sağlayan şirket	Talep yönetimini destekleyecek enerji içerikli hizmet ve programlar sağlamak.	Talep yönetimi ile doğrudan bir gelir almayacak.
Talep yönetimi hizmet sağlayıcı	Puant anlarda sanal güç santrali sağlayarak işletim maliyetini azaltacak.	Tahmine uygun bir para akışı sağlayacak market seçmek.
Perakendeci	Pazarda rekabetçi ve daha kar eden bir profil oluşşacak.	Talep yönetimi olay ve veri yönetim sistemleri olmalı ve bunlarla ilgili çalışcak personel gerekli.
Dağıtım şirketi	Şebeke verimini artıracak.	Perakende satış elemanı yetiştirilmelidir.
Müşteriler	Doğrudan finansal ödül alacaktır.	Sorumluluklara karşı katılımdan kazanım ölçülmelidir.

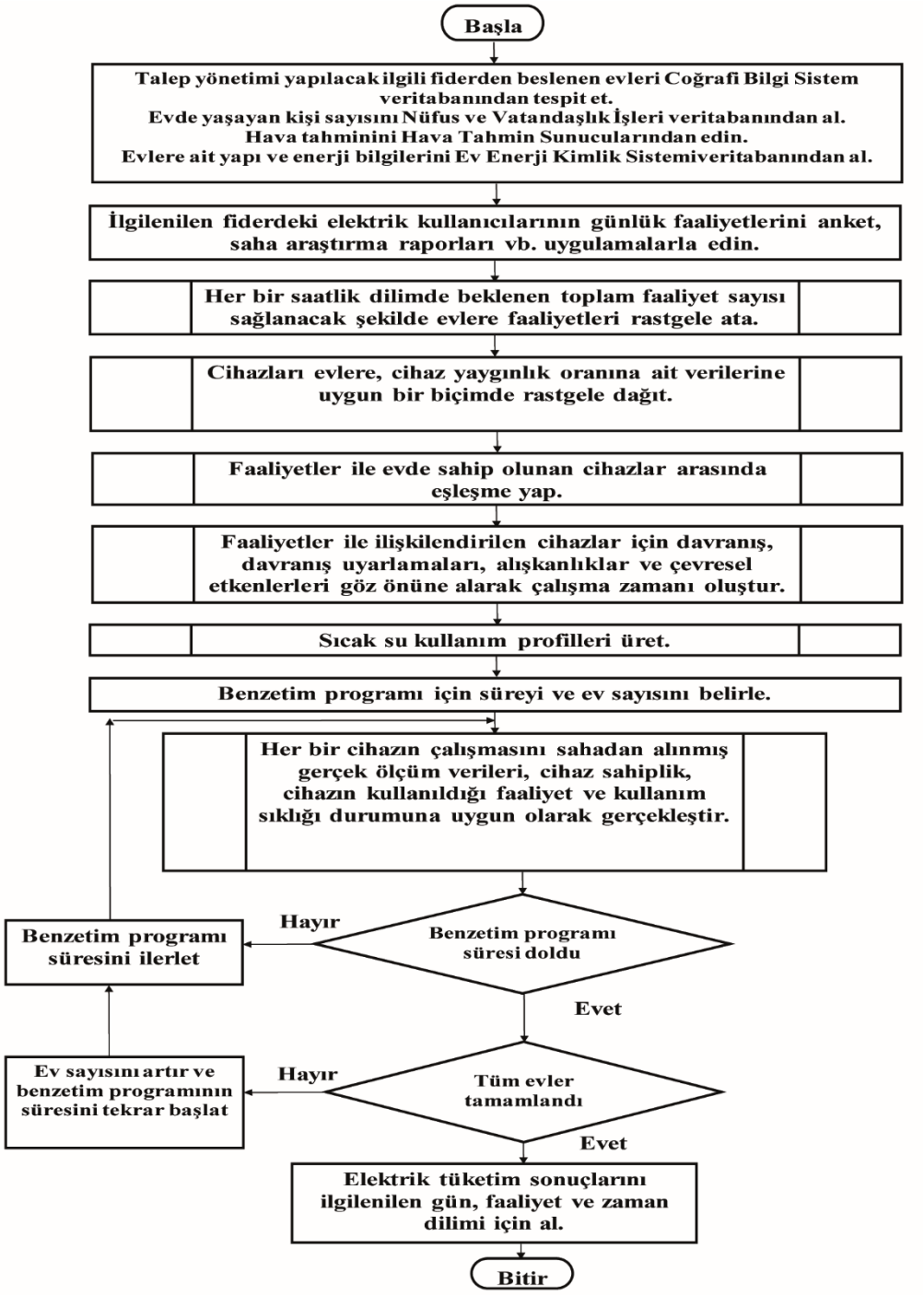
3. BİREY ODAKLI KONFOR ÖNCELİKLİ EVSEL TALEP YÖNETİMİ

3.1 Evsel Elektrik Talebinin Elde Edilme Yöntemi

Günümüz evleri her ne kadar enerji verimliliği fazla ve çeşitli ev enerji yönetim sistemleri ile donatılmış olsa da evsel elektrik tüketimi, eski evlere göre çok daha fazla sayıda cihazlara sahip olunması nedeniyle gün geçtikçe artmaktadır [100]. Ev kullanıcılarının puant anlarda tüketimlerinin beklenilen seviyelere indirilmesi için tüketim davranışlarında değişiklik yapması beklenir. Literatürde tüketici davranışını, binada enerji tüketimini değiştiren eylemler olarak tanımlayan Klein ve arkadaşları [9], bunu kişilerin bir cihazı kullanması veya ortamı kontrol etmesi ile ilişkilendirmiştir. Isıtma sistemleri için ayar değerleri ile oynama, lambaların aydınlık şiddetinin azaltılması, pence aç, kapa, güneşliklerin kontrolü gibi eylemler de tüketici davranışı olarak kabul görmektedir [10]. Evin fiziksel ortam koşullarının ilgili cihazlarla konforu sağlayacak biçimde dönüştürülmesini isteyen kişi eylemleri de bir tüketici davranışı olarak ele alınmıştır [11]. Fiziksel ve davranışsal belirleyici faktörlerin enerji tüketimini etkilediğini belirten Yao ve Steemers [12], davranışsal alışkanlıkların mevsimsel etkilerden en az etkilenen bir yapıda olduğunu belirtmektedir. İnsanların fırın, çamaşır makinesi, televizyon gibi cihazları kullanımında davranışsal alışkanlıkları etkindir. Evin fiziksel koşulları, daha çok mevsimsel değişimlerden dolayı kişileri cihaz kullanmaya yönlendirir. Kendi ürettiği elektriği tüketmek isteyen tüketici davranışı talep büyüklüğü açısından önem taşır [14]. Üreten tüketicinin davranışına bakıldığında ise aktif olmayan kullanıcı grubu mevcut alışkanlıklarını ve kullanım ayarlarını pek değiştirme yanlısı olmayan bir yapıdadır [13]. Tüketicilerin yapabileceği davranışsal değişimler için seçeneklerin kolay çözümlü, sürdürülebilir, kullanıcı yetenek ve imkanlarına uygun olması beklenilir [15]. Puant talebin azaltılması için tüketicilerin yaptığı değişimler yaş grupları arasında farklılık göstermektedir [16]. Elektrik fiyatına göre tüketim davranışı, talebin şekillendirilmesinde önemli bir unsurdur [17]. Ayrıca konfor düzeyinde kişiler arasında olabilecek farklılıklarında göz önüne alınması gerekir [54].

Bu doktora tez çalışmasında, birey odaklı evsel elektrik talebinin elde edilmesi için yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Evsel elektrik yük güç modellerinde on iki evsel faaliyet ve evlerde elektrik tüketiminde etkin role sahip on altı farklı cihaza yer verilmiştir. Evde yürütülen faaliyetler; uyku, iş, yemek, ulaşım, eğitim, ev işi, alışveriş, eğlence, televizyon, internet, ibadet ve bunlar dışındakiler ise diğer olacak şekilde isimlendirilmiştir. Faaliyet tabanlı güç modelleri ile birey odaklı bir yaklaşım yansıtılarak cihaz kullanımı ve buna uygun elektrik talebi elde edilmektedir. Çalışmanın özgün yanlarından birisi mevcut modelleme yöntemlerine göre daha fazla yeni bileşen içermesidir. Güç modelleri dakikalık ve saniyelik toplanmış gerçek ölçüm verileriyle oluşturulmuştur. Faaliyet kalıpları için doğruluğu yüksek, güvenilir saha araştırmalarına [39] yer verilmiştir. Kullanılan faaliyet sayısı diğer çalışmalarda [7, 12, 20, 25, 29] yer alan sınırlı faaliyetlere göre oldukça fazladır. Çalışma [7, 29] ile faaliyet olarak tanımlı bazı eylemler bu doktora tez çalışmasında bir davranış veya davranış uyarlaması olarak kullanılmıştır. Tüketicinin cihaz kullanım davranışı geniş araştırma sonuçlarına dayalı çalışmalardan [34] elde edilmiştir. Cihaz sahiplik oranı, cihaz kullanım alışkanlıklarına ait zaman, kullanım süresi ve sıklığı çalışmaya yansıtılarak güç modelleri tüketicinin alışkanlıklarını, davranışsal uyarlama gereksinimlerini ve fiziksel çevrenin etkisini yansıtan bir yapıda oluşturulmuştur. Yetersiz aydınlık şiddetinde tüketicinin lamba kullanımını başlatması, farklı yıkama programı seçenekleri sunulması, ek durulama isteğinin karşılanması, banyo, temizlik, bulaşık yıkama gereksinimi için sıcak su talebi oluşturulması, klima ve kombi kullanımında sıcaklıkların seçimi evin bireylerine özgü davranış uyarlamaları olarak ele alınmıştır. Cihaz bağlılıklarına da çalışmada yer verilmiştir. Örneğin çamaşır makinesi için farklı programların seçimi sonrası ek durulama istekleri, kurutucu kullanımı birer iç bağlılık olarak tanımlandı. Klima ve kombi kullanımları dış bağlılık yani çevrenin ve binanın fiziksel faktörleriyle ilişkilendirilmiş, sıcak su kullanımı; temizlik, banyo ve elde bulaşık yıkama gibi eylemlerin karşılanmasına yönelik olarak gerçekleştirilmiştir. Uyku faaliyetinde bazı cihazların (fırın, ütü vb.) kullanılmaması sağlanmış, cihazların kullanım gereksinimleri ilişkilendirilmiş faaliyetlerde karşılanmıştır. Örneğin yemek faaliyetinde fırın ve aspiratör kullanımı gerçekleşmektedir. Ev işi faaliyetinde; ütü, süpürge kullanımı mümkündür. Televizyon izleme ve internet kullanımı yine ilgili televizyon ve internet faaliyetinde gerçekleşebilir. İbadet faaliyeti bazı cihazların kullanımını kısıtlayan yapıdadır. İş, ulaşım, eğlence, alışveriş ve eğitim bireyin sosyal, kültürel ve ekonomik durumunun

yansıması olarak değerlendirilmiştir. Isıtma, soğutma sistemi kullanımına ve sıcak su ihtiyacının belirlenmesinde evde kişi sayısına modellerde yer verilmiş ayrıca dış çevre ve evin geometrisine bağlı olarak ısıl kayıplar ve kişinin konforuna yönelik ısıl değişimler dikkate alınmıştır. Faaliyet tabanlı (birey odaklı) yük güç modelleri ile evsel elektrik talebinin elde edilmesi sağlanarak talebin yönetilebilir büyüklüğü, cihaz, zaman ve faaliyetler bazında elde edilmiştir. İzlenen yöntem Şekil 3.1'de sunulmuştur.



Şekil 3.1 : Faaliyet tabanlı (birey odaklı) yük güç modelleri ile evsel elektrik talebinin elde edilmesinde izlenen yöntem.

3.2 Faaliyetlerin Evlere Atanması

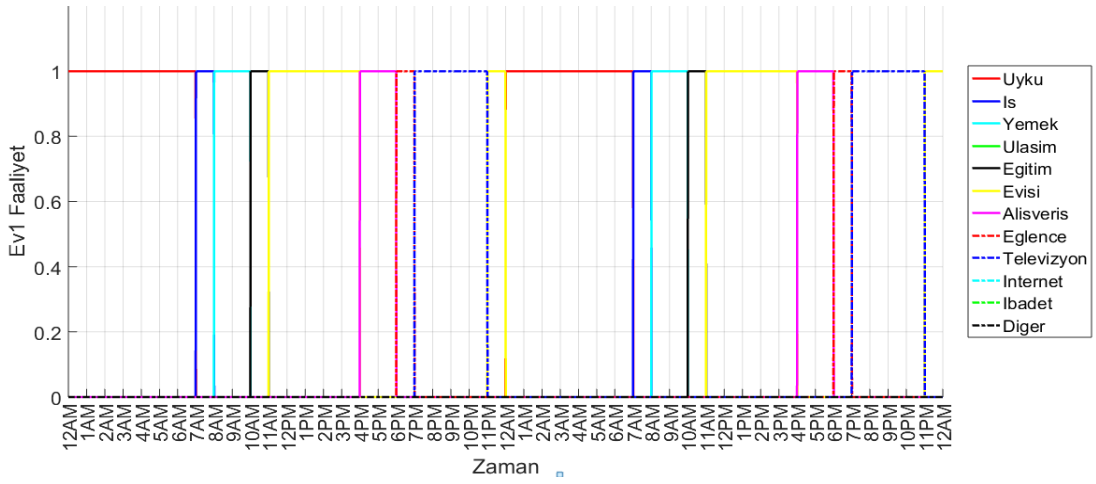
Evdeki bireylerin ne tür faaliyetleri hangi zaman aralıklarında gerçekleştirdiklerine yönelik veri elde etmek için evlerin kullanımı ve yürütülen faaliyetler konusunda yapılmış farklı anket veya saha araştırmaları gözden geçirilmiştir. Araştırma çalışmalarından elde edilen sonuçlar kullanılarak bireylerin ev içerisindeki faaliyetleriyle elektrik tüketimlerinin ilişkilendirilmesi amaçlanmıştır.

Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2014-2015 yıllarını kapsayan bir çalışmasında; bireylerin yaş, cinsiyet, eğitim durumu, gelir düzeyi, çalışma durumu gibi değişkenlere göre hangi faaliyetlere ne kadar süre ayırdıkları araştırılmıştır [40]. Uykuya ayrılan zaman, on ve daha yukarı yaştaki bireyler için günde ortalama 8 saat 48 dakikadır. Erkekler, 8 saat 44 dakika uyurken kadınlarda bu süre 8 saat 52 dakika olmaktadır. Uykuya ayrılan süre, hafta içi ortalama 8 saat 35 dakika iken bu süre hafta sonu 9 saat 20 dakikaya yükselmektedir. Uyku sonrası en fazla zaman, 2 saat 45 dakikalık ortalama ile yemek ve diğer kişisel bakım faliyetleri için harcanmaktadır. Bunu 2 saat 35 dakika ile hanehalkı ve aile bakımı sonrasıysa istihdam faaliyeti takip etmektedir. Çalışan erkekler günde ortalama 6 saat 25 dakikayı istihdam ile ilgili faaliyetlerde geçirirken çalışan kadınlardaysa bu süre 4 saat 32 dakika olarak bulunmuştur. Hanehalkı ve aile bakımına ayrılan zaman incelendiğinde; on beş ve üstü yaştaki çalışan bireylerin bu işlere ayırdığı süre 1 saat 34 dakikadır. Çalışmayan bireylerde süre daha yüksek olup 3 saat 47 dakika bulunmuştur. Cinsiyete göre hanehalkı ve aile bakımına ayrılan zamana baktığımızda, çalışan erkekler bu faaliyete 46 dakika ayırırken kadınlarda bu süre 3 saat 31 dakikadır. Eğitim seviyesi yükseldikçe sosyal yaşam ve eğlenceye ayrılan sürenin de azaldığı gözlemlenmiştir. Okul bitirmeyenlerde sosyal yaşam ve eğlence faaliyetine ayrılan süre 2 saat 24 dakika iken ilkokul mezunlarında bu süre 1 saat 51 dakika olarak bulunmuştur. Ortaokul mezunlarında sosyal yaşam ve eğlence faaliyetine ayrılan süre 1 saat 44 dakika, lise mezunlarında 1 saat 36 dakika, yüksek okul ve üniversite mezunu kişilerin ise ayırdıkları süre 1 saat 29 dakikadır. Geliri 1080 liradan az olan kişilerin gönüllü işler ve toplantıya ayırdığı süre 56 dakika olurken bu süre, 3181 lira üzeri gelire sahip hanehalkında 27 dakika olarak elde edilmiştir. Eğitim faaliyetine günde ortalama 3 saat 51 dakika ile en çok 10-14 yaş grubundaki bireyler zaman ayırırken diğer yüksek yaş gruplarında bu süre azalmaktadır. Benzer durum hobi ve oyun faaliyeti ile spor faaliyetleri için de geçerli olmuştur. 10-14 yaş grubu hobi ve oyuna 59 dakika, spor ve doğa sporlarına 29 dakika

ayırmıştır. Sosyal faaliyetler incelendiğinde on ve üstü yaştaki bireylerin en fazla yaptıkları faaliyet %94,6 ile televizyon izlemek, %69,6 ile akraba ziyaretinde bulunmak ve %55,7 ile arkadaş ziyaretinde bulunmak olarak elde edilmiştir.

Bu tez çalışmasında incelenen bir diğer zamana göre kullanım araştırması ise KONDA araştırma şirketi tarafından yapılmıştır [39]. Şubat 2018'de 15 yaş üstü nüfusu temsilen 5793 kişi ile görüşülmüş ve 24 saatlerini neler yapmak için geçirdikleri sorulmuştur. Her bir saatlik dilimde 11 farklı kategoride yer alan hangi faaliyetleri gerçekleştirdikleri öğrenilmiştir. Çizelge 3.1'de araştırma sonuçlarından elde edilen ve bu tez çalışmasında da kullanılan Türkiye ortalaması verilmiştir.

Her ev için Çizelge 3.1 verileri kullanılarak istenilen bir süre boyunca rastgele bir faaliyet dağılımı oluşturulmuştur. Evlerdeki her bir faaliyet toplamı, yapılan araştırma sonucu olan Türkiye ortalamasını verecek biçimde düzenlenmiştir. Bu çerçevede rastgele üretilen bir ev faaliyet zaman değişimi (1 numaralı ev için) Şekil 3.2'de görülmektedir. Buna göre bir numaralı evde 00.00-07.00 arası uyuma, 07.00-08.00 arası işe gitme, 08.00-10.00 arası eve gelme ve yemek, 10.00-11.00 arası eğitim, 11.00-16.00 arası ev işi, 16.00-18.00 arası alışveriş, 18.00-19.00 arası eğlence, 19.00-23.00 arası televizyon, 23.00-24.00 arası yine ev işi faaliyeti yapılmıştır.



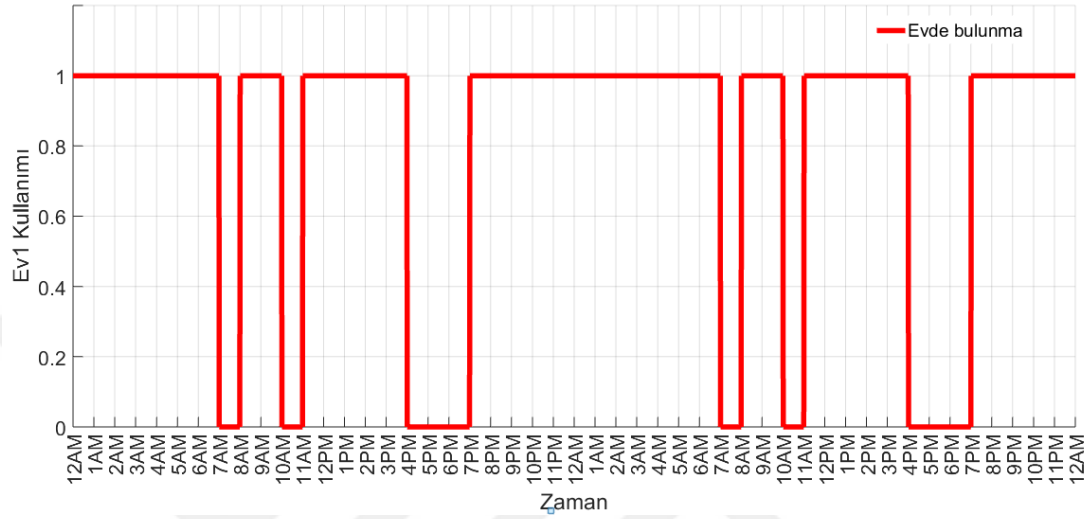
Şekil 3.2 : Bir numaralı ev için rastgele üretilmiş faaliyetler ve zamana göre değişim.

Evde elektrik tüketimi kişilerin evde bulunma durumlarıyla birebir ilişkili olduğundan -güvenlik ve yapılan işi kontrol etme isteği kaynaklı olarak kişiler cihazlarını evde olmadıkları dönemde çalıştırmayı çok tercih etmezler- her ev için rastgele üretilen faaliyetlerin zamana göre değişimine özgü evde bulunma durumları tanımlanmıştır.

Çizelge 3.1 : Zamana göre aynı faaliyette bulunan ev sayısı.

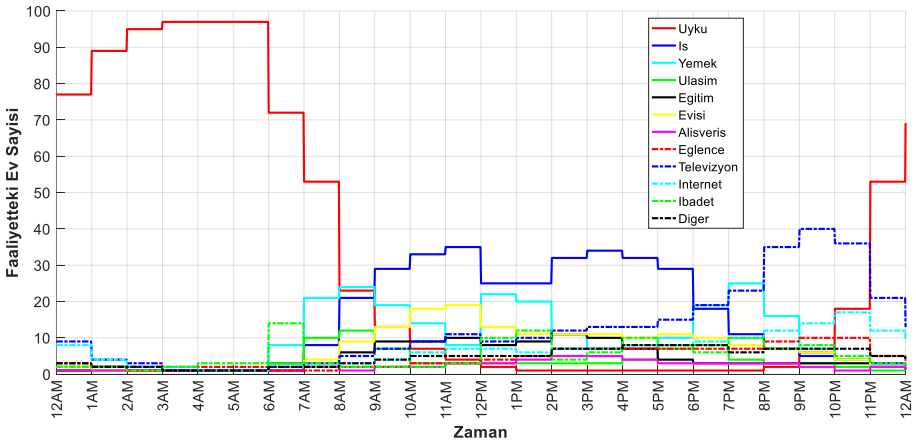
Faaliyet	Ev sayısı											
saat	Uyku	İş	Yemek	Ulaşım	Eğitim	Ev işi	Alışveriş	Eğlence	Televizyon	İnternet	İbadet	Diğer
06.00-07.00	72	2	7	2	0	1	0	0	1	1	13	1
07.00-08.00	53	7	20	9	1	3	1	0	2	1	2	1
08.00-09.00	23	20	23	11	5	8	0	1	4	2	1	2
09.00-10.00	13	28	18	6	8	12	1	1	6	3	1	3
10.00-11.00	7	32	13	2	8	17	1	2	8	5	1	4
11.00-12.00	4	34	7	2	9	18	2	2	10	6	2	4
12.00-13.00	2	24	21	2	7	12	2	3	8	6	9	4
13.00-14.00	1	24	19	2	8	10	3	4	9	5	11	4
14.00-15.00	1	31	10	2	10	10	4	6	11	6	3	6
15.00-16.00	1	33	6	2	9	10	4	6	12	6	5	6
16.00-17.00	1	31	6	3	6	9	3	6	12	7	9	7
17.00-18.00	1	28	9	6	3	10	2	6	14	7	7	7
18.00-19.00	1	17	18	7	2	9	2	6	18	8	5	7
19.00-20.00	1	10	24	3	2	7	2	6	22	9	9	5
20.00-21.00	2	6	15	2	2	6	2	8	34	11	6	6
21.00-22.00	6	4	6	2	2	5	1	9	39	13	7	6
22.00-23.00	18	3	3	1	2	3	0	9	35	16	4	6
23.00-00.00	53	2	1	0	1	1	1	4	20	11	2	4
00.00-01.00	77	1	1	0	0	1	0	2	8	7	1	2
01.00-02.00	89	1	0	0	1	0	0	1	3	3	1	1
02.00-03.00	95	1	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1
03.00-04.00	97	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0
04.00-05.00	97	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0
05.00-06.00	97	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0

Evde kişi varlığı gerektiren faaliyet türleri; uyku, yemek, ev işi, televizyon, internet, ibadet ve diğer olarak isimlendirilendir. Çalışmada her evin faaliyet durumlarına uygun olarak ev işgal durumu (kişi varlığı, ev kullanımı), işgal başlangıcı, işgal bitişi ve işgal süresi elde edilir. Şekil 3.3'de bir numaralı ev için faaliyetlerine uygun olarak elde edilen işgal durumu yani evde en az bir kişinin olduğu zamanlar görülmektedir.



Şekil 3.3 : Bir numaralı ev için evde en az bir kişi bulunma durumu.

Bu tez çalışması kapsamında MATLAB ortamında yazılmış algoritmalar ile 100 ev için elde edilen faaliyet durumları sırasıyla Şekil 3.4'de görülmektedir.



Şekil 3.4 : Yüz ev için faaliyetlerin zamana göre değişimi.

3.3 Cihazların Evlere Dağıtılması ve Faaliyetlerle Eşleştirilmesi

Tez çalışmasında ev tüketimini şekillendiren etkin cihazlara yer verilmiştir. Bunlar; televizyon (TV), uydu alıcı (SR), buzdolabı (RF), derin dondurucu (FR), dizüstü bilgisayar (PC), fırın (OV), ütü (IR), bulaşık makinesi (DW), çamaşır makinesi (WM),

ek durulama (AR), çamaşır kurutma makinesi (CD), klima (AC), elektrikli süpürge (VC), aspiratör (KH), termosifon (WH), kombi (CB) ve lambalardır. Bu cihazların evlerde bulunma durumları cihaz sahiplik istatistik çalışmasına [34] uygun olarak oluştulmuştur. Buzdolabı, derin dondurucu, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, çamaşır kurutma makinesi, fırın, klima, kombi ve termosifon için cihaz sahiplik oranları sırasıyla: %106, %52, %95, %42, %34, %77, %70, %8, %70 ve %23 alınmıştır. Buzdolabının cihaz sahiplik oranının yüzden büyük olması ikinci bir buzdolabına sahip evlerin mevcut olduğunu ifade eder. Ütü, elektrikli süpürge, bilgisayar, televizyon, uydu alıcı ve lamba her evde bulunan cihazlar olarak çalışmada yer almıştır.

Buzdolabı ve derin dondurucu tüm faaliyetler içinde çalışmasına izin verilen, evlerde kullanıcı bulunma ihtiyacı gerektirmeyen bir cihaz olarak ele alınmıştır. Bu cihazlar dışındaki diğer tüm cihazlar, çalışmalarının başlatılması için evde kullanıcı bulunması gerektiren niteliktedir. Çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, çamaşır kurutucu, klima, termosifon ve kombi evde kişi varlığı gerektiren ve uyku faaliyetinde de çalışmasına izin verilen cihazlardır. Ayrıca bu cihazlar evde kullanıcı bulunan bir faaliyette çalışmaya başlamışsa evde bulunmayı gerektirmeyen diğer faaliyetlerde de görevinin tamamlanması mümkündür. Elektrikli süpürge, ütü, fırın, bilgisayar, televizyon, uydu alıcı ve aspiratör çalışmasına uyku faaliyetinde izin verilmemiştir. Elektrikli süpürge ve ütünün ev işi faaliyetinde kullanımına izin verilmektedir. Fırın ve aspiratör yemek faaliyetinde çalıştırılabilir. Televizyon ve uydu alıcı cihazları televizyon izleme faaliyetinde kullanımı mümkündür. İnternet faaliyetinde bilgisayar kullanımı sağlanmaktadır. Klima, kombi ve termosifon tüm faaliyet içerisinde çalışan cihazlardır. Lambaların kullanımı evde kişi varlığı ile mümkündür. Lambaların uyku faaliyeti içinde kullanımı aydınlık düzeyi dışında zaman olarak da kısıtlanmıştır. Ancak sabah altı ile sekiz saatleri arası kullanımına izin verilmiştir.

3.4 Cihaz Çalışma Süre Tayini ve Faaliyet Tabanlı Güç Modelleri Gerçekleme

Buzdolabı ve derin dondurucu gibi cihazlar belirli bir eş zamanlılık (diversified) durumunda işletilir. Eğer bu cihazların çalışması merkezi bir yönetim birimi tarafından kesintiye uğratılırsa (kompresörü durdurulursa), sürekli hal çalışmadaki eş zamanlılık koşullarından uzaklaşılır. Kesinti süresi uzadığında tekrar enerjilendirme sırasında bu cihazlara ilişkin kurulu gücün tamamının oluşturacağı talep aşırı yüklenmeye neden

olabilir (cold load pick up). Sistemin tekrar enerjilendirilmesi koruma sisteminin devreye girmesi nedeniyle mümkün olmayabilir, kademeli devreye almada ise sürekli-hal eşzamanlılık koşullarının sağlanması ise ortam sıcaklığı ve yük karakteristiğine bağlı olarak uzun zaman alabilir. Bu yüklere özgü bir talep yönetimi olayında, talebin şekillendirilmesi yapılırken erteleme yoluyla yükün belirli bir süre azaltılması veya çalışmanın belirli bir süre durdurulması ile talebin azaltılması söz konusudur. Ancak ertelenmiş süre sonu ile cihazın çalışmasında veya çalışan cihazın durdurulması sonrası oluşacak yeni enerji talebi, başlangıç duruma göre daha fazla olacaktır. Cihazın çalışmasını geciktirmek yerine başlangıç zamanını öne almak da mümkündür. Burada yine yük azaltmayı bir süre sonra yük artması izleyecektir.

Tez çalışmasında, buzdolabı ve derin dondurucu için yukarıda özetlenen soğuk yük talep artışını önleyecek biçimde cihazların çalışması başlatılmaktadır. Ev i içindeki buzdolabı j için bekleme süresi $t_{bekleme,RF}^{i,j}$, soğutma süresi $t_{soguk,RF}^{i,j}$, karlanma çözme süresi $t_{karcoz,RF}^{i,j}$ ve bu sürelerin toplamıysa buzdolabı çevrim süresi (peryot) $T_{RF}^{i,j}$ olarak ifade edilebilir. Başlangıç anı $t_{basla,RF}^{i,j}$, her ev için bir farklı aşama tayini ve ilgili çalışma aşamasının da farklı süresinde olması rastgele (3.1)'de sağlanır. Ev i içindeki toplam buzdolabı sayısı λ_{RF}^{i} olmak üzere $\Phi_{RF}^{i,j}$ ikili değeri, buzdolabı j mevcutsa 1 değerini aksi durumda sıfır değerini alır. Ev i içindeki buzdolabı j için m anındaki gücü $LP_{RF}^{i,j,m}$, bir periyodik güç fonksiyonu şeklinde yazılabilir. Buzdolabı gücü P_{RF} için alınan ölçüm sonuçlarının ayrıntıları ise Bölüm 2.2'de verilmiştir.

$$\left.\begin{aligned}
t_{basla,RF}^{i,j} &= random\ integer[1, T_{RF}^{i,j}] \\
T_{RF}^{i,j} &= t_{bekleme,RF}^{i,j} + t_{soguk,RF}^{i,j} + t_{karcoz,RF}^{i,j} \\
P_{bekleme,RF}^{i,j} &= \bigcup_{n=1}^{\infty} \bigcup_{m=1}^{t_{bekleme,RF}^{i,j}} P_{RF}(nT_{RF}^{i,j} + m) \\
P_{soguk,RF}^{i,j} &= \bigcup_{n=1}^{\infty} \bigcup_{m=t_{bekleme,RF}^{i,j}+1}^{T_{RF}^{i,j}-t_{soguk,RF}^{i,j}} P_{RF}(nT_{RF}^{i,j} + m) \\
P_{karcoz,RF}^{i,j} &= \bigcup_{n=1}^{\infty} \bigcup_{m=T_{RF}^{i,j}-t_{soguk,RF}^{i,j}+1}^{T_{RF}^{i,j}} P_{RF}(nT_{RF}^{i,j} + m) \\
LP_{RF}^{i,j,m} &= \bigcup_{n=1}^{\infty} \bigcup_{i=1}^{100} \bigcup_{j=1}^{\lambda_{RF}^{i}} \bigcup_{m=1}^{M} \Phi_{RF}^{i,j}\, P_{RF}\left(nT_{RF}^{i,j} + m\right)
\end{aligned}\right\} \quad (3.1)$$

Ev i içindeki derin dondurucu j için bekleme süresi $t^{i,j}_{beklemeFR}$, soğutma süresi $t^{i,j}_{soguk,FR}$ ve bunların toplamıysa çevrim süresi (peryot) $T^{i,j}_{FR}$ olarak ifade edilebilir. Başlangıç anı $t^{i,j}_{basla,FR}$, her ev için bir farklı aşama tayini ve ilgili aşamasında da farklı sürede olması rastgele (3.2)'de sağlanır. Ev i içindeki toplam derin dondurucu sayısı λ^{i}_{FR} olmak üzere $\Phi^{i,j}_{FR}$ ikili değeri derin dondurucu j mevcutsa 1 değerini alır aksi durumda sıfırdır. Ev i içindeki derin dondurucu j için m anındaki gücü $LP^{i,j,m}_{FR}$, bir periyodik güç fonksiyonu şeklinde yazılabilir. Derin dondurucu gücü P_{FR} için alınan ölçüm sonuçlarının ayrıntıları Bölüm 2.2'de verilmiştir.

$$\left.\begin{aligned} t^{i,j}_{basla,FR} &= random\ integer\left[1, T^{i,j}_{FR}\right] \\ T^{i,j}_{FR} &= t^{i,j}_{bekleme,FR} + t^{i,j}_{soguk,FR} \\ P^{i,j}_{bekleme,FR} &= \bigcup_{n=1}^{\infty} \bigcup_{m=1}^{t^{i,j}_{bekleme,FR}} P_{FR}(nT^{i,j}_{FR} + m) \\ P^{i,j}_{soguk,FR} &= \bigcup_{n=1}^{\infty} \bigcup_{m=t^{i,j}_{bekleme,FR}+1}^{T^{i,j}_{FR}} P_{FR}(nT^{i,j}_{FR} + m) \\ LP^{i,j,m}_{FR} &= \bigcup_{n=1}^{\infty} \bigcup_{i=1}^{100} \bigcup_{j=1}^{\lambda^{i}_{FR}} \bigcup_{m=1}^{M} \Phi^{i,j}_{FR}\, P_{FR}\left(nT^{i,j}_{FR} + m\right) \end{aligned}\right\} \quad (3.2)$$

Çamaşır makinesi yıkama için tercih edilen zaman aralıklarına (alışkanlıklara) uygun düşecek biçimde rastgele dağıtılmıştır. Cihaz j' nin ev i' de kişi bulunması gerektiren bir faaliyet içinde çalışmaya başladığı süre $t^{i,j}_{basla,WM}$ olarak belirtilir. Ev i için toplam çamaşır makinesi sayısı λ^{i}_{WM} olsun. $\Phi^{i,j}_{WM}$ ise çamaşır makinesi j' nin ev i' de bulunma durumunu belirtsin. Eğer bu değer 1 ise cihaz ilgili evde var, değer 0 ise ilgili evde cihaz yok demektir. Farklı yıkama programları için yıkama programı toplam süresi $T^{i,j}_{WM}$ olan çamaşır makinesi j' nin ev i' de zamana göre tüketimi (gücü) $LP^{i,j,m}_{WM}$ ile temsil edilip (3.3)'te değeri hesaplanabilir. Çamaşır makinesi gücü P_{WM} için alınan ölçüm sonuçlarının ayrıntıları ise Bölüm 2.2'de verilmiştir.

$$LP^{i,j,m}_{WM} = \bigcup_{i=1}^{100} \bigcup_{j=1}^{\lambda^{i}_{WM}} \bigcup_{m=t^{i,j}_{basla,WM}}^{T^{i,j}_{WM}+t^{i,j}_{basla,WM}} \Phi^{i,j}_{WM}\, P^{i,j,m}_{WM} \quad (3.3)$$

Bulaşık makinesi yıkama için tercih edilen zaman aralıklarına (alışkanlıklara) uygun düşecek biçimde rastgele dağıtılmıştır. Cihaz j' nin ev i' de kişi bulunması gerektiren bir faaliyet içinde çalışmaya başladığı süre $t^{i,j}_{basla,DW}$ olarak belirtilir. Ev i için toplam

bulaşık makinesi sayısı λ_{DW}^{i} olsun. $\Phi_{DW}^{i,j}$ ise bulaşık makinesi j' nin ev i' de bulunma durumunu belirtsin. Eğer bu değer 1 ise cihaz ilgili evde var, değer 0 ise ilgili evde cihaz yok demektir. Farklı yıkama programları için yıkama programı toplam süresi $T_{DW}^{i,j}$ olan bulaşık makinesi j' nin ev i' de zamana göre tüketimi (gücü) $LP_{DW}^{i,j,m}$ ile temsil edilip (3.4)'te değeri hesaplanabilir. Bulaşık makinesi gücü P_{DW} için alınan ölçüm sonuçlarının ayrıntıları ise Bölüm 2.2'de verilmiştir.

$$LP_{DW}^{i,j,m} = \bigcup_{i=1}^{100} \bigcup_{j=1}^{\lambda_{DW}^{i}} \bigcup_{m=t_{basla,DW}^{i,j}}^{T_{DW}^{i,j}+t_{basla,DW}^{i,j}} \Phi_{DW}^{i,j} \, P_{DW}^{i,j,m} \tag{3.4}$$

Çamaşır kurutucusu, çamaşır makinesi sonrası yıkama için tercih edilen zaman aralıklarına (davranışlara) uygun düşecek biçimde rastgele dağıtılmıştır. Cihazın günlük kullanım olasılığı 1/3 olarak seçilmiştir. Kurutucu j' nin ev i' de kişi bulunması gerektiren bir faaliyet içinde çalışmaya başladığı süre $t_{basla,CD}^{i,j}$ olarak belirtilir. Ev i için toplam çamaşır kurutucu sayısı λ_{CD}^{i} olsun. $\Phi_{CD}^{i,j}$ ise kurutucu j' nin ev i' de bulunma durumunu belirtsin. Eğer bu değer 1 ise cihaz ilgili evde var, değer 0 ise ilgili evde cihaz yok demektir. Kurutma programı toplam süresi $T_{CD}^{i,j}$ olan kurutucu j' nin ev i' de zamana göre tüketimi (gücü) $LP_{CD}^{i,j,m}$ ile temsil edilip (3.5)'te değeri hesaplanabilir. Çamaşır kurutucu gücü P_{CD} için alınan ölçüm sonuçlarının ayrıntıları ise Bölüm 2.2'de verilmiştir.

$$LP_{CD}^{i,j,m} = \bigcup_{i=1}^{100} \bigcup_{j=1}^{\lambda_{CD}^{i}} \bigcup_{m=t_{basla,CD}^{i,j}}^{T_{CD}^{i,j}+t_{basla,CD}^{i,j}} \Phi_{CD}^{i,j} \, P_{CD}^{i,j,m} \tag{3.5}$$

Elektrikli fırın, yemek faaliyeti için tercih edilen zaman aralıklarına (davranışlara) uygun düşecek biçimde rastgele dağıtılmıştır. Cihazın günlük kullanım olasılığı 1/3 olarak seçilmiştir. Yıllık kullanımı 110 olarak alınmıştır. Elektrikli fırın j' nin ev i' de kişi bulunması gerektiren bir faaliyet içinde çalışmaya başladığı süre $t_{basla,OV}^{i,j}$ olarak belirtilir. Ev i için toplam elektrikli fırın sayısı λ_{OV}^{i} olsun. $\Phi_{OV}^{i,j}$ ise fırın j' nin ev i' de bulunma durumunu belirtsin. Eğer bu değer 1 ise cihaz ilgili evde var, değer 0 ise ilgili evde cihaz yok demektir. Rastgele seçilen pişirme toplam süresi $T_{OV}^{i,j}$ olan fırın j' nin ev i' de zamana göre tüketimi (gücü) $LP_{OV}^{i,j,m}$ ile temsil edilip (3.6)'da değeri hesaplanabilir. Cihazın gün içinde birden fazla çalışması $K_{OV}^{i,j}$ değeri ile belirlenir. Eğer

fırın güç anahtarı k. kullanım için açık konumunda ise $S_{OV}^{i,j,k,m}$ değeri bir aksi halde sıfır değerindedir. Fırın gücü P_{OV} için alınan ölçüm sonuçlarının ayrıntıları ise Bölüm 2.2'de verilmiştir.

$$LP_{OV}^{i,j,m} = \bigcup_{i=1}^{100} \bigcup_{j=1}^{\lambda_{OV}^{i}} \bigcup_{k=1}^{K_{OV}^{i,j}} \bigcup_{m=t_{basla,OV}^{i,j}}^{T_{OV}^{i,j}+t_{basla,OV}^{i,j}} \Phi_{OV}^{i,j} P_{OV}^{i,j,m} S_{OV}^{i,j,k,m} \tag{3.6}$$

Aspiratörün çalışması için evin yemek faaliyetinde bulunması gerekir. Yemek faaliyeti için tercih edilen zaman aralıklarına (davranışlara) uygun düşecek biçimde rastgele dağıtılmıştır. Cihazın günlük kullanım olasılığı 1/3 olarak seçilmiştir. Yıllık kullanımı 110 olarak alınmıştır. Aspiratör j' nin ev i' de kişi bulunması gerektiren bir faaliyet içinde çalışmaya başladığı süre $t_{basla,KH}^{i,j}$ olarak belirtilir. Ev i için toplam aspiratör sayısı λ_{KH}^{i} olsun. $\Phi_{KH}^{i,j}$ ise aspiratör j' nin ev i' de bulunma durumunu belirtsin. Eğer bu değer 1 ise cihaz ilgili evde var, değer 0 ise ilgili evde cihaz yok demektir. Rastgele seçilen kullanım toplam süresi $T_{KH}^{i,j}$ olan aspiratör j' nin ev i' de zamana göre tüketimi (gücü) $LP_{KH}^{i,j,m}$ ile temsil edilip (3.7)'de değeri hesaplanabilir. Cihazın gün içinde birden fazla çalışması $K_{KH}^{i,j}$ değeri ile belirlenir. Eğer cihaz güç anahtarı k. kullanım için açık konumunda ise $S_{KH}^{i,j,k,m}$ değeri bir aksi halde sıfır değerindedir. Aspiratör gücü P_{KH} için alınan ölçüm sonuçlarının ayrıntıları ise Bölüm 2.2'de verilmiştir.

$$LP_{KH}^{i,j,m} = \bigcup_{i=1}^{100} \bigcup_{j=1}^{\lambda_{KH}^{i}} \bigcup_{k=1}^{K_{KH}^{i,j}} \bigcup_{m=t_{basla,KH}^{i,j}}^{T_{KH}^{i,j}+t_{basla,KH}^{i,j}} \Phi_{KH}^{i,j} P_{KH}^{i,j,m} S_{KH}^{i,j,k,m} \tag{3.7}$$

Ütünün çalışması için evin ev işi faaliyetinde bulunması gerekir. Kullanımı, ev işi faaliyeti için tercih edilen zaman aralıklarına (davranışlara) uygun düşecek biçimde rastgele dağıtılmıştır. Cihazın günlük kullanım olasılığı 1/2 olarak seçilmiştir. Yıllık kullanımı 130 alınmıştır. Ütü j' nin ev i' de kişi bulunması gerektiren bir faaliyet içinde çalışmaya başladığı süre $t_{basla,IR}^{i,j}$ olarak belirtilir. Ev i için toplam cihaz sayısı λ_{IR}^{i} olsun. $\Phi_{IR}^{i,j}$ ise ütü j' nin ev i' de bulunma durumunu belirtsin. Eğer bu değer 1 ise cihaz ilgili evde var, değer 0 ise ilgili evde cihaz yok demektir. Rastgele seçilen kullanım toplam süresi $T_{IR}^{i,j}$ olan ütü j' nin ev i' de zamana göre tüketimi (gücü) $LP_{IR}^{i,j,m}$ ile temsil edilip (3.8)'de değeri hesaplanabilir. Cihazın gün içinde birden fazla çalışması $K_{IR}^{i,j}$ değeri ile belirlenir. Eğer cihaz güç anahtarı k. kullanım için açık konumunda ise

$S_{IR}^{i,j,k,m}$ değeri bir aksi halde sıfır değerindedir. Ütü gücü P_{IR} için alınan ölçüm sonuçlarının ayrıntıları ise Bölüm 2.2'de verilmiştir.

$$LP_{IR}^{i,j,m} = \bigcup_{i=1}^{100} \bigcup_{j=1}^{\lambda_{IR}^{i}} \bigcup_{k=1}^{K_{IR}^{i,j}} \bigcup_{m=t_{basla,IR}^{i,j}}^{T_{IR}^{i,j}+t_{basla,IR}^{i,j}} \Phi_{IR}^{i,j} P_{IR}^{i,j,t} S_{IR}^{i,j,k,m} \tag{3.8}$$

Elektrikli süpürgenin çalışması için evin ev işi faaliyetinde bulunması gerekir. Kullanımı, ev işi faaliyeti için tercih edilen zaman aralıklarına (davranışlara) uygun düşecek biçimde rastgele dağıtılmıştır. Cihazın günlük kullanım olasılığı 1/2 olarak seçilmiştir. Yıllık kullanım sayısı için ise 130 alınmıştır. Elektrikli süpürge j' nin ev i' de kişi bulunması gerektiren bir faaliyet içinde çalışmaya başladığı süre $t_{basla,VC}^{i,j}$ olarak belirtilir. Ev i için toplam cihaz sayısı λ_{VC}^{i} olsun. $\Phi_{VC}^{i,j}$ ise elektrikli süpürge j' nin ev i' de bulunma durumunu belirtsin. Eğer bu değer 1 ise cihaz ilgili evde var, değer 0 ise ilgili evde cihaz yok demektir. Rastgele seçilen kullanım toplam süresi $T_{VC}^{i,j}$ olan elektrikli süpürge j' nin ev i' de zamana göre tüketimi (gücü) $LP_{VC}^{i,j,m}$ ile temsil edilip (3.9)'da değeri hesaplanabilir. Cihazın gün içinde birden fazla çalışması $K_{VC}^{i,j}$ değeri ile belirlenir. Eğer cihaz güç anahtarı k. kullanım için açık konumunda ise $S_{VC}^{i,j,k,m}$ değeri bir aksi halde sıfır değerindedir. Elektrikli süpürge gücü P_{VC} için alınan ölçüm sonuçlarının ayrıntıları ise Bölüm 2.2'de verilmiştir.

$$LP_{VC}^{i,j,m} = \bigcup_{i=1}^{100} \bigcup_{j=1}^{\lambda_{VC}^{i}} \bigcup_{k=1}^{K_{VC}^{i,j}} \bigcup_{m=t_{basla,VC}^{i,j}}^{T_{VC}^{i,j}+t_{basla,VC}^{i,j}} \Phi_{VC}^{i,j} P_{VC}^{i,j,t} S_{VC}^{i,j,k,m} \tag{3.9}$$

Televizyon ve uydu alıcının çalışması için evin televizyon izleme faaliyetinde bulunması gerekir. Kullanımı, televizyon izleme faaliyeti için tercih edilen zaman aralıklarına (davranışlara) uygun düşecek biçimde rastgele dağıtılmıştır. Televizyon ve uydu alıcısı j' nin ev i' de kişi bulunması gerektiren bir faaliyet içinde çalışmaya başladığı süre sırasıyla $t_{basla,TV}^{i,j}$ ve $t_{basla,SR}^{i,j}$ olarak belirtilir. Ev i için toplam cihaz sayısı λ_{TV}^{i} ve λ_{SR}^{i} olsun. $\Phi_{TV}^{i,j}$ ve $\Phi_{SR}^{i,j}$ ise televizyon ve uydu alıcısı j' nin ev i' de bulunma durumunu belirtsin. Eğer bu değer 1 ise cihazlar ilgili evde var, değer 0 ise ilgili evde cihazlar yok demektir. Rastgele seçilen kullanım toplam süresi $T_{TV}^{i,j}$ olan televizyon ve uydu alıcısı j' nin ev i' de zamana göre tüketimi (gücü) $LP_{TV}^{i,j,m}$ ve $LP_{SR}^{i,j,m}$ ile temsil edilip (3.10)'da değeri hesaplanabilir. Cihazın gün içinde birden fazla

çalışması $K_{TV}^{i,j}$ ve $K_{SR}^{i,j}$ değeri ile belirlenir. Eğer cihaz güç anahtarı k. kullanım için açık konumunda ise $S_{TV}^{i,j,k,m}$ ve $S_{SR}^{i,j,k,m}$ değeri bir aksi halde sıfır değerindedir. Televizyon gücü P_{TV} ve uydu alıcısı gücü P_{SR} için alınan ölçüm sonuçlarının ayrıntıları ise Bölüm 2.2'de verilmiştir.

$$\left.\begin{aligned} LP_{TV}^{i,j,m} &= \bigcup_{i=1}^{100} \bigcup_{j=1}^{\lambda_{TV}^{i}} \bigcup_{k=1}^{K_{TV}^{i,j}} \bigcup_{m=t_{basla,TV}^{i,j}}^{T_{TV}^{i,j}+t_{basla,TV}^{i,j}} \Phi_{TV}^{i,j}\, P_{TV}^{i,j,m}\, S_{TV}^{i,j,k,m} \\ LP_{SR}^{i,j,m} &= \bigcup_{i=1}^{100} \bigcup_{j=1}^{\lambda_{SR}^{i}} \bigcup_{k=1}^{K_{SR}^{i,j}} \bigcup_{m=t_{basla,SR}^{i,j}}^{T_{SR}^{i,j}+t_{basla,SR}^{i,j}} \Phi_{SR}^{i,j}\, P_{SR}^{i,j,m}\, S_{SR}^{i,j,k,m} \end{aligned}\right\} \quad (3.10)$$

Bilgisayarın çalışması için evin internet faaliyetinde bulunması gerekir. Kullanımı, internet faaliyeti için tercih edilen zaman aralıklarına (davranışlara) uygun düşecek biçimde rastgele dağıtılmıştır. Bilgisayar j' nin ev i' de kişi bulunması gerektiren bir faaliyet içinde çalışmaya başladığı süre $t_{basla,PC}^{i,j}$ olarak belirtilir. Ev i için toplam cihaz sayısı λ_{PC}^{i} olsun. $\Phi_{PC}^{i,j}$ ise bilgisayar j' nin ev i' de bulunma durumunu belirtsin. Eğer bu değer 1 ise cihaz ilgili evde var, değer 0 ise ilgili evde cihaz yok demektir. Rastgele seçilen kullanım toplam süresi $T_{PC}^{i,j}$ olan bilgisayar j' nin ev i' de zamana göre tüketimi (gücü) $LP_{PC}^{i,j,m}$ ile temsil edilip (3.11)'de değeri hesaplanabilir. Cihazın gün içinde birden fazla çalışması $K_{PC}^{i,j}$ değeri ile belirlenir. Eğer cihaz güç anahtarı k. kullanım için açık konumunda ise $S_{PC}^{i,j,k,m}$ değeri bir aksi halde sıfır değerindedir. Bilgisayar gücü P_{PC} için alınan ölçüm sonuçlarının ayrıntıları ise Bölüm 2.2'de verilmiştir.

$$LP_{PC}^{i,j,m} = \bigcup_{i=1}^{100} \bigcup_{j=1}^{\lambda_{PC}^{i}} \bigcup_{k=1}^{K_{PC}^{i,j}} \bigcup_{m=t_{basla,PC}^{i,j}}^{T_{PC}^{i,j}+t_{basla,PC}^{i,j}} \Phi_{PC}^{i,j}\, P_{PC}^{i,j,m}\, S_{PC}^{i,j,k,m} \quad (3.11)$$

Klimanın çalışması tüm faaliyetlerde mümkündür. Kullanımı, soğutma modu için istenilen oda sıcaklığı sağlanana kadar devam eder. Belirlenmiş eşik seviyelerde devreye girip çıkar. Klima j' nin ev i' de herhangi bir faaliyet içinde çalışmaya başladığı süre $t_{basla,AC}^{i,j}$ olarak belirtilir. Ev i için toplam cihaz sayısı λ_{AC}^{i} olsun. $\Phi_{AC}^{i,j}$ ise klima j' nin ev i' de bulunma durumunu belirtsin. Eğer bu değer 1 ise cihaz ilgili evde var, değer 0 ise ilgili evde cihaz yok demektir. Kullanım toplam süresi $T_{AC}^{i,j}$ olan klima j' nin ev i' de zamana göre tüketimi (gücü) $LP_{AC}^{i,j,m}$ ile temsil edilip (3.12)'de değeri hesaplanabilir. Cihazın gün içinde birden fazla çalışması $K_{AC}^{i,j}$ değeri ile

belirlenir. Eğer cihaz güç anahtarı k. kullanım için açık konumunda ise $S_{AC}^{i,j,k,m}$ değeri bir aksi halde sıfır değerindedir. Klima gücü P_{AC} için alınan ölçüm sonuçlarının ayrıntıları ise Bölüm 2.2'de verilmiştir.

$$LP_{AC}^{i,j,m} = \bigcup_{i=1}^{100} \bigcup_{j=1}^{\lambda_{AC}^{i}} \bigcup_{k=1}^{K_{AC}^{i,j}} \bigcup_{m=t_{basla,AC}^{i,j}}^{T_{AC}^{i,j}+t_{basla,AC}^{i,j}} \Phi_{AC}^{i,j} P_{AC}^{i,j,m} S_{AC}^{i,j,k,m} \tag{3.12}$$

Kombinin çalışması tüm faaliyetlerde mümkündür. Kullanımı, ısıtılması istenilen ortam veya su sıcaklığı sağlanana kadar devam eder. Belirlenmiş eşik seviyelerde devreye girip çıkar. Kombi j' nin ev i' de herhangi bir faaliyet içinde çalışmaya başladığı süre $t_{basla,CB}^{i,j}$ olarak belirtilir. Ev i için toplam cihaz sayısı λ_{CB}^{i} olsun. $\Phi_{CB}^{i,j}$ ise kombi j' nin ev i' de bulunma durumunu belirtsin. Eğer bu değer 1 ise cihaz ilgili evde var, değer 0 ise ilgili evde cihaz yok demektir. Kullanım toplam süresi $T_{CB}^{i,j}$ olan kombi j' nin ev i' de zamana göre tüketimi (gücü) $LP_{CB}^{i,j,m}$ ile temsil edilip (3.13)'te değeri hesaplanabilir. Eğer kombi güç anahtarı açık konumunda ise $S_{CB}^{i,j,m}$ değeri bir aksi halde sıfırdır değerindedir. Kombi gücü P_{CB} için alınan ölçüm sonuçlarının ayrıntıları ise Bölüm 2.2'de verilmiştir.

$$LP_{CB}^{i,j,m} = \bigcup_{i=1}^{100} \bigcup_{j=1}^{\lambda_{CB}^{i}} \bigcup_{m=t_{basla,CB}^{i,j}}^{T_{CB}^{i,j}+t_{basla,CB}^{i,j}} \Phi_{CB}^{i,j} P_{CB}^{i,j,m} S_{CB}^{i,j,m} \tag{3.13}$$

Elektrikli su ısıtıcı çalışması tüm faaliyetlerde mümkündür. Kullanımı, ısıtılması istenilen su sıcaklığı sağlanana kadar devam eder. Belirlenmiş eşik seviyelerde devreye girip çıkar. Termosifon j' nin ev i' de herhangi bir faaliyet içinde çalışmaya başladığı süre $t_{basla,WH}^{i,j}$ olarak belirtilir. Ev i için toplam cihaz sayısı λ_{WH}^{i} olsun. $\Phi_{WH}^{i,j}$ ise termosifon j' nin ev i' de bulunma durumunu belirtsin. Eğer bu değer 1 ise cihaz ilgili evde var, değer 0 ise ilgili evde cihaz yok demektir. Kullanım toplam süresi $T_{WH}^{i,j}$ olan termosifon j' nin ev i' de zamana göre tüketimi (gücü) $LP_{WH}^{i,j,m}$ ile temsil edilip (3.14)'te değeri hesaplanabilir. Eğer termosifon güç anahtarı açık konumunda ise $S_{WH}^{i,j,m}$ 1 aksi halde sıfır değerindedir. Termosifon gücü P_{WH} için alınan ölçüm sonuçlarının ayrıntıları ise Bölüm 2.2'de verilmiştir.

$$LP_{WH}^{i,j,m} = \bigcup_{i=1}^{100} \bigcup_{j=1}^{\lambda_{WH}^{i}} \bigcup_{m=t_{basla,WH}^{i,j}}^{T_{WH}^{i,j}+t_{basla,WH}^{i,j}} \Phi_{WH}^{i,j} P_{WH}^{i,j,m} S_{WH}^{i,j,m} \quad (3.14)$$

Lambalar evde bulunmayı gerektiren faaliyet türleri için aktif edilebilir. Kullanımı, aydınlatılmak istenen yerde aydınlık şiddeti yetersizse gerçekleşir ve yeterli aydınlık şiddetine erişilinceye kadar veya evde kişi kalmayana kadar devam eder. Belirlenmiş aydınlık şiddeti eşik seviyelerinde kullanılır. Lamba j' nin ev i' de oda r içinde ev kullanıcı olan bir faaliyet içinde çalışmaya başladığı süre $t_{basla,Lamba}^{i,j,r}$ olarak belirtilir. Ev i' için oda r içindeki toplam lamba sayısı $\lambda_{Lamba}^{i,r}$ olsun. $\Phi_{Lamba}^{i,j,r}$ ise lamba j' nin ev i' deki oda r içinde bulunma durumunu belirtsin. Eğer bu değer 1 ise cihaz ilgili evde var, değer 0 ise ilgili evde cihaz yok demektir. Toplam kullanım süresi $T_{Lamba}^{i,j,r}$ olan lamba j' nin ev i' de zamana göre tüketimi (gücü) $LP_{Lamba}^{i,j,r,m}$ ile temsil edilip (3.15)'te toplam güç değeri $LP_{Lamba,total}^{i,j,m}$ ise (3.16)'da hesaplanabilir. Lambanın gün içinde birden fazla çalışması $K_{Lamba}^{i,j}$ değeri ile belirlenir. Eğer lamba güç anahtarı k. kullanım için açık konumunda ise $S_{Lamba}^{i,j,r,k,m}$ değeri bir aksi halde sıfır değerindedir. Lamba gücü P_{Lamba} için alınan ölçüm sonuçlarının ayrıntıları ise Bölüm 2.2'de verilmiştir.

$$LP_{Lamba}^{i,j,r,m} = \bigcup_{i=1}^{100} \bigcup_{r=1}^{R} \bigcup_{j=1}^{\lambda_{Lamba}^{i,r}} \bigcup_{k=1}^{K_a^{i,j}} \bigcup_{m=t_{basla,Lamp}^{i,j,r}}^{T_{Lamp}^{i,j,r}+t_{basla,Lamp}^{i,j,r}} \Phi_{Lamba}^{i,j,r} \cdot P_{Lamba}^{i,j,r,m} \cdot S_{Lamba}^{i,j,r,k,m} \quad (3.15)$$

$$LP_{Lamba,total}^{i,j,m} = \sum_{r=1}^{R} LP_{Lamba}^{i,j,r,m} \quad (3.16)$$

Genel olarak ev i içindeki cihaz j' nin m anındaki toplam gücü $P_{a,total}^{i,j,m}$ ve kullanıcı davranışı ilişkili güç ise $P_a^{i,j,m}$ olarak (3.17)'de yazılabilir. Ev i için aynı tür cihaz sayısı toplamı λ_a^i olsun. $\Phi_a^{i,j}$ ise cihaz j' nin ev i' de bulunma durumunu ikili değerle (1 ise cihaz var, 0 ise yok) belirtsin. Cihazın kullanıcı alışkanlığına dayalı olarak çalışması $\mu_a^{i,j}$ ikili değeri ile sağlanır. $\mu_a^{i,j}$ değerinin 1 olması cihazın kullanım zaman diliminde çalışmasını sağlarken değerin sıfır olması cihazın çalışmasına izin vermez. Bazı cihazların gün içinde birden fazla çalışması $K_a^{i,j}$ değeri ile belirlenir. Cihazın güç

anahtarı durumu açık ve kapalı olma durumu $S_a^{i,j,k,m}$ ikili değeri ile sağlanır. $S_a^{i,j,k,m}$ değeri 1 ise cihaz çalışmakta yani anahtar güç açık konumdadır.

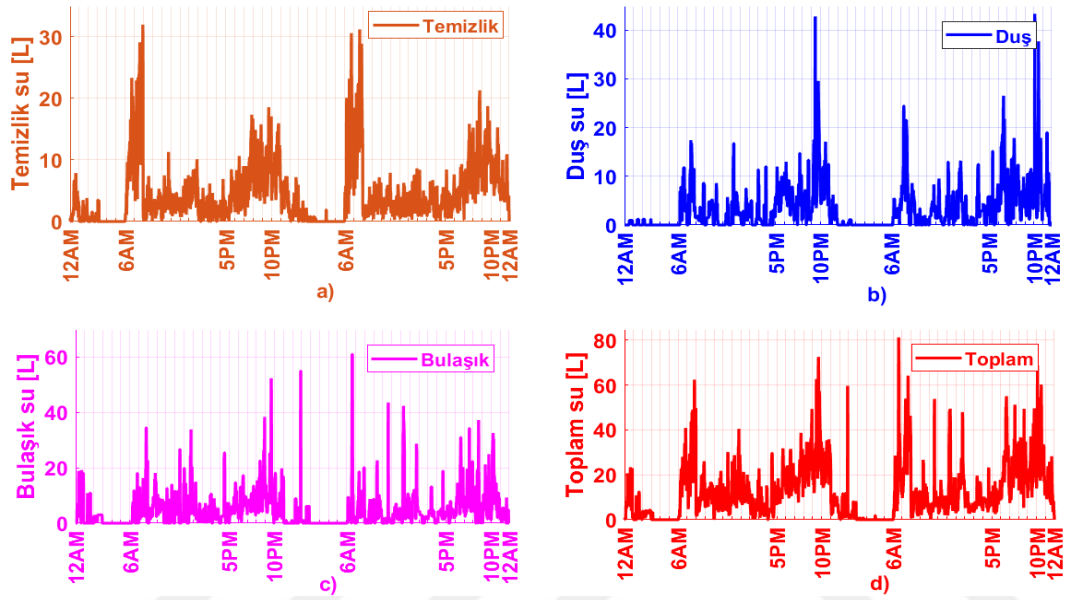
$$\left.\begin{aligned} P_a^{i,j,m} &= \bigcup_{i=1}^{100}\bigcup_{j=1}^{\lambda_a^i}\bigcup_{k=1}^{K_a^{i,j}}\bigcup_{m=1}^{M} \Phi_a^{i,j}\,\mu_a^{i,j} S_a^{i,j,k,m} LP_a^{i,j,m} \\ P_{a,total}^{i,j,m} &= \bigcup_{i=1}^{100}\bigcup_{m=1}^{M}\sum_{j=1}^{\lambda_a^i} P_a^{i,j,m} \end{aligned}\right\} \quad (3.17)$$

Buzdolabı cihaz için bekleme, soğutma ve karlanma çöz süreleri toplamı buzdolabı j' nin ev i' deki çalışma periyodunu tanımlar. Bekleme, soğutma ve kar çöz anlık güçleri $LP_{RF}^{i,j,m}$, her aşamada geçirilen sürelere göre belirlenir. Derin dondurucunun anlık güçleri $LP_{FR}^{i,j,m}$ de buzdolabına benzer biçimde elde edilebilir. Ancak derin dondurucuda çalışma periyodu bekleme ve soğutma süreleri toplamıdır. $\mu_{RF}^{i,j}$ ve $S_a^{i,j,k,m}$ değerleri buzdolabı ve derin dondurucu için 1 değerine sahiptir. Enerji tüketimleri iç termostat anahtarının durumuna (anahtarlama periyoduna) göre belirlenir. Çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, kurutucu, fırın ve ütü davranış ilişkili güçleri $LP_a^{i,j,m}$ seçilen program türü, her bir programda geçen süre ve bulunulan aşamalarla ilişkilidir. $\mu_{RF}^{i,j}$ ve $S_a^{i,j,k,m}$ değerleri bu cihazlarda günlük kullanım alışkanlığı olan zaman dilimlerinde 1 değerine sahiptir. Aspiratör, elektrikli süpürge, televizyon, uydu alıcı ve bilgisayar kullanıcının güç anahtarı pozisyonunu değiştirmesi ile kullanım süreleri ilişkilendirilir. Klima, kombi ve termosifonda davranışlar, davranışsal uyarlamalar, alışkanlıklar ve fiziksel dış etmenler güce yansıtılmıştır. Bir günde aynı tür bazı cihazın birden fazla kullanımı ve buna göre toplam gücün elde edilmesi mümkün kılınmıştır. Örneğin toplam lamba gücü hesaplanırken evdeki tüm odalar için gün ışığı düzeyine göre rastgele seçili $K_a^{i,j}$ sayıda kullanıma ait güçler toplamı ile sağlanmıştır.

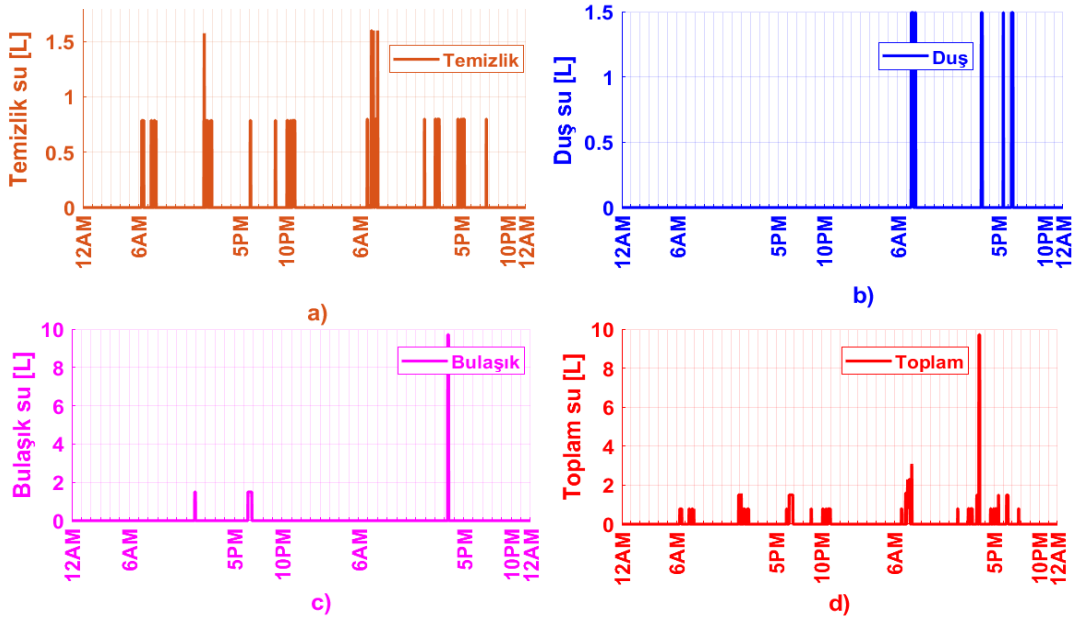
3.5 Evsel Sıcak Su Kullanım Durumunun Oluşturulması

Sıcak su kullanımının temizlik, bulaşık ve banyo amaçlı olduğu kabul edilmiştir. Literatürde, evde bulunan insan sayısı, şebeke suyu sıcaklığı, tercih edilen su sıcaklığı ve yatak odası sayısına bağlı olarak sıcak su kullanım miktarını tespit etmeye yönelik çeşitli çalışmalar vardır [12,43]. Bu çalışmalar ile temizlik, bulaşık ve banyo amaçlı toplam kullanım miktarları elde edilmiştir. Suyun kullanımının zamanla değişimini elde etmek içinse özgün bir yöntem geliştirilmiştir. Evde bulunan banyo, mutfak ve

tuvaletlerin lamba kullanım durumları ile toplam sıcak su tüketimleri ilişkilendirilmiştir. Her bir yerde, çeşitli amaçlar için elde edilen toplam su miktarı, kullanım sıklık durumu da dikkate alınarak rastgele sıcak su kullanım profili Bölüm 2'de verilen Çizelge 2.11 yardımıyla oluşturulmuştur. Yüz ev için çeşitli amaçlara yönelik rastgele elde edilmiş bir sıcak su kullanım profili Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Rastgele seçili bir ev için sıcak su kullanım durumuysa Şekil 3.6'da sunulmuştur.



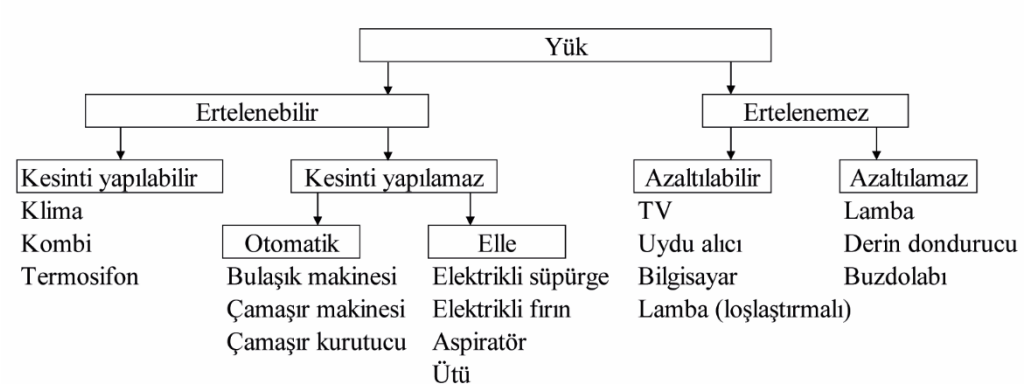
Şekil 3.5 : Yüz ev için kullanım amacına göre üretilmiş sıcak su kullanım durumu: a) Temizlik b) Duş c) Bulaşık d) Toplam



Şekil 3.6 : Rastgele seçili bir ev için kullanım amacına göre üretilmiş sıcak su kullanım durumu: a) Temizlik b) Duş c) Bulaşık d) Toplam

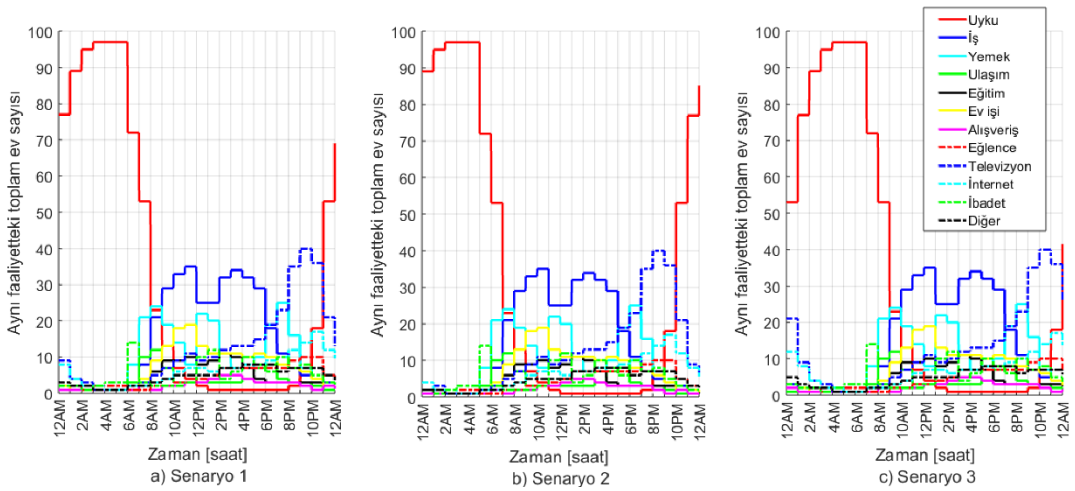
3.6 Evsel Yönetilebilir Yüklerin Talep Büyüklüğünün Elde Edilmesi

Evsel cihazlar ertelenebilirlik özelliklerine göre ertelenebilir ve ertelenemez yük olarak ikiye ayrılır. Ertelenebilir bir cihazın çalışma zamanının; durdurulması, otomatik, yarı otomatik veya elle belirlenmiş bir süre kadar ötelenmesi mümkündür. Bu yeteneğe sahip cihazlar talep yönetiminde yönetilebilir yük veya esnek yük olarak adlandırılır. Elektrik talebinin genellikle ilgilenilen bir zaman aralığında belirlenmiş düzeyin (arzın) üzerinde seyretmesi halinde tüketimin azaltılarak üretimle dengelenmesi bu yüklerle sağlanabilir. Ertelenebilir bazı yüklerin çalışmasının bir süre kesintiye uğratılması (durdurulması) da mümkün olabilir. Kesinti yapılamayan türdeki ertelenebilir yüklerin puant talep anlarında çalışması ileri bir zamana ertelenir. Ertelenemez yüklerin tüketimlerinin azaltılması bu cihazların az kullanılması ile sağlanabilir. Elektrik tüketimi loşlaştırma ile azaltılamayan aydınlatma yükü, soğuk yük (buzdolabı ve derin dondurucu) bu grupta yer alır. Soğuk yük olarak bilinen cihazların talep yönetiminde etkin kullanımı; soğutma sürecinin daha erken, daha geç, iç sıcaklık ayarlarının kontrolü ile tüketiminin azaltılması gerçekleştirilebilir. Bu tez çalışmasında yükler için yapılan sınıflandırma Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



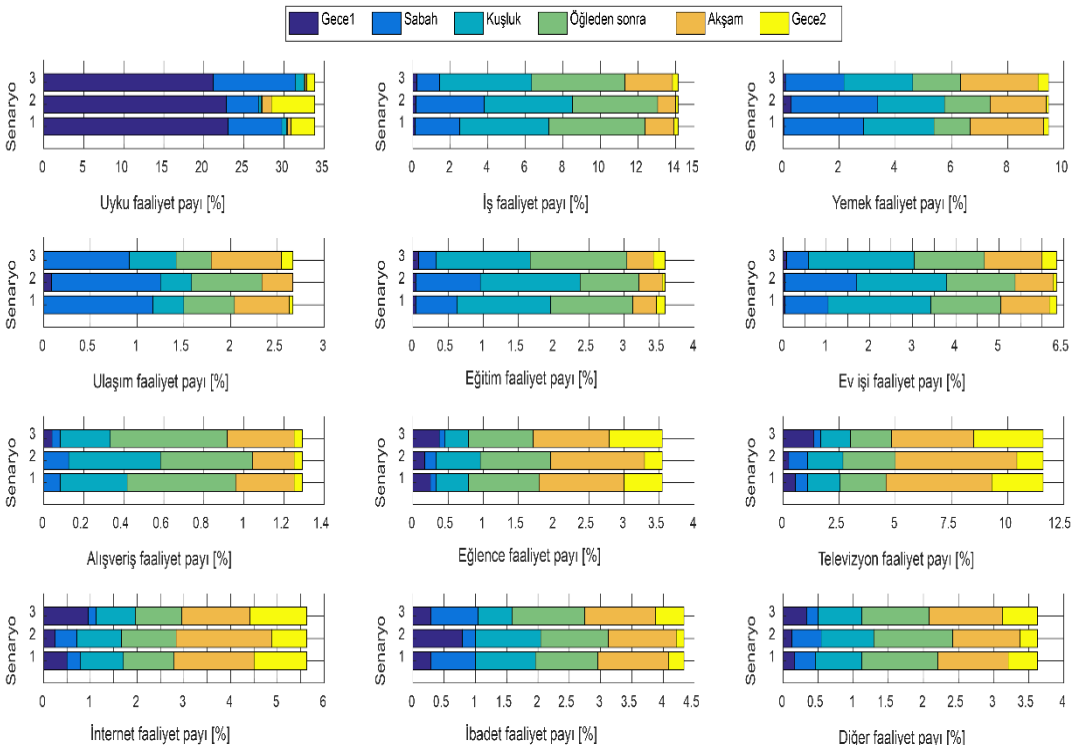
Şekil 3.7 : Talep yönetiminde evsel yüklerin sınıflandırılması.

Tez çalışmasında evsel elektrik tüketiminde yönetilebilir yük potansiyelini elde etmek için üç senaryo ile araştırma yapılmıştır. Şekil 3.8(a)'da verilen faaliyet yapısına sahip 100 evin elektrik tüketiminin elde edilmesi birinci senaryodur. Şekil 3.8(a)'da verilen faaliyetler bir saat sola ötelenerek elde edilen bu yeni faaliyet kalıbı Şekil 3.8(b)'de görülmektedir. Şekil 3.8(b) için elektrik tüketim verilerinin elde edilmesi ikinci senaryodur. Şekil 3.8(a)'da verilen faaliyetler bir saat sağa kaydırılmış hali olan Şekil 3.8(c) için elektrik tüketim verilerinin elde edilmesi üçüncü senaryodur.



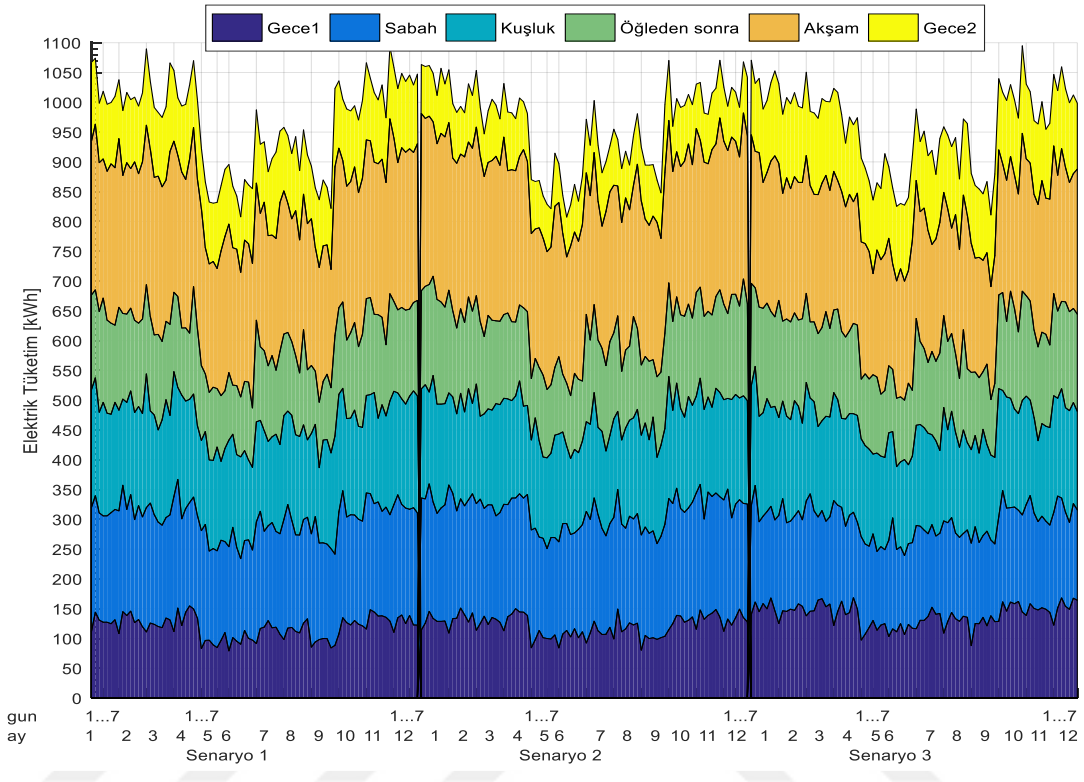
Şekil 3.8 : Senaryolar ve yüz evdeki faaliyetlerin zamanla değişimi.

Cihaz kullanım alışkanlıklarını yansıtmak ve talep toplayıcıya geliştirebileceği uygun elektrik tarifeleriyle ilgili bir fikir vermek amacıyla tüketim verileri günlük olarak altı farklı zaman diliminde ele alınmıştır. Gece 1 olarak adlandırılan gün aralığı 00.00 ile 06.00 arasını kapsar. Sabah olarak adlandırılan dilim 06.00 ile 10.00 arasıdır. Kuşluk olarak belirtilen dönem 10.00 ile 14.00 aralığıdır. Öğleden sonra tanımı 14.00 ile 18.00 saatleri arasına aittir. Akşam tanımı 18.00 ile 22.00 arası zaman dilimidir. Gece 2 tanımı ise 22.00 ile 00.00 arası gün dilimi için kullanılmaktadır. Senaryolar için günlük faaliyet sürelerinin belirtilen gün dilimlerine ait dağılımı Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 : Senaryolar ve faaliyetlerin gün içi dağılımı.

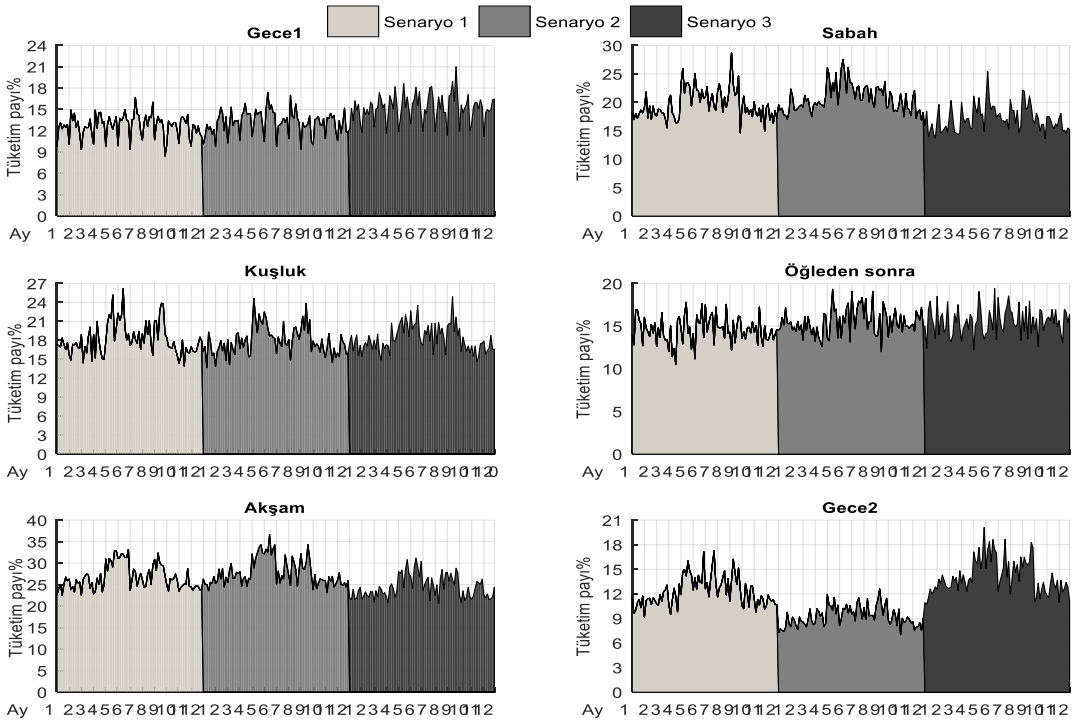
100 eve ait elektrik tüketimleri bir hafta boyunca faaliyetlerin farklı dağılım sürelerini içeren üç senaryo ile bir yıl süreli hesaplandı. Günün ilgilenilen zaman dilimlerinde gerçekleşen tüketimler Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10 : Senaryolar ve haftalık tüketimlerin günün dilimlerine göre dağılımı.

100 evin bir yıl süreli birer haftalık toplam elektrik tüketim değeri ele alındığında, en az tüketim değeri Senaryo 3'de, 80534 kWh olmuştur. Birinci senaryoda üçüncü senaryoya göre %0,84, ikinci senaryoda ise yine üçüncü senaryoya göre %0,54 fazla tüketim meydana gelmiştir. Günün farklı dilimlerinde, tüketici davranışı ile ilişkilendirilmiş faaliyetlere bağlı olarak elektrik tüketimleri değişmesine rağmen tüketicinin toplam elektrik tüketimi (80534 kWh) neredeyse hiç değişmemiştir. Her üç senaryo için elde edilen toplam elektrik tüketim sonuçlarının neredeyse aynı olması, talep yönetimi yapacak elektrik sağlayıcı açısından önemlidir. Senaryolara uygun olarak her bir gün için gerçekleşen tüketimlerin toplam tüketimdeki payları günün dilimlerine göre hesaplanmış ve Şekil 3.11'de paylaşılmıştır. Günlük tüketimlerin 1 MWh referans için tüketim paylarına baktığımızda Senaryo 1, gece 1'de %12,27 ve öğleden sonra için ise %14,11 paya sahiptir. Senaryo 2'de referans tüketim için bu paylar; kuşluk dönemi için %17,13, gece 2 için ise %8,87 düzeyindedir. Senaryo 3 ise her 1 MWh tüketim için sabah %16,35 ve akşam %23,32 paya sahiptir. Senaryo 1'de verilen faaliyet kalıbının 1 saat sola kaydırılması nedeniyle kuşluk ve gece 2 dönemleri

tüketiminde azalma görülmüştür. Senaryo 1'de verilen faaliyetlerin bir saat sağa kaydırılması ile sabah ve akşam dönemine ait tüketimlerde düşüş gerçekleşmiştir.



Şekil 3.11 : Senaryolara göre tüketimde günlük dilimlerin payı.

Senaryo 1'deki faaliyetlerin gün içi dağılımına bağlı olarak gece 1 ve öğleden sonra olarak adlandırılan dönemlerde gerçekleşen toplam tüketim değerleri diğer senaryolara göre en düşük değerdedir. Senaryo 1 ile 9958 kWh gece 1, 11462 kWh öğleden sonra tüketimi gerçekleşmiştir. Senaryo 2 ile kuşluk ve gece 2 dönemlerinde gerçekleşen toplam tüketimler diğer senaryolara göre en düşüktür. Senaryo 2, 13870 kWh kuşluk ve 7178 kWh gece 2 tüketimine sahiptir. Senaryo 3'ün sabah ve akşam toplam tüketimleri diğer senaryolara göre en az değere sahiptir. Senaryo 3 ile sabah 13165 kWh, akşam ise 18777 kWh tüketim gerçekleşmiştir. Yük bazında tüketimlerin gün dilimlerine göre değişimi, Çizelge 3.2'de sunulmuştur.

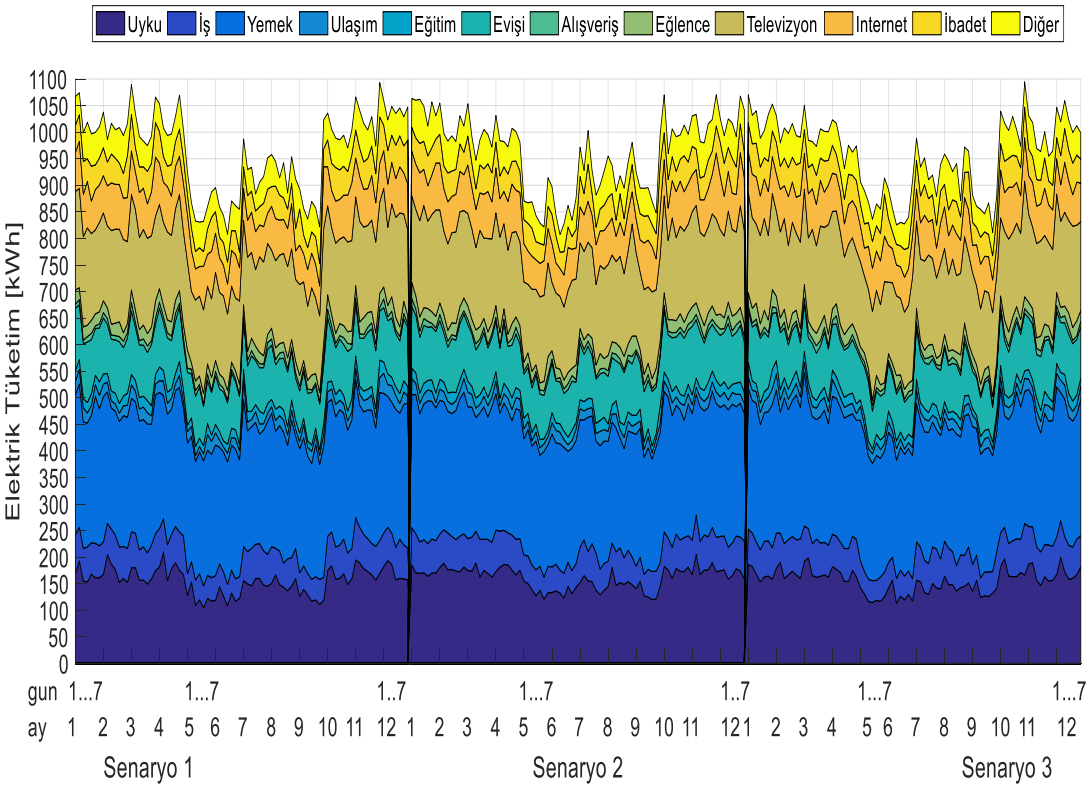
Çizelge 3.2 : Bir yıl süreli haftalık evsel elektrik tüketiminin yük ve senaryolara göre gün dilimi bazında dağılımı.

Yük	Senaryo	Toplam Tüketim [kWh]					
		Gece 1	Sabah	Kuşluk	Öğleden sonra	Akşam	Gece 2
Aspiratör	1	4	189	115	42	163	13
Bilgisayar	1	17	10	32	38	66	40
Bulaşık makinesi	1	461	517	376	381	941	276
Buzdolabı	1	4062	2713	2713	2719	2707	1349
Çamaşır makinesi	1	451	1682	928	939	1514	823
Derin dondurucu	1	810	541	540	541	540	270
İlave durulama	1	44	20	29	22	35	26
Elektrikli Fırın	1	68	3226	1874	678	2596	259
Klima	1	216	157	248	261	183	72
Kombi	1	1603	1161	1181	1134	1225	624
Çamaşır Kurutucu	1	586	181	597	546	609	492
Lamba	1	797	2489	1427	1168	4328	2353
Elektrikli süpürge	1	5	81	96	56	103	20
Televizyon	1	88	86	214	305	692	315
Termosifon	1	598	1861	3237	2268	4671	2496
Ütü	1	16	277	432	254	286	52
Uydu alıcı	1	132	91	104	113	152	73
Aspiratör	2	21	195	110	75	128	7
Bilgisayar	2	8	16	33	43	78	26
Bulaşık makinesi	2	490	495	330	413	997	302
Buzdolabı	2	4062	2712	2717	2716	2706	1350
Çamaşır makinesi	2	498	1641	841	986	1649	860
Derin dondurucu	2	811	540	540	541	540	270
İlave durulama	2	44	18	24	21	43	32
Elektrikli Fırın	2	355	3217	1810	1176	2005	138
Klima	2	209	153	244	257	179	70
Kombi	2	1602	1172	1180	1144	1252	581
Çamaşır Kurutucu	2	900	155	570	493	603	547
Lamba	2	750	2867	1442	1299	4567	1310
Elektrikli süpürge	2	5	112	72	55	94	9
Televizyon	2	54	126	234	348	788	152
Termosifon	2	303	2108	3295	2178	5472	1447
Ütü	2	10	396	323	258	265	23
Uydu alıcı	2	129	95	106	117	162	56
Aspiratör	3	7	142	129	75	163	22
Bilgisayar	3	33	6	29	35	56	45
Bulaşık makinesi	3	463	520	402	447	798	229
Buzdolabı	3	4063	2711	2717	2714	2710	1348
Çamaşır makinesi	3	433	1625	1122	1033	1288	731
Derin dondurucu	3	811	541	540	541	540	270
İlave durulama	3	42	19	35	24	32	22
Elektrikli Fırın	3	130	2452	2017	1072	2627	385
Klima	3	240	174	264	277	199	80
Kombi	3	1635	1138	1171	1138	1201	645

Çizelge 3.2 (devam) : Bir yıl süreli haftalık evsel elektrik tüketiminin yük ve senaryolara göre gün dilimi bazında dağılımı.

Yük	Senaryo	Toplam Tüketim [kWh]					
		Gece 1	Sabah	Kuşluk	Öğleden sonra	Akşam	Gece 2
Çamaşır Kurutucu	3	509	164	651	527	519	377
Lamba	3	1566	1840	1299	1166	3892	3009
Elektrikli süpürge	3	8	50	102	41	89	37
Televizyon	3	189	54	194	271	544	442
Termosifon	3	1428	1520	2809	2371	3685	2959
Ütü	3	25	123	457	210	295	90
Uydu alıcı	3	143	88	102	110	137	86

Faaliyetlere göre tüketimlerin değişimi Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12 : Faaliyetlere göre evsel talebin senaryo bazlı durumu.

Senaryo 1, uyku ve iş faaliyetinin gerçekleştiği dönemlerde sırasıyla 13067 kWh ve 4905 kWh tüketimler ile diğer senaryolara göre en düşük değerdedir. Senaryo 2 tüketimleri: 20062 kWh yemek, 1571 kWh ulaşım ve 3991 kWh ibadet faaliyetleri için en düşük değerdedir. Senaryo 3'de en düşük tüketimler: eğitim 1508 kWh, ev işi 7750 kWh, alışveriş 735 kWh, eğlence 1744 kWh, televizyon 13792 kWh, internet 6188 kWh ve diğer olarak isimlendirilen faaliyetler içinse 4398 kWh olduğu görülmüştür. Senaryo 1 diğer senaryolara göre uyku ve iş faaliyetlerinde sırasıyla %16,1 ve %6

payla en az değerdedir. Yemek, ulaşım, televizyon ve ibadet faaliyetleri Senaryo 2 için; %24,8, %1,9, %17,1 ve %4,9 payla en az tüketime sahiptir. Senaryo 3 eğitim, ev işi, alışveriş, eğlence, internet ve diğer faaliyette sırasıyla; %1,9, %9,6, %0,9, %2,2, %7,7 ve %5,5 payla en az tüketime sahiptir. Evsel cihazların faaliyetlere göre bir yıl süreli haftalık tüketimleri yük ve senaryo bazında Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3 : Bir yıl süreli haftalık evsel elektrik tüketiminin yük ve senaryolara göre faaliyet bazında dağılımı.

Yük	Senaryo	Tüketim [kWh]											
		Uyku	İş	Yemek	Ulaşım	Eğitim	Ev işi	Alışveriş	Eğlence	Televizyon	İnternet	İbadet	Diğer
Aspiratör	1	0	0	525	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilgisayar	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	204	0	0
Bulaşık makinesi	1	751	108	408	80	54	258	71	95	430	275	206	218
Buzdolabı	1	5337	2296	1540	434	583	1033	208	576	1889	916	700	750
Çamaşır makinesi	1	1356	419	886	223	134	558	131	220	970	568	430	442
Derin dondurucu	1	1065	463	306	86	113	203	41	115	377	183	140	150
İlave durulama	1	50	1	20	1	1	15	1	1	36	20	15	16
Elektrikli Fırın	1	0	0	8702	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Klima	1	292	207	121	36	49	78	18	48	139	59	30	58
Kombi	1	2091	881	762	163	230	510	83	218	899	429	315	346
Çamaşır Kurutucu	1	660	62	246	71	53	193	48	62	505	422	345	345
Lamba	1	163	0	2758	0	0	1536	0	0	3726	1847	1196	1335
Elektrikli süpürge	1	0	0	0	0	0	360	0	0	0	0	0	0
Termosifon	1	1105	384	3992	566	294	2027	171	456	3145	1368	728	896
Televizyon	1	33	14	10	3	4	6	1	4	1612	6	4	5
Ütü	1	0	0	0	0	0	1318	0	0	0	0	0	0
Uydu alıcı	1	165	71	48	13	18	32	6	18	219	28	22	23
Aspiratör	2	0	0	537	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilgisayar	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	204	0	0
Bulaşık makinesi	2	779	116	385	82	40	258	54	102	545	287	178	200
Buzdolabı	2	5327	2299	1537	432	581	1028	211	575	1876	916	713	767

Çizelge 3.3 (devam) : Bir yıl süreli haftalık evsel elektrik tüketiminin yük ve senaryolara göre faaliyet bazında dağılımı.

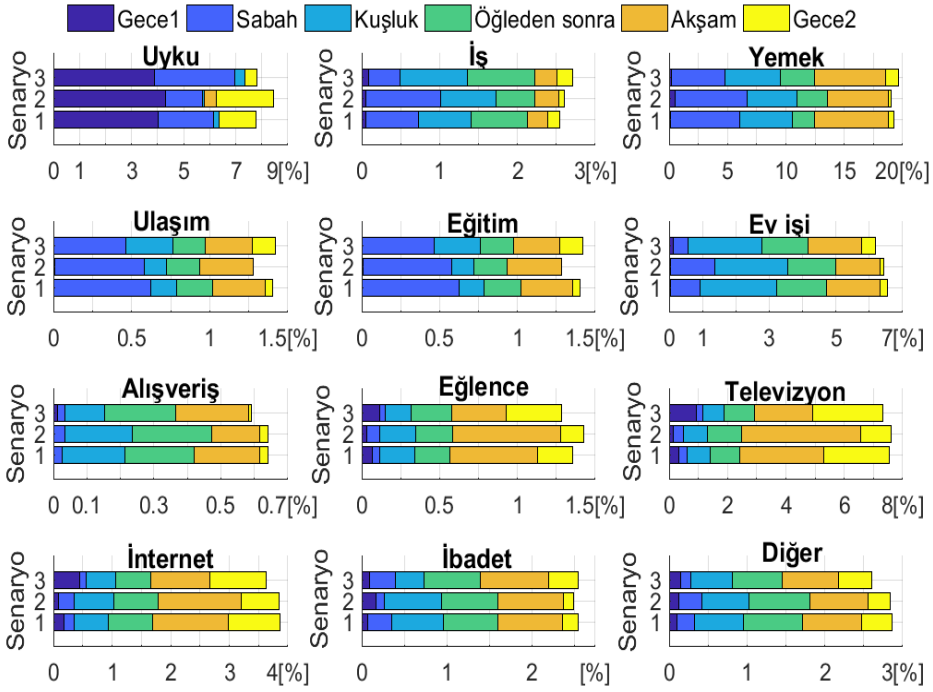
Yük	Senaryo	Tüketim [kWh]											
		Uyku	İş	Yemek	Ulaşım	Eğitim	Ev işi	Alışveriş	Eğlence	Televizyon	İnternet	İbadet	Diğer
Çamaşır makinesi	2	1481	490	825	215	146	535	117	225	1031	574	367	468
Derin dondurucu	2	1058	450	307	86	119	208	43	116	380	181	141	153
İlave durulama	2	66	1	10	1	0	19	1	1	30	22	14	18
Elektrikli Fırın	2	0	0	8702	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Klima	2	268	177	91	23	37	83	28	49	135	64	71	86
Kombi	2	2095	900	767	166	217	496	79	217	902	437	318	335
Çamaşır Kurutucu	2	1164	45	152	44	49	273	31	92	390	472	257	302
Lamba	2	98	0	2768	0	0	1605	0	0	3598	1770	1087	1309
Elektrikli süpürge	2	0	0	0	0	0	347	0	0	0	0	0	0
Termosifon	2	993	375	3923	507	317	1915	209	465	3121	1264	819	894
Televizyon	2	33	14	10	3	4	6	1	4	1613	6	4	5
Ütü	2	0	0	0	0	0	1275	0	0	0	0	0	0
Uydu alıcı	2	165	71	48	13	18	32	6	18	220	28	22	23
Aspiratör	3	0	0	537	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilgisayar	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	203	0	0
Bulaşık makinesi	3	746	136	428	67	39	232	53	84	455	242	193	184
Buzdolabı	3	5327	2285	1537	433	585	1035	211	577	1882	922	716	755
Çamaşır makinesi	3	1385	454	897	227	135	496	104	188	886	553	446	459
Derin dondurucu	3	1065	463	302	85	116	206	41	115	370	182	143	154
İlave durulama	3	45	2	23	1	0	15	1	1	35	19	16	17
Elektrikli Fırın	3	0	0	8684	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Çizelge 3.3 (devam) : Bir yıl süreli haftalık evsel elektrik tüketiminin yük ve senaryolara göre faaliyet bazında dağılımı.

Yük	Senaryo	Tüketim [kWh]											
		Uyku	İş	Yemek	Ulaşım	Eğitim	Ev işi	Alışveriş	Eğlence	Televizyon	İnternet	İbadet	Diğer
Klima	3	327	250	113	23	61	87	15	35	133	81	56	54
Kombi	3	2084	875	759	167	223	505	80	223	895	443	336	337
Çamaşır Kurutucu	3	509	173	289	68	50	191	18	58	527	357	270	236
Lamba	3	215	0	2698	0	0	1484	0	0	3811	1922	1278	1362
Elektrikli süpürge	3	0	0	0	0	0	328	0	0	0	0	0	0
Termosifon	3	1196	293	4086	591	279	1932	204	443	2975	1229	733	811
Televizyon	3	33	14	10	3	4	6	1	4	1605	6	4	5
Ütü	3	0	0	0	0	0	1201	0	0	0	0	0	0
Uydu alıcı	3	166	71	48	13	18	32	7	18	219	28	22	23

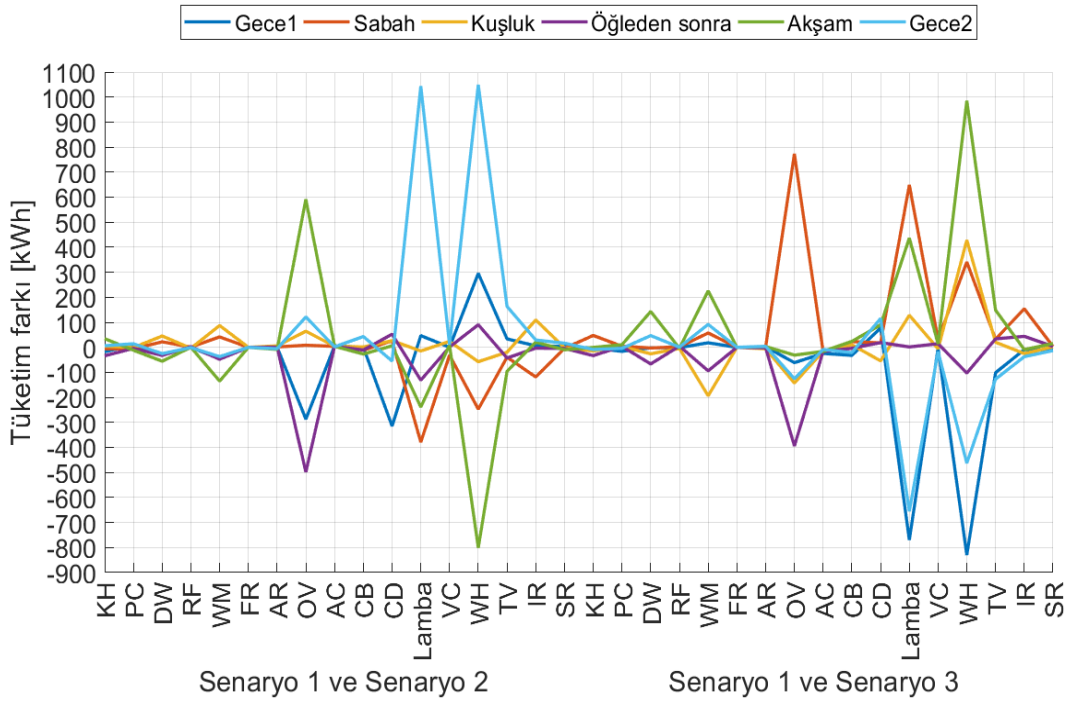
Yönetilebilir talebin büyüklüğü, Senaryo 3'de diğer senaryolara göre 45696 kWh ve toplam tüketimde %56,7 oran ile en azdır. Senaryo 1 ve 2 için yönetilebilir talep sırasıyla 46574 kWh ve 46658 kWh olmuştur. Kesinti yapılabilir yükler en az tüketimi 22845 kWh ile Senaryo 2'de gerçekleşmiştir. Otomatik ve elle ertelenebilir yükler için en az talep Senaryo 3 ile 12012 kWh ve 10750 kWh olarak sırasıyla bulunmuştur.

Yönetilebilir talep günün dilimlerine özgü olarak sınıflandırılmıştır. Senaryo 1, 4052 kWh (%5) gece 1 ve 6578 kWh (%8,1) öğleden sonra dönemleri için en az değerdedir. Senaryo 2, 8800 kWh (%10,9) kuşluk ve 4015 kWh (%5) gece 2 yönetilebilir talep açısından en az tüketime sahiptir. Senaryo 3, 7927 kWh (%9,8) sabah ve 10897 kWh (%13,5) akşam dönemi yönetilebilir talep açısından en az tüketime sahiptir. Yönetilebilir talebin faaliyetlere ve senaryolara göre değişimi bulunmuştur. Senaryo 1 iş faaliyetine ait toplam yönetilebilir talep büyüklüğü 2061 kWh (%2,5) ile en azdır. Senaryo 2 diğer senaryolara göre en az yönetilebilir talep büyüklüğü 15393 kWh (%19) yemek, 1037 kWh (%1,3) ulaşım, 2024 kWh (%2,5) ibadet faaliyetindedir. Senaryo 3 için diğer senaryolara göre yönetilebilir talep büyüklüğü, 6293 kWh (%7,8) uyku, 786 kWh (%1) eğitim, 4986 kWh (%6,2) ev işi, 475 kWh (%0,6) alışveriş, 1032 kWh (%1,3) eğlence, 5906 kWh (%7,3) televizyon, 2925 kWh (%3,6) internet ve diğer faaliyetler 2098 kWh (%2,6) ile az değerdedir. Yönetilebilir evsel talebin senaryo, faaliyet ve zamana göre toplam talepteki payı Şekil 3.13'te verilmiştir.

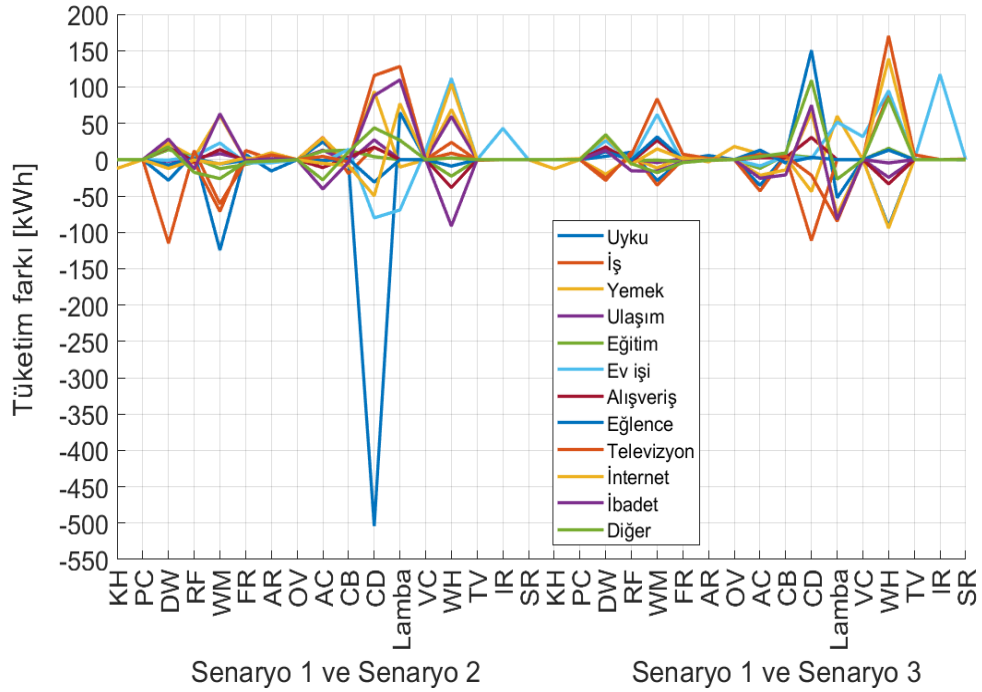


Şekil 3.13 : Yönetilebilir evsel elektrik talebinin senaryo, faaliyet ve günün dilimine göre sahip olunan pay.

Faaliyet başlama sürelerinin bir saat önceye veya sonraya ötelemenin (senaryolar) yüklerin elektrik tüketiminde meydana getirdiği değişim Şekil 3.14'de günlük, Şekil 3.15 de ise faaliyet bazında verilmiştir.



Şekil 3.14 : Normal duruma (Senaryo 1) göre evsel cihazların taleplerinde günün dilimlerine dağıtılmış değişimi.



Şekil 3.15 : Normal duruma (Senaryo 1) göre evsel cihazların taleplerinde faaliyetlere dağıtılmış değişimi.

3.7 Evsel Yükler İçin Yönetim Kazanımları

Tez çalışmasının bu bölümünde sunulan birey odaklı yeni yöntem sayesinde evsel elektrik tüketiminde belirleyici rolü olan cihazların faaliyetler ve günün ilgilenilen diliminde yönetilebilir talep büyüklüğüne erişmek mümkün olmaktadır. Tüketicinin günlük faaliyet planının değişiminin beklenen yeni talepte etkisi de gözlemlenilmektedir. Talep yönetiminde talep toplayıcılar, hedeflenen talep yönetimi katılımcılarının programda başarısının veya başarısızlığın neden kaynaklanabildiğini analiz edebilirler. Katılımcılar için uygun zaman ve faaliyetin tespiti memnuniyet artışı (konfor) sağlayacaktır. Talep toplayıcı, tüketici özel yaşamı kaynaklı elde edemediği günlük planları daha genel saha araştırması ile sağlamış olacaktır. Program sağlayıcı, katılımcılarının konforundaki değişimlere göre model için yeni güncellemeler yapabilecektir. Talep yönetimi programına katılım için talep toplayıcılar çok çeşitli teşvikler oluşturabilecektir. Örneğin çamaşır makinesinin kullanımı için talep toplayıcının amacına uygun tercih edeceği bir faaliyet ve zamana ait bir teşvik sunabilir. Bu yine kişilerin televizyon izleme faaliyeti içinde istenilen bir cihazın çalıştırılmaması şeklinde de olabilir. Evsel talep yönetiminde konforun ölçülmesi, analizi ve iyileştirilmesi Bölüm 5'de ayrıntılı olarak sunulmuştur.

4. EVSEL TALEP YÖNETİMİNDE KARBONDİOKSİT SALINIMI

Talep yönetimi; evsel, ticari ve endüstriyel kullanıcıların elektrik talebini mevcut üretimde ek bir artışa yönelmeden karşılamayı amaçlar [101]. Elektrik talebi tüketiciye sunulan fiyat ve teşvik temelli programlarla şekillendirilmeye çalışılır [71]. Sürdürülebilir, kararlı bir elektrik sistemi için istenen en temel hususlar; üretim maliyetini azaltmak, tüketici elektrik fiyatını makul kılmak, karbondioksit salınımını belirlenmiş seviyelere indirmek ve puant anlarda genellikle talebi azaltarak üretimle dengelemektir [102]. Talep yönetimi çalışmalarında tüketicinin hem fiyatı hem de çevreyi korumayı hedefleyen çözümlere yönelmesi gerekir. Çok az sayıdaki talep yönetimi çalışmasında bu unsurlar birlikte ele alınmıştır [103]. Literatürde sınırlı sayıda olan çalışmalardaysa rastgele oluşturulmuş karbondioksit salınım verilerinin veya geçmiş verilerin kullanımı tercih edilmiştir. Bu tez çalışmasının özgün yanı; evsel karbondioksit salınımının yönetilebilir potansiyelini gün öncesi piyasasında oluşan elektrik üretim kaynaklarından yapılan tüketimler ve kombinin doğal gaz tüketimine bağlı olarak elde edilmesini mümkün kılmasıdır.

4.1 Karbondioksit Salınımın Evsel Talep Yönetimindeki Önemi

Evsel elektrik kullanıcıları günümüzde ev enerji yönetim sistemleri aracılığıyla talep toplayıcıdan gelen elektrik fiyat bilgisine göre elektrik talebini şekillendirse de çevre duyarlılığı yüksek olan katılımcılar için bu yetersiz olmaktadır. Talep toplayıcının mevcut emisyon bilgilerini hedeflenen düzey ile birlikte paylaşabilir olması gerekir [103]. Katılımcılar için bu bir ana teşvik unsuru olup karbondioksit salınımının azaltılmasına doğru zamanda doğru miktarda elektrik tüketimi yaparak katkı sunmak hedeflenir. Elektrik enerjisi üretmek için yapılan salınımlar günümüzde çevreyi tehdit eder düzeyde olabilmektedir. Çünkü fosil kaynaklardan elektrik üretimi hala toplam üretimde önemli bir paya sahiptir [104]. Bunlarla ilgili istatistiki çalışmalar ve ayrıntıları Dones ve arkadaşları [105] tarafından paylaşılmıştır. Fosil kaynak temelli salınımlar dünyadaki tüm karbondioksit salınımlarında %77'lik paya sahiptir. Karbondioksit, dünyada sıcaklık artışına ve iklimsel değişimlere yol açan (sera etkisi

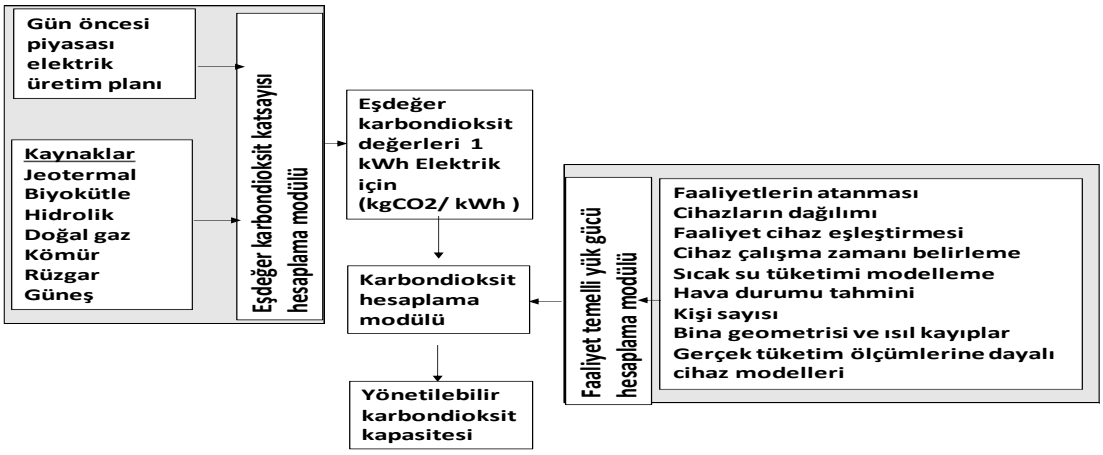
yapan) gazlardan en önemlisidir [106]. Salınan karbondioksit miktarı 2019 yılına kadar her yıl sürekli yaklaşık %1 artarak sürmüştür [107]. Pek çok ülkede elektrik üretmek için salınan karbondioksit, toplam salınımlarda en büyük paya sahip olmuştur. Örneğin Çin'in elektrik üretim kaynaklı karbondioksit salınımı toplam salınımda %38 paya sahiptir [108]. ABD'de 4 milyon megawatsaat elektrik üretimi için 1830 milyon ton karbon salınımı 2016 yılında gerçekleşmiştir [109]. Salınımı yapılan diğer gazlar da vardır ve bunlar oksitler olarak bilinir. Oksit olarak adlandırılan gazlar; partikül parçacıklara, solunum hastalıklarına ve asit yağmurlarına neden olur [110].

Evsel CO_2 salınımları doğrudan ve dolaylı yapılan salınımlardan meydana gelir [111]. Elektrik, motor yakıt yağları ve doğal gaz kullanımı evlerde doğrudan karbondioksit salınımına yol açar. Yiyecek ve hizmet satın alımlarında ise dolaylı karbondioksit salınımları gerçekleşir. İstatistiki yöntemlerle bunların evlerdeki durumunu gösteren sınırlı sayıda çalışmalar vardır [111]. Ancak bu çalışmalarda araştırmacılar evsel talep yönetimi ile karbon salınımları arası bir bir ilişki kurmamıştır. Bir başka çalışmada [106] sadece CO_2 salınımı ile enerji ve ekonomik gelişmişlik arası ilişki aranmıştır. Çevresel Kuznet Eğrisi'ne yer verilen çalışmada çevresel bozulma ve ekonomik gelişmişlik arası ilişkiye dikkat çekilmiştir. Balsalobre-Lorente ve arkadaşları [112] elektrik üretmek için biyoyakıt ve fosil yakıt yağları kullanmanın çevrenin kendini düzeltmesinde çok olumsuz bir etki yaptığını ancak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması, elektrik üretiminde ve ekonomide yenilikler ile çevresel bozulmanın onarılabileceğini öngörmektedir.

Zubair ve arkadaşları [113] Nijerya'da çevre hedefleri ile uyumlu sürdürülebilir bir temiz teknoloji kullanımı önermektedir. Abdallah ve El-Shennawy [110] akıllı şebekenin çevreye olan olumlu etkilerine değinmiştir. Adika ve Wang [114] iyi bir şekilde çalışması organize edilmiş enerji depolama elemanlarının (ESB) hem tüketici hem de elektrik sağlayıcı için kazanımlar sunacağını belirtmektedir. Knudsen ve Petersen [103] dinamik bir fiyat gibi karbondioksit salınım verilerinin paylaşılmasının çevreye olumlu etkisi olacağını ifade etmektedir. McKenna ve Darby [115] uzun vadede talep yönetiminin karbondioksit salınımlarının azaltılmasında etkin bir rolü olacağını vurgulamaktadır. Karbondioksit salınımlarını hesaplamada kullanılan en yaygın yöntem, IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) tarafından önerilendir [116,117]. Türkiye'de bu yöntemle fosil yağ yakıtı için CO_2 salınımları [118] hesaplanmıştır.

4.2 Yönetilebilir Karbondioksit Kapasitesinin Elde Edilme Yöntemi

Karbondioksit salınımlarının hesaplanması için Şekil 4.1'de verilen işlemler izlenmiştir. Ev kullanıcı faaliyetleri ve elektrik tüketimleri ile ilgili Bölüm 3'te paylaşılan senaryolar burada yine kullanılmıştır. Her senaryo için gün öncesi piyasada gerçekleşmesi öngörülen elektrik talebinin karşılanması için teklif edilen üretim planı ve bu üretimin gerçekleşeceği santraller alınır. Eşdeğer karbondioksit salınım katsayısı, elektrik üretiminde yer alacak yakıtlar için her bir santralin üretimdeki birer saatlik payları dikkate alınarak hesaplanır. Bu işlem eşdeğer karbondioksit katsayısı hesaplama modülünde gerçekleşir. Bu modül, birim elektrik tüketimi için gerçekleşen karbondioksit salınım değerini her bir üretim zamanı için dakikalık olarak üretir. Bir diğer modül, faaliyet tabanlı elektrik talebinin elde edilmesini sağlar. Tüketici davranışlarına uygun bir elektrik talebi bu modülün çıktısıdır. Birim tüketim için dakikalık elde edilen eşdeğer karbondioksit salınım değeri gerçekleşmesi öngörülen taleple çarpılarak salınan karbondioksit değerine erişilir. Yüklerin yönetilebilirlik durumları dikkate alınarak yönetilebilir karbondioksit kapasitesi dakikalık olarak bulunur. Hedeflenen karbon salınım değerine uygun olarak ertelenebilir yüklerin çalışma planlarıyla talep şekillendirilir.

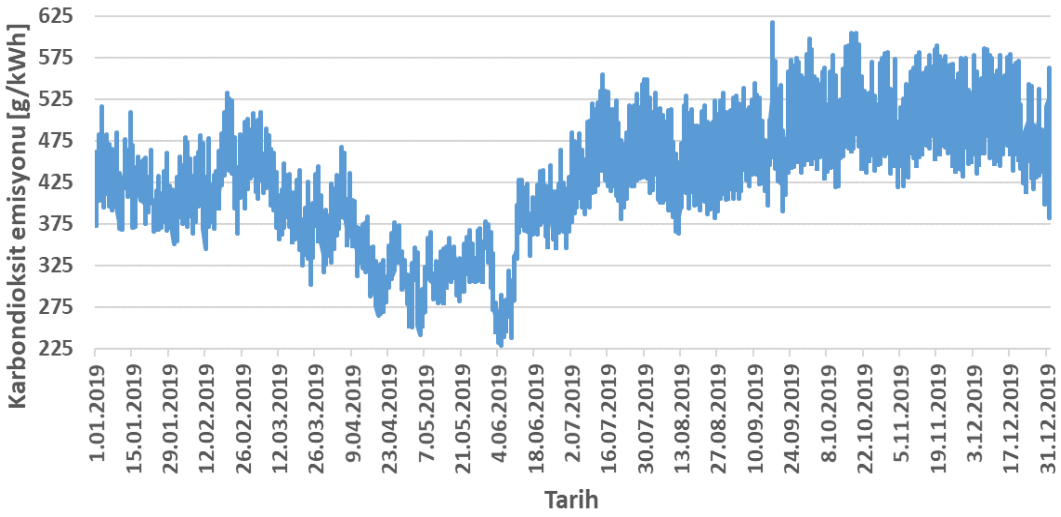


Şekil 4.1 : Karbondioksit salınımının elde edilmesi için izlenen yöntem.

4.3 Evsel Talep Yönetiminde Yönetilebilir Karbondioksit Salınım Potansiyeli

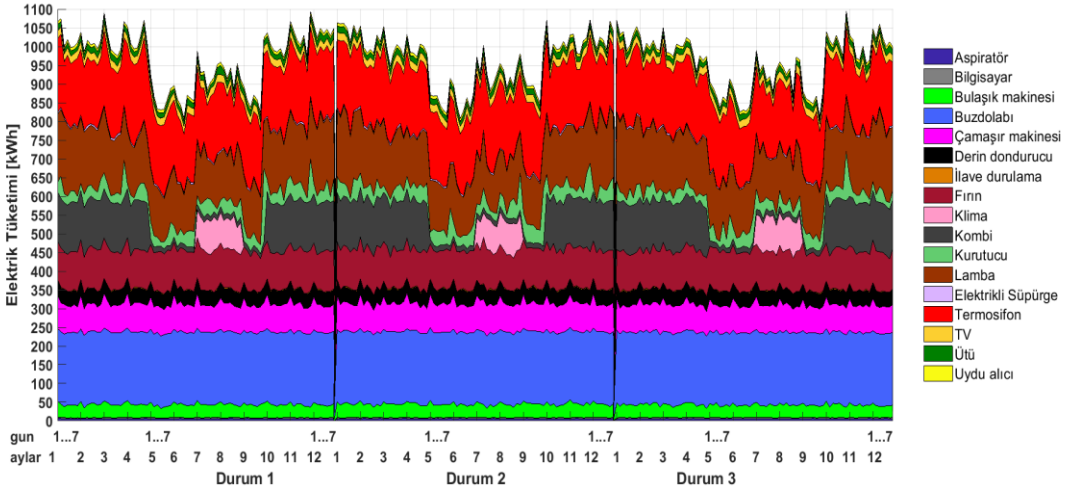
Tez çalışmasında evsel karbondioksit salınımı hesaplanırken Türkiye'nin 2019 yılı elektrik üretimi ve bu üretimi için kullanılan kaynaklar gözönünde bulundurulmuştur. Üretimde kullanılan santraller; hidrolik, doğal gaz, termik, güneş, jeotermal ve biyokütle olmak üzere her bir santral kaynağınca 1 kWh elektrik üretmek için salınım

yapılan eşdeğer karbondioksit değerleri, üretim miktarlarıyla çarpılarak her bir saat içerisindeki karbondioksit değerleri bulunmuştur. Şekil 4.2'de elektrik üretim planlamasına uygun hesaplanmış anlık eşdeğer karbondioksit salınım değerleri görülmektedir.



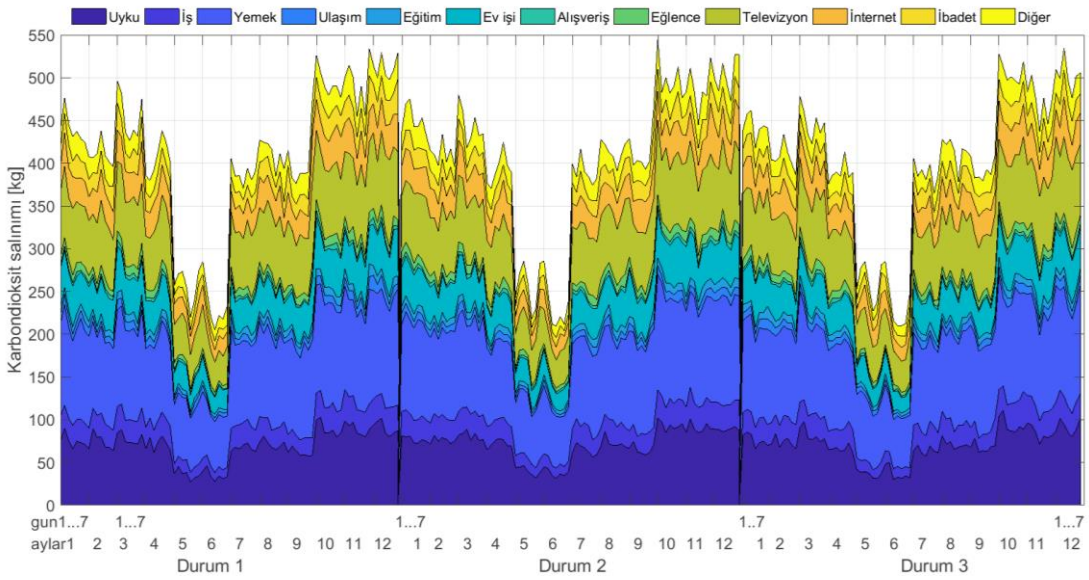
Şekil 4.2 : Türkiye 2019 yılı elektrik üretim kaynaklarına göre hesaplanan eşdeğer karbondioksit salınım değeri.

Şekil 4.1'de sunulan yöntem izlendiğinde faaliyetler bazında gerçekleşen elektrik talepleri için oluşacak karbondioksit salınımlarına ulaşılır. Karbondioksit salınım sonuçları günlük olarak altı farklı zaman dilimi için üretilmiştir. Gece 1 (saat 00.00-06.00), sabah (saat 06.00-10.00), kuşluk (saat 10.00-14.00), öğleden sonra (saat 14.00-18.00), akşam (saat 18.00-22.00) ve gece 2 (saat 22.00 ile 00.00) tanımı yapılarak çalışmalar gün dilimine göre yapılmıştır. Birer haftalık zaman diliminde gerçekleşen tüketimler MATLAB ile oluşturulan algoritmalar kullanılarak farklı faaliyet dağılımları içeren üç senaryo ile bir yıl boyunca 100 ev için elde edilmiştir. Günün ilgilenilen zaman dilimlerinde gerçekleşen tüketimler Şekil 4.3'de gösterilmiştir.

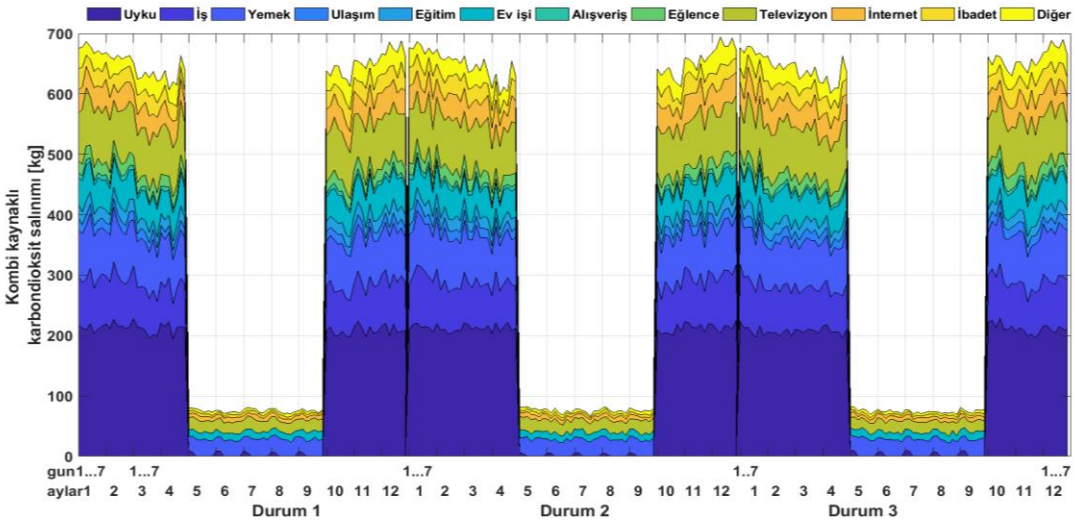


Şekil 4.3 : 100 ev içindeki yüklerin senaryolara göre bir hafta süreli yıllık elektrik tüketimi.

Elektrik tüketimleri Senaryo 1, Senaryo 2 ve Senaryo 3 için sırasıyla 81,2 MWh, 80,9 MWh ve 80,5 MWh olarak elde edilmiştir. Şekil 4.4 haftalık olarak bir yıl süresince gerçekleşen karbondioksit salınımlarını göstermektedir. Bu çalışmada doğrudan karbondioksit salınımı hem elektrik tüketimi hem de kombi nedeniyle gerçekleşen doğalgaz tüketimi için hesaplandı. Kombinin doğalgaz tüketimi nedeniyle faaliyetler bazında gerçekleştirdiği karbondioksit salınımları Şekil 4.5'te sunulmuştur. Kombinin, beşinci ve onuncu aylar arasında sadece sıcak su amaçlı kullanımı düşünülmüştür. Diğer aylarda hem ısınma hem de sıcak su için kullanımı söz konusudur.



Şekil 4.4 : Zaman bazında her bir senaryo için elektrik tüketimi kaynaklı gerçekleşen karbondioksit salınımları.



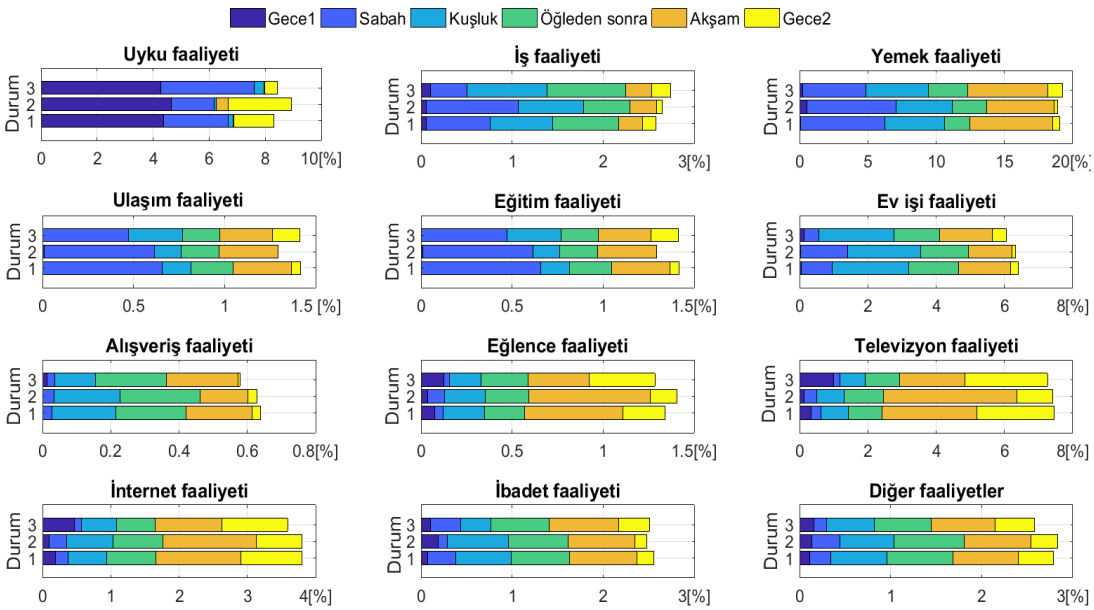
Şekil 4.5 : Faaliyet bazında her bir senaryo için kombi doğalgaz tüketimi kaynaklı gerçekleşen karbondioksit salınımları.

Bir yıl süresince her ay bir hafta olacak şekilde yapılan çalışma sonucunda doğrudan salınımı yapılan elektrik tüketim kaynaklı toplam karbondioksit miktarı Senaryo 1 için 34290 kg, Senaryo 2'de 34767 kg, Senaryo 3'de ise 33968 kg olmuştur. Kombinin sıcak su üretmek ve ev ısıtması için kullanımı nedeniyle bir yıl süresince her ay bir hafta olacak şekilde doğal gaz tüketimi kaynaklı salınımların toplam değeri hesaplanmıştır. Kombinin Ekim ve Mayıs ayları arası kullanımı sağlanmıştır. 1 kWh enerji elde etmek için 0,093 m^3 doğal gaz tüketimi gerekmiştir. Kombi 1 kWh enerji için 185 g CO_2 salınımı gerçekleştirmiştir. Senaryolar kendi arasında karşılaştırıldığında elektrik kaynaklı CO_2 salınımları en az Senaryo 1 için gece 1 (4478 kg) ve öğleden sonra (4699,5 kg) gerçekleşmesine rağmen Senaryo 2, kuşluk (5753,5 kg) ve gece 2 (3054 kg) için en az salınıma sahiptir. Senaryo 3 en az salınım sabah (5763 kg) ve akşam (7640 kg) zaman aralıklarında sağlamıştır. Senaryo 1 diğer senaryolara göre en yüksek salınımı kuşluk (5860 kg) vakti gerçekleştirmiştir. Senaryo 2 en yüksek CO_2 salınımını sabah (7087 kg), öğleden sonra (4970 kg) ve akşam (8745 kg) vermiştir. Senaryo 3 için en yüksek salınım gece 1 (5267,5 kg) ve gece 2 (4546 kg) olmuştur. Doğal gaz tüketimi kaynaklı doğrudan salınımı yapılan karbondioksit miktarı Senaryo 1 için 34525 kg, Senaryo 2'de 34620 kg ve Senaryo 3'te 34485 kg olmuştur. Senaryolar birbiriyle karşılaştırıldığında doğal gaz tüketim kaynaklı salınımlar gece 1 için en yüksek (8104 kg) Senaryo 3 ile elde edilmesine karşın en az gece 1 salınımı (7933 kg) Senaryo 1 için sağlanmıştır. Sabah doğal gaz tüketimi kaynaklı gerçekleşen salınımlar en yüksek Senaryo 2'de (6116 kg) olurken Senaryo 3 en düşük sabah salınımına (5851 kg) sahip olmuştur. Kuşluk vakti salınımlar en

yüksek Senaryo 2'de (5372 kg) en düşük Senaryo 3'te (5270 kg) elde edilmiştir. Öğleden sonra gerçekleşen salınımlarda en düşük değer Senaryo 1'de (4896 kg) en yüksek Senaryo 2'de (5032 kg) bulunmuştur. Akşam gerçekleşen salınımlar en düşük Senaryo 3'te (6685 kg) en yüksek Senaryo 2'de (7224 kg) olmuştur. Gece 2 salınımları en az Senaryo 2'de (2887 kg) en yüksek Senaryo 3 için (3610 kg) olmuştur.

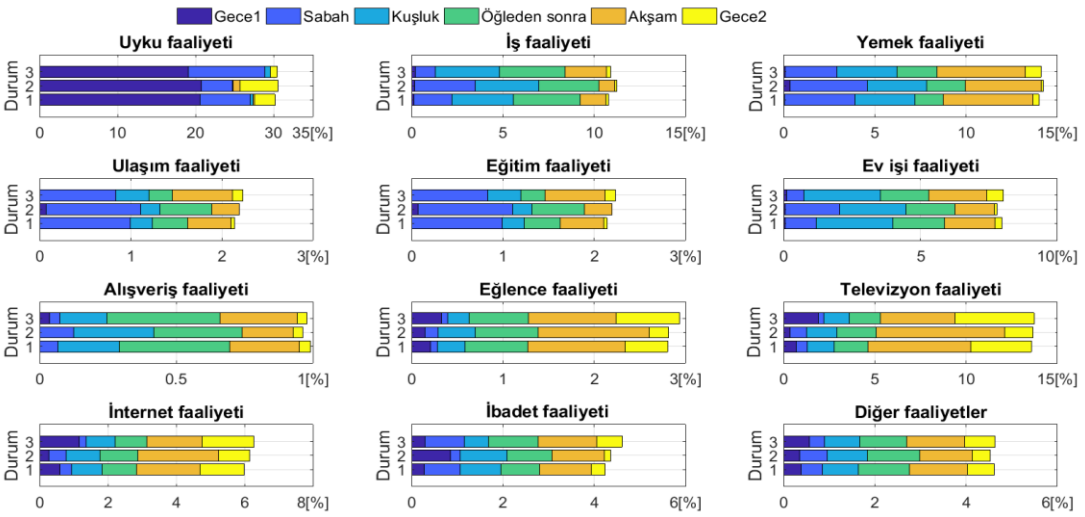
Bir yıl boyunca her ay birer haftalık karbondioksit salınımlarının faaliyetlere göre durumu analiz edilmiştir. Senaryolar faaliyetler bazında salınımlarına göre karşılaştırılmıştır. Senaryo 1 en az salınıma uyku (5863 kg) ve iş faaliyetinde (2053 kg) sahiptir. Senaryo 2 ulaşım (670 kg), televizyon (5712 kg) ve ibadet faaliyetleri içinde (1680 kg) en az salınımı sağlamıştır. Senaryo 3 ile yemek (8454 kg), eğitim (623 kg), ev işi (3204 kg), alışveriş (303 kg), eğlence (731 kg), internet (2591 kg) ve diğer (1842 kg) faaliyetler kategorisi için en az salınımı gerçekleştirmiştir. Senaryo 1 en yüksek salınımı ulaşım (711,5 kg), alışveriş (324 kg), televizyon (5795,5 kg) ve internet (2634 kg) faaliyetlerinde vermiştir. Uyku (6006 kg), yemek (8458 kg), eğitim (644,5 kg), ev işi (3371 kg), eğlence (774 kg) ve diğer (1918 kg) faaliyetler için en yüksek salınım değerlerine Senaryo 2 ile elde edilmiştir. Senaryo 3 en yüksek salınımları iş (2090 kg) ve ibadet (1768 kg) faaliyetleriyle gerçekleştirmiştir.

Kesinti yapılabilir yük grubu nedeniyle gerçekleşen CO_2 salınımları toplam elektrik kaynaklı salınımda Senaryo 1'de %28,7 paya sahipken bu değer Senaryo 2'de %29, Senaryo 3 içinse %28,8 olmuştur. Otomatik ertelenebilir elektrik yüklerinin neden olduğu salınımların elektrik kaynaklı salınımdaki payı Senaryo 1'de %15,3, Senaryo 2'de %16,8, Senaryo 3'te %14,8 bulunmuştur. Elle ertelenebilir elektrik yük kaynaklı salınımlar toplam elektrik kaynaklı salınımlarda Senaryo 1'de %13,3, Senaryo 2'de 12,3, Senaryo 3'te %13,1 olmuştur. Senaryo 1 en yüksek yönetilebilir elektrik kaynaklı salınımı ulaşım (486,5 kg), ev işi (2194 kg), alışveriş (219 kg), televizyon (2555 kg), internet (1304 kg) ve ibadet (888 kg) faaliyetlerinde vermiştir. Senaryo 2'de en yüksek yönetilebilir salınımlar iş (932 kg) ve yemek (6542 kg) faaliyetleri için gerçekleşmiştir. Elde edilen karbondioksit salınım durumları yönetilebilir elektrik talebini oluşturan yükler için hem ilgilenilen zaman dilimi hem de faaliyetler bazında çeşitli analizlere tabi tutulmuştur. Şekil 4.6 yönetilebilir karbondioksit büyüklüğünün hem zaman hem de faaliyet bazında kapasitesini göstermektedir.



Şekil 4.6 : Faaliyet ve zaman bazında her bir senaryo için yönetilebilir karbondioksit salınım kapasitesi.

Kombinin doğalgaz tüketimi nedeniyle oluşan karbondioksit salınımlarının hem faaliyet hem de zaman bazında analizi yapılarak Şekil 4.7'de verilen yüzdelik paylara ulaşılmıştır.



Şekil 4.7 : Faaliyet, zaman ve senaryolara göre yönetilebilir kombi doğalgaz tüketimi kaynaklı karbondioksit salınım kapasitesi.

4.4 Evsel Yükler İçin Karbondioksit Salınım Odaklı Yönetim Kazanımları

Genel olarak bu çalışmada, faaliyetler ve gün içi dilimlere uygun olarak, tüketici davranışını değiştirmekle yönetilebilir karbondioksit salınımının da yönetilebilir elektrik talebinin şekillendirilmesi ile sağlanabileceği öngörülmüştür. Talep

yönetiminde talep toplayıcılar, bu çalışmada önerilen yöntemler sayesinde yönetilebilir karbondioksit kapasitesinin tüketici davranışının gün içi dilimler ve faaliyetler bazında etkisini görebilir. Tüketiciye sunulacak teşvikler veya tarifeler için benzetim sonuçları temel alınabilir.

Gece 1 ve gece 2 en düşük elektrik kaynaklı CO_2 salınımlarına neden olmuştur çünkü uyku faaliyeti tüketimlerin azalmasını sağlamıştır. Öğleden sonra gerçekleşen salınımların büyüklüğü gece 1 ve gece 2 zaman dilimlerinden fazladır. Ancak bu zaman dilimi salınımların büyüklüğü kuşluk, sabah ve akşam periyotlarından azdır. Kuşluk vakti CO_2 salınımları öğleden sonra gerçekleşen salınımnlardan fazla olmuştur çünkü daha çok kesintili yük çalışması bu zaman diliminde olmuştur. Sabah salınımları kuşluk zamanına göre fazladır çünkü daha fazla otomatik ve elle ertelenebilir yük bu dönemde aktiftir. Akşam döneminde evde artan kullanıcı nedeniyle ertelenebilir yüklerin tüketimlerinde artış dolayısıyla salınımlarda da artış olmuştur.

Elde edilen sonuçlar Hirano ve arkadaşlarına ait çalışma [111] ile kısmi olarak karşılaştırılmıştır. Hirano ve arkadaşları bir ev için hem direkt hem de dolaylı CO_2 emisyonlarını sırasıyla 4,9 kg ve 5,1 kg olarak hesaplamıştır. Bu tez çalışmasında elektrik tüketimi kaynaklı CO_2 salınım miktarı ortalama 4,04 kg bulunmuştur. Doğal gaz kaynaklı salınımlar ise bir ev için ortalama 4,1 kg olmuştur. Farklılıklar [111] ile verilen çalışmada hesaplama ve kullanılan yöntemden kaynaklanabilir. Hirano ve arkadaşları ulusal ortalama değerler ile hesaplama yapan yöntem kullanırken bu çalışmada gerçek anlık verilerle hesaplamalar yapılmıştır. TV ve uydu alıcısı için bekleme modu kaynaklı bir yıl süreli her ay bir hafta olacak şekilde tüketim kaynaklı CO_2 salınımlar toplamı TV için 37 kg, uydu alıcı için 15 kg olduğu görülmüştür.

Yönetilebilir CO_2 salınım payının en yüksek yemek (%19,3), uyku (%8,4) ve televizyon (%7,3) faaliyetlerine ait olduğu görülmüştür. En yüksek yönetilebilir CO_2 salınımı akşam (%13) olarak bir saat ötelenmiş faaliyet kalıbında (Senaryo 3) sağlanmıştır. Senaryo 3 için yönetilebilir akşam CO_2 salınımlarında kesinitili yükler (%6,1), otomatik ertelenebilir yükler (%3,1) ve elle ertelenebilir yükler ise (%3,8) paya sahip olmuştur. En yüksek yüksek karbondioksit salınımı toplam payı %57,7 ile Senaryo 2 ile gerçekleşmiştir.

5. EVSEL TALEP YÖNETİMİNDE KONFOR EN İYİLEYEN ÖNCELİKLİ YENİ BİR YÖNETİM YÖNTEMİ

Evsel elektrik talep yönetiminde ev enerji yönetim sistemlerinin çok önemli bir rolü vardır. Gelişmiş ev enerji yönetim sistemleri talep toplayıcılar, evsel cihazlar, elektrikli arabalar, elektrik depolama üniteleri ve yenilenebilir enerji kaynakları ile etkileşimde olabilir [119]. Sabit yüklerin (örneğin TV) ev enerji yönetim sistemi ile yönetilmesi tercih edilmez [120]. Talep yönetiminde ev enerji sistemlerinin ertelenebilir, kesinti yapılabilir ve tüketimi azaltılabilir nitelikli yönetilebilir yüklere ihtiyacı vardır [32]. Ertelenebilirlik, ev enerji yönetim sisteminin yetenekli cihaza ertelenebilirlik yönünde bir istekte bulunması halinde bu cihazların çalışmasını başka bir zaman aralığına erteleyebilme yeteneğidir. Bazı ertelenebilir yüklerin çalışmasının bir süre kesintiye uğratılması da mümkündür. Yüklerin bir kısmının ise işletim ayarları değiştirilerek tüketimlerinin azaltılması sağlanabilir. Ev enerji sistemleri için klima, termosifon, çamaşır kurutucu ve elektrikli araba tam otomatik yönetilebilir yük olarak görülmektedir [121]. Bazı araştırmacılar yine çamaşır kurutucu, elektrikli araba, ısıtma, soğutma sistemlerini ev enerji yönetim sistemleri için kontrol edilebilir yük olarak görmektedir [122]. Yönetilebilir yükler talep yönetiminde ev enerji yönetim sistemleri aracılığıyla hem tüketici tercihleri hem de talep toplayıcı amacı doğrultusunda kullanıcının önceliklemeleri ve esneklikleri dikkate alınarak çalıştırılabilir [102]. Esneklikler talep yönetiminde yüklerin çalışmasına özgü ek zaman, bir sıcaklık toleransı veya maliyette artış şeklinde olabilir. Araştırmacılar bunları talep yönetimi için takas (trade-offs) unsurları olarak görmektedir [123].

Talep yönetiminde maliyeti en aza düşürmek amacına uygun pek çok çalışmaya rastlanmaktadır [124-130]. Araştırmacılar bu çalışmalarda farklı yönetim yöntemleriyle yüklerin en az maliyetle elektrik tüketmesine özgü çözümler sunmaktadır. Literatürde kendi üretim kaynağı mevcut üreten tüketiciler için yine en az maliyetle elektrik tüketim amaçlı çalışmalar da vardır [114], [131-133]. Hem üretim hem de tüketim için farklı algoritmalar sunulmaktadır. Maliyet azaltmaya yönelik çalışmalarda, tüketicinin elektrik talebini düşük fiyat dilimlerine yönlendirmesinin şebekede yeni talep artışlarına yol açma olasılığı doğurduğu görülmüştür. Bu sorunu

tespit eden araştırmacılar çözüm için tüketici talebinin bir güç sınırlamasına tabi tutulmasını önermektedir [121], [131], [134-136]. Aslında bir güç sınırlaması halihazırda yenilebilir enerji kaynağı, enerji depolama üniteleri ve sıfır-enerjili binalar (zero-energy buildings) için de tercih edilen bir uygulamadır [127], [137-138]. Burada uygulamada ortaya çıkan sorun, eğer talep sınır güç değerini aşarsa hangi yüklerin çalışmasının sağlanacağıdır. Çözüm için en çok tercih edilen yöntem statik öncelik temelli yük yönetimi yaklaşımıdır. Statik önceliklemede tüketici yüklerini değişmez bir biçimde kendine uygunluk, maliyet veya acil kullanım ihtiyacı doğrultusunda öncelikleme yoluna gider [139]. Statik önceliklemede yükler önceliklerine göre yönetilir [140]. Bu yöntemle hareket edilen çalışmada araştırmacılar her ne kadar talebi ya da maliyeti amaca uygun bir eşik değerde tutmayı başarmış olsalar da tüketici konforunu beklenen bir düzeyde karşılayamadılar [122], [138], [140-147]. Bundan daha iyi bir çözüm içinse önceliklerin konfor beklentilerini en iyileyecek biçimde zamanla değiştirilebilmesi ve amaca uygun dizilimlerin bulunması gerekmektedir. Ancak önceliklerin zamanla değiştirilebildiği dinamik öncelikleme olarak isimlendirilen bu yönetim yöntemi literatürde yeterince ele alınmamış bir durumdur [122]. Zamanla değişen öncelik temelli bazı çalışmalarda da yine elektrik tüketim maliyetini düşürmek [138] amaçlanmıştır. Yenilebilir enerji kaynağı olan tüketici için sadece sınırlı bir konfor çalışması yapılmıştır [141]. Öncelik değişimini esas alan bu çalışmalar ek bir enerji kaynağı olmayan evler için bir çözüm sunmamıştır. Oysa yenilebilir enerji kaynaklarının belirsiz bir üretim karakteristiğine sahip olması nedeniyle bu yöntemin genelleştirilmesi halinde konfora etkisi vurgulanmamıştır. Yine evlerde enerji depolama elemanları yüksek maliyet ve kısa ömürleri yüzünden yenilebilir enerji sistemlerinde çok tercih edilmeyebilir [134]. Dolayısıyla normal bir ev tüketicisi için ev enerji yönetim sistemleri yardımıyla gerçekleştirilebilecek konfor temelli çözümlere gereksinim duyulmaktadır.

5.1 Kullanıcı Odaklı Konfor Temelli Enerji Yönetimi İçin Problem Tanımı

Yönetilebilir yükler olarak bu çalışmada örneğin termosifon (WH), klima (AC), çamaşır kurutucu (CD) ve elektrikli arabanın (EV) bir A kümesinde toplanıldığı düşünülmüştür. Bu kümenin eleman sayısı N olmak üzere A_j bu kümedeki j' inci yükü (5.1)'de temsil eder. Her yönetilebilir yük benzersiz tek bir kimlik bilgisine sahiptir. Pozitif tamsayıdan oluşan kimlik bilgileri ev enerji yönetim sistemi aracılığıyla

kimliklerin tutulduğu I kümesinden verilir. Ev enerji yönetim sistemi yükler için atanmış bu kimlik bilgilerine göre yönetimi gerçekleştirir.

$$A = \bigcup_{j=1}^{N} A_j \ \wedge \ I = \bigcup_{j=1}^{N} I_j \tag{5.1}$$

Talep yönetimi gerçekleşme öncesi kullanıcıların ev enerji sisteminde atadığı statik yük önceliklemeleri Q_{statik} dizisinde kimlik bilgileri ile tutulur. Bu dizi içinde yükler öncelik düzeylerine uygun bir yerleşime sahip olur. Dizinin ilk elemanı en öncelikli yükü temsil ederken diğer yükler önceliklerin azalmasına göre ardışıl sıralanır. Ev enerji sisteminde önceliklerin ölçülebilmesi için bir ağırlık değeri ataması da vardır. Ağırlık dizisi W aracılığıyla her yüke önceliği ile ilişkili bir ağırlık değeri verilmesi sağlanır. Her bir yük A_j bir m anında sahip olduğu ağırlık değeri $W_{A_j}^m$ olur. Ev enerji yönetim sistemi ağırlıkları eleman sayısına göre azalan sıralı N' den 1 değerine doğru sıralar. Amaç statik dizi Q_{statik} içinde en öncelikli yükün en büyük W ağırlık değerine, diğerlerininse öncelik sıralamasıyla uyumlu ağırlıklara sahip olmasıdır. Bu çalışmada yönetimi gerçekleştirilecek yükler birer dakikalık aralıklarla izlenir. Her bir cihaz A_j' nin m anında istenilen cihaz durumu $r_{A_j}^m$ ile temsil edilir. Eğer izlenen cihaz çalışmak istiyorsa, örneğin bir klima oda sıcaklığı istenilen düzeyde değilse, $r_{A_j}^m$ değeri 1 aksi durumda sıfırdır. Her cihaz A_j' nin m anındaki gücü $P_{A_j}^m$ ile ifade edilebilir. Cihazın çalışma istek durumunda oluşacak güç $LP_{A_j}^m$ bir zaman aralığı için α başlangıç β bitiş zamanı olmak üzere (5.2)'de elde edilir.

$$LP_{A_j}^m = \bigcup_{m=\alpha}^{\beta} r_{A_j}^m \ P_{A_j}^m \tag{5.2}$$

Konfor en iyileme sezgisel tabanlı algoritmalar, bulanık mantık yaklaşımlı yönetim, kural tabanlı yönetim yöntemleri ile sağlanabilir. Tez çalışmasında sınırlandırılmış bir güç seviyesine sahip bir evde kullanıcı odaklı konfor temelli bir yönetim için problem sırt çantası (knapsack) problemi olarak ele alınmıştır. Çünkü problem kombinasyon içeren bir en iyileme gerektirir ve kural tabanlı olması nedeniyle ev enerji yönetim sistemlerinde uygulaması kolaydır. Kombinasyonel problemlerde sırt çantası problemi çanta kapasitesi aşılmadan hafif ve değerli eşyaların yerleştirilmesi üzerine kurulur [35]. Sırt çantası problem çözümü dinamik programlama ile sağlanmıştır [35]. Kesik ve tam (0/1 sırt çantası problemi) olmak üzere iki sırt çantası problem türü vardır. 0/1

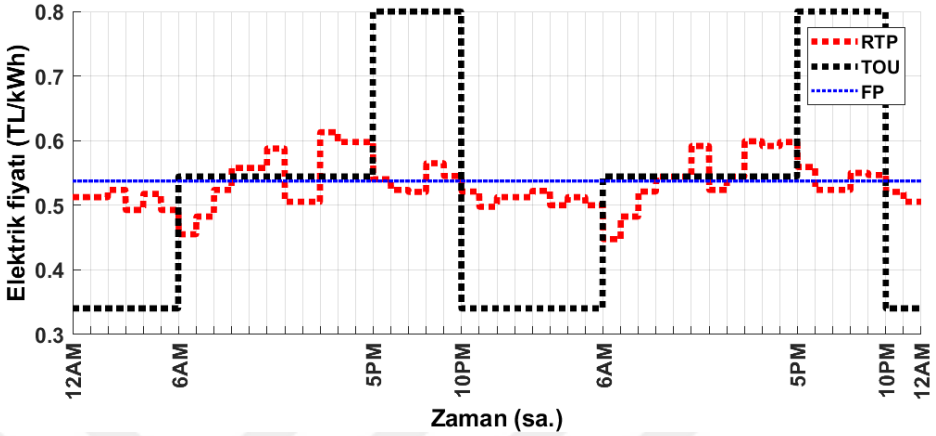
sırt çantası probleminde 0 malzemenin çantada yer almayacağını 1 ise parçanın bir bütün olarak çantada yer alacağı anlamına gelir.

Kullanıcı odaklı konfor temelli en iyileme probleminde amaç, yükler için atanan ağırlık değerleri toplamını izin verilen güç sınırını aşmadan en çoklamaktır. Bu da en yüksek önceliğe sahip yüklerin çalışmasının seçilmesi ile sağlanabilir. Problem tanımı (5.3)'de $f(x)$ amaç fonksiyonu, $g(x)$ kısıt fonksiyonudur. DT, izin verilen üst güç sınır değeridir. Üst sınır güç değerini ev enerji yönetim sistemi, talep toplayıcının ilettiği hedeflenen güç sınır değerinden sabit tüketime sahip yük güçlerini P_{nsload}^{m} çıkartarak bulabilir. En iyileme problemini çözen ev enerji yönetim sistemi m anında çalışmasını istediği A_j için $x_{A_j}^{m}$ kontrol sinyalini 1 olarak gönderir. Bu değeri sıfır olarak ilettiği yükler ise çalışmasını erteler.

$$\left.\begin{aligned} f(x) &= max \sum_{j=1}^{N} \bigcup_{m=\alpha}^{\beta} x_{A_j}^{m} . W_{A_j}^{m} \\ g(x) &= \sum_{j=1}^{N} \bigcup_{m=\alpha}^{\beta} x_{A_j}^{m} . LP_{A_j}^{m} \leq DT \end{aligned}\right\} \tag{5.3}$$

Kısıtlar sadece (5.3)'te verildiği ile sınırlı değildir. Termostat kontrollü yönetilebilir yükler, hem tüketici tercihine hem de teknik imkanlara bağlı kısıtlara tabidir. Termosifon için tüketicinin m anında ayarladığı sıcak su değeri θ_{WHS}^{m} bir alt $\theta_{WHS(alt)}^{m}$ ve bir üst $\theta_{WHS(üst)}^{m}$ değerler arasında yer alır. Sıcak su tüketimi zamanla tank içindeki sıcaklığın düşmesine neden olur. Sıcaklığın termostat eşik miktarı altına düşmesi ile termosifonun çalışarak ayarlanan sıcaklık değerine gelmeye çalışır. Klima için m anındaki oda sıcaklık ayar değeri θ_{ACS}^{m} olup ayar değeri bir alt $\theta_{ACS(alt)}^{m}$ ve bir üst $\theta_{ACS(üst)}^{m}$ sıcaklık değerleri arasında yer alır. Bu çalışmada klima soğutma modunda kullanılmıştır. Oda sıcaklığı ayarlanan değerin üstüne çıktığında klima istenilen değerde tutmak için çalışır, odayı soğutur. Çamaşır kurutucu (CD) ve elektrikli araba (EV) için zamana bağlı kısıtlar vardır. Elektrikli araba için belirli bir şarja başlama zamanı $T_{basla(EV)}$ olabilir. Şarjın tamamlanması istenen bir süre $T_{bitir(EV)}$ de istenilebilir. Çamaşır kurutucu çalışma başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, işini tamamlanması için tanımlanan süre $T_{bitir(CD)}$ de bir kısıt olabilir. Tarifeler yine bir kısıta tabidir. Çalışmada Şekil 5.1'de verilen Türkiye'ye ait 2019 yılı vergiler dahil elektrik perakende satış fiyatı kullanılmıştır. Sabit tarifede (Fixed price, FP) elektrik fiyatı tüm zamanlarda aynıdır. Zamana göre kullanım (Time of Use, TOU) şeklindeki bir üç

zamanlı tarifedeyse; gece, gündüz ve puant olmak üzere farklı tarifelendirme söz konusudur. Gece dilimi ücretlendirmesi 22.00-6.00 arasında, gündüz fiyatı 6.00-17.00 arası geçerli olup puant fiyat 17.00-22.00 arasında uygulanır. Gerçek zamanlı ücretlendirme (Real time price, RTP) tarifesi bu çalışma için rastgele üretilmiştir.



Şekil 5.1 : Çalışmada kullanılan elektrik tarifeleri.

5.2 0/1 Sırt Çantası Dinamik Programlama Algoritmaları

0/1 sırt çantası dinamik programlama algoritması yönetilebilir yüklerin ağırlıklarını ve güçlerini gözönüne alıp en yüksek öncelikli yüklerin izin verilen güç sınırı aşılmadan çalıştırılmasını sağlar. İzin verilen toplam güç sınırı aşılması halinde ev enerji yönetim sistemi tarafından en az öncelikli yüklerin çalışması X karar matrisi ile sonlanır ve ertelenir. 0/1 Sırt çantası dinamik programlama olarak adlandırılması cihazların güçlerinin bir bütün olarak düşünülmesinden gelir. İlgili cihaz ya çalışır ya da durur. Çizelge 5.1'de verilen algoritma, kombinasyonel problem için toplam ağırlıkları sürekli olarak tekrarlamak yerine bir kez çözülmüş durumu yinelemeden bir tabloda tutacak şeklinde yazılmıştır. Çizelge 5.2'de sunulan algoritma ise Çizelge 5.1'de bulunan tabloda geri izleme yapar ve çalışması gereken yüke çalışma iznini verir. Çalışma izni X matrisinde 1 olan yükler çalışır.

Çizelge 5.1 : 0/1 sırt çantası dinamik programlama ağırlık en çoklama algoritması.

Adım	İşlem
1	A kümesindeki toplam yük sayısını bul. Toplam sayı J olsun
2	İlgili m zamanına ait güçleri al, $LP = \left[LP_{A_1}^m, \dots, LP_{A_J}^m\right]$
3	İlgili m zamanına ait yük ağırlık değerlerini al, $\left[W_{A_1}^m, \dots, W_{A_J}^m\right]$
4	İzin verilen toplam güç sınırı değerini DT al ve Z değişkenine ata
5	$V[J+1, Z+1]$ boyutlu tablo hazırla
6	Sırasıyla satır elemanları seç, $j = 1, \dots, J$
7	Sırasıyla sütun elemanlarını seç, $z = 1, \dots, Z$
8	z değerini $LP_{A_j}^m$, yani seçili satır yük güç değeriyle karşılaştır
9	Eğer $LP_{A_j}^m > z$ ise $V[j+1, z+1] = V[j, z+1]$
10	Değilse $V[j+1, z+1] = max\left[V(j, z+1), W_{A_j}^m + V(j, z - LP_{A_j}^m + 1)\right]$
11	Tüm sütunlar tamamlanan kadar 7.adıma git
12	Tüm satırlar tamamlanana kadar 6.adıma git

Çizelge 5.2 : 0/1 sırt çantası dinamik programlamada geri izleme algoritması.

Adım	İşlem
1	A kümesindeki toplam yük sayısını bul. Toplam sayı J olsun
2	İlgili m zamanına ait güçleri al, $LP = \left[LP_{A_1}^m, \dots, LP_{A_J}^m\right]$
3	Tablodaki en son elemana git, onun değerini k' ye ata.
4	İzin verilen toplam güç sınırı değerini DT al ve Z değişkenine ata
5	J satır 1 sütunlu $X[J, 1]$ karar matrisini oluştur
6	While $k > 0$ olduğu sürece aşağıdaki işlemleri yap
7	While tabloda $V[j+1, z+1]$ değeri k değerine eşitse aşağıdakileri yap
8	Satır sayısını 1 azalt, $J = J - 1$
9	End (7. adımdaki while döngüsü için son)
10	Satır sayısını 1 artır, $J = J + 1$
11	Çalışması gereken yük için $x_{A_j}^m = 1$ yap
12	Seçilen yük gücünü Z değişkeninin değerinden çıkar, $Z = Z - LP_{A_J}^m$
13	Satır sayısını 1 azalt, $J = J - 1$
14	Tabloda yeni elemana git, değerini k'ya aktar, $k = V[j+1, z+1]$
15	End (6. adımdaki while döngüsü için son)

5.3 Öncelik Temelli Yük Yönetim

Tez çalışmasında kullanıcı konfor ve tüketim maliyetini dikkate alan öncelik temelli yönetim algoritmaları geliştirilmiştir. Bunlar statik öncelik temelli yönetim (SPBM), dinamik öncelik temelli yönetim (DPBM) ve ısıl esneklik ekli dinamik önceliklemeli yönetimdir (FDPBM).

5.3.1 Statik öncelik temelli yük yönetim

Çalışmada termosifon (WH), klima (AC), çamaşır kurutucu (CD) ve elektrikli araba (EV) için kimlik değerinin sırasıyla 4, 3, 2 ve 1 olduğu kabul edilmiştir. Bu dört yük için öncelik sıralaması $[HPL, LPL^3, LPL^2, LPL^1]$ formunda Q_{statik} içinde yer alır. En öncelikli yük HPL, en önceliksiz yük LPL^1, ikinci en az önceliksiz yük LPL^2 ve LPL^3 ise ikinci en öncelikli yükü temsil eder. Örneğin, verilen statik dizi, $Q_{statik} = [4, 3, 2, 1]$ için $[HPL = 4, LPL^3 = 3, LPL^2 = 2, LPL^1 = 1]$ olacaktır. Ev enerji yönetim sistemi her bir yönetilebilir yük için m anında $W_{A_j}^m$ ağırlık değeri atar. Statik öncelik dizisinde 4, 3, 2 ve 1 için ağırlık değerleri $W = [W_{WH}^m = 4, W_{AC}^m = 3, W_{CD}^m = 2, W_{EV}^m = 1]$ olacaktır. Burada hem kimlik hem de ağırlık değerlerinin aynı olması eşleşmenin sürekli bu şekilde sonlanacağı biçiminde düşünülmemelidir. Örneğin statik öncelik dizisinde 3, 4, 1 ve 2 ile belirtilen kimlik bilgilerine ait yükler için ağırlık değerleri $W = [W_{AC}^m = 4, W_{WH}^m = 3, W_{EV}^m = 2, W_{CD}^m = 1]$ olacaktır. Eğer tüketici tercihleri statik öncelik dizisine yansıtılırsa Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2'de verilen algoritmalar kullanılarak m anında ağırlık değeri toplamı en çok olacak biçimde seçilmiş yükler izin verilen sınır güç değeri aşılmadan çalıştırılır.

5.3.2 Dinamik öncelik temelli yük yönetim

Dinamik öncelik temelli yönetim için tüketicinin statik olarak tanımladığı önceliklerin zamanla değişimi amaçlanır. Bir m anında Q_{statik} dizisindeki dizilim, dinamik dizilim dizisi $Q_{dinamik}^m$ içine aktarılır. Dinamik dizideki önceliklerin sıralanması ise cihaz çalışma istek durumu yani $r_{A_j}^m$ değerine göre gerçekleştirilir. Öncelik dizilim sırası değişiminde (5.4)'te verilen karar dizisi sıralaması izlenir.

$$Q_{karar} = [LPL^1, HPL, LPL^2, \dots, LPL^{N-2}, LPL^{N-1}(HPL)\ ] \tag{5.4}$$

Bir m anında ilgili cihaza ait izlenen cihaz çalışma istek durumu $r_{A_j}^m$ 1 ise ilgili cihaz dinamik öncelik dizisi $Q_{dinamik}^m$ içinde en öncelikli yük olur diğerleri ise en önceliksiz yükün olduğu yöne kaydırılır. İlgili cihaza ait izlenen cihaz durumu $r_{A_j}^m$ 0 ise ilgili cihaz dinamik öncelik dizisi $Q_{dinamik}^m$ içinde en önceliksiz yük olur diğerleri ise en öncelikli yükün olduğu yöne kaydırılır. (5.4)'te verilen karar dizisinde yer alan sıralamaya göre işlem tamamlanır. Sonrasında görev bitiş zamanı tanımlanmış yükler

için kalan görev süresi durumları kontrol edilir. Görev bitiş zamanı tanımlı yüklerin statik önceliklerine göre sıralaması yapılır. Bu yükler için görev bitişi için yeterli süre kalmamışsa o zaman en az görev bitiş süresi kalan yük en öncelikli yük olarak dinamik dizide yer alır dinamik dizideki diğer yükler ise en az öncelikleme yönünde (sağa doğru) kaydırılır. Kalan süre görev bitiş süresi için yeterli ise bu durumda dinamik öncelik dizide sıralama değişmez. Sorgulama, öncelik sırası ve ağırlık değişim süreci en öncelikli yükün görevi bitirmek için yeterli süresi oluncaya kadar devam eder. Dört seçili yük için geliştirilen yönetim yöntemi uygulaması Çizelge 5.3'te verilmiştir. Ev enerji yönetim sistemi öncelikleri dinamik olarak değiştirdiğinde Çizelge 5.1, Çizelge 5.2 algoritmaları izlenerek en iyilemeler gerçekleştirilir. Çalışacak yükler tespit edilir ve böylelikle izin verilen güç sınırı altında kalacak şekilde çalışmaya devam ederler.

Çizelge 5.3 : Dört yönetilebilir yük için dinamik öncelikleme.

Adım	İşlem
1	Q_{statik} değerini $Q^m_{dinamik}$ dizisine aktar.
2	Statik dizi Q_{statik} içindeki LPL^1 ile temsil edilen yükü al.
3	Eğer seçili yükün istenilen çalışma durumu $r^m_{A_j}$ 1 ise o zaman bu yükü $Q^m_{dinamik}$ içinde en yüksek öncelikli yük yap, ötekileri sağa (en az yük öncelik yönüne) kaydır. Aksi halde Q_{statik} içindeki LPL^1 ile temsil edilen yükü $Q^m_{dinamik}$ içinde en yüksek önceliksiz yük yap, ötekileri sola (en yüksek yük öncelik yönüne) kaydır.
4	Statik dizi Q_{statik} içindeki HPL ile temsil edilen yükü al.
5	Eğer seçili yükün istenilen çalışma durumu $r^m_{A_j}$ 1 ise o zaman bu yükü $Q^m_{dinamik}$ içinde en yüksek öncelikli yük yap, ötekileri sağa (en az yük öncelik yönüne) kaydır. Aksi halde Q_{statik} içindeki HPL ile temsil edilen yükü $Q^m_{dinamik}$ içinde en yüksek önceliksiz yük yap, ötekileri sola (en yüksek yük öncelik yönüne) kaydır.
6	Statik dizi Q_{statik} içindeki LPL^2 ile temsil edilen yükü al.
7	Eğer seçili yükün istenilen çalışma durumu $r^m_{A_j}$ 1 ise o zaman bu yükü $Q^m_{dinamik}$ içinde en yüksek öncelikli yük yap, ötekileri sağa (en az yük öncelik yönüne) kaydır. Aksi halde Q_{statik} içindeki LPL^2 ile temsil edilen yükü $Q^m_{dinamik}$ içinde en yüksek önceliksiz yük yap, ötekileri sola (en yüksek yük öncelik yönüne) kaydır.
8	Statik dizi Q_{statik} içindeki LPL^3 ile temsil edilen yükü al.
9	Eğer seçili yükün istenilen çalışma durumu $r^m_{A_j}$ 1 ise o zaman HPL ile temsil edilen yükü $Q^m_{dinamik}$ içinde en yüksek öncelikli yük yap, sonra LPL^3 ile temsil edilen yükü $Q^m_{dinamik}$ içinde en yüksek öncelikli yük yap. Ötekileri sağa (en az yük öncelik yönüne) kaydır. Aksi halde Q_{statik} içindeki LPL^3 ile temsil edilen yükü $Q^m_{dinamik}$ içinde en yüksek önceliksiz yük yap, ötekileri sola (en yüksek yük öncelik yönüne) kaydır.
10	Ertelenebilir yükleri listele (CD ve EV). CD ve EV için statik dizideki öncelik sırasını $Q_{görev}$ dizisine aktar.
11	Dizi $Q_{görev}$ içindeki en az öncelikli yükü seç. Bu örnekte LPL^1 ile temsil edilen yüktür.
12	Eğer seçili yükün, LPL^1, görev tamamlaması için kalan süre yetersizse o zaman LPL^1 ile temsil edilen yükü $Q^m_{dinamik}$ içinde en yüksek öncelikli yük yap. Ötekileri sağa (en az yük öncelik yönüne) kaydır. Aksi halde $Q_{dinamik}$ içindeki önceliklere ilişkin sıralamada değişiklik yapma.
13	Dizi $Q_{görev}$ içindeki en yüksek öncelikli yükü seç. Bu örnekte LPL^2 ile temsil edilen yüktür.
14	Eğer seçili yükün, LPL^2, görev tamamlaması için kalan süre yetersizse o zaman LPL^2 ile temsil edilen yükü $Q^m_{dinamik}$ içinde en yüksek öncelikli yük yap. Ötekileri sağa (en az yük öncelik yönüne) kaydır. Aksi halde $Q_{dinamik}$ içindeki önceliklere ilişkin sıralamada değişiklik yapma.

5.3.3 Isıl esneklik ekli dinamik öncelik temelli yük yönetim

Talep yönetiminde ertelenebilir nitelikteki bazı yönetilebilir yükler için zaman esnekliği tanımlamak mümkün olmayabilir. Örneğin bir kurutucunun seçili program süresinin kısaltılması giysilerde istenilen düzey üzerinde bir nem kalmasına neden olabilir. Elektrikli araba ve çamaşır kurutucu gibi yükler görev süresi tamamlana kadar ertelenebilir veya çalışması bir süre kesintiye uğratılabilir. Klima ve termosifon gibi termostat kontrollü yüklerlerin ısıl esnekliklerinden faydalanmak daha iyi bir çözüm olabilir. Termosifon sıcak su ayar değeri $\Delta\theta_{WH}$ kadar tüketicinin veya talep toplayıcının belirlediği esneklikle, en alt seviyeden $\theta^{m}_{WHS(alt)}$ daha az bir sıcaklık olmayacak şekilde yönetilebilir. Soğutma modunda çalışan bir klima için oda sıcaklık ayar değeri kullanıcı üst sıcaklık değeri $\theta^{m}_{ACS(\text{üst})}$ aşılmayacak biçimde arttırılabilir. Eğer elektrikli araba veya çamaşır kurutucu çalışması gerekiyorsa klima ve termosifon için yeni sıcaklık ayar değerleri geçerli kılınır, aksi durumda mevcut sıcaklık ayar değerleri geçerli olur. Termosifon ve klima için yeni sıcaklıklar (5.5)'te hesaplanır.

$$\left.\begin{aligned}\theta_{WHSyeni} &= max\left(\theta^{m}_{WHS} - \Delta\theta_{WH}, \theta^{m}_{WHS(alt)}\right)\\ \theta_{ACSyeni} &= min\left(\theta^{m}_{ACS} + \Delta\theta_{AC}, \theta^{m}_{ACS(\text{üst})}\right)\end{aligned}\right\} \tag{5.5}$$

Isıl esneklik ekli dinamik önceliklemeli yönetimde öncelikler dinamik önceliklemeli yönetimde olduğu gibi değiştirilir. En iyileme problem çözümü için ise Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2'de verilen algoritmalar ardışıl olarak kullanılır.

5.4 Öncelik Temelli Yönetimde Konforu Ölçme, İzleme ve Değerlendirme

Tez çalışmasında ısıl konfor için yedi skalalı ısıl his ya da diğer adıyla tahmin edilen ortalama oy (predicted mean vote, PMV) yöntemi [148] izlenmiştir. Memnun olmayan insanlar yüzdesi (Percentage of People Dissatisfied, PPD) ilgilenilen alanda ısıl ortamdan duyulan ısıl konforu belirlemede kullanılır. PPD değerleri oylama sonucu oluşan PMV değerleri ile hesaplanır. Klimanın çalıştığı sürenin bir α_s ve β_s zaman aralığında olduğu varsayılabilir. Klimanın çalışmadığı süre için yine bir α_f ve β_f zaman aralığı söz konusudur. Klimanın tüm çalışma, bekleme süreleri için bir ortalama ısıl konfor söz konusu olur. $C^{s}_{mean,ACON}$ ile klimanın her bir çalışma aralık durumlarına ait ortalama ısıl konfor temsil edilir. $PPD^{s,m}_{ACON}$ çalışan klimanın m esnasında

ölçümlenen PPD değeridir. $C^{f}_{mean,ACOFF}$ klimanın çalışmadığı her bir aralık durumlarına ait ortalama ısıl konfordur. $PPD^{s,m}_{ACOFF}$ klimanın çalışmadığı m esnasında hesaplanan memnun olmayan insanlar yüzdesidir. Burada S ve F klima için tanımlı toplam çalışma ve durma aralık sayısıdır. Klima ile ortamda sağlanan konfor ise C_{AC} olup klimanın çalıştığı ve çalışmadığı aralık konfor değerlerinin tam konfor değerine C_{AC100} bölünmesiyle (5.6)'da verildiği biçimde hesaplanır.

$$\left.\begin{aligned} C^{s}_{mean,ACON} &= \bigcup_{s=1}^{S} \frac{\sum_{m=\alpha_s}^{\beta_s}(100 - PPD^{s,m}_{ACON})}{(\beta_s - \alpha_s)} \\ C^{f}_{mean,ACOFF} &= \bigcup_{f=1}^{F} \frac{\sum_{m=\alpha_f}^{\beta_f}\left(100 - PPD^{f,m}_{ACOFF}\right)}{\left(\beta_f - \alpha_f\right)} \\ C_{AC} &= \frac{\sum_{s=1}^{S} C^{s}_{mean,ACON} + \sum_{f=1}^{F} C^{f}_{mean,ACOFF}}{\sum_{s=1}^{S} C_{AC100} + \sum_{f=1}^{F} C_{AC100}} \end{aligned}\right\} \quad (5.6)$$

Termosifon ile elde edilen sıcak su konforu ayarlanan sıcak su değeri, kullanılan suyun sıcaklığı ve kullanım durumu dikkate alınarak hesaplanabilir. Her bir sıcak su kullanım sayısı H ile temsil edilebilir. Her bir kullanım aralığında sağlanan ortalama sıcak su konforu $C_{\mu,h}$, bir m anındaki h. kullanımdaki sıcak su derecesi $\theta^{m}_{outlet,h}$ ve ayarlanan değer $\theta^{m}_{WHS,h}$ oranıdır. Termosifon ile sağlanan sıcak sudan alınan genel konfor C_{WH}, (5.7)'de hesaplanır.

$$\left.\begin{aligned} C_{\mu,h} &= \bigcup_{h=1}^{H} \frac{\sum_{m=\alpha_h}^{\beta_h}\left(\theta^{m}_{outlet,h}/\theta^{m}_{WHS,h}\right)}{(\beta_h - \alpha_h)} \\ C_{WH} &= \frac{\sum_{h=1}^{H} C_{\mu,h}}{H} \end{aligned}\right\} \quad (5.7)$$

Belirli bir görev bitiş zamanı tanımlı kurutucu için konfor C_{CD}, seçilen bir program süresinin $T_{CDprogram}$ ne kadar bir zaman içinde tamamladığının bir ölçüsü olarak değerlendirilebilir. Kurutucunun görevini tamamladığı zaman $T_{bitir(CD)}$, çalışmaya başladığı zaman ise $T_{basla(CD)}$ ile temsil edilebilir. Bu durumda kurutucunun görevini tamamlamasından elde edilen konfor (5.8)'de bulunabilir.

$$C_{CD} = \left(T_{CDprogram}/\left(T_{bitir(CD)} - T_{basla(CD)}\right)\right) \quad (5.8)$$

Elektrikli araba için konfor C_{EV} şarj için gereken sürenin T_{EV}, şarja başlama ve şarjı bitirme zamanları arası süreye oranı şeklinde yazılabilir. Araba için şarja başlama zamanı $T_{basla(EV)}$ ve şarj bitiş zamanı ise $T_{bitir(EV)}$ ile temsil edilir. Elektrikli araba için görevinin tamamlama yani şarj konforu (5.9)'da elde edilir.

$$C_{EV} = \left(T_{EV} / \left(T_{bitir(EV)} - T_{basla(EV)}\right)\right) \tag{5.9}$$

Ev enerji yönetim sistemiyle talep yönetimine katılan farklı türdeki yükler için elde edilen konforun diğer yönetim sistemleriyle karşılaştırılabilmesi için özgün bir genel konfor değeri hesaplama yöntemi geliştirilmiştir. Çizelge 5.4'de genel konfor değerinin öncelik temelli farklı yönetim biçimlerinde hesaplanması durumunda izlenmesi gereken adım ve yapılacak işlemler gösterilmektedir. Genel konfor değerleri bu tez çalışmasında olduğu gibi farklı yük türlerinin konforlarının farklı öncelik temelli yönetimleri dikkate alınarak elde edilebilir.

Çizelge 5.4 : Genel konfor değerinin öncelik temelli farklı yönetim biçimlerinde hesaplama yöntemi.

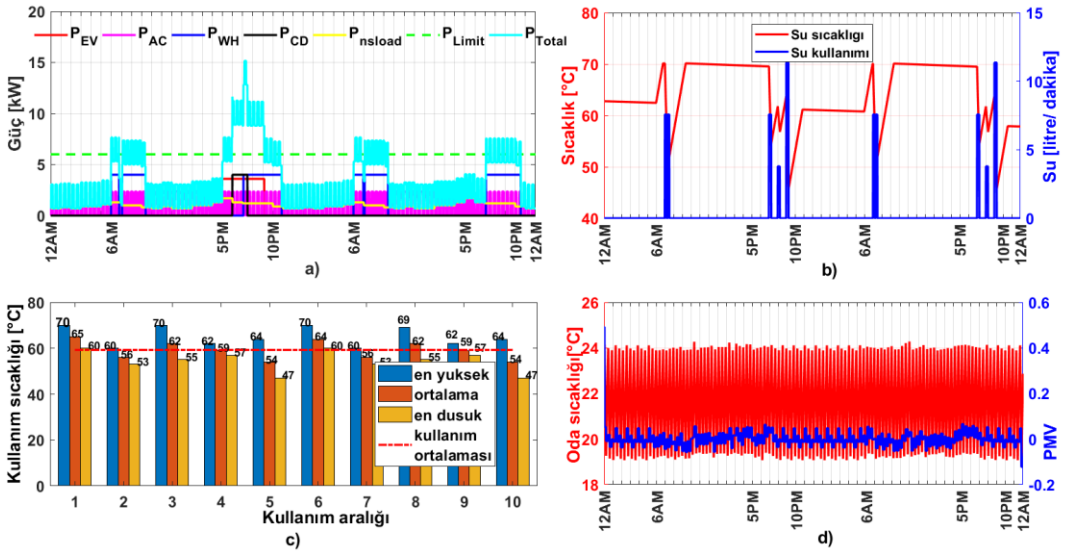
Adım	İşlem
1	Yönetilebilir yükler temel senaryoda herhangi bir güç kısıtlaması olmadan çalıştırılır. Yüklere çalışma süresince herhangi bir yönetim müdahalesi olmaz. Klima ve termosifon için kullanıcı veya talep toplayıcı tarafından istenilen sıcaklık ayar değerleri vardır. Kurutucu ve elektrikli araba şarjı için belirlenmiş bir başlangıç zamanı seçilidir. Temel senaryo kullanıcının en iyi konfor değerine sahip olduğu durumdur. Her bir cihazın sağladığı konfor temel senaryoda cihazlarla elde edilen konfor olarak isimlendirilir.
2	Statik öncelik temelli yönetim, SPBM ile tüm yönetilebilir yükler temel senaryodaki çalışma ayar koşullarında sınırlandırılmış bir güç kısıtlaması altında çalışır. Farklı statik önceliklerle her bir yönetilebilir yükün sahip olduğu veya sağladığı konforlar bulunur. Yönetilebilir yüklerin statik öncelik temelli yönetimde hesaplanan konfor değerlerine SPBM yönetimindeki yönetilebilir yük konfor değerleri denir.
3	SPBM ile elde edilen yönetilebilir yük konforları toplam değeri bulunur. Temel senaryo ile elde edilen yönetilebilir yük konfor değerleri toplamına oranlanarak farklı SPBM önceliklerle sağlanmış yönetimler için toplam konfor yüzdelikleri bulunur.
4	Referans konfor değerleri tanımlanır. Çamaşır kurutucu ve elektrikli araba şarjı için referans konfor hedeflenen başlama ve bitiş sürelerine göre hesaplanır. Klima ve termosifon için referans konfor değerleri hesaplanır ve bunlar dinamik öncelik temelli yönetim, DPBM için de geçerlidir.
5	DPBM yönetimiyle yönetilebilir yükler belirli güç kısıtlaması altında temel senaryoda öngörülen yük ayar değerlerine uygun çalışır. Farklı öncelikler için DPBM yönetimiyle her bir yönetilebilir yükün sağladığı konfora DPBM ile sağlanan yük konforu denir.
6	Isıl esneklik içeren dinamik öncelik temelli yönetim, FDPBM ile güç kısıtlaması altında yönetilebilir yükler temel senaryo ayar koşullarıyla çalışır. Yönetilebilir yüklerce elde edilen konfora FDPBM ile elde edilen konfor denir.
7	SPBM yönetiminde en öncelikli yükler ile edilen konfor değerinde birtakım dönüşümler yapılır. En öncelikli yük çamaşır kurutucusu veya elektrikli araba ise elde edilen konfor değeri referans konfor değeri ile güncellenir. Bu şekilde diğer yönetimlerle adil bir karşılaştırma yapılabilir. Konfor sapmaları her bir farklı yönetim yönetimdeki farklı öncelikler için hesaplanır. Konfor sapması sağlanan konfor ile referans konfor arası farktır.
8	DPBM ve FDPBM ile elde edilen konfor sapmaları toplamı SPBM ile elde edilen konfor sapmaları toplamı ile karşılaştırılır. Farklar SPBM ile elde edilen konfor değerlerine eklenir. Böylelikle DPBM ve FDPBM ile elde edilen konfor değerlerine ulaşılır. Karşılaştırma sonucu oluşan bütüncül DPBM ve FDPBM konfor toplam değeri temel senaryo konfor değerleri toplamına oranlanarak yüzdelik olarak konfor değerleri bulunur.

5.5 Öncelik Temelli Yönetim Vaka Çalışmaları

Vaka çalışmalarında yüksek güçlü dört evsel yönetilebilir cihaza yer verilmiştir. Seçilen cihazlar; termosifon (WH), klima (AC), çamaşır kurutucu (CD) ve elektrikli araba (EV) olup iki günlük benzetim süresince önerilen öncelik temelli yönetimlerin performanslarını elde etmek ve bunları birbirleriyle karşılaştırmak istenilmiştir. Ev enerji yönetim sistemi aracılığıyla tüketici tercihlerine göre bir öncelik sıralaması yapıldığı düşünülerek çalışma başlatıldı. Elektrikli araba şarj işleminin puant zaman başlangıcı olan saat 17 ve mevcut şarj yüzdesinin ise %37,5 olduğu varsayıldı. Bu şarj değeri elektrikli araba kullanımında tavsiye edilen alt seviyedir. Tam şarj işlemini kullanıcı saat gece 12 öncesi tamamlamak istemektedir. Çamaşır kurutucu programı yine puant zaman dilimi içerisinde saat 18'de başlamaktadır. Kurutucu için seçilen program süresi ise 90 dakikadır. Çamaşır kurutucu için tercihlenen iş bitirme son saati 24 olarak seçilmiştir. Dış sıcaklığın 34 °C olduğu bir yaz günü için çalışma yürütüldü. Klimanın en konforlu çalıştığı sıcaklık olarak 21,7 °C üç zamanlı tarifenin iki günlük yedi zaman dilimine ayarlandığı düşünüldü. Termosifon için sıcak su ayar değerleri iki gün süresince yedi zaman diliminde 67,2 °C, 70 °C, 69,4 °C, 61,1 °C, 70 °C , 69,4 °C, ve 57,8 °C olarak tercih edildi. Oda iç nem değeri %60, hava akış hızı 0,1 m/s seçildi. Radyant sıcaklık değerleri oda sıcaklığının 2 °C üzerinde düşünüldü. Evde kişilerin faaliyet seviyesi 1,2 Met alındı. Giysilerin ısıl direnci yaz gününe özel 0,8 Clo olarak kabul edildi. Evde yönetilemez yüklerin (Pnsload) en fazla saat 17 ve 18'de 1,7 kW olduğu bir güç profili ile çalışıldı. İzin verilen güç seviyesi (Plimit) 6 kW olup bu seviye, her durumda en az bir yükün çalışmasını mümkün kılar biçimde seçilmiştir. Klima, termosifon, elektrikli araba şarj birimi gücü ve kurutucu gücü sırasıyla 2,3 kW, 4 kW, 3,6 kW ve 4 kW değerindedir. Çamaşır kurutucu çalışması ertelendiğinde ısıtıcı ünite devre dışı kalmakta ancak motor 0,3 kW gücü ile çalışmayı sürdürmektedir. Yönetilebilir bu seçili yükler farklı öncelik temelli yönetim algoritmaları ile çalıştırılmıştır. Yönetimsiz senaryoda herhangi bir güç sınırı ve yüklere müdahale olmamıştır. Statik ve dinamik önceliklemeli yönetimlerde belirlenmiş güç sınır değeri aşılmamak üzere bir çalışma istenmiştir. Önerilen yöntemlerin başarısı iki günlük bir güç kısıtında test edilmiştir. Isıl esneklik eklenmiş dinamik öncelikleme ile daha iyi konfor ve maliyeti azaltan bir yönetim amaçlanmıştır.

5.5.1 Müdahalesiz yönetim

Yüklerin koordinasyonunun ve çalışma durumlarının müdahale edilmeksizin ele alındığı yönetimdir. Müdahalesiz yapıda yük güçlerinin izin verilen güç kısıtının üzerinde gerçekleştiği görülmüştür ancak bu çalışma şekli en iyi ısıl konfor, sıcak su konforu, elektrikli araba şarj konforu ve kurutucu için çalışma konforu elde edildiği yapıdır. Şekil 5.2 (a)'da oluşan talep gösterilmiştir. Termosifon çıkış su sıcaklıkları ve sıcak su kullanım kalıbı Şekil 5.2 (b)'de verilmiştir. Her bir kullanım anında bulunan sıcaklıklar ise Şekil 5.2 (c)'de paylaşılmıştır. Termosifon ile tüm kullanım durumuna ilişkin konfor C_{WH}, 0,8111 olarak elde edilmiştir**.** Şekil 5.2 (d)'de klimayla sağlanan hem oda sıcaklığı hem de hesaplanan PMV değerleri görülmektedir. Klimayla sağlanan ısıl konfor C_{AC}, 0,9245 olarak hesaplanmıştır. Tüketim maliyetleri ise her bir tarife türü için elde edilmiştir. Sabit tarifede 94,0787 TL, üç zamanlı tarifede 105,4881 TL ve gerçek zamanlı tarifede ise 92,5992 TL elektrik tüketim maliyeti hesaplanmıştır.

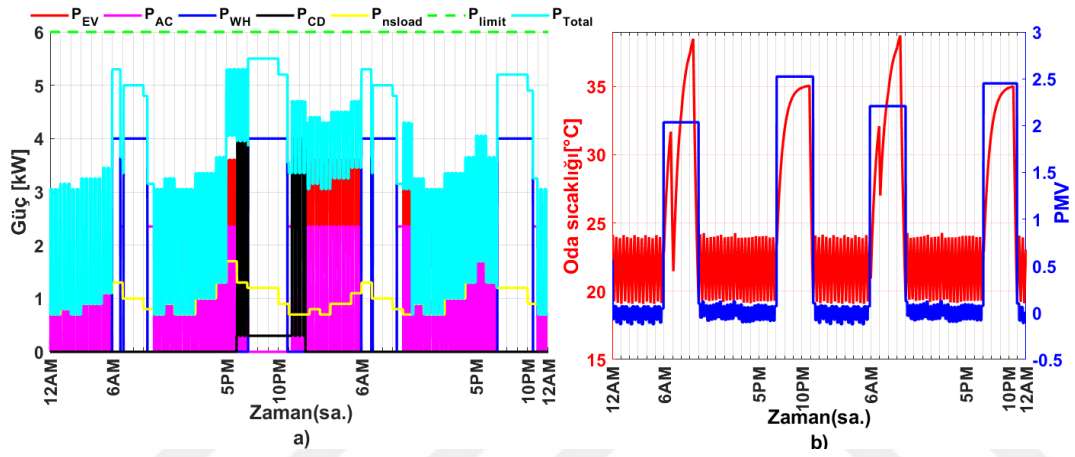


Şekil 5.2 : Müdahalesiz yönetim sonuçları: a) güç talebi b) sıcak su sıcaklıkları ve tüketim kalıbı c) su kullanım sıcaklığı d) oda sıcaklığı ve PMV değerleri.

5.5.2 Statik öncelikleme temelli yönetim

Tüketicinin öncelik sıralamasına göre yüklere statik öncelikler atandı. Yüklerin önceliklenmesi için $Q_{statik} = [4,3,2,1]$ olarak kullanıldı. Bölüm 5.3.1'de verilen yönetim yöntemi izlenerek oluşan güç profili Şekil 5.3 (a)'da gösterilmiştir. Toplam talebin kısıt değer olan 6 kW altında kaldığı görülmektedir. Burada en öncelikli yük olan termosifon (WH) için herhangi bir müdahale olmamıştır. Diğer yükler öncelik sıralamasının azalmasıyla konfor açısından etkilenmiştir. Örneğin klimada yönetimsiz

senaryoya göre oda sıcaklığında istenmeyen konforsuzlukla sonuçlanan sıcaklık artışları görülmüştür. Klimanın ikinci en öncelikli yük olmasına rağmen görülen sıcaklık ve PMV değerleri Şekil 5.3 (b)'de verilmiştir. Klimadan elde edilen genel konfor C_{AC} 0,6833 olmuştur. Sıcak su konforu C_{WH} en öncelikli yük termosifon olduğu için değişmemiş 0,8111 olmuştur. Kurutucu öncelik sıralamasının 3. sırada yani düşük olması nedeniyle 90 dakikalık program süresini 398 dakikalık bir zaman diliminde tamamlayabilmiştir. Elde edilen kurutucu konforu bu yüzden C_{CD} 0,2261'dir. En az önceliğe sahip elektrikli arabanın 250 dakikalık şarj işlemi ancak 1073 dakikalık zaman diliminde tamamlanmıştır. Araba şarjı için konfor C_{EV} 0.233 bulunmuştur.

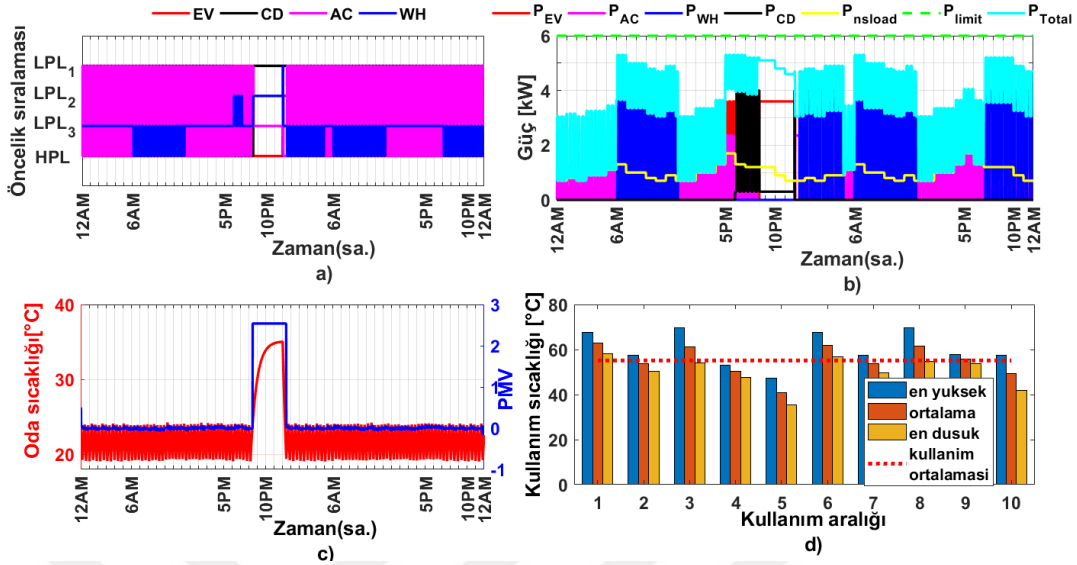


Şekil 5.3 : Statik önceliklemeli yönetim sonuçları: a) güç talebi b) oda sıcaklığı ve PMV değerleri.

5.5.3 Dinamik öncelik temelli yönetim

Yüklerin önceliklenmesi için $Q_{statik} = [4,3,2,1]$ olarak kullanıldı. Bölüm 5.3.2'de verilen dinamik öncelikleme esaslı yönetim algoritması izlenerek Şekil 5.4 (a)'daki öncelik değişimlerine ulaşıldı. Çamaşır kurutucu ve elektrikli araba için görev bitiş zamanı puant tarife dışında bir zaman dilimi olarak seçildi. Görev bitişinin saat 24 öncesi tamamlanması amaçlandı. Bu şekilde bu yüklerin puant talep dışı zaman dilimlerine kaydırılması hedeflendi. Elektrik tüketim profili Şekil 5.4 (b)'de verilen bir formda oluştu. Bu yönetimde oluşan sıcaklık ihlalleri Şekil 5.4 (c)'de gösterilmiştir. Statik önceliklemeli yönetime göre daha iyi bir sıcaklık ihlali görülmüştür. Elektrikli arabanın şarj için gereken sürenin azalması kaynaklı sadece bir sıcaklık ihlali oluşmuştur. Ölçümlenen klima konforu C_{AC} 0,8594 olmuştur. Statik önceliklemeye göre termosifon çalışması Şekil 5.4 (d)'de gösterildiği üzere daha çok kesinti uygulanmıştır. Kesintili durum sıcak su çıkış sıcaklığına da yansımıştır. Bu

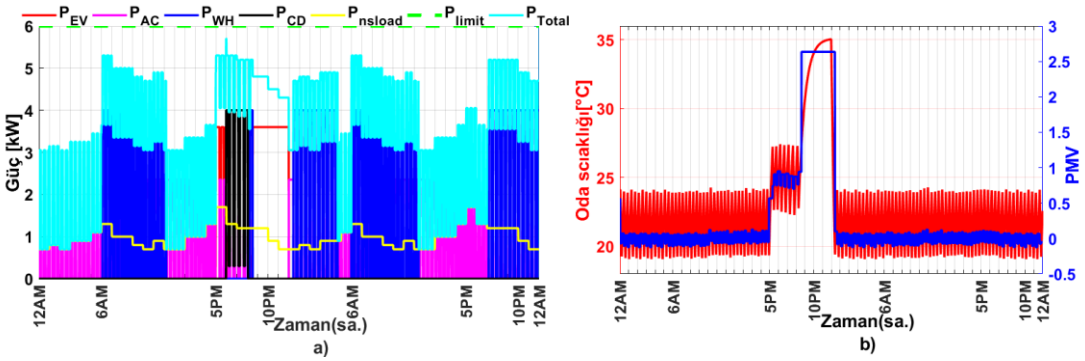
nedenle sıcak su konforu C_{WH} 0,8336 olarak gerçekleşmiştir. Çamaşır kurutucu konforu C_{CD} 0,2493 ve elektrikli araba şarj konforu C_{EV} 0,591 olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.4 : Dinamik öncelikleme temelli yönetim sonuçları: a) dinamik öncelik b) günlük güç c) oda sıcaklığı ve PMV değer d) gerçekleşen su kullanım sıcaklıkları.

5.5.4 Isıl esneklik ekli dinamik önceliklemeli yönetim

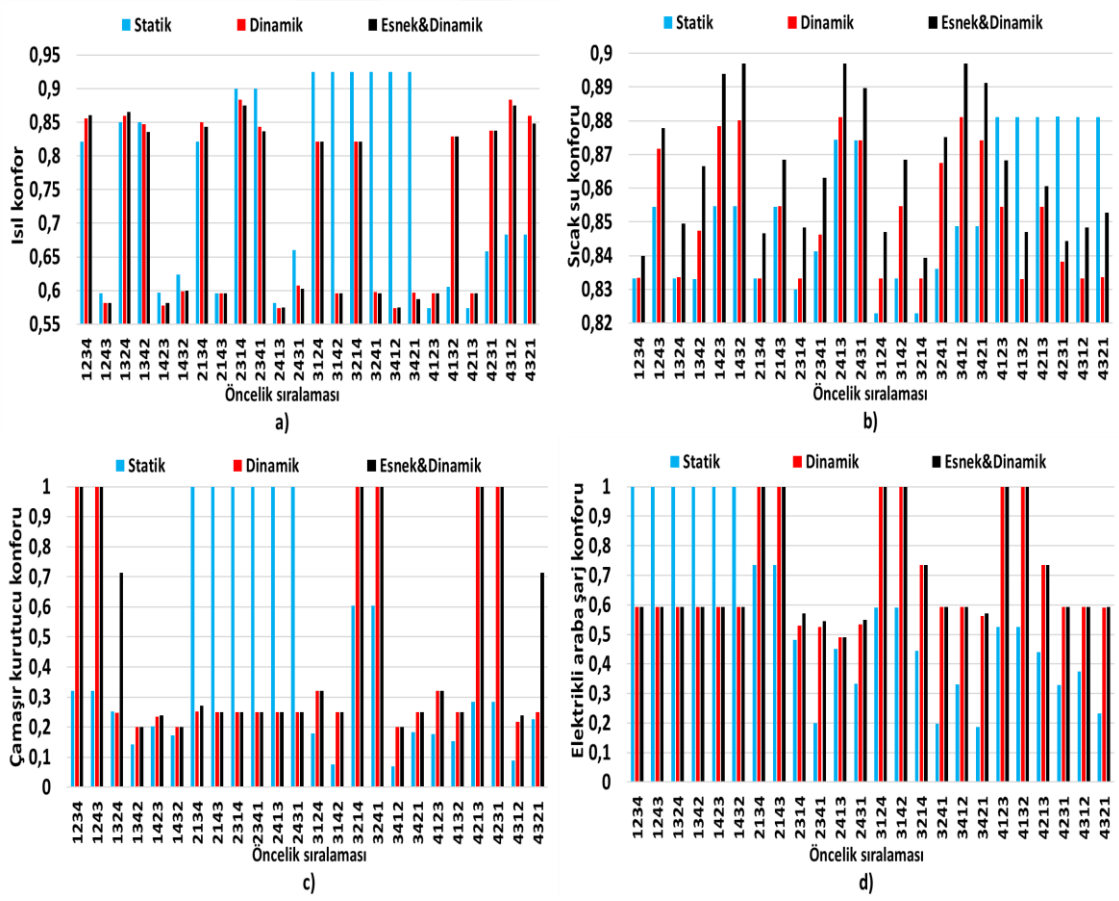
Klima ve termosifon gibi termostat kontrollü yüklerin ısıl esnekliklerinden faydalanılarak bir dinamik öncelikleme temelli yönetim sağlanmıştır. Bu yüklerin ısıl esneklikleri Bölüm 5.3.3'de verilen yöntemle sağlanmıştır. Termosifon için ısıl esneklik $\Delta\theta_{WH}$ 5,5 °C olarak çalışmada yer almıştır. Klima için ısıl esneklik ise 3,3 °C $\Delta\theta_{AC}$ olmuştur. Isıl esneklik ekli dinamik öncelikleme yönetim algoritması sonucu oluşan güç profili Şekil 5.5 (a)'da gösterilmiştir. Klimanın sağladığı ortam sıcaklığı ve PMV değerleri Şekil 5.5 (b)'de sunulmuştur. Hesaplanan klima konforu C_{AC} 0,8482, termosifon sıcak su konforu C_{WH} 0,8528, çamaşır kurutucu çalışma konforu C_{CD} 0,7143 ve elektrikli araba şarj konforu C_{EV} ise 0,5938 bulunmuştur.



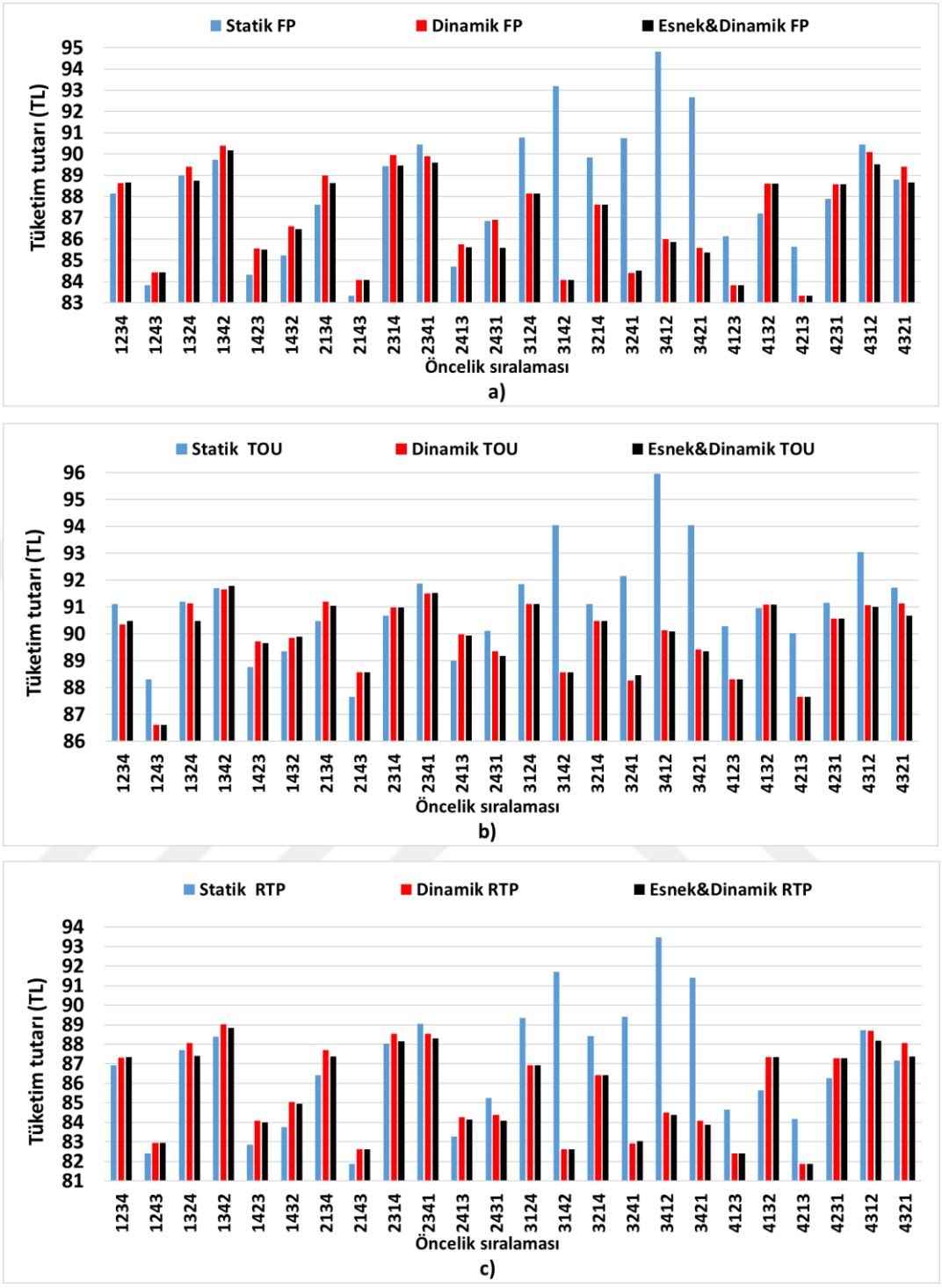
Şekil 5.5 : Isıl esneklik ekli dinamik öncelikleme temelli yönetim sonuçları: a) günlük güç b) oda sıcaklığı ve PMV değerleri.

5.6 Öncelik Temelli Yönetimlerin Karşılaştırılması

Yüksek güçlü dört evsel yönetilebilir yük için olası tüm 24 öncelikleme sıralaması için iki günlük benzetim çalışması yapılmış ve sonuçlar yönetim algoritmalarına göre karşılaştırılmıştır. Elde edilen konfor ve maliyet sonuçları Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'de sunulmuştur.



Şekil 5.6 : 24 farklı senaryo konfor sonuçları: a) ısıl konfor b) sıcak su konforu c) çamaşır kurutucu çalışma konforu d) elektrikli araba şarj konforu değerleri.

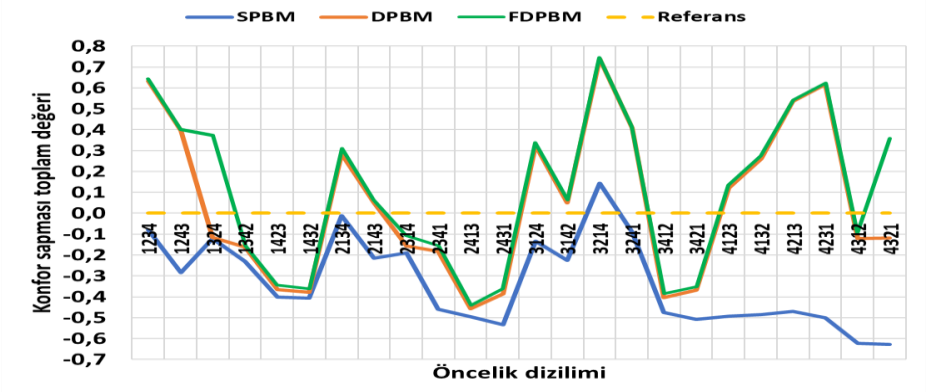


Şekil 5.7 : 24 farklı senaryo tüketim maliyetleri: a) sabit tarife ile yönetim b) üç zamalı tarife ile yönetim c) gerçek zamanlı tarife ile yönetim elektrik tüketim maliyet değerleri.

Tüm yüklerin öncelik temelli yönetimlerinin karşılaştırılması için Çizelge 5.4'te verilen yöntem izlenerek toplam konforun hesaplanılması yoluna gidilmiştir. Literatürde kullanılan yaygın statik öncelikleme yöntemi, SPBM ile bu tez çalışmasında önerilen dinamik önceliklemeli, DPBM ve ısıl esneklik ekli dinamik

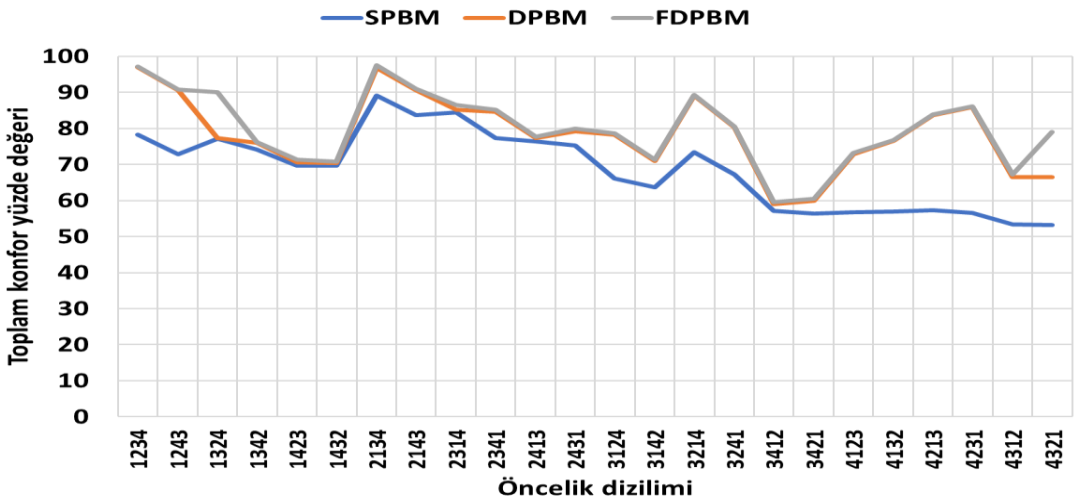
önceliklemeli, FDPBM yönetim karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada gereksinim duyulan referans konfor değerleri olarak ya talep toplayıcı veya kullanıcı tarafından tanımlanan değerler ya da müdahalesiz yönetimde elde edilen konfor değerleri kullanılabilir. Bu tez çalışmasında müdahalesiz yönetimde elde edilen konfor değerlerinin referans alınması tercih edilmiştir. Klima (AC) için referans konfor değeri 0,9245 ve termosifonla (WH) sağlanan sıcak su referans konfor değeri ise 0,8811 alınmıştır. Elektrikli araba (EV) şarjının saat 17'de başlayıp gece 12 öncesi bitirilmesi durumu için referans değer 0,5952 olur. Saat 18 itibariyle çalışan çamaşır kurutucunun (CD) gece 12 öncesi işini tamamlaması halinde referans konfor değeri 0,25 bulunur. Statik öncelikleme temelli yönetimde eğer en öncelikli yük CD veya EV ise diğer yönetimlerle adil bir karşılaştırma için elde edilen konfor değeri bu yüklere ait referans değeri kadar olduğu kabul edilir. Çünkü statik önceliklemeli yönetimde en öncelikli yükün çalışmasına hiçbir şekilde müdahale edilemez. Dinamik öncelikleme temelli yönetimlerde amaç en öncelikli yükün çalışmasına müdahale imkânı sağlamasıdır. Dinamik önceliklemeyle en öncelikli yükün konforu referans değere çekerek (konforu azaltarak) diğer yüklerin konforunu artırmak hedeflenir.

Elde edilen konfor ile referans konfor arası fark, konfor sapması (hata) olarak isimlendirilir. Konfor sapmaları her bir öncelik temelli yönetim (Priority-based Management, PBM) için elde edilir. Konfor sapma değeri sıfır ise referans konfor değerine göre bir değişim gerçekleşmediği anlamına gelir. Negatif sapma elde edilen konforda referans konfora göre azalma gerçekleşmesini ifade eder. Pozitif sapma elde edilen konforun referans değerden daha iyi olduğunu belirtir. Konfor sapmalarının toplamının farklı önceliklerle yapılan PBM yönetimlerindeki değişim durumu Şekil 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5.8 : Farklı öncelik dizilimleri ve yönetimler için konfor sapma toplamı.

Olası tüm öncelik dizilimleri için konfor sapmalarının toplamı farklı öncelik temelli yönetimler (SPBM, DPBM ve FDPBM) için hesaplandığında, SPBM yöntemiyle yapılan yöntemde konfor sapma toplamı olarak (-7,9) elde edilmiştir. DPBM için konfor sapma toplamı 1,2 olurken FDPBM için konfor sapma toplamı 2,5 elde edilmiştir. Bunun anlamı SPBM ile yapılan bir yönetim yaklaşımın genel konforda azalmayı, DPBM ve FDPBM için ise konforda iyileşmeyi sağladığıdır. DPBM ve FDPBM yönetiminde oluşan konfor sapmalarının SPBM yönetimindeki değerlerle yapılan adil karşılaştıması sonucu bulunan konfor değerleri, temel senaryo değerlerine oranlarak yüzde konfor değerleri hesaplanır. Şekil 5.9'da sonuçlar gözükmektedir.



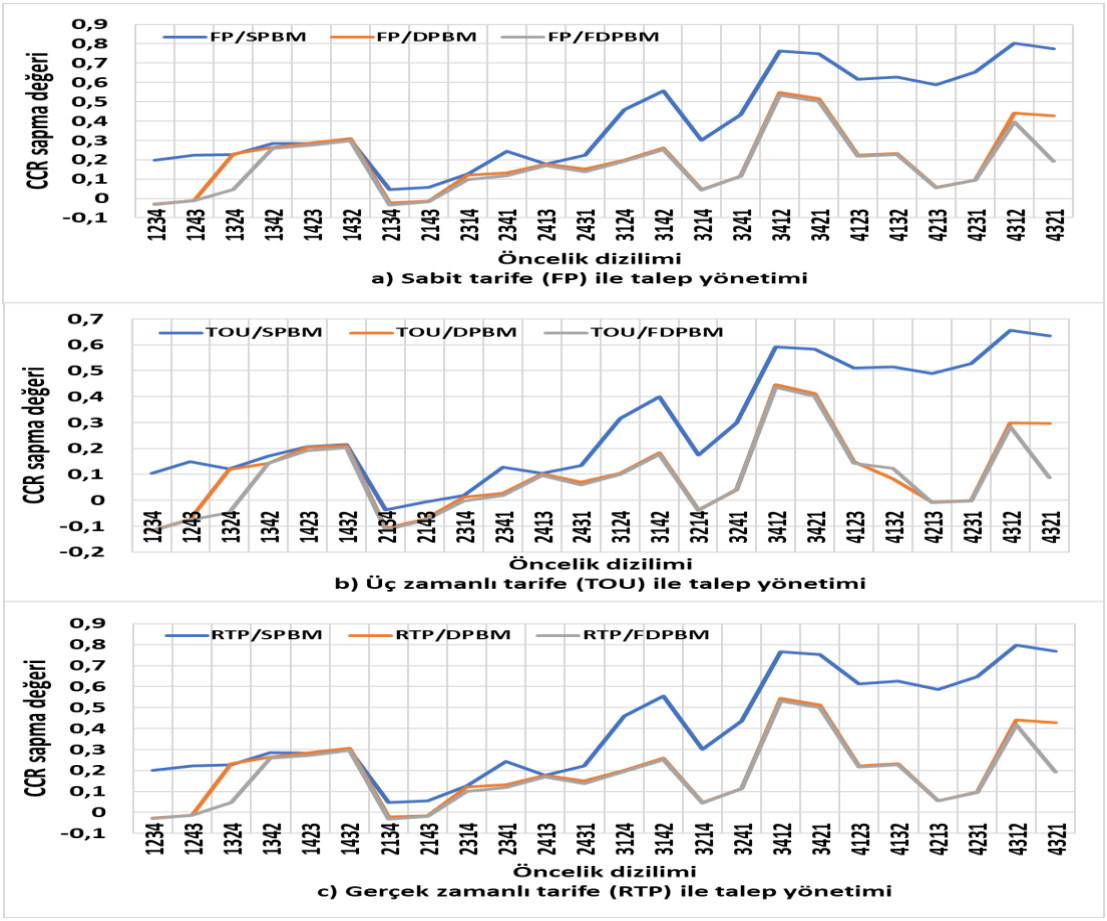
Şekil 5.9 : Farklı öncelik dizilimleri ve yönetimler için toplam konfor yüzde değerleri.

Talep yönetiminde elde edilen konfor ve ortaya çıkan maliyetin birlikte değerlendirilmesini sağlayabilmek için (5.10)'da formüle edilen maliyet konfor oranı (Cost-Comfort Ratio, CCR) tanımı yapılmıştır.

$$CCR = \frac{Cost_{PBM}/Cost_{BS}}{C_{PBM}/C_{BS}} \tag{5.10}$$

Formül (5.10)'da $Cost_{PBM}$, ilgilenilen öncelik temelli yönetimde ilgili tarife için elde edilen maliyeti temsil eder. Temel senaryonun gerçekleşmesi ile oluşan maliyetse $Cost_{BS}$ ile temsil edilir. İlgilenilen öncelik temelli yönetimde erişilen konfor C_{PBM} değeridir. Temel senaryo ile elde edilen konfor değeriyse C_{BS}'dir. CCR değerinin 1'den küçük bir değerde olması, temel senaryoya göre daha iyi bir konforun daha az bir maliyetle sağlandığı anlamına gelir. CCR değerinin 1'in üzerinde gerçekleşmesi temel senaryoya göre daha az bir konforun daha maliyetli olarak elde edildiği

anlamındadır. Olası tüm öncelik temelli yönetimlerin temel senaryoya göre CCR değerinde oluşan sapmalar Şekil 5.10'da görülmektedir.



Şekil 5.10 : Farklı öncelik dizilimleri ve yönetimler için CCR sapma değerleri.

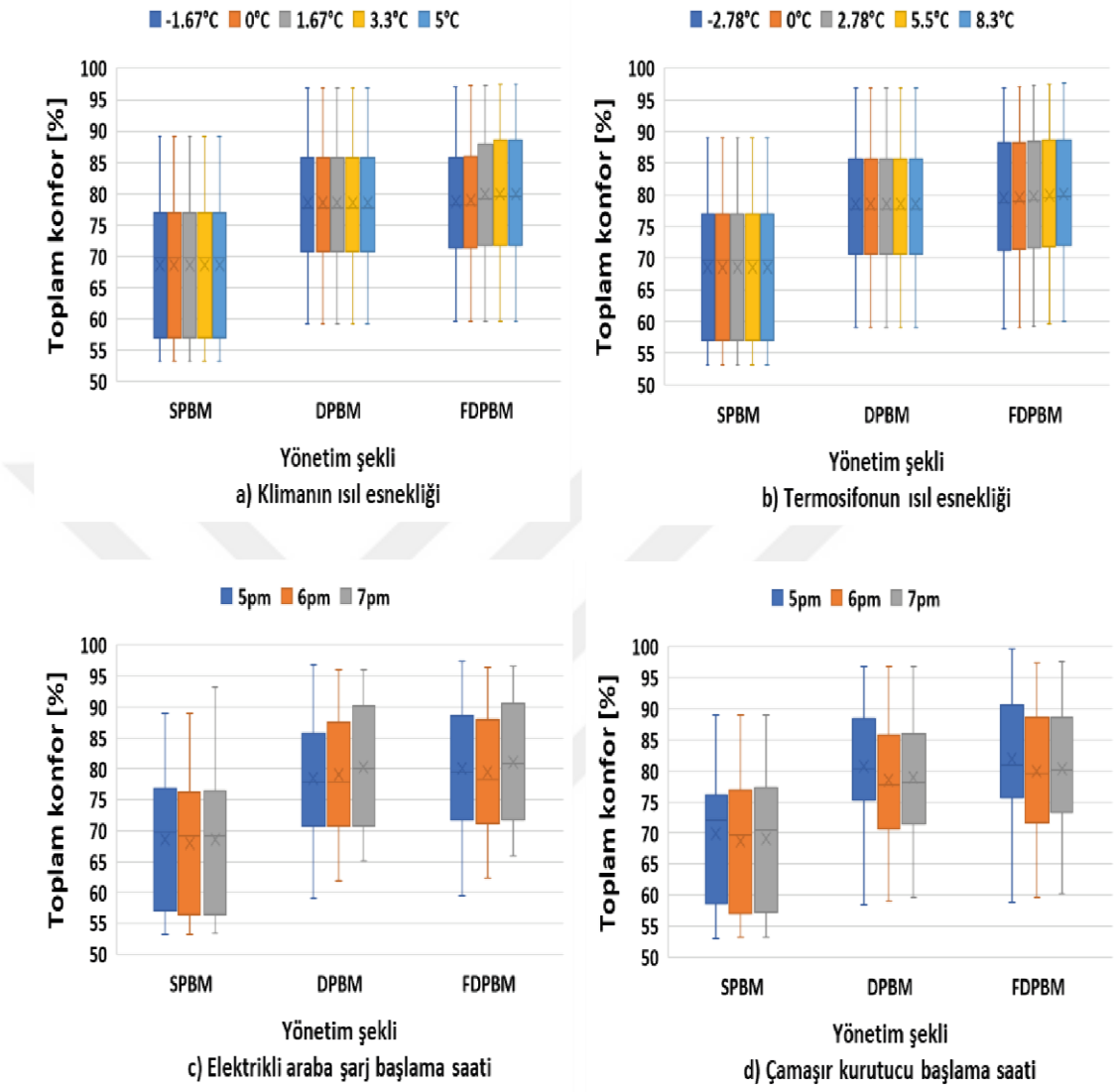
CCR sapma değerlerinin farklı yönetimler için elde edilen toplam değerleri hesaplanmış ve sonuçları Çizelge 5.5'te sunulmuştur.

Çizelge 5.5 : Olası yönetim senaryoları için CCR sapma değerleri toplamı.

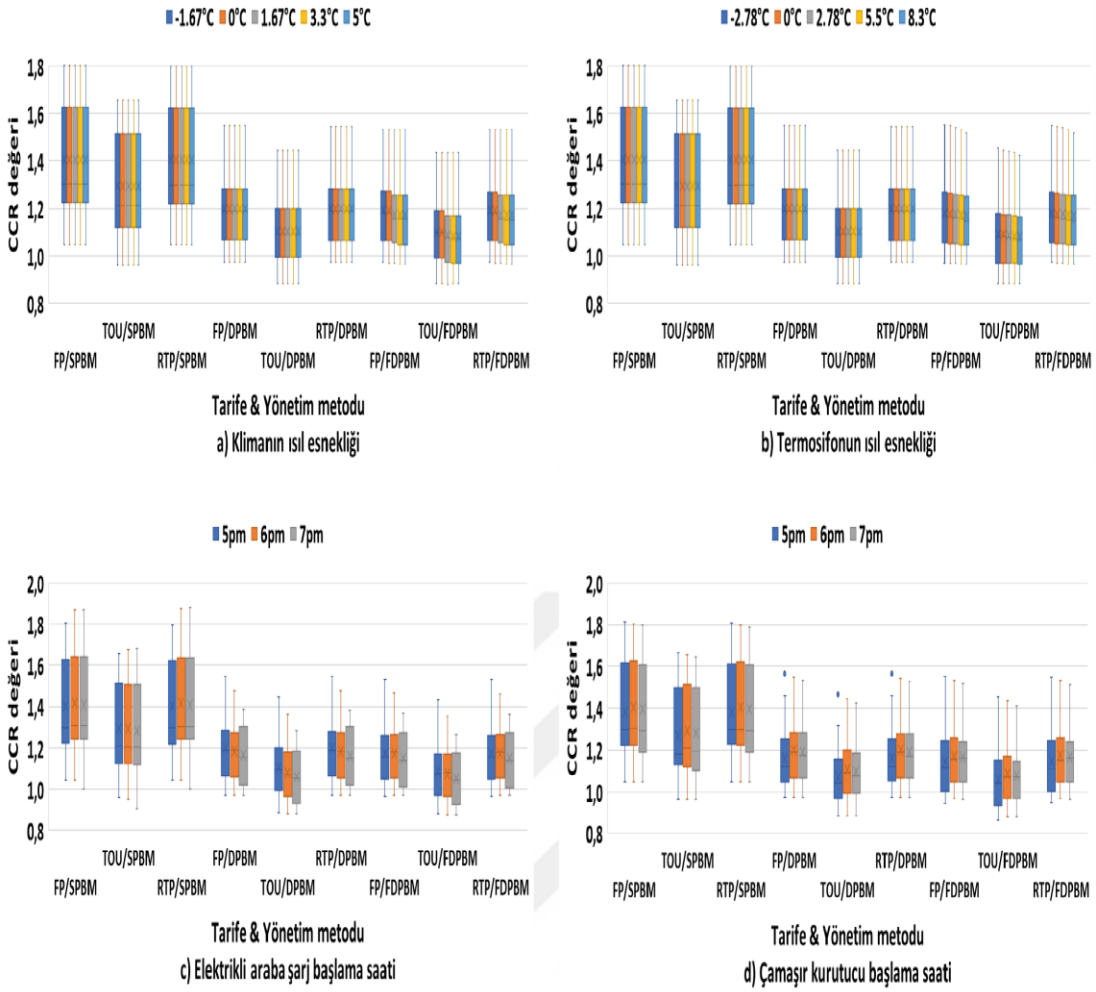
Yönetim yöntemi	İlgili tarifeyle gerçekleşen toplam sapma		
	Sabit tarife (FP)	Üç zamanlı tarife (TOU)	Gerçek zamanlı tarife (RTP)
SPBM	9,72	7,01	9,70
DPBM	4,76	2,49	4,75
FDPBM	4,13	2,02	4,14

CCR sapma değerlerindeki toplamlar değerlendirildiğinde SPBM ile gerçekleştirilen yönetimlerin DPBM ve FDBM yönetimine göre daha büyük sapma gerçekleştirdiği dolayısıya CCR açısından daha kötü olduğu yani daha maliyetli ve daha az konfor sunan çözümü ürettiği söylenebilir. Konforun çamaşır kurutucu ve elektrik arabanın farklı başlama zamanları, klima ve termosifonun ise farklı ısıl esneklikleri için

değişimi analiz edilmiştir. Sonuçlar Şekil 5.11'de paylaşılmıştır. Yine bu durumlar için CCR değişimleri Şekil 5.12'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11 : Farklı başlama zamanı ve ısıl esneklikler için erişilen konfor değerleri.



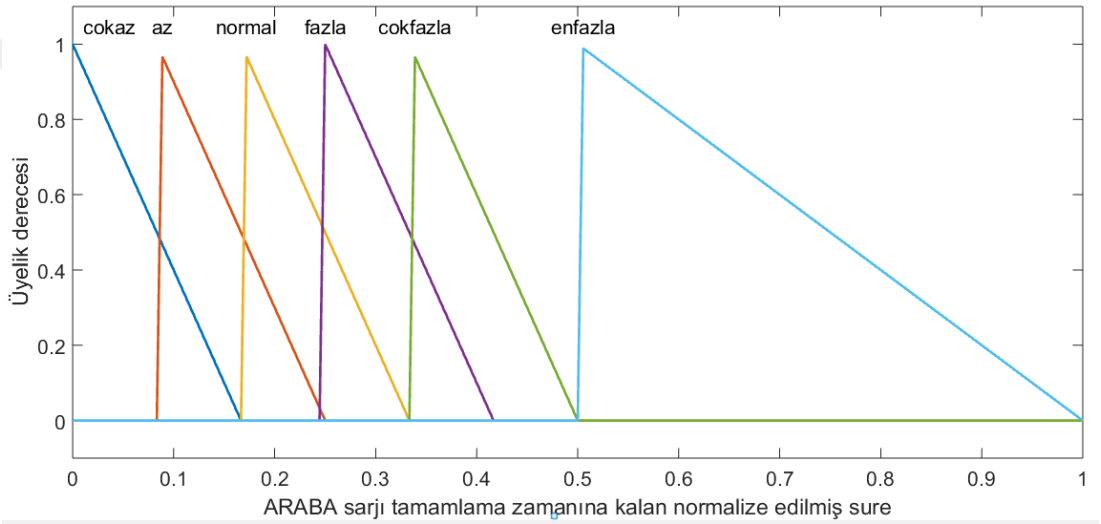
Şekil 5.12 : Farklı başlama zamanı ve ısıl esneklikler için erişilen CCR değerleri.

5.7 Bulanık Mantık ile Yüklerin Önceliklenmesi ve Yönetimi

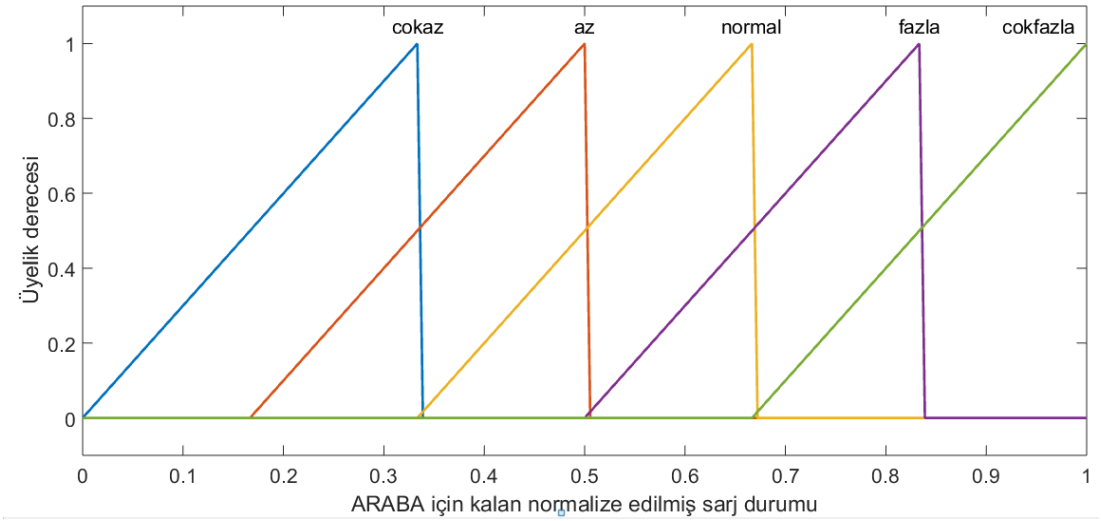
Bu çalışmada, evsel yükler içinde tüketimi fazla olan yönetilebilir yükler; elektrikli araç, klima, çamaşır kurutucu makine ve su ısıtıcı kullanılmıştır. Tüketicinin bu yükleri talep yönetiminde şebekeyle konforlu bir biçimde kullanabilmesi için bulanık mantık temelli yük öncelikleme ele alınmıştır. En iyileme probleminde amaç, tüketici konforunu en çoklamak, talep sağlayıcının belirlediği tüketim değerini aşmamak şeklinde düşünülmüştür. Bunun gerçekleşmesi için 0/1 sırt çantası problemi yaklaşımı ve dinamik programlama tercih edilmiştir.

Elektrikli araba için oluşturulan bulanık çıkarım sistemi (fuzzy inference system) iki giriş ve bir çıkıştan meydana getirilmiştir. Sistemdeki ilk giriş, elektrikli arabanın şarjını tamamlanması istenen zamana göre kalan süreden oluşmaktadır. Bu giriş; çok az, az, normal, fazla, çok fazla ve en fazla olmak üzere altı üyelik fonksiyonuna

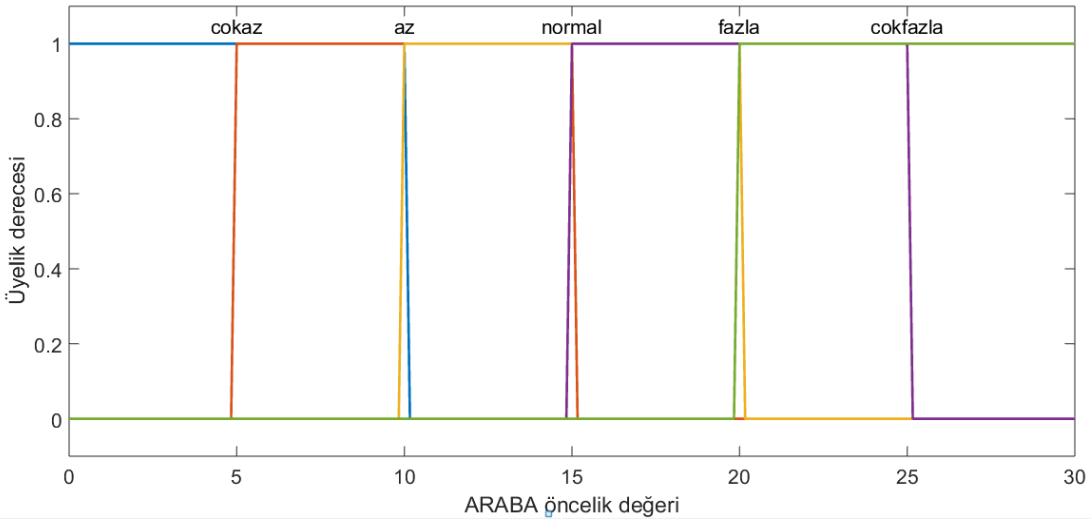
ayrılmıştır. Her bir üyelik fonksiyonu için süreler belirlenmiş olup bunlar şarj için gereken sürenin iki katı olan bir değere göre normalize edilmiştir. Üyelik fonksiyonları deneme yanılma yoluyla oluşturulmuştur. Arada geçişlerin daha iyi bulanıklaştırılması ileri çalışmalarda farklı seçimlerle gerçekleştirilebilir. Şekil 5.13'de normalize edilmiş sürelerle oluşturulan ilk girişe ait üyelik fonksiyonları görülmektedir. Arabaya ait bulanık mantık çıkarım sisteminde ikinci giriş, arabanın istenen sarj düzeyine göre normalize edilmiştir. Şekil 5.14'te sisteme ait ikinci girişin üyelik fonksiyonlarını gösterilmektedir. Araba için oluşturulan bulanık mantık çıkarım sisteminde çıkış olarak öncelik değeri elde etmek üzere Şekil 5.15'de verilen üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur.



Şekil 5.13 : Arabaya ait bulanık çıkarım sisteminin birinci girişine ait üyelik fonksiyonları.



Şekil 5.14 : Arabaya ait bulanık çıkarım sisteminin ikinci girişine ait üyelik fonksiyonları.



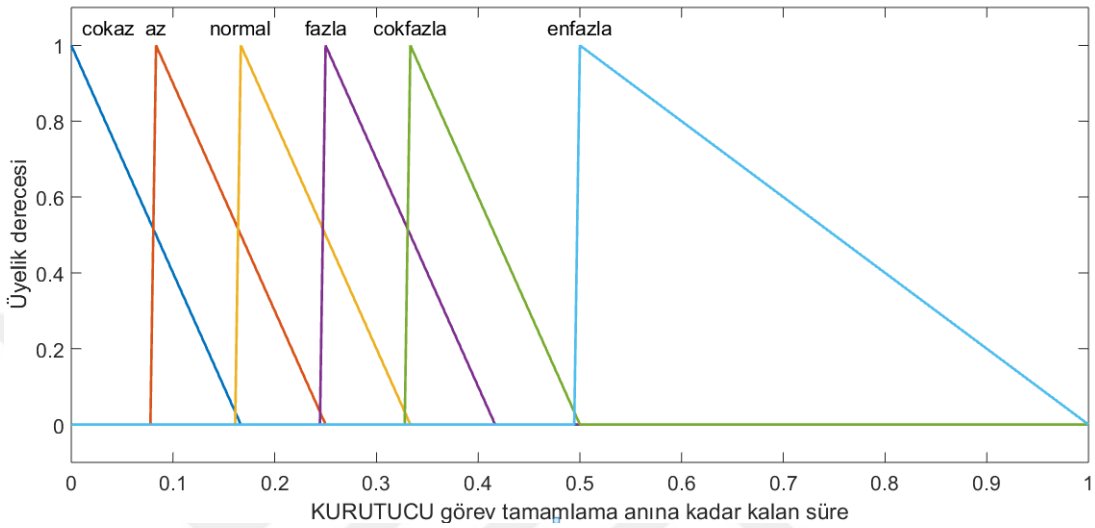
Şekil 5.15 : Arabaya ait bulanık çıkarım sistemi çıkışına ait üyelik fonksiyonları.

Elektrikli arabaya ait sistem için kurallar aşağıda verilmiş olup burada ilk kolon, ilk giriş içindeki üyelik fonksiyonu indisini göstemektedir. Bu değerler; 1 çok az, 2 az, 3 normal, 4 fazla, 5 çok fazla ve 6 en fazla ile etiketlenmiştir. İkinci kolon, ikinci giriş için indisi göstermekte olup etiketlenmiş üyelik fonksiyonları ilk giriş ile aynıdır. Örneğin, 1 onun için de çok az demektir. Üçüncü kolon, çıkış için etiketlenmiş üyelik fonksiyonunu göstermekte olup yukarıdaki aynı sayılarla etiketlenmiştir. Dördüncü kolon kural ağırlığını gösterir. Beşinci kolon ise bulanık işlemciyi gösterir. Burada Ve (AND) bulanık işlemcisi seçilmiş olup 1 ile temsil edilmektedir. Yani girişler için Min yöntemi kullanılmıştır. Tüm kurallar VEYA (OR) ile alınıp merkezi (centroid) seçim kullanılıp bulanıklıktan çıkartılarak (defuzzy) sonuç elde edilir. Araba için kurallar (ruleList1) (5.11)'de verilmiştir.

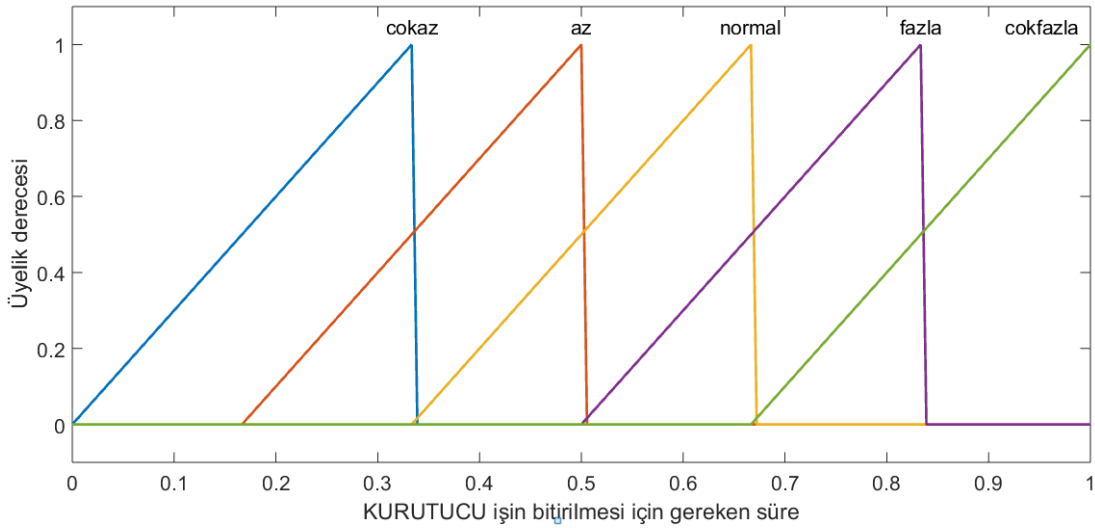
$$\begin{aligned}\text{ruleList1} = [&6\ 5\ 5\ 1\ 1; 6\ 4\ 4\ 1\ 1; 6\ 3\ 3\ 1\ 1; 6\ 2\ 2\ 1\ 1; 6\ 1\ 1\ 1\ 1;\\ &5\ 5\ 5\ 1\ 1; 4\ 5\ 5\ 1\ 1; 3\ 5\ 5\ 1\ 1; 2\ 5\ 5\ 1\ 1; 1\ 5\ 5\ 1\ 1;\\ &4\ 4\ 5\ 1\ 1; 3\ 4\ 5\ 1\ 1; 2\ 4\ 5\ 1\ 1; 1\ 4\ 5\ 1\ 1; 5\ 4\ 4\ 1\ 1;\\ &3\ 3\ 5\ 1\ 1; 2\ 3\ 5\ 1\ 1; 1\ 3\ 5\ 1\ 1; 4\ 3\ 4\ 1\ 1; 5\ 3\ 3\ 1\ 1;\\ &2\ 2\ 5\ 1\ 1; 1\ 2\ 5\ 1\ 1; 3\ 2\ 4\ 1\ 1; 4\ 2\ 3\ 1\ 1; 5\ 2\ 2\ 1\ 1;\\ &1\ 1\ 5\ 1\ 1; 2\ 1\ 4\ 1\ 1; 3\ 1\ 3\ 1\ 1; 4\ 1\ 2\ 1\ 1; 5\ 1\ 1\ 1\ 1]\end{aligned} \tag{5.11}$$

Çamaşır kurutucu için iki giriş tek çıkıştan oluşan ve altı adet üyelik fonksiyonuna sahip bulanık mantık çıkartım sistemi oluşturulmuştur. Oluşturulan yapıda ilk giriş Şekil 5.16'da, kurutucunun görevi tamamlaması için kalan süreyle ilişkilendirilmiştir. Kurutucunun görevi tamamlaması için gereken sürenin iki katı bir değere göre normalize edilmiştir. Üyelik fonksiyonları deneme yanılma yoluyla oluşturulmuştur.

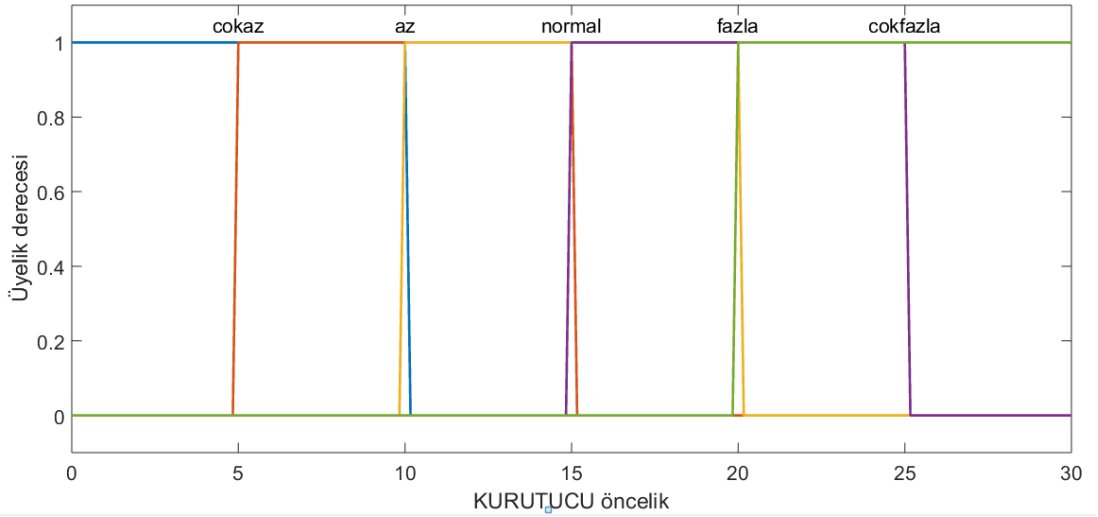
Arada geçişlerin daha iyi bulanıklaştırılması ileri çalışmalarda gerçekleştirilebilir. İkinci giriş, Şekil 5.17'de kurutucunun ne kadar süre çalıştığı ve ne kadar süre daha çalışması gerektiğini gösteren değere atanmıştır. Şekil 5.18'de çıkışlar ise önceliklerden oluşmaktadır. Kurutucu için kurallar (ruleList2) (5.11)'de verilen kurallarla aynıdır.



Şekil 5.16 : Kurutucuya ait bulanık çıkarım sisteminin birinci girişine ait üyelik fonksiyonları.

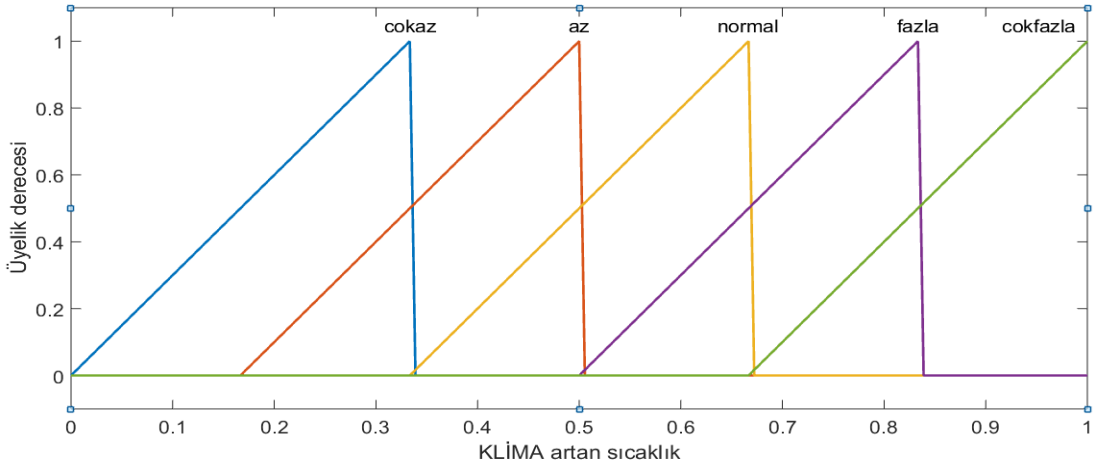


Şekil 5.17 : Kurutucuya ait bulanık çıkarım sisteminin ikinci girişine ait üyelik fonksiyonları.

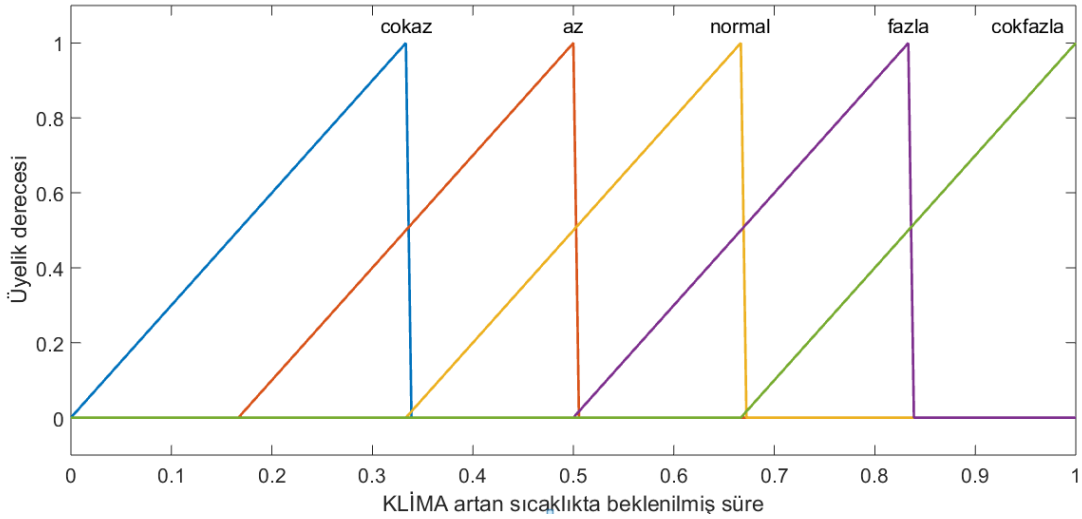


Şekil 5.18 : Kurutucuya ait bulanık çıkarım sisteminin çıkışına ait üyelik fonksiyonları.

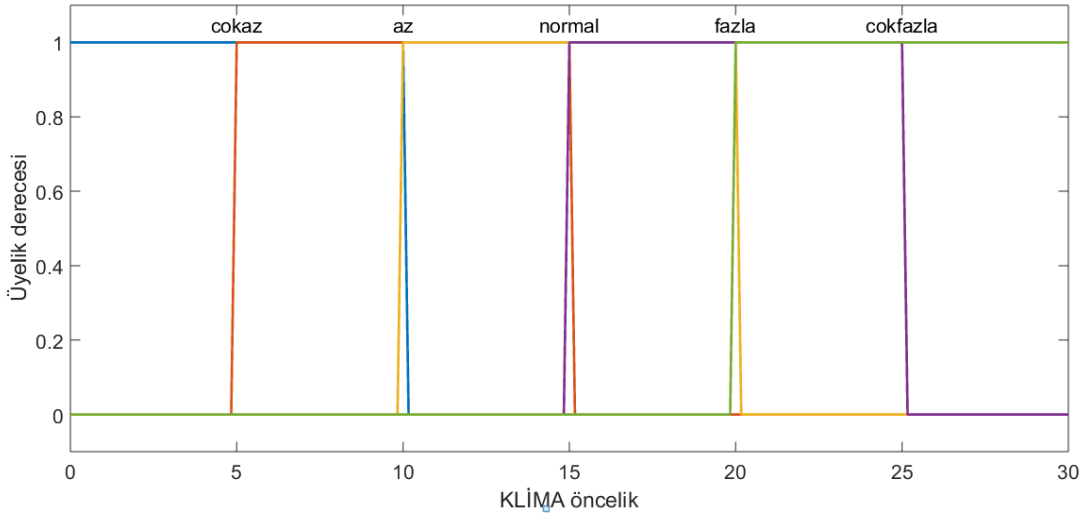
Soğutma modunda çalışan klima için iki giriş tek çıkıştan oluşan ve altı adet üyelik fonksiyonuna sahip bulanık mantık çıkartım sistemi oluşturulmuştur. Oluşturulan yapıda ilk giriş Şekil 5.19'da, klimanın ayarlanan sıcaklık değerinden ne kadar arttığıyla ilişkilendirilmiştir. Klimanın bu sıcaklığı ne kadar süredir aştığı, Şekil 5.20'de ikinci giriş olarak belirlenmiştir. Klima sıcaklık artışı, tanımlanan en yüksek sıcaklık artış değerine göre normalize edilmiştir. Şekil 5.21'de verilen çıkışlar ise önceliklerden oluşmaktadır.



Şekil 5.19 : Klimaya ait bulanık çıkarım sistemi ilk girişe ait üyelik fonksiyonları.



Şekil 5.20 : Klimaya ait bulanık çıkarım sistemi ikinci girişe ait üyelik fonksiyonları.



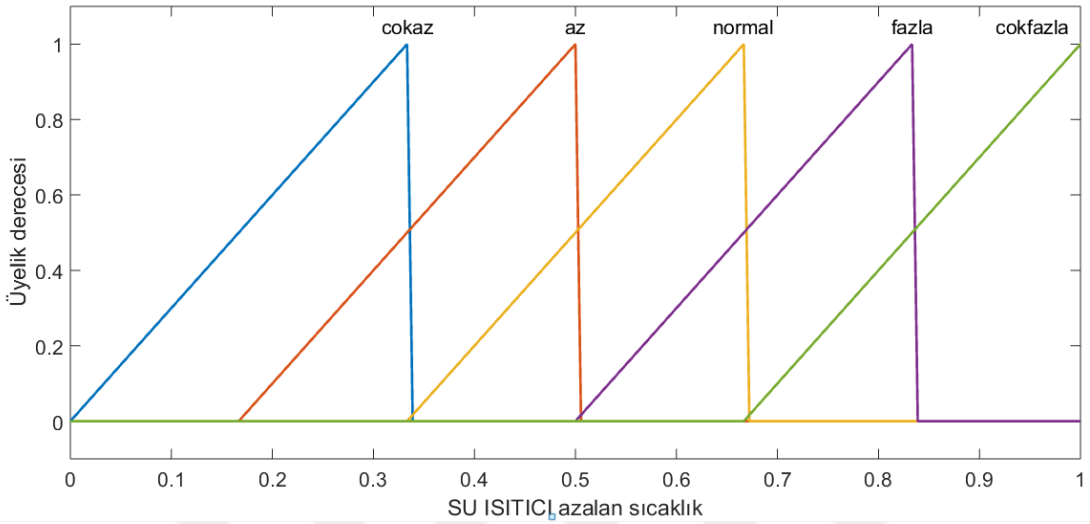
Şekil 5.21 : Klimaya ait bulanık çıkarım sistemi çıkışa ait üyelik fonksiyonları.

Klima için kurallar (ruleList3) (5.12)'de verilmiştir.

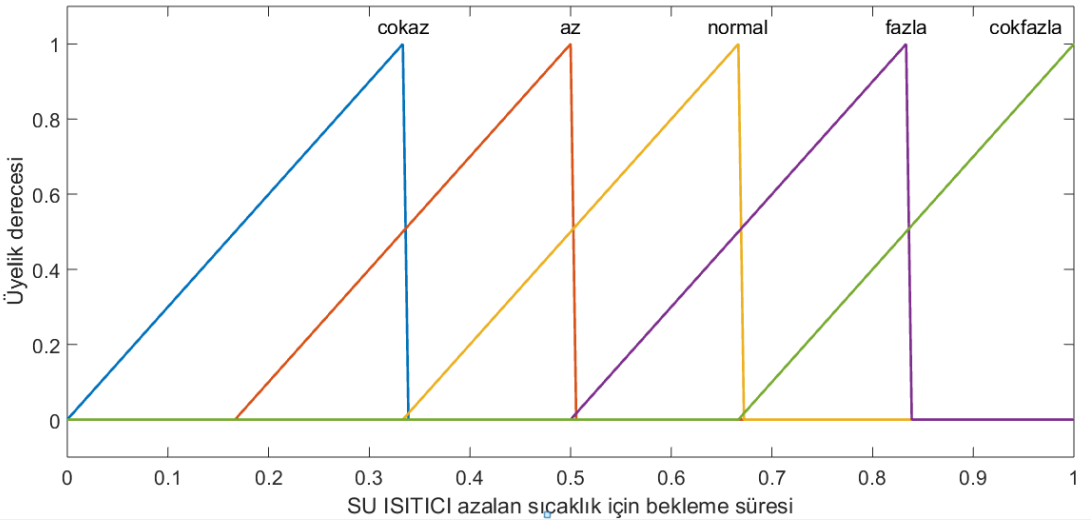
$$\begin{matrix} \text{ruleList3} = [5\ 5\ 5\ 1\ 1; 5\ 4\ 5\ 1\ 1; 5\ 3\ 5\ 1\ 1; 5\ 2\ 5\ 1\ 1; 5\ 1\ 4\ 1\ 1; \\ 4\ 5\ 5\ 1\ 1; 4\ 4\ 5\ 1\ 1; 4\ 3\ 5\ 1\ 1; 4\ 2\ 5\ 1\ 1; 4\ 1\ 4\ 1\ 1; \\ 3\ 5\ 4\ 1\ 1; 3\ 4\ 4\ 1\ 1; 3\ 3\ 4\ 1\ 1; 3\ 2\ 4\ 1\ 1; 3\ 1\ 3\ 1\ 1; \\ 2\ 5\ 3\ 1\ 1; 2\ 4\ 2\ 1\ 1; 2\ 3\ 2\ 1\ 1; 2\ 2\ 2\ 1\ 1; 2\ 1\ 2\ 1\ 1; \\ 1\ 5\ 2\ 1\ 1; 1\ 4\ 2\ 1\ 1; 1\ 3\ 2\ 1\ 1; 1\ 2\ 2\ 1\ 1; 1\ 1\ 1\ 1\ 1] \end{matrix} \quad (5.12)$$

Su ısıtıcısı için iki giriş, tek çıkıştan oluşan ve altı adet üyelik fonksiyonuna sahip bulanık mantık çıkartım sistemi oluşturulmuştur. Oluşturulan yapıda ilk giriş, Şekil 5.22'de, su ısıtıcısının çıkış suyunun ayarlanan değerinden ne kadar aşağısında olduğu ile ilişkilendirilmiştir. Isıtıcının ayarlanan sıcaklığın ne kadar süredir altında olduğu ise, Şekil 5.23'de ikinci giriş olarak belirlenmiştir. Su ısıtıcıda çıkış suyu

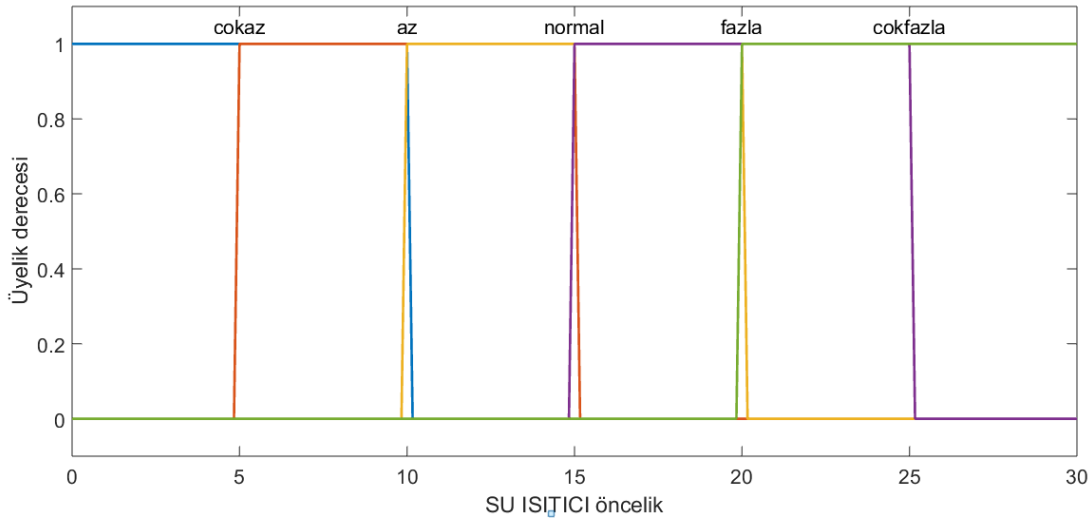
sıcaklığındaki azalma, tanımlanan en büyük sıcaklık değerine göre normalize edilmiştir. Şekil 5.24'de gösterilen çıkışlar ise önceliklerden oluşmaktadır. Su ısıtıcısı için kurallar (ruleList4) (5.12)'de verilen kurallarla aynıdır.



Şekil 5.22 : Su ısıtıcıya ait bulanık çıkarım sistemi ilk girişe ait üyelik fonksiyonları.

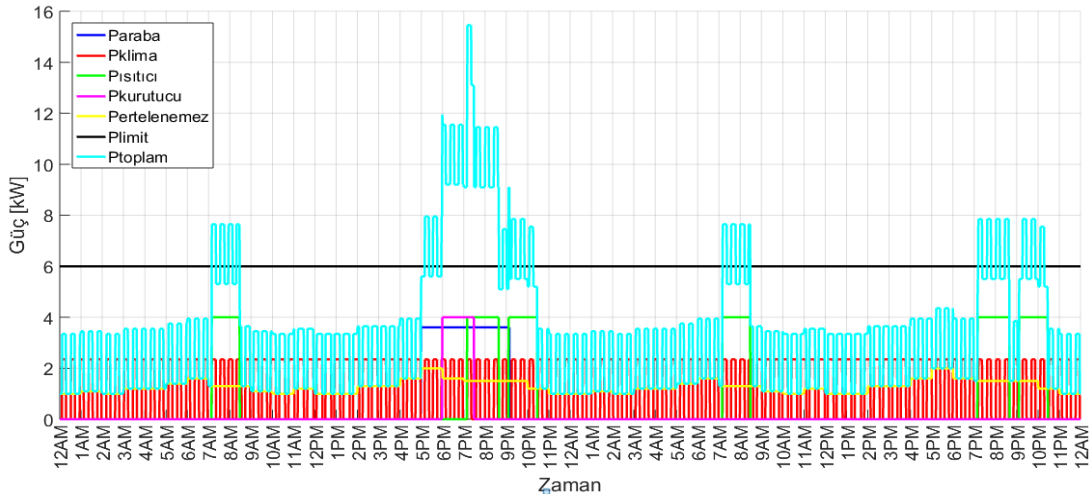


Şekil 5.23 : Su ısıtıcıya ait bulanık çıkarım sistemi ikinci girişe ait üyelik fonksiyonları.



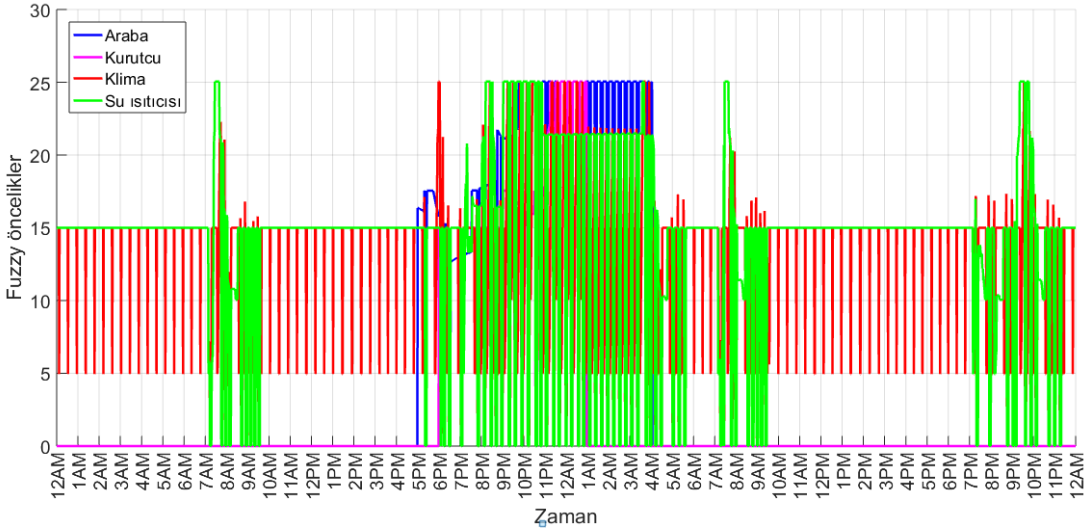
Şekil 5.24 : Su ısıtıcıya ait bulanık çıkarım sistemi çıkışa ait üyelik fonksiyonları.

Ele alınan yükler için parametreler ve değerleri Bölüm 5.1'de verilen yapıdadır. Bu yüklerin yönetilmemesi halinde oluşan güç şekli Şekil 5.25'te görülmektedir.

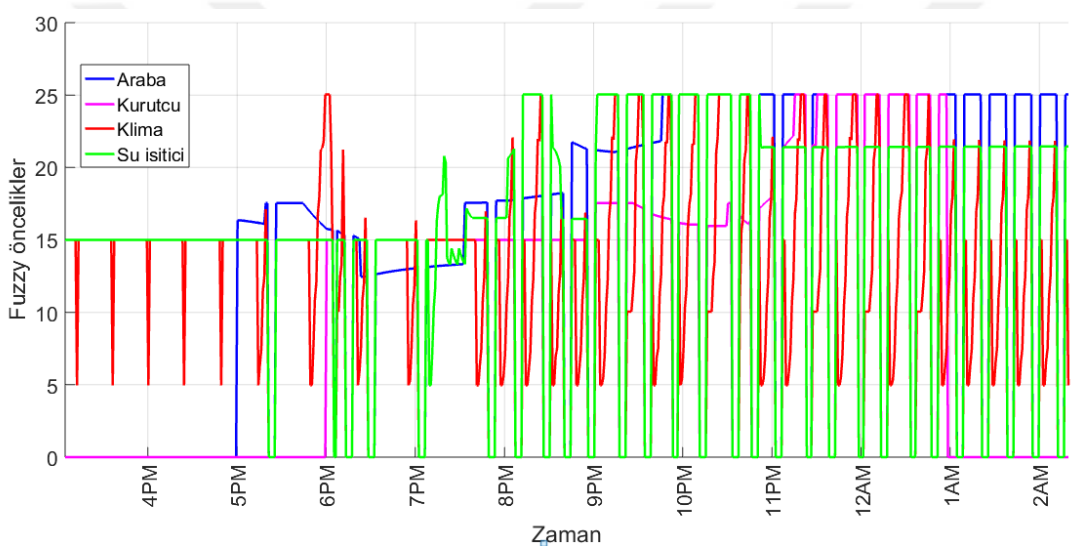


Şekil 5.25 : Yüksek güçlü yönetilebilir evsel yüklerin yönetimsiz halde meydana getirdiği talebin şekli.

Problemde gücün 6 kW ile sınırlı olduğu bunun aşılmaması gerektiği kabul edilmektedir. Yukarıda tanıtılan sistem ile önceliklerin değişimi Şekil 5.26 ve belirli bir zamanda büyütülmüş halde değişimi Şekil 5.27'de gösterilmektedir.

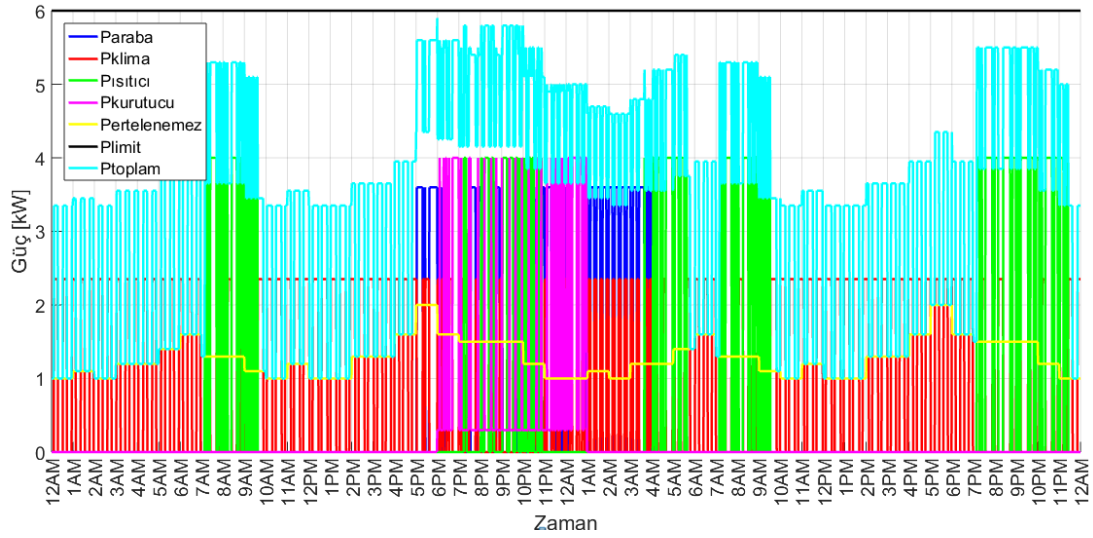


Şekil 5.26 : Bulanık mantık çıkarım sisteminden alınan öncelikler ve değişimi.



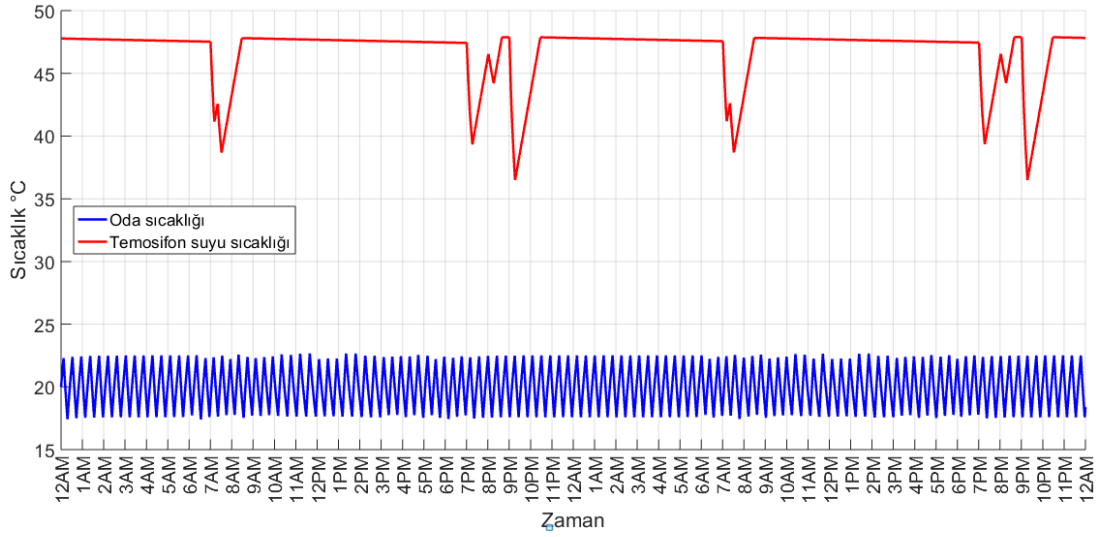
Şekil 5.27 : Bulanık mantık çıkarım sisteminden alınan önceliklerin seçilen bir zaman aralığında değişimi.

Önceliklerin güç sınırı aşılmadan en çoklanması yani konforun yükseltilmesi hedeflenen yapıda 0/1 sırt çantası problemi için dinamik programlama ile çözülmüş ve Şekil 5.28'de verilen evsel talep elde edilmiştir.

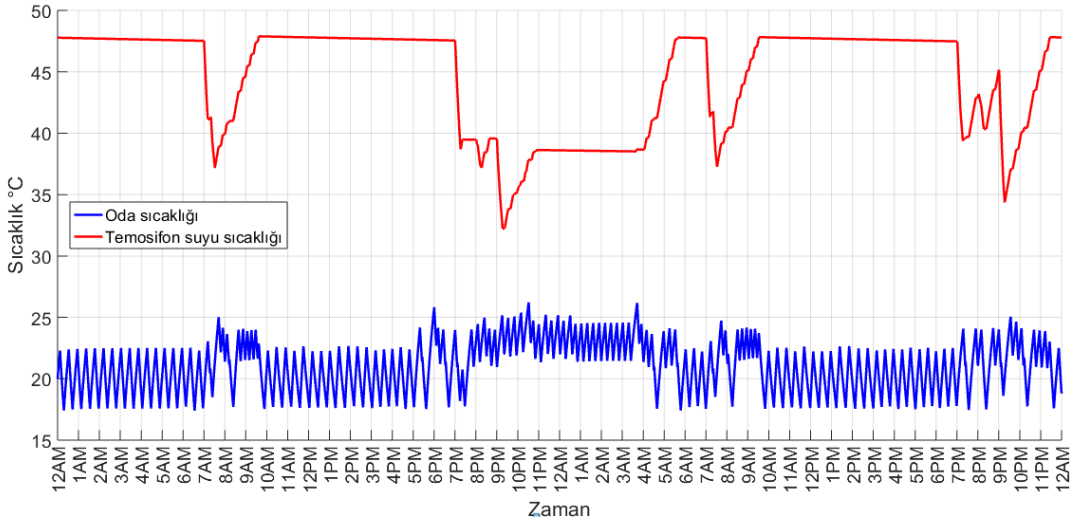


Şekil 5.28 : Bulanık mantık ile yük önceliklerinin yönetilmesi sayesinde elde edilen evsel talep.

Bulanık mantık önceliklerle yüklerin yönetilmemesi durumunda elde edilen ideal sıcaklık değişimleri Şekil 5.29'da, güç artışına izin verilmemesi halinde oluşan sıcaklık değişimleri ise Şekil 5.30'da görülmektedir.



Şekil 5.29 : Güç kısıtlaması olmaması durumu için elde edilen su ve oda sıcaklığı değişimi.



Şekil 5.30 : Bulanık mantık ile önceliklerin yönetilmesi halinde elde edilen su ve oda sıcaklığı değişimi.

6. EVSEL TALEP YÖNETİMİNDE POPÜLASYON TEMELLİ EN İYİLEME ÇALIŞMALARI

Farklı sistem ve yapı durumlarını içeren modellerle geliştirilen talep yönetimi yaklaşımının hem tüketici hem de talep yönetimi programı yürütücüsü beklentilerine (konfor, maliyet, üretim ve talebin dengelenmesi) etkilerinin analizi güneş santrali mevcudiyeti de dikkate alınarak çeşitli senaryolar içeren çalışmalarla yürütülmüştür. Senaryolar için geliştirilen algoritmalar MATLAB ortamında yazılmıştır.

Talep yönetimi programı katılımcısına ait yük modellerinde, müşterinin güç yoğun tüketimi olan cihazları yanında kontrol edilemeyen yüklerinin de olduğu kabulü yapılmıştır. Ayrıca evde güneş santrali bulunma durumunda gerçekleşebilecek üretimi de dikkate alınmıştır. Tüketicinin gerçekleştirmesini istediği amaçlar, talep sağlayıcının da amacına uygun olarak sunduğu tarifelerle, tüketicinin güdülenebilmesini esas alır. Tarife olarak; sabit (Flat Price, FP), üç zamanlı (Time of Use, ToU) ve gerçek zamanlı tarife (Real Time Price, RTP) tercih edilmiştir. Gerçek zamanlı tarife yapay olarak rastgele üretilmiş olup sabit ve üç zamanlı tarife için Türkiye (2019 yılı) perakende elektrik birim tüketim bedelleri kullanılmıştır.

Yükler; tüketici konforu yönetilmesini gerektiren güç yoğun tüketimi olan elektrikli araba, elektrikli su ısıtıcı (termosifon), klima ve çamaşır kurutucudur. Oda içi sıcaklığı için Fanger'in oluşturduğu yedi parçalı ısıl konfor derecelendirme ve ısıl konfor memnuniyetsizlik yüzde oranı hesaplamaları dikkate alınmış bu yolla ısıl konforun değerlendirilmesi yapılmıştır. Sıcak su kullanım sıcaklığı ortalamasının, tüketicinin belirlediği en alt ve en üst sınır sıcaklık aralığında, mümkün olduğunca en üst değere yaklaşmasının sağlanması, sıcak su konforu ölçütü olarak kabul edilmiştir. Elektrikli araba için konfor, istenilen görev bitiş süresine mümkün olduğunca en yakın bir zamanda şarj işleminin tamamlanması olarak düşünülmüştür. Çamaşır kurutucu için de yine konforun tanımı, işin arzulanan bir bitiş saati civarında tamamlanması şeklindedir. Talep yönetimi programı uygulayıcısı açısından tek amaç en iyilemeleri; elektrik sağlayıcı veya talep toplayıcı açısındansa talebin düzgünleştirilmesi veya verilen bir güç sınırını takip edecek bir yapıda olması istenmiştir.

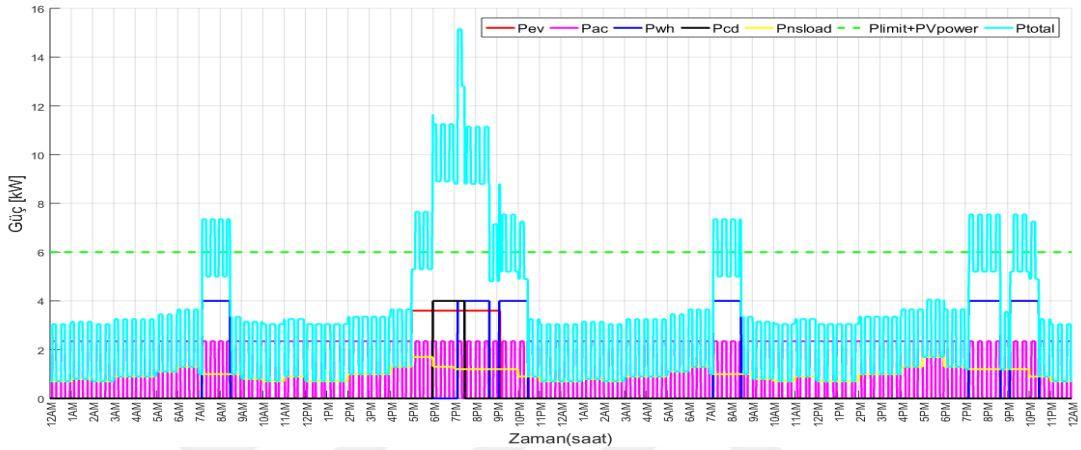
Talep sağlayıcının sunduğu tarifeler doğrultusunda, tüketicinin ilgili tarifeleri seçerek en az tüketim maliyetini sağlayacak biçimde bir talep yönetimine katılım gerçekleştirmesi hedeflenmiştir. Sabit tarifede, üç zamanlı tarifede veya gerçek zamanlı tarifede en az tüketim maliyeti oluşacak bir yönetim planına uygun olarak yüklerinin yönetimi sağlanmıştır. Bunun dışında konfor iyileştirme esaslı en iyilemelerde çalışılmıştır. Tüketici sadece ısıl konforu en iyileyecek bir yönetim düşünebilir. Sıcak su kullanım ortalamasını en iyileyecek bir talep yönetimi katılımcısı olarak yüklerinin yönetimini isteyebilir. Elektrikli araba ve kurutucu gibi bir cihazın belirlenmiş bir görev bitiş zamanına en yakın bir saatte olacak biçimde yönetimini tercih edebilir. Söz edilen en iyileme hedefleri güneş santrali üretim durumuna özgü hem kullanıcı hem de talep toplayıcı amaçlarına uygun bir plan için de çalışılmıştır.

Çalışmaya tek amaç en iyilemelerle başlanılmış istenen hedeflere güneş santrali üretim durumunu da dikkate alan uygun çalışma planları üretilmiştir. Tek amaç en iyileme çalışmasına önce MATLAB ortamında yazılan Parçacık Sürü Algoritması ile başlanılmıştır. Sonra Genetik Algoritmalar kullanılarak hem yük önceliklemesiz hem de yük önceliklemeli tek amaç en iyileme çalışmaları sürdürülmüştür. Burada Parçacık Sürü ve Genetik Algoritmaların başarılı bir biçimde uygulanabilirliği görülmüştür. Tek amaç en iyilemeleri çok farklı biçimlerde ele alınmıştır. Bunlar tüketici açısından belirlenmiş bir tüketim tutarına en yakın bir biçimde talep yönetimi programına katılımın gerçekleştirilmesinin sağlanması şeklinde olabilir. Tüketici istediği bir ısıl konfor beklenti düzeyine göre bir talep yönetimi programına katılım isteyebilir. Sıcak su ortalama kullanımı konforu için yine belirlediği bir sıcaklık değerine göre en iyilenmiş bir talep yönetimi programına katılım sağlayabilir. Bunlar dışında elektrikli araba ve çamaşır kurutucusu için görev tamamlama zamanı beklentisine uygun bir en iyileme ile talep yönetim programına katılım sağlayabilir.

Çok amaç en iyileme çalışmaları yine MATLAB ortamında baskınlanmayan sıralamalı Genetik Algoritma (NonDominating Sorting Genetic Algortihm, NSGA) için oluşturulan algoritmalar kullanılarak yürütülmüştür. Tek amaç en iyileme çalışmasına ek olarak yürütülen bu çoklu amaç en iyileme çalışmasında bir çok parametrenin en iyilenmesi hedeflenir. Çoklu amaç en iyileme için amaçlar bazı beklentiler için en düşük, bazı beklentiler için ise en yüksek olması üzerine olabilmektedir. Örneğin; tüketicinin üç zamanlı tarifede en az tüketimi tutarını, ısıl konfor memnuniyetini en yüksek, ortalama sıcak su kullanım sıcaklığını en yüksek, elektrikli araba ve kurutucu

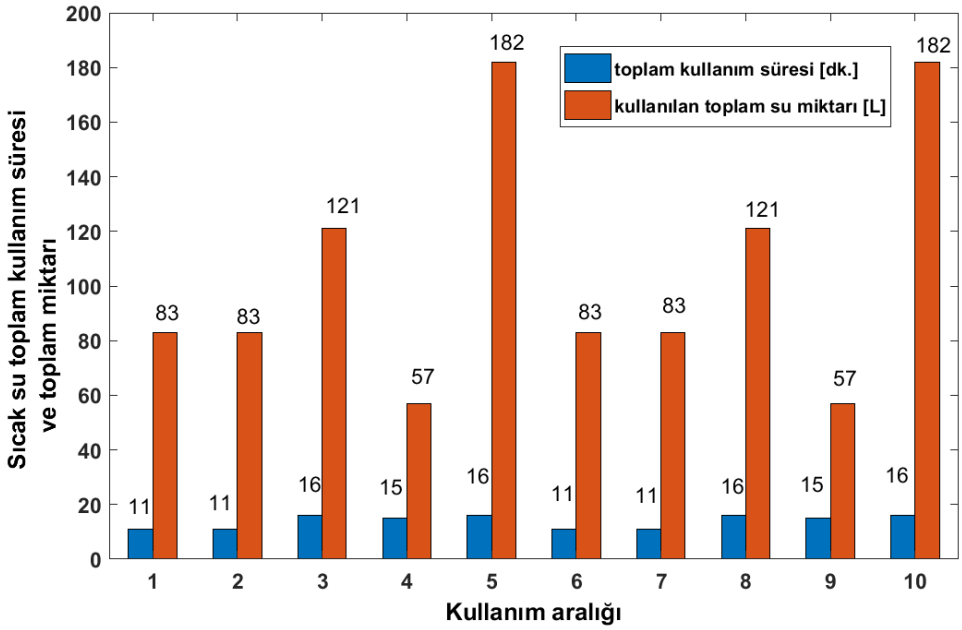
görev bitiş zamanını belirlenen saatten en az saparak, talep sağlayıcının ise en iyi talep düzgünleştirmesi ve verilen bir sınır tüketim değeri varsa ondan da en az saparak yapılabilmesi şeklindedir.

Çalışma yürütülen evde yönetimsiz mevcut tüketim değeri Şekil 6.1'de verilen bir tüketim profili için sabit tarifede 85,5492 TL, üç zamanlı tarifede 96,1010 TL, gerçek zamanlı tarifede 84,6609 TL elde edilmiştir.



Şekil 6.1 : Maliyet en iyileme çalışma öncesi güç profili.

Ev kullanıcıları için giysi ısıl direncinin 0,8 Clo, gün içi faaliyetlerinde kişilerin metabolik harcamalarının 1,2 Met, hava akımının hızının 0,1 m/s, nem oranının ise %60 olduğu kabul edilmiştir. Sıcak su kullanım kalıbıysa Şekil 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.2 : Sıcak su kullanım kalıbı.

Çalışmada en iyilemesiz durum için tüketimin düzgünleştirilmesi oranı (peak to average ratio, PAR) 4,5696 olarak bulunur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi (predicted percentage of dissatisfied people, PPD) 11,1582 olarak elde edilmiştir. Sıcak su ortalama kullanım sıcaklığı 43 °C bulunmuştur. İzin verilen 6 kW güç sınırı için aşılan toplam miktar 9851 kW olmuştur. Kurutucu iş tamamlama zamanı 1170. dakikada, elektrikli arabanın şarjıysa 1270. dakikada sonlanmıştır. Klima sıcaklık değeri [20 20 20 20 20 20 20] °C ve termosifon sıcak su ayarı [47,8 47,8 47,8 47,8 47,8 47,8 47,8] °C seçilidir. Oda ilk sıcaklığı 20 °C, termosifon için su başlangıç sıcaklığı 47,8 °C alınmıştır.

6.1 Parçacık Sürü Algoritması ile Maliyet En İyileme Çalışması

Parçacık sürü en iyilemesi (Particle Swarm Optimization, PSO) ilk 1995 yılında James Kennedy ve Russell C. Eberhart tarafından kuş ve balık sürülerinin birlikte hareket davranışlarına ilişkin çalışmaları ile başlamıştır [149]. Sonra diğer araştırmacıların da dikkatlerini üzerine çeken PSO yapı olarak evrimsel algoritmalara benzerlik göstermektedir. Ancak çaprazlama ve mutasyon gibi işlemler yerine rastgele sayılar ve sürü parçacıklarının genel yapıda etkileşimi burada kullanılır.

PSO, popülasyon temelli bir en iyileme (optimizasyon) tekniğidir. Bir PSO sisteminde çok sayıda aday çözümler mevcut olur ve bunlar eş zamanlı işbirliği yapar. Her bir çözüm bir parçacık olarak isimlendirilir. Bir parçacık üretilmesi sonrası, pozisyonunu kendi deneyimine ve komşu parçacıkların deneyimine göre ayarlar [150-153]. Parçacıklar çözüm uzayında en iyiyi bulmak için hareket eder. Her bir yinelemede (iterasyon) uygunluk kriterine göre değerlendirilir. Her yineleme sonrası her parçacık, parçacığın ve sürünün en iyisine göre güncellenir. Bir parçacık arama uzayında iki etmenle tanımlanır. Bunlar parçacığın hızı ve pozisyonudur. Parçacığın hızı (6.1)'de tanımlanır.

$$V_i[k+1] = w.V_i[k] + C_1.rand(sayi).(pbest_i[k] - X_i[k]) + C_2.rand(sayi).(gbest[k] - X_i[k]) \quad (6.1)$$

Burada $V_i[k]$, k. yineleme için i. parçacık hızını temsil eder. C_1 bilişsel katsayı, C_2 ise sosyal katsayıdır. Rastgele sayı üretimi $rand\ (sayi)$ ile gerçekleşir. Parçacık i'nin k. yinelemedeki en iyi pozisyonu $pbest_i[k]$ ve sürünün en iyi pozisyonu $gbest[k]$ ile belirtilir. $X_i[k]$ ise sürünün pozisyonudur. Pozisyon güncellemesi (6.2)'de verilmiştir.

$$X_i[k+1] = X_i[k] + V_i[k+1] \quad (6.2)$$

Denklem (6.1) incelendiğinde $V_i[k]$ yani parçacığın önceki hızının değişime uğradığı görülmektedir. Denklem (6.1)'de yer alan $C_1.rand(sayi).(pbest_i[k] - X_i[k])$ ile her bir parçacık için bireysel belekleri kullanılır. Denklem (6.1)'de yer alan $C_2.rand(sayi).(gbest[k] - X_i[k])$ ise sosyal etkileşimi ve işbirliğini düzenler. Algoritmada en büyük hızın seçimi önemlidir. Hız çok yüksek seçilirse parçacıklar kontrol edilemez yani arama uzayının dışına çıkılmasına yol açar. Bu yüzden $i.$ parçacık hızları V_i, en yüksek V_{max} ve en düşük hızlar V_{min} arasında sınırlandırılır. V_{max} değerinin büyük olması yakınsama hızını artırır ve yerel bir en düşük çözüme (minimum) takılmaya sebebiyet verir. Hızın düşük olması ise algoritmanın verimsiz çalışmasına yol açar. Arama uzayını daha iyi kontrol etmek amacıyla eylemsizlik ağırlığı adı verilen bir çarpan değer, w, algoritmaya eklenir. PSO için izlenen algoritma Çizelge 6.1'de sunulmuştur.

Çizelge 6.1 : Parçacık sürü algoritması adım ve işlemleri.

Adım	İşlem
1	Eylemsizlik ağırlığı, bilişsel, sosyal katsayıları, yineleme sayısı ve popülasyon büyüklüğünü belirle.
2	Başlangıç pozisyonlarını ve hızlarını ayarla.
3	Parçacıkların amaç fonksiyonu değerini hesapla.
4	Parçacık ve sürünün en iyilerini güncelle.
5	Hız ve pozisyonu güncelle
6	Bitiş kriterine ulaşıldı mı kontrol et.
7	Bitiş kriterine ulaşılamadı. Pozisyonlarını ve hızlarını ayarla, adım 3'e git.
8	Bitiş kriteri sağlandı. En iyi bireyi bul.

Bu çalışmada, evsel yükler içinde tüketimi fazla olan yönetilebilir yükler olan elektrikli araç, klima, çamaşır kurutucu makine ve su ısıtıcının PSO ile tüketim maliyetinde en iyileme çalışması yapılmıştır. Tüketimin maliyeti sabit ve üç zamanlı tarife kullanılarak en az tutar olacak şekilde yapılması halinde yüklerin iki günlük çalışma planın oluşturulması sağlanmıştır. İki günlük çalışma planı seçilmesinin amacı ilk günde görevini tamamlayamayan yüklerin bir sonraki güne etkisini görebilmek kaynaklıdır. Sabit tarifede kulanılacak tüketim çarpanı ile üç zamanlı tarifede kullanılan tüketim çarpanı ise (6.3) ile verilmiştir. Burada m her bir zaman dilimini göstermektedir. İki günlük bir çalışma için m değeri birer dakikalık ilerlemede yük yönetiminin yapıldığı yapıda en fazla 2880 değerine sahip olacaktır.

$$\left.\begin{array}{c} \lambda_{flat}(m) = 0.5445\dfrac{TL}{kWh},\ \ \forall m \in M, M = \{1,2,3,\ldots,2880\} \\ \lambda_{gunduz} = 0.5445\dfrac{TL}{kWh}, 06.00 * 60 \leq m < 17.00 * 60 \\ \lambda_{puant} = 0.7997\dfrac{TL}{kWh}, 17.00 * 60 \leq m < 22.00 * 60 \\ \lambda_{gece} = 0.3404\dfrac{TL}{kWh}, 22.00 * 60 \leq m < 24.00 * 60\ veya \\ 00.00 * 60 \leq m < 06.00 * 60 \end{array}\right\} \quad (6.3)$$

Ele alınan problemde, elektrikli arabanın çalışmasının ertelenmesi için düşünülen zaman $T_{EV,shift}$, başlangıç şarj düzeyinden tam şarj düzeyine erişmek için gereken sürenin en fazla iki katı olması gerektiği (%37,5 başlangıç şarj düzeyi için 500 dakika) kabul edilmiştir. Kurutucu için başlama saatinin ertelenmesi $T_{CD,shift}$, en fazla 250 dakika olarak alınmıştır. Bu çalışmada klima için oda başlangıç sıcaklığı 25 °C ve termosifon için başlangıç suyu sıcaklığı 70 °C kabul edildi. Klimanın çalışması için izin verilen ayar değerleri θ_{ACS}^{m} 20 °C ile 25 °C arası sıcaklık olarak belirlendi. Termosifon ayar değeri θ_{WHS}^{m} 45 °C ile 70 °C arasında olacak sıcaklıklar seçildi. Bu değerlerin kullanıcı tarafından farklı seçimi de (6.4)'te verilen aralıkta mümkündür.

$$\left.\begin{array}{c} 1 \leq T_{EV,shift} \leq 500 \\ 1 \leq T_{CD,shift} \leq 250 \\ 20\ °C \leq \theta_{ACS}^{m} \leq 25\ °C \\ 45\ °C \leq \theta_{WHS}^{m} \leq 70\ °C \end{array}\right\} \quad (6.4)$$

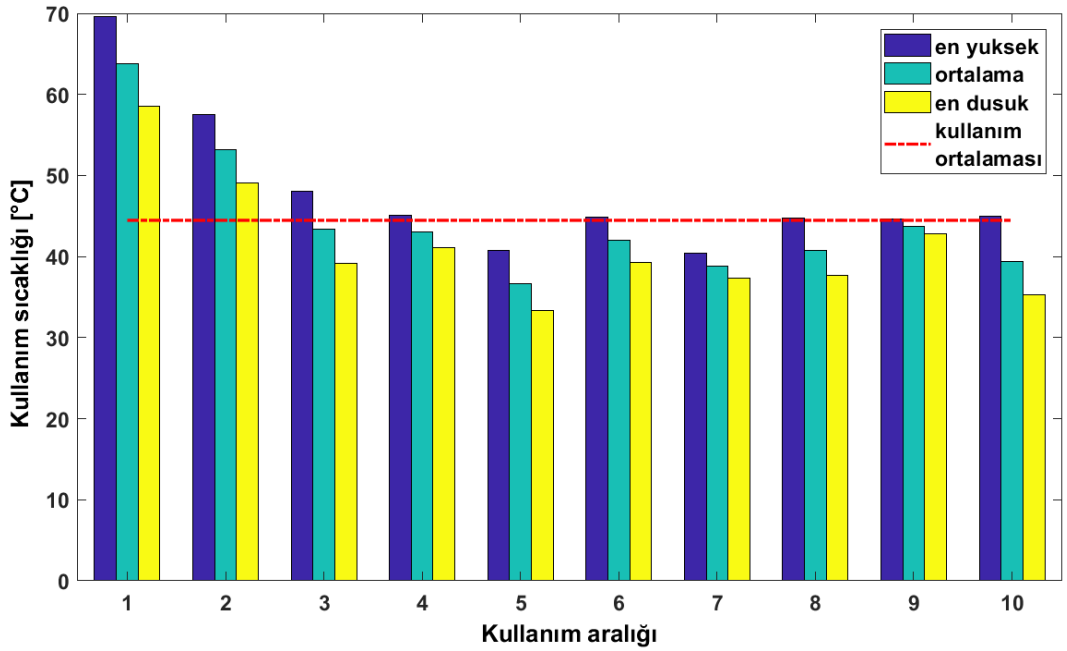
Sabit tarife ve değişken ücretlendirmenin olduğu üç zamanlı tarifede amaç fonksiyonu, farklı zamanlardaki (6.5)'te verilen elektrik birim fiyatı dikkate alınarak yazılır. Amaç fonksiyonu, $f(x)$, sabit tarifede yönetilemez yüklerin tüketim gücü, P_{nsload}^{m} ve güneş santral gücünü $P_{güneş}^{m}$ de içerecek biçimde (6.6)'da gösterildiği biçimde yazılabilir. Burada x_{EV}^{m}, x_{AC}^{m}, x_{CD}^{m}, x_{WH}^{m} cihazların bu amacı gerçekleştirmesi için her bir m anında çalışması gereken hallerde 1 aksi halde 0 değerini alan karar değişkenidir. Burada $f(x)$ ile her bir dakikalık aralık Δm için maliyeti tüm çalışma süresi boyunca toplam maliyet olarak hesaplar ve en az tüketim maliyeti elde edilecek şekilde farklı m anlarında yüklerden hangilerinin çalışacağı veya duracağı, erteleneceği bilgisini verir.

$$\left.\begin{array}{c}\lambda_m = \lambda_{gunduz}\ eğer\ 06.00 * 60 \leq m < 17.00 * 60 \\ \lambda_m = \lambda_{puant}\ \ eğer\ 17.00 * 60 \leq m < 22.00 * 60 \\ \lambda_m = \lambda_{gece}\ \ \ eğer\ \ 22.00 * 60 \leq m < 24.00 * 60 \\ veya\ 00.00 * 60 \leq m < 06.00 * 60 \\ \lambda_m = \lambda_{flat}\ eğer\ tarife\ sabit\ tarife\ ise\end{array}\right\} \quad (6.5)$$

$$f(x) = min\left\{\sum_{m=1}^{M} \Delta m.\lambda_m.(P_{EV}^m.x_{EV}^m + P_{AC}^m.x_{AC}^m + P_{CD}^m.x_{CD}^m + P_{WH}^m.x_{WH}^m + P_{nsload}^m - P_{güneş}^m)\right\} \quad (6.6)$$

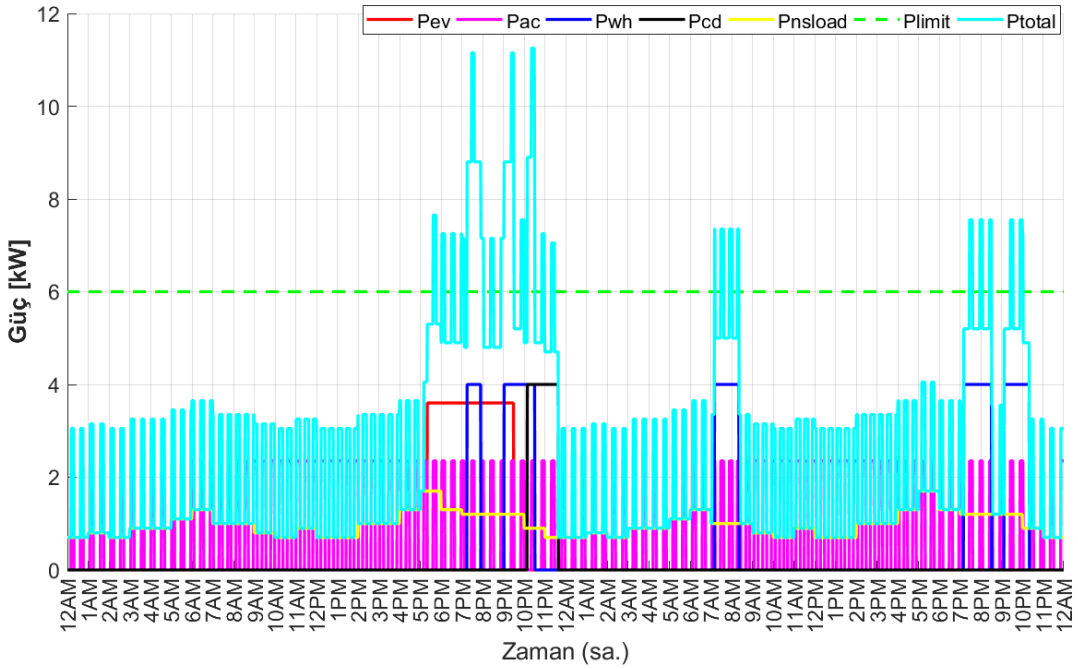
PSO ile çözüm için oluşturulan modelde w eylemsizlik katsayısı 0,8, bilişsel ve sosyal katsayılar C_1 ve C_2 içinse 2 değeri kullanılmıştır. Sürü büyüklüğü ve yineleme sayısı 50 seçilmiştir. İki günlük bir çalışma süresince ilgili zaman aralıklarına göre çoklu zamanlı tarifede de hesaplama yapabilmek üzere toplam yedi adet sıcaklık ayar değeri kullanılmıştır.

PSO ile en iyileme için çözümde sürüler parçacıklardan oluşturulur. Sürüdeki her parçacık için ise rastgele değerler, her bir cihazın belirtilen alt ve üst değerleri (kısıtları) dikkate alınarak üretilir. Yani böylelikle başlangıç pozisyonları ve hızları oluşturulur. Problemde sabit tarifede en düşük tüketim maliyeti olduğunda sürünün en iyi değeri elektrikli araba şarj sürüsü için $sbestvalaraba$, klima sürüsü için $sbestvalklima$, çamaşır kurutucu sürüsü için $sbestvalkurutucu$ ve termosifon için $sbestvalsuisitici$ bulunur. Örneğin elli yineleme sonucunda elektrikli araba, kurutucu, klima ve termosifon için çözümler sürünün en iyileri yani $sbestvalaraba$, $sbestvalkurutucu$, $sbestvalklima$ ve $sbestvalsuisitici$ için en iyilenen en küçük tutar 71.5314 TL olmuştur. Sürünün bu amacı sağlayan en iyi pozisyonu; arabada $sbestposaraba$ 21'nci dakika, kurutucuda $sbestposkurutucu$ 250'nci dakika, klimada $sbestposklima$ [25 25 25 25 25 25 25] °C ve termosifonda $sbestpossuisitici$ [70 45 45 45 45 45 45] °C bulunur. Klima 41,0816 kWh, elektrikli araba 15 kWh, kurutucu 6 kWh, termosifon 23,6 kWh, sabit yükler 47,4 kWh elektrik tüketmiştir. İki günlük toplam tüketim 133,0816 kWh olmuştur. PSO kullanılarak yapılan maliyet en iyileme yönetimiyle elde edilen sıcak su kullanım sıcaklıkları Şekil 6.3'de gösterilmektedir.



Şekil 6.3 : Maliyet en iyilemesi sonrası su kullanım sıcaklıkları.

PSO kullanılarak yapılan sabit tarifede maliyet en iyileme çalışması sonrası yüklerin çalışma planına göre oluşan güç profili ise Şekil 6.4'te verilmiştir.



Şekil 6.4 : PSO maliyet en iyileme çalışma sonrası güç profili.

6.2 Genetik Algoritma ile Yük Önceliklemesiz Yönetim için Tek Amaç En İyileme Çalışmaları

GA ilk 1975 yılında John Holland tarafından önerilmiştir [154]. Popülasyon temelli bir yapıdadır. Doğal seçilim ve evrim teorisinden etkilenilmiş olup doğal biyolojik kavram olan kalıtım, mutasyon, seçim, elitizm ve çaprazlama gibi kavramlardan esinlenen teknikleri kullanır. Burada popülasyon, en iyileme problemi için aday çözümleri temsil eden bireyler (kromozomlar) kümesidir. GA, performans ölçütlerine veya durdurma ölçütlerine ulaşana kadar her yinelemede popülasyon üyelerini önceden ayarlanmış en iyileme ayarlarına göre günceller. Her öğrenme adımında GA, mevcut popülasyondan rastgele bireyleri ana nesil olarak seçer ve daha sonra bu üst bireyleri algoritma seçkin bireyi yeni nesilde depolarken bir sonraki popülasyon çocuk nesli üretmek için kullanır. Başka bir deyişle yeni nesil üyeleri, en iyi bilinen çözüm sağlanırken doğal kavramları taklit eden sayısal fonksiyonlara dayalı olarak üretilir. Miras yoluyla yeni nesile paylaşılan genetik bilgi, popülasyonun uygunluk değerini geliştirme fırsatı verir. Daha yüksek uygunluk değeri, bireylerin hayatta kalma ve üretim değişimini arttırır. Çok sayıda ardışık nesilden sonra, popülasyon bir çözüme doğru gelişir. Çeşitli evrimsel algoritma için belirtildiği gibi GA çözümü en iyileme problemi için genel bir çözüm olarak kabul edilir [155-158].

GA için bu çalışmada kullanılan akış diyagramının basitleştirilmiş hali Çizelge 6.2'de verilmiştir. GA uygulama aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir. Öncelikle ilk popülasyon, popülasyonun önsel bilgisine veya çoğunlukla olduğu üzere rastgele olarak oluşturulur. Daha sonra nesil üretimi için yineleme başlatılır ve popülasyonun bireysel uygunluk değerleri maliyet (cost) fonksiyonuna göre hesaplanır. Bu uygunluk değerleri mevcut popülasyonun (nüfusun) başarısını verir. Durdurma kriteri sağlanırsa veya başka bir deyişle popülasyon başarısı yüksekse yineleme durdurulur ve algoritma sonlandırılır. Aksi halde yeni nesil üretimi devam eder. Her yeni nesil seçimi çaprazlama ve mutasyon özelliklerine göre üretilir. En iyi bireysel üye dışında elitizm özelliği nedeniyle yeni nesil saklanır. Daha sonra mevcut neslin bireylerinin uygunluk değerleri hesaplanır ve önceki adımlar yinelemeli olarak tekrar edilir.

Çizelge 6.2 : Genetik algoritmanın adım ve işlemleri.

Adım	İşlem
1	Parametre değerlerini belirle.
2	Başlangıç popülasyonunu oluştur.
3	Popülasyondaki kromozomların uygunluk değerlerini bul.
4	Doğal seçilim yap. Hayatta kalan bireyleri al.
5	Çaprazlanacak bireyleri belirle.
6	Çiftler çaprazlanacaksa sonraki adıma git. Çaprazlama olmayacaksa sekizinci adıma git.
7	Çaprazlama yap.
8	Bireyler mutasyon geçirecekse bir alt işlemi yap. Bireyler mutasyon geçirmeyecekse 10. adım ile ilerle.
9	Mutasyon uygula.
10	İstenilen bitiş kriteri sağlandı mı kontrol et. Sağlanmadıysa yeni nesil üret ve 3. adıma git.
11	Bitiş kriteri sağlandı ise en iyi bireyi bul ve çözüm olarak al.

Tüketici için en iyilenecek parametrelerden birisi tüketim maliyetinin en düşük tutar ile gerçekleştirilmesidir. Talep yönetim programına katılımcı için elektrik fiyatı ücretlendirilmesinin sabit tarife (Flat Pricing, FP), üç zamanlı tarife (Time of Use, ToU), gerçek zamanlı tarife (real time pricing, RTP) ile yapıldığı kabul edilmiştir. Sabit ve üç zamanlı tarife ile ücretlendirme için her ne kadar tüketici talep sağlayıcıdan bir teşvik almasa da tüketim maliyetini azaltacak bir çalışma takvimi oluşturması hem tüketiciye hem de talep yönetimi sağlayıcıya önemli kazanımlar sağlar. Talep programına katılımcı açısından bu çalışmada en iyilenecek durumlar başlıca şu şekilde düşünülmüştür.

- Talep yönetimi katılımcısı tüketim maliyeti en düşük olacak şekilde veya hedeflediği bir tutarı sağlayacak bir biçimde yüklerin çalışmasının gerçekleştirilmesini isteyebilir. Bu duruma ek olarak ev çatısında kurulu bir güneş santrali varsa bunu da dikkate alan bir maliyeti en aza indirme isteği olabilir.
- Talep yönetimi katılımcısı ev içi ısıl konforun en iyilenmesini veya istediği bir konfor düzeyine erişilmesini isteyebilir. Bu durumda ısıl konforu en iyileyen bir biçimde oluşan tüketimin hem kullanıcı hem de talep yönetimi uygulayıcı açısından bilinmesi önem arz eder. Ev çatısında kurulu bir güneş santrali varsa bunu da dikkate alan bir ısıl konfor en iyileme isteği olabilir.
- Tüketici bir başka ısıl konfor olarak kullandığı sıcak suyun ortalama sıcaklığının kullanım süresince istediği bir değerde kalmasını veya mümkün

en yüksek sıcaklıkta olmasını isteyebilir. Bu termosifon gibi yüksek güçlü cihazların toplam tüketimlerini belirleyen önemli bir parametredir. Ev çatısında kurulu bir güneş santrali varsa bunu da dikkate alan bir sıcak su kullanım ortalama sıcaklığı konfor en iyileme isteği olabilir.

- Katılımcı, bazı cihazların belirlenmiş bir zamana kadar işlerini tamamlamasını veya mümkün en iyi zamanda bitirmesini isteyebilir. Bu istek, örneğin kurutucu veya elektrikli araba gibi cihazların tüketimlerinin kontrol edilmesini gerektirir. Ev çatısında kurulu bir güneş santrali varsa bunu da dikkate alan bir görev tamamlama en iyileme isteği olabilir.
- Talep yönetimi katılımcısı karbondioksit salınım değeri en düşük olacak şekilde yüklerin çalışmasının gerçekleştirilmesini isteyebilir. Bu duruma ek olarak ev çatısında kurulu bir güneş santrali varsa bunu da dikkate alan bir karbondioksit salınımını en aza indirme isteği olabilir.

Talep sağlayıcı açısından en iyilenmesi istenen durumlar üretim ile tüketimi dengeleyecek nitelikte tüketim davranışlarının şekillendirilmesi üzerinedir. Bunlar program sağlayıcı tarafından belirlenmiş bir güç sınır değerini sağlamak üzere veya talebi üretime dengelemek üzere oluşturulan uygun bir gerçek zamanlı tarifelerin uygulanmasıyla yapılabilir.

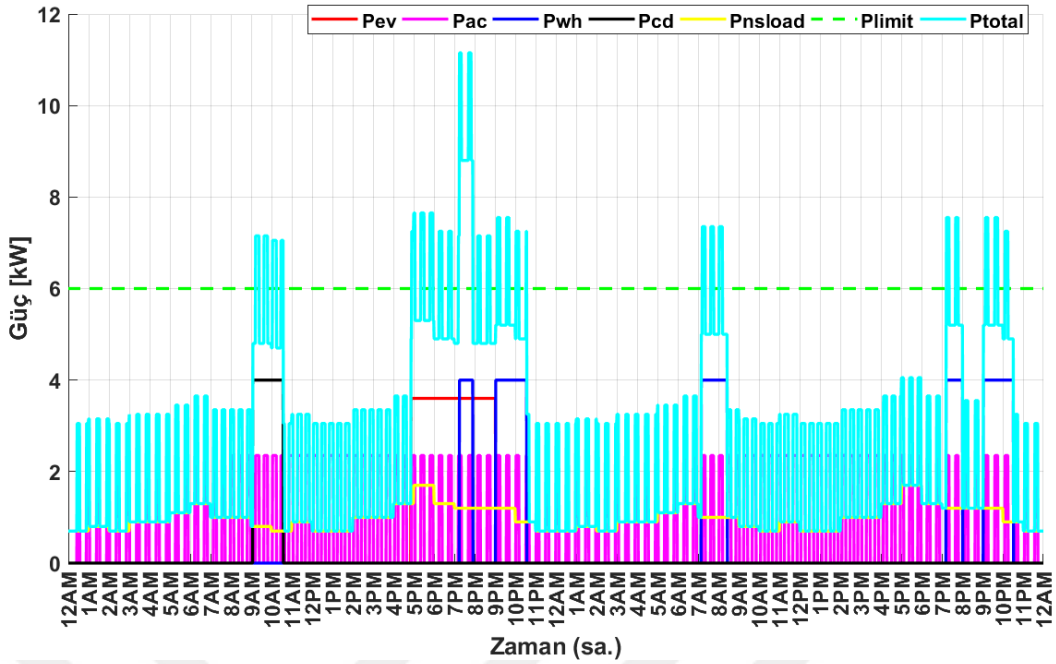
- Talep toplayıcı belirli zaman aralıklarında tüketici için güç sınırlamasını izleyecek biçimde yüklerinin çalışmasını düzenlemesini üretimle tüketimi dengelemek için isteyebilir.
- Program sağlayıcı tüketicinin talebinin düzgünleştirilmesini yani en yüksek tüketim ile ortalama tüketim değerinin bir birine en yakın olacak biçimde gerçekleştirilmesini isteyebilir. Bunu aynı zamanda belirlenmiş bir güç sınırını izlemesi yani bu sınır güç değerinden mümkün olduğunca en az uzaklaşarak tüketimini gerçekleştirmesini bekleyebilir. Ev çatısında kurulu bir güneş santrali varsa bunu da dikkate bir üretim tüketim en iyileme isteği olabilir.

6.2.1 Sabit tarifede tüketim maliyeti azaltma

Üretim ve depolama kaynağına sahip olmayan tüketici için modelde, oda başlangıç sıcaklığı en iyileme algoritması ile atanır. Atanacak başlangıç oda sıcaklığı, $\theta_{oda}^{m=0}$, termosifondaki suyun ilk sıcaklığı, $\theta_{outlet}^{m=0}$, yine talep yönetim için en iyileme genetik

algoritma ile bulunur. Tüketim maliyetini sabit tarifede en az yapacak biçimde elektrikli arabanın ve kurutucunun çalışmaya başlayacağı saatler algoritma tarafından seçilir. Ev kullanıcıları için giysi ısıl direncinin 0,8 Clo, gün içi faaliyetlerinde 1,2 Met harcadıkları, evde hava akımının hızının 0,1 m/s, nem oranının ise %60 olduğu kabul edilmiştir. Amaç fonksiyonu daha önceki PSO çalışmasında olduğu gibi (6.6)'da verilen yapıdadır. GA ile çözüm aranırken kromozomlar için ikili kodlarla oluşturulmuş yapı kullanıldığından her bir kısıt için tamsayı değerler ikili sayı düzenine çevrilmiş, bunları temsil için gereken bit uzunluları bulunmuştur. Elektrikli arabanın şarja başlama zamanı $T_{basla(EV)}$ için 10 bit, erteleme süresi $T_{EV,shift}$ için ise 9 bit veri gerekmektedir. Kurutucu cihazın başlama saati $T_{basla(CD)}$ için 11 bit, erteleme süresi $T_{CD,shift}$ için ise 8 bit kullanılmıştır. Klimanın ayar sıcaklık değerlerini temsil etmek için 4 bit, termosifon sıcak su ayar değeri için 6 bite gereksinim duyulmuştur. İki günlük bir çalışma süresince ilgili zaman aralıklarına göre çoklu zamanlı tarifede de hesaplama yapabilmek üzere toplam yedi adet sıcaklık ayar değeri kullanılmıştır. Toplam ikili kodla temsil için gereken veri uzunluğu bu durumda, oda başlangıç sıcaklığı için 4 bit ve termosifondaki başlangıç su sıcaklığı için de 6 bit göz önüne alındığında, 118 bit olarak elde edilir. Popülasyon büyüklüğü 50, yineleme (iterasyon) sayısı 30, çaprazlama yapılacak popülasyon yüzdesi %95, mutasyon yüzdesi %5 alınarak algoritma kullanılmıştır.

Problemin çözümünde yineleme sayısı 30 için sabit tarifede en düşük tutar 71,0488 TL olarak elde edildi. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 747. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 266 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 480. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CDshift}$, 66 dakika olarak elde edildi. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [25 25 25 25 25 25 25] °C olarak bulunmuştur. Termosifon için takip edilecek sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [68,9 46,1 45 45,5 46,1 45 45] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 20,6 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 70 °C olarak elde edildi. Şekil 6.5'de GA ile sabit tarifede talep yönetimi için en az maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri görülmektedir.

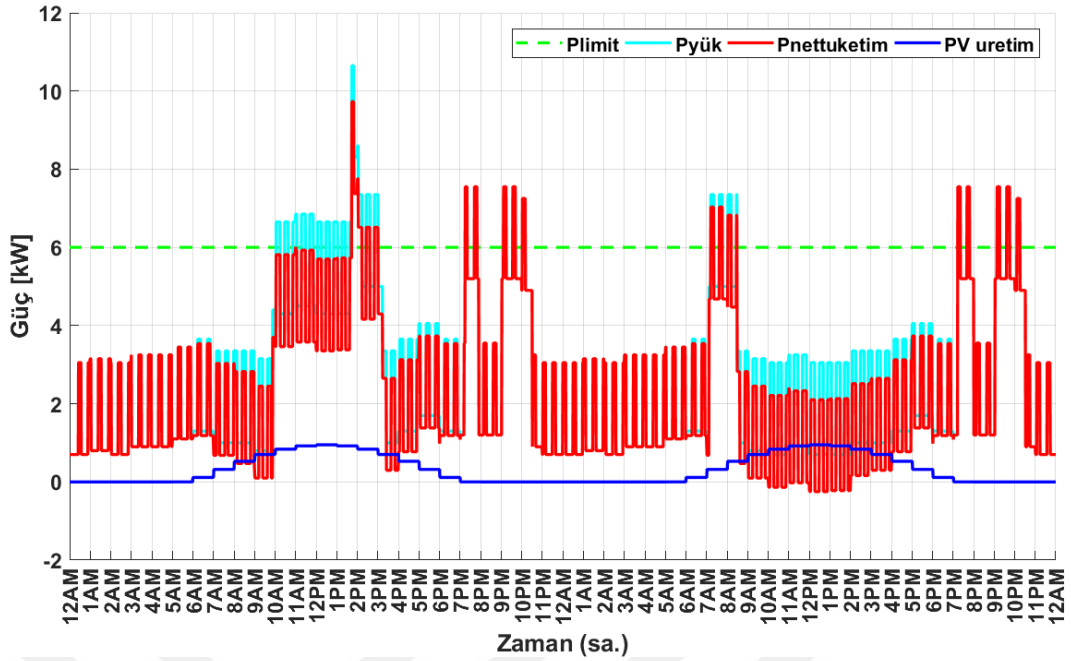


Şekil 6.5 : GA ile sabit tarifede talep yönetimi için en az maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

Sabit tarifede en düşük tüketim maliyeti hedefleyen çalışmada kullanılan planının aynen uygulanması halinde maliyetler (sabit tarifede ödenecek tutar 71,0488 TL iken), üç zamanlı tarifede 78,4613 TL, gerçek zamanlı tarifede 70,6262 TL olarak elde edilir. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi (predicted percentage of dissatisfied people, PPD) 22,7007 olarak elde edilmektedir. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 44,3 °C olarak bulunmuştur. Eğer 6 kW bir güç sınırlaması söz konusu olsaydı, toplam anlık tüketimin tüm çalışma süresince bu sınır değer ile olan güç farkı (sınır değer altında veya üstünde güçler) toplamı 10190 kW olacaktır. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı (peak to average ratio, PAR) 4,0496 olarak bulunur. Kurutucunun işi tamamlama zamanı 636. dakika, elektrikli arabanın şarjını tamamlama zamanı 1263. dakikadır. Burada yine yukarıda bulunan elektrikli araba şarja başlama zamanı 1013. dakika, çamaşır kurutucunun çalışmaya başlama zamanı 546. dakika aynı kalmak şartıyla, oda sıcaklığının başlangıçta en soğuk olduğu 20 °C ve suyun sıcaklığının başlangıçta en yüksek derecede olduğu 70 °C, termosifon sıcaklık ayar değerleri en düşük sıcaklık değeri [45 45 45 45 45 45 45] °C ve klima ayar değeri en yüksek derece [25 25 25 25 25 25 25] °C biçimde yönetilmiş olsaydı, sabit tarifede ödenecek toplam tutar 71,4049 TL olarak elde edilir. Üç zamanlı tarifede 79,5480 TL, gerçek zamanlı tarifede 71,0250 TL olarak bulunacaktır. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 22,6434 olarak bulunur. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı ise 44,5 °C olur. Eğer 6 kW gibi bir güç

sınırlaması söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 10134 kW olarak hesaplanır. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 4,0294 olarak bulunur. Kurutucunun işi tamamlama zamanı yine 636. dakika, elektrikli arabanın şarjını tamamlama zamanı 1263. dakikadır.

Farklı sistem durumu için çatıda kurulu 1 kW lık bir güce sahip güneş santralinin olduğu düşünülmüş ve böyle bir yapı için de çalışmalar yapılmıştır. (6.6)'da verilen problemin çözümünde sabit tarifede en düşük tutar 62,8311 TL olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 436. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 158 dakika olmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 754. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CD,shift}$, 71 dakikadır. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [25 25 25 25 25 25 25] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [50,6 49,4 45 45 46,5 45 45] °C olarak bulunur. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 20,6 °C olur. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, ise 70 °C olarak elde edildi. Güneş santrali olması durumunda, ısıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 22,7007, ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 44,3 °C elde edilir. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 4,0062 olarak bulunur. Kurutucunun işi tamamlama zamanı 915. dakika, elektrikli arabanın şarjını tamamlama zamanı 844. dakikadır. Şekil 6.6'da güneş santrali varlığında, GA ile sabit tarifede talep yönetimi için en az maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planlarına göre oluşan güç değişimleri gösterilmiştir.

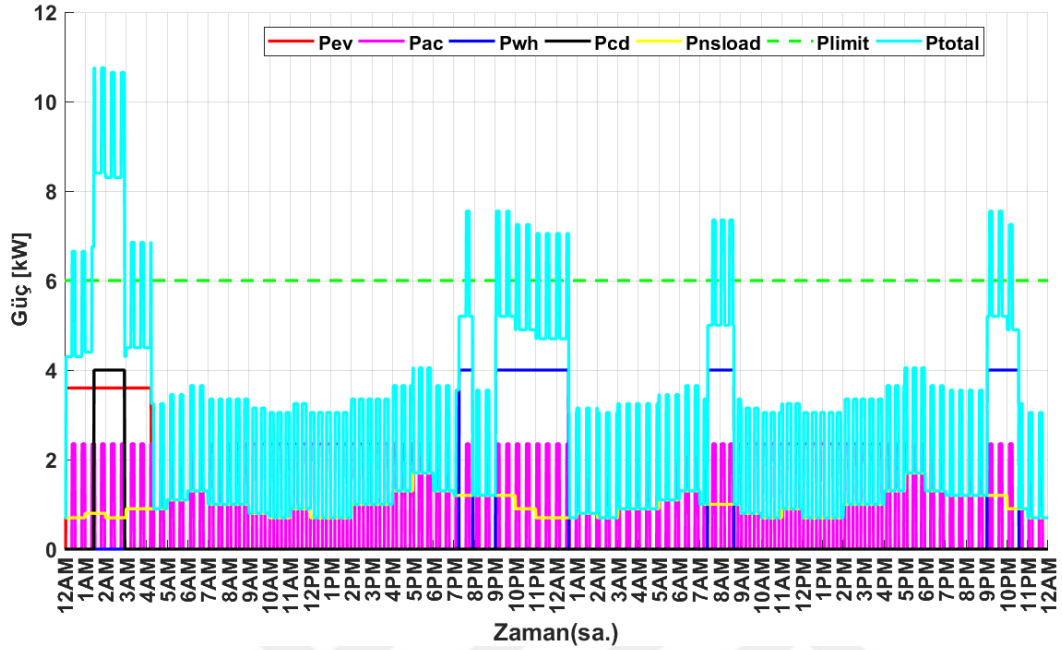


Şekil 6.6 : Güneş santrali varlığında, GA ile sabit tarifede talep yönetimi için en az maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planı güç değişimleri.

6.2.2 Üç zamanlı tarifede tüketim maliyeti azaltma

Üretim ve depolama kaynağına sahip olmayan tüketici için modelde denklem (6.6)'da verilen problemin üç zamanlı tarifede çözümü için en düşük tutar 70,8314 TL olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 1. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 4 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 16. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CD,shift}$, 71 dakika olarak bulunmuştur. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [24,4 25 25 25 25 25 25] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [63,9 45,6 45 65 57,8 45,6 45,6] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 21,1 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 70 °C olarak elde edilmiştir. Üç zamanlı tarifede tutar 70,8314 TL iken sabit tarifede ödenecek tutar 73,9554 TL, gerçek zamanlı tarifede ise 72,6904 TL olarak bulunur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 22,0984 olarak elde edilmiştir. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 48 °C olarak bulunmuştur. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 9999 kW olacaktır. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 3,7509 olarak bulunur. Kurutucunun işi tamamlama zamanı 177. dakika, elektrikli arabanın şarjını tamamlama zamanı 255.

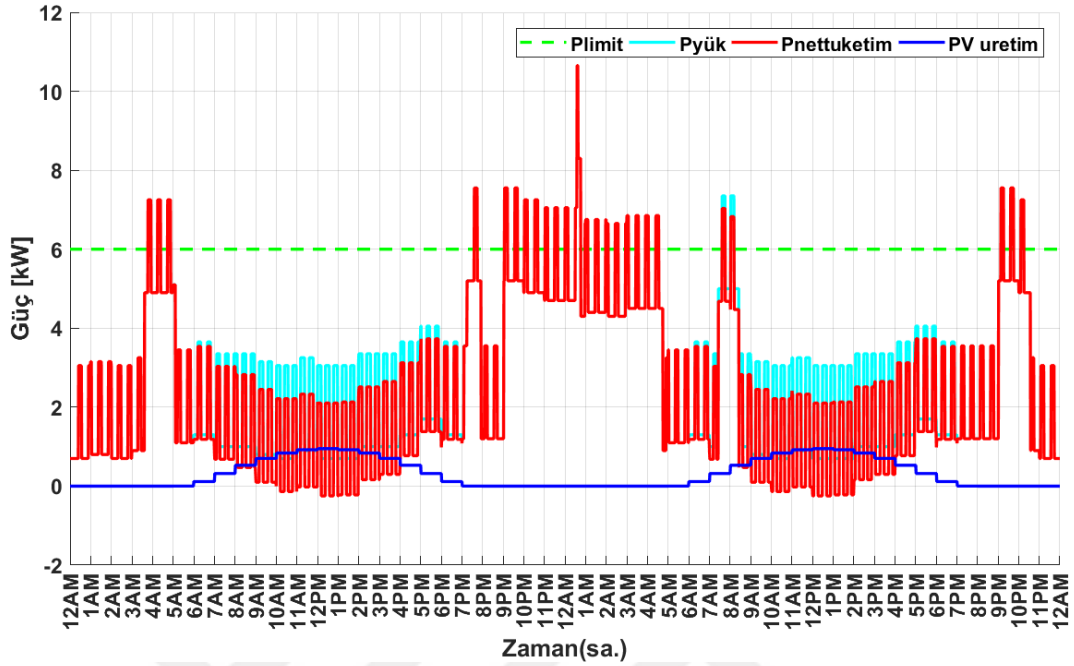
dakikadır. Şekil 6.7'de GA ile üç zamanlı tarifede en az maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 6.7 : GA ile üç zamanlı tarifede en az maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

Farklı sistem durumu için çatıda kurulu 1 kW lık bir güce sahip güneş santralinin olduğu düşünülmüş ve böyle bir yapı için de çalışmalar yapılmıştır. (6.6)'da verilen problemin çözümünde üç zamanlı tarifede en düşük tutar 62,2330 TL olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 980. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 496 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 138. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CD,shift}$, 80 dakika olarak bulunmuştur. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [24,4 25 25 25 25 25 23,3] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [60,6 45 45 66,7 56,1 45 45] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 20 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 69,4 °C olarak elde edildi. Güneş santrali olması halinde sabit tarifede ödenen tutar 65,9001 TL, üç zamanlı tarifede 62,2330 TL, gerçek zamanlı tarifede 64,3246 TL olur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 21,5765 olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 47,8 °C olmuştur. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 4,1917 olarak bulunur. Kurutucunun işi tamamlama zamanı 308. dakika, elektrikli arabanın şarjını tamamlama zamanı 1726. dakikadır. Şekil 6.8'de güneş santrali varlığında, GA ile üç

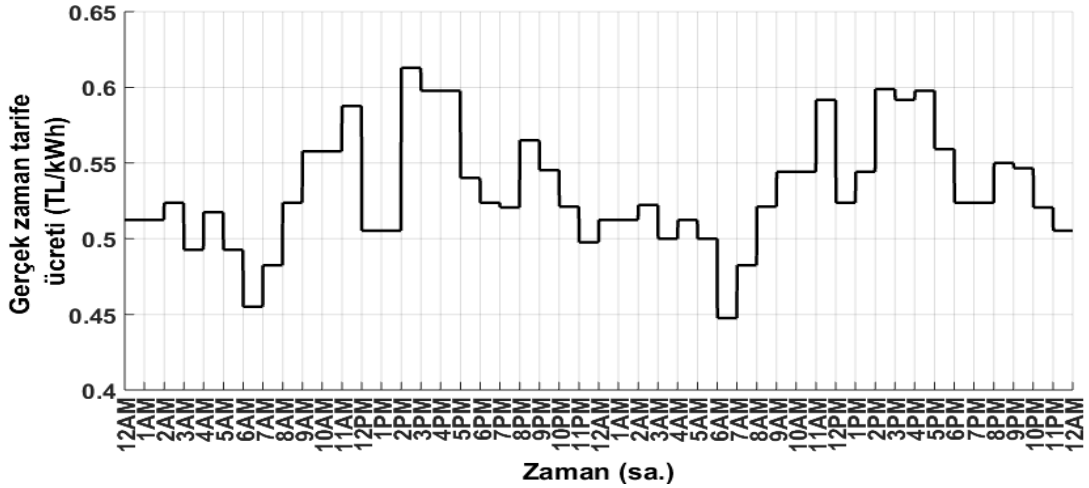
zamanlı tarifede en az maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz planlarına göre oluşan güç değişimleri görülmektedir.



Şekil 6.8 : Güneş santrali varlığında, GA ile üç zamanlı tarifede en az maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planı güç değişimleri.

6.2.3 Gerçek zamanlı tarifede tüketim maliyeti azaltma

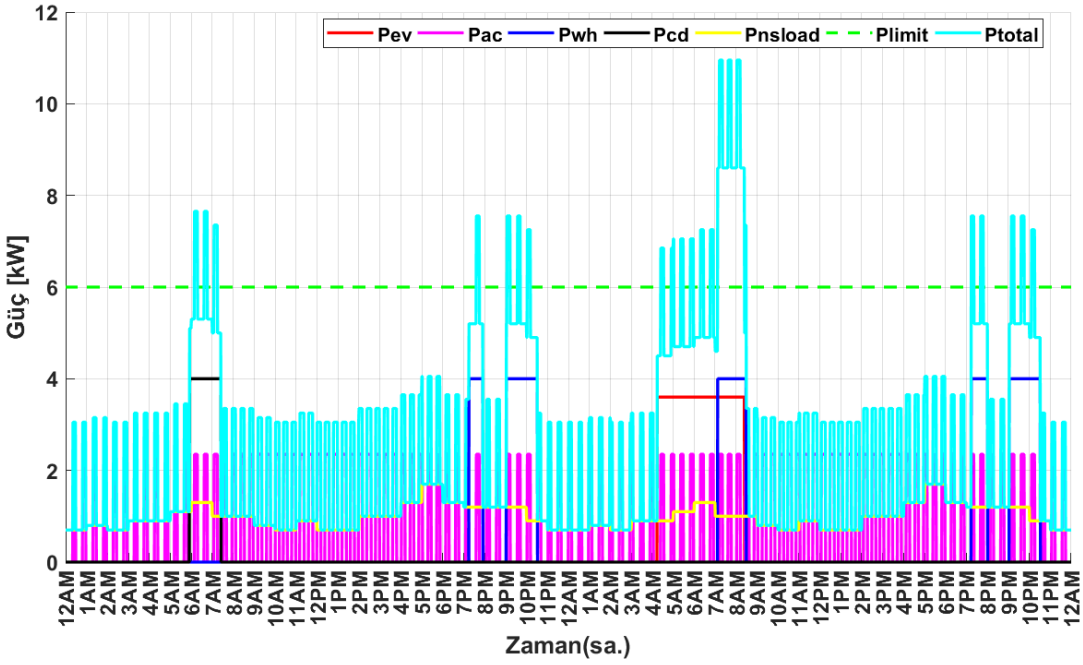
Gerçek zamanlı tarifede kullanılan fiyatlar rastgele üretilmiş olup Şekil 6.9'da gösterilmiştir.



Şekil 6.9 : Rastgele üretilmiş gerçek zamanlı tarifede elektrik fiyatı.

(6.6)'da verilen problemin çözümünde gerçek zamanlı tarifede en düşük tutar 69,3198 TL olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 1292. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 403

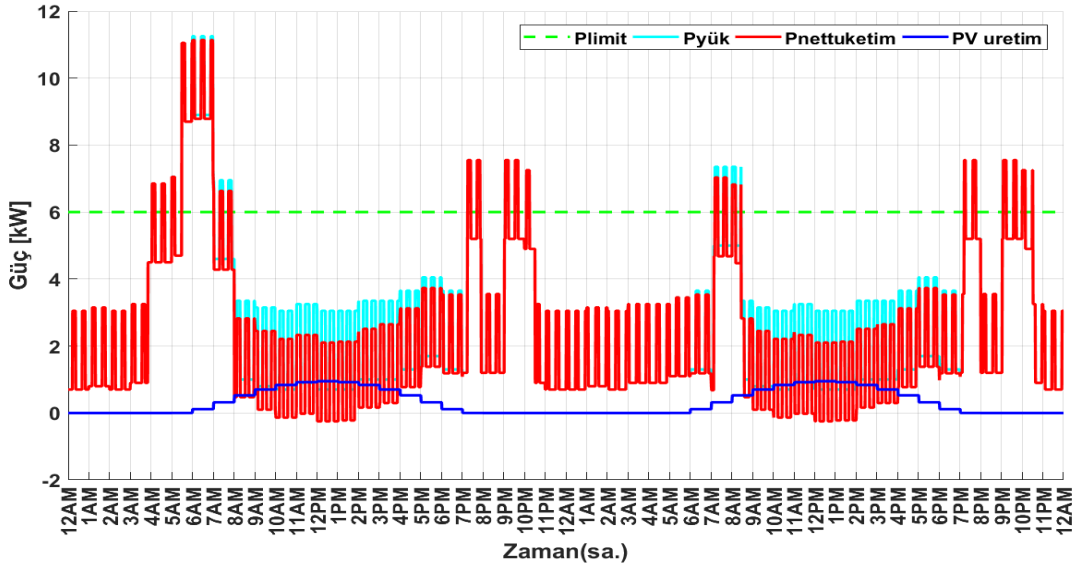
dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 232. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CD,shift}$, 124 dakika olarak bulunmuştur. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [25 25 25 25 25 25 25] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [62,2 50,6 45 45 46,7 45 45] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 22,2 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 70 °C olmuştur. Gerçek zamanlı tarifede 69,3198 TL olarak bulunan en iyi maliyeti sağlayan biçimde yönetim için sabit tarifede ödenecek tutar 71,0909 TL, üç zamanlı tarifede 73,4397 TL olur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 22,6917 olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 44,3 °C olur. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 10307 kW olarak bulunur. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 3,9747 olarak bulunur. Kurutucunun işi tamamlama zamanı 446. dakika, elektrikli arabanın şarjını tamamlama zamanı 1945. dakikadır. Şekil 6.10'da GA ile gerçek zamanlı tarifede en az maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 6.10 : GA ile gerçek zamanlı tarifede en az maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

Farklı sistem durumu için çatıda kurulu 1 kW lık bir güce sahip güneş santralinin olduğu düşünülmüş ve böyle bir yapı için de çalışmalar yapılmıştır. (6.6)'da verilen problemin çözümünde gerçek zamanlı tarifede ödenen tutar 63,4649 TL, üç zamanlı

tarifede 64,8649 TL, gerçek zamanlı tarifede 61,4259 TL olur. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 128. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 104 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 189. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CD,shift}$, 141 dakika olarak bulunmuştur. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [24,4 25 23,9 25 25 25 24,4] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [47,2 48,3 45 45 46,1 45 45] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 23,9 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 70 °C olmuştur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 21,0406 olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 44,2 °C olarak elde edilir. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 11269 kW olarak bulunur. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 4,5525 olarak bulunur. Kurutucunun işi tamamlama zamanı 420. dakika, elektrikli arabanın şarjını tamamlama zamanı 482. dakikadır. Şekil 6.11'de güneş santrali varlığında, GA ile gerçek zamanlı tarifede en az maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planlarına göre oluşan güç değişimleri görülmektedir.



Şekil 6.11 : Güneş santrali varlığında, GA ile gerçek zamanlı tarifede en az maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planı güç değişimleri.

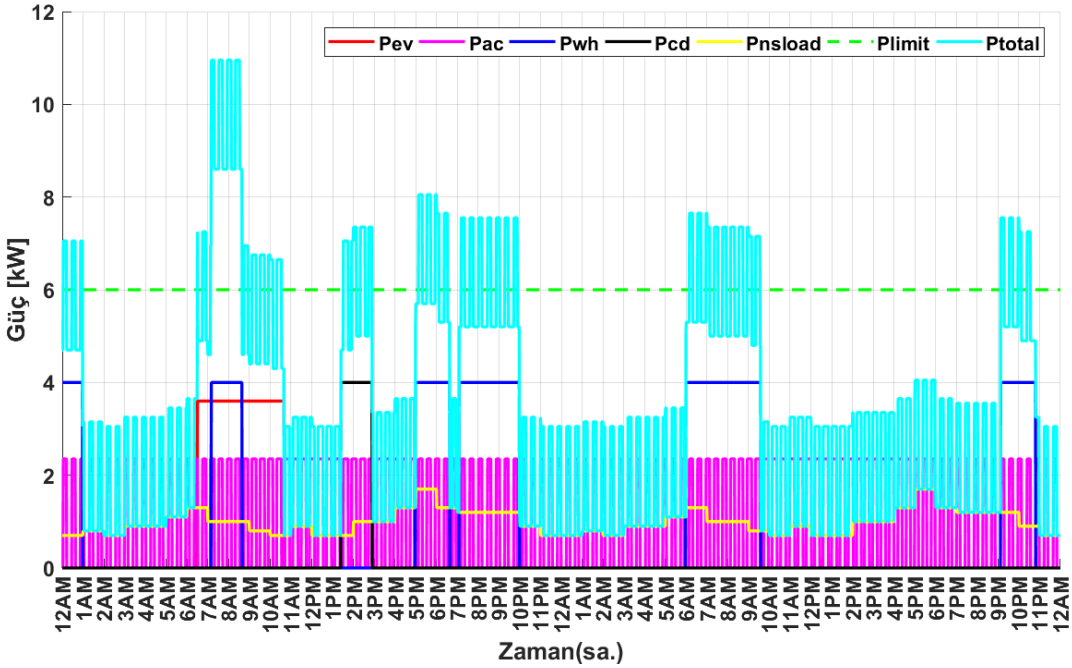
6.2.4 Isıl konforu en iyileyen yönetim modeli

(6.7)'de verilen ısıl konforu en iyileme problemin çözümünde ısıl memnuniyetsizlik yüzdesi PPD %7,5529 olarak elde edilmiştir. Bu değeri sağlamak üzere klima için

sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [21,7 21,7 21,7 21,7 21,7 21,7 21,7] °C olması gerektiği, en iyi çözüm olarak görülmüştür. Sıcak su kullanım ortalama sıcaklığı 53,3 °C bulunur. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [56,7 54,4 70 51,1 67,8 45,6 50] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 23,3 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 47,2 °C olarak elde edilmiştir. Isıl konforu sağlayan bir yönetim için sabit tarifede tüketim maliyeti 91,2120 TL. Üçlü zaman tarifede toplam tüketim maliyeti 96,5343 TL olmuştur.

$$f(x) = min \sum_{m=1}^{2880} PPD^m \, x_{AC}^m \tag{6.7}$$

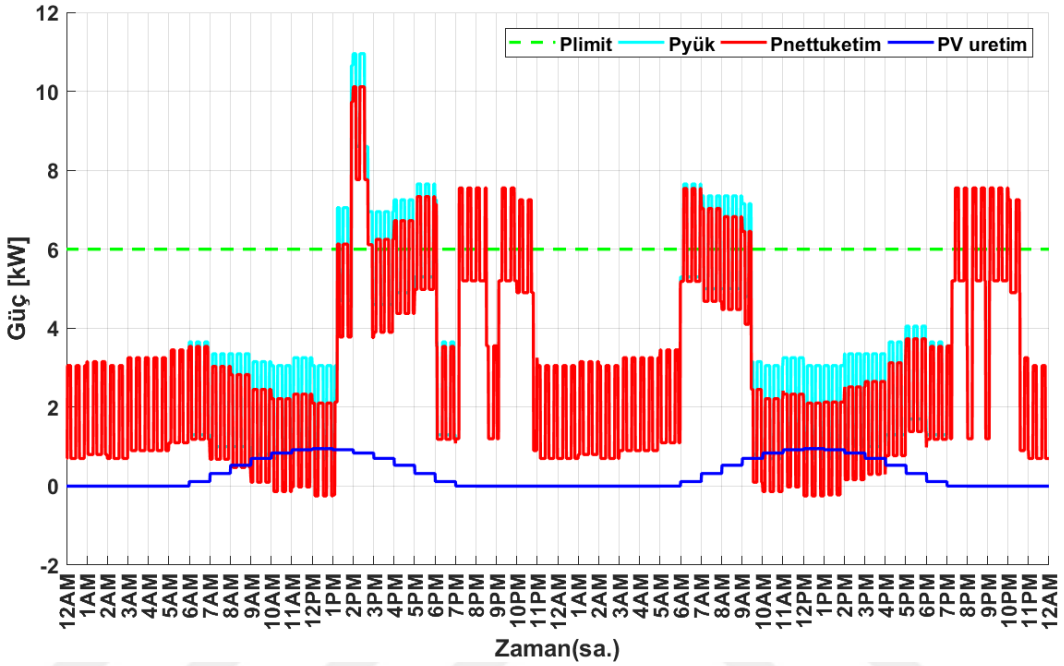
Gerçek zamanlı tarifede maliyet ise 89,8839 TL'dir. PAR 3,0979 ve eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 8859 kW olarak elde edilir. Şekil 6.12'de GA ile ısıl konforu en iyileme çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri görülmektedir.



Şekil 6.12 : GA ile ısıl konforu en iyileme durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

Farklı sistem durumu için çatıda kurulu 1 kW lık bir güce sahip güneş santralinin olduğu düşünülmüş ve böyle bir yapı için de çalışmalar yapılmıştır. Güneş santrali olması halinde ısıl konforu en iyi yapan modelde sabit tarifede ödenen tutar 76,8009 TL, üç zamanlı tarifede 82,0615 TL, gerçek zamanlı tarifede 76,3501 TL olur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 7,5529 olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su

kullanım sıcaklığı 50,3 °C olarak bulunur. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 3,4086 olarak bulunur. Kurutucunun işi tamamlama zamanı 885. dakika, elektrikli arabanın şarjını tamamlama zamanı 1086. dakikadır. Şekil 6.13'de güneş santrali varlığında, GA ile ısıl konfor en iyilemeyle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planlarına göre oluşan güç değişimleri görülmektedir.



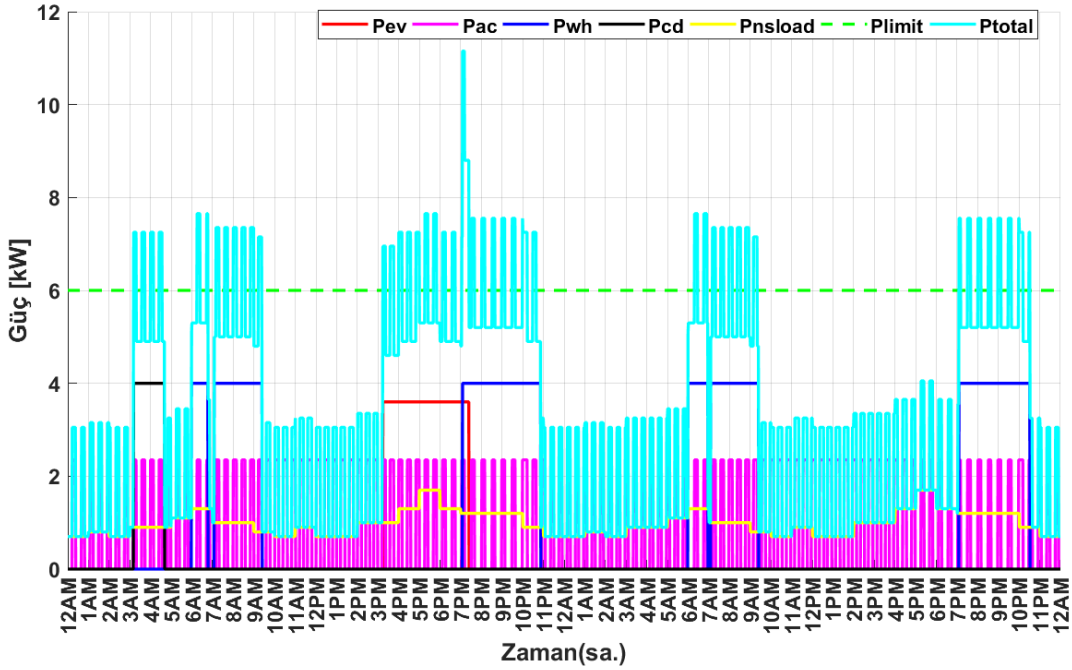
Şekil 6.13 : Güneş santrali varlığında, GA ile ısıl konfor en iyileyen durumuna özgü cihaz çalışma planı güç değişimleri.

6.2.5 Sıcak su konforunu en iyileyen yönetim modeli

(6.8)'de verilen sıcak su konforunu en iyileme problemin çözümünde suyun ortalama kullanım sıcaklığı $\theta_{\mu,h}$ kullanılan suyun ortalama sıcaklığı 59,3 °C elde edilmiştir. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [22,8 25 25 22,2 24,4 25 22,8] °C olması gerektiği, çözüm olarak görülmüştür. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [67,2 70 69,4 61,1 70 69,4 57,8] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 21,7 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 62,8 °C olarak elde edilmiştir.

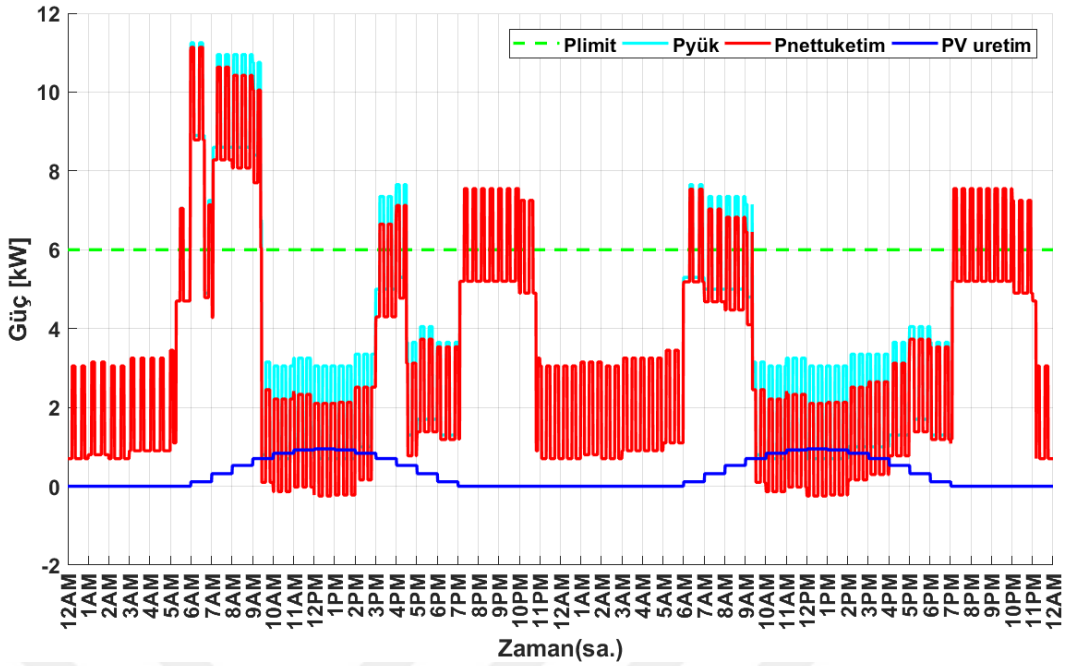
$$\left.\begin{aligned} \theta_{\mu,h} &= \bigcup_{h=1}^{H} \frac{\sum_{m=\alpha_h}^{\beta_h}\left(\theta_{outlet,h}^{m}\right)}{(\beta_h - \alpha_h)} \\ f(x) &= \max\left\{\sum_{m=1}^{M} \frac{1}{H} . \sum_{h=1}^{H} \theta_{\mu,h} \, . \, x_{WH}^{m}\right\} \end{aligned}\right\} \tag{6.8}$$

Sıcak su konforu sağlayan bir yönetim için sabit tarifede tüketim maliyeti 89,7024 TL. Üçlü zaman tarifede toplam tüketim maliyeti 96,1407 TL. Gerçek zamanlı tarifede maliyet ise 88,4323 TL. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 16,9781 olarak elde edilir. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 3,2075 olarak bulunur. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 8510 kW olarak elde edilir. Şekil 6.14'de GA ile sıcak su konforu en iyileme çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri görülmektedir.



Şekil 6.14 : GA ile sıcak su konforu en iyileme durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

Güneş santrali olması halinde sıcak su kullanım konforu en iyi yapan modelde sabit tarifede ödenen tutar 84,4909 TL, üç zamanlı tarifede 89,2175 TL, gerçek zamanlı tarifede 82,5061 TL olur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 14,0775 olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 59,4 °C olarak bulunur. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 3,4141 olarak bulunur. Kurutucunun işi tamamlama zamanı 991. dakika, elektrikli arabanın şarjını tamamlama zamanı 568. dakikadır. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 9843 kW olarak elde edilir. Şekil 6.15'de güneş santrali varlığında, GA ile gerçek zamanlı tarifede sıcak su konforunu en iyilemeye çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planlarına göre oluşan güç değişimleri görülmektedir.



Şekil 6.15 : Güneş santrali varlığında, GA ile sıcak su için konfor en iyileyen durumuna özgü cihaz çalışma planı güç değişimleri.

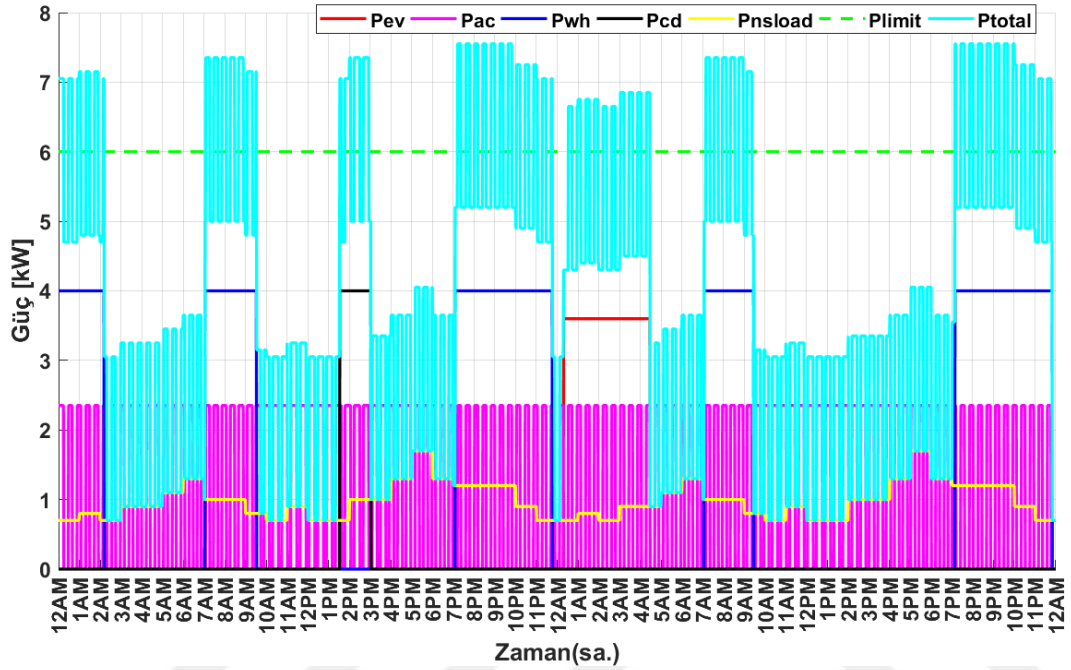
6.2.6 Talebin düzgünleşmesini en iyileyen yönetim modeli

İlgili zaman aralığında (6.9)'da verilen tüketimin en yüksek değeri ile tüketimin ortalama değerine oranını en az yapmaktır. Talebin düzgünleştirilmesini sağlayan en iyileme problemin çözümünde ısıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 10,5211, suyun ortalama kullanım sıcaklığı 58,4 °C elde edilmiştir. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [20 20 20,6 20 20,6 20 20] °C olması gerektiği, çözüm olarak görülmüştür. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [66,7 69,4 69,4 69,4 70 66,7 70] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 24,4 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 45,6 °C olarak elde edilmiştir.

$$f(x) = \min\left(\frac{max\sum_{m=\alpha_h}^{\beta_h}\left(\begin{matrix}P_{EV}^m.x_{EV}^m + P_{AC}^m.x_{AC}^m + P_{CD}^m.x_{CD}^m + P_{WH}^m.x_{WH}^m + \\ P_{nsload}^m - P_{güneş}^m\end{matrix}\right)}{mean\sum_{m=\alpha_h}^{\beta_h}\left(\begin{matrix}P_{EV}^m.x_{EV}^m + P_{AC}^m.x_{AC}^m + P_{CD}^m.x_{CD}^m + P_{WH}^m.x_{WH}^m + \\ P_{nsload}^m - P_{güneş}^m\end{matrix}\right)}\right) \quad (6.9)$$

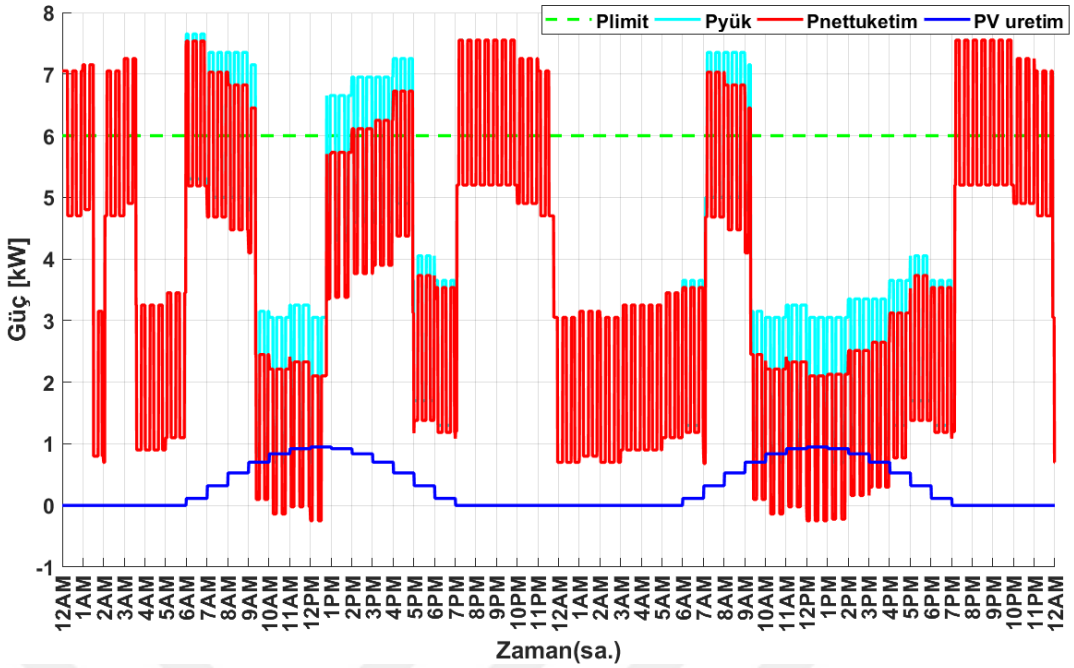
Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 1,8978 olarak bulunur. Talebin düzgünleştirilmiş halde en iyi bulunan 1,8978 değerini sağlayan bir yönetim için sabit tarifede tüketim maliyeti 102,6692 TL. Üçlü zaman tarifede toplam tüketim maliyeti 101,9903 TL. Gerçek zamanlı tarifede maliyet ise 101,1975 TL. Arabanın şarjı tamamlaması 1709.

dakika, kurutucunun işini tamamlama zamanı 903. dakika olmaktadır. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 7355 kW olarak bulunur. Şekil 6.16'de GA ile talebin düzgünleştirilmesi en iyileme çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri görülmektedir.



Şekil 6.16 : GA ile talebin düzgünleştirilmesini en iyileme durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

Güneş santrali olması halinde talebin düzgünleştirilmesinin en iyi yapan modelde sabit tarifede ödenen tutar 94,7669 TL, üç zamanlı tarifede 96,1773 TL, gerçek zamanlı tarifede 93,3049 TL olur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 10,7534 olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 58,5 °C olarak bulunur. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 2,0601 olarak bulunur. Kurutucunun işi tamamlama zamanı 215. dakika, elektrikli arabanın şarjını tamamlama zamanı 1018. dakikadır. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 8011 kW olarak elde edilir. Şekil 6.17'de güneş santrali varlığında, GA ile talebin düzgünleştirilmesi en iyileme çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planlarına göre oluşan güç değişimleri görülmektedir.

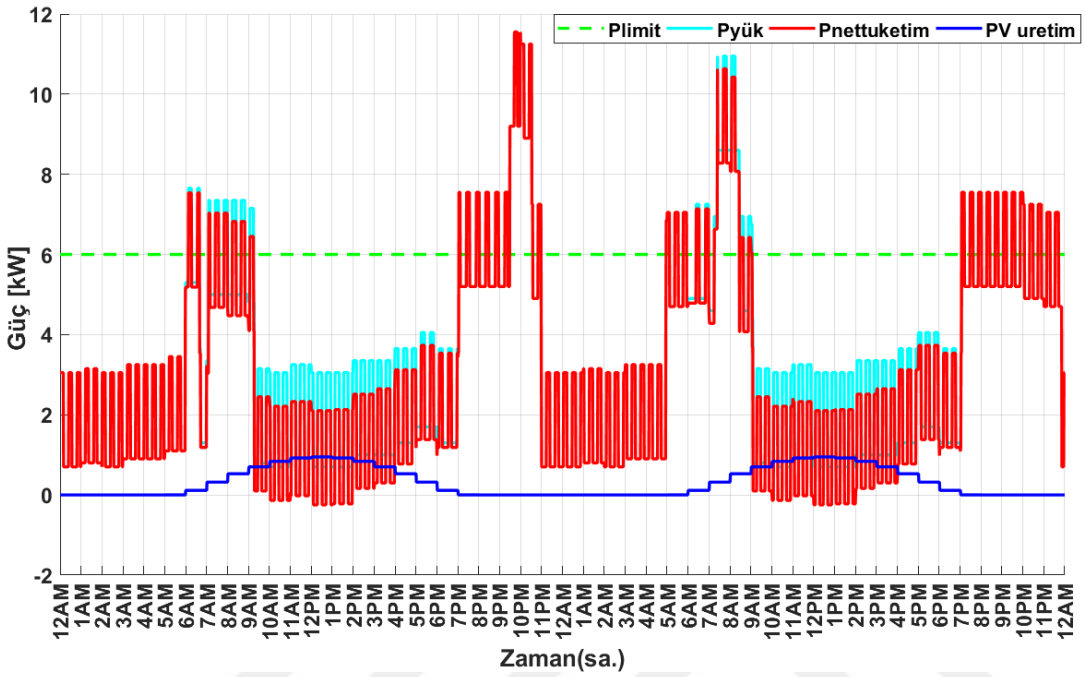


Şekil 6.17 : Güneş santrali varlığında, GA ile talebin düzgünleştirilmesini en iyileyen durumuna özgü cihaz çalışma planı güç değişimleri.

6.2.7 Kurutucu görev bitirme zamanını en iyileyen çalışma

Kurutucunun belirlenmiş görev tamamlama zamanına mümkün olduğunca en yakın bir sürede işlerini bitirmesini sağlayacak yönetim modeli oluşturulmuştur. Ev çatısında kurulu 1 kW gücünde bir güneş santrali olduğu kabul edilmiştir. Kurutucunun görevini örnek olarak saat 23.00'da tamamlayacak biçimde çalışması istenmiştir. Oluşturulan yönetim modelinde kurutucu başlama saati rastgele oluşturulur. Ayrıca güneş santralinin olmaması halinde de en iyi çözüm aranabilir. Kurutucunun çalışmaya başlama saati 1167'nci dakika, erteleme süresi 123 dakika ve işi tamamlama süresi ise 1380. dakika olarak elde edilmiştir. Elektrikli araba şarj başlama saati 1267'nci dakika olup bu süre 470 dakika ertelenmiştir. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 12,376. Klima için ayar sıcaklık değerleri [22,2 23,9 23,9 21,1 24,4 22,2 21,1] °C ve su ısıtıcı sıcaklık ayar değerleri [53,3 67,2 70 57,2 51,1 53,9 65] °C olarak bulunmuştur. Başlangıç su sıcaklığı 61,1 °C ve oda başlangıç sıcaklık değeri 25 °C olur. Bu durumda sabit tarifede tüketim değeri 80,4269 TL, üç zamanlı tarifede 83,9589 TL, gerçek zamanlı tarifede 78,3544 TL olarak bulundu. Bu değerler kurutucu dışındaki yüklerin çalışma saati ve koşullarının değişmesi ile farklı tüketim maliyetlerinin oluşmasına sebebiyet verecektir. Burada amaç en iyileme yönetim programı ile kurutucu cihazının hedeflenen bir görev tamamlama saatine uygun bir biçimde çalışmasının sağlanabildiğini göstermektir. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 3,7215 olarak

bulunur. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 9994 kW olarak elde edilir. Şekil 6.18'de güneş santrali varlığında, GA ile kurutucu görev bitiş zamanını en iyileme çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planlarına göre oluşan güç değişimleri görülmektedir.

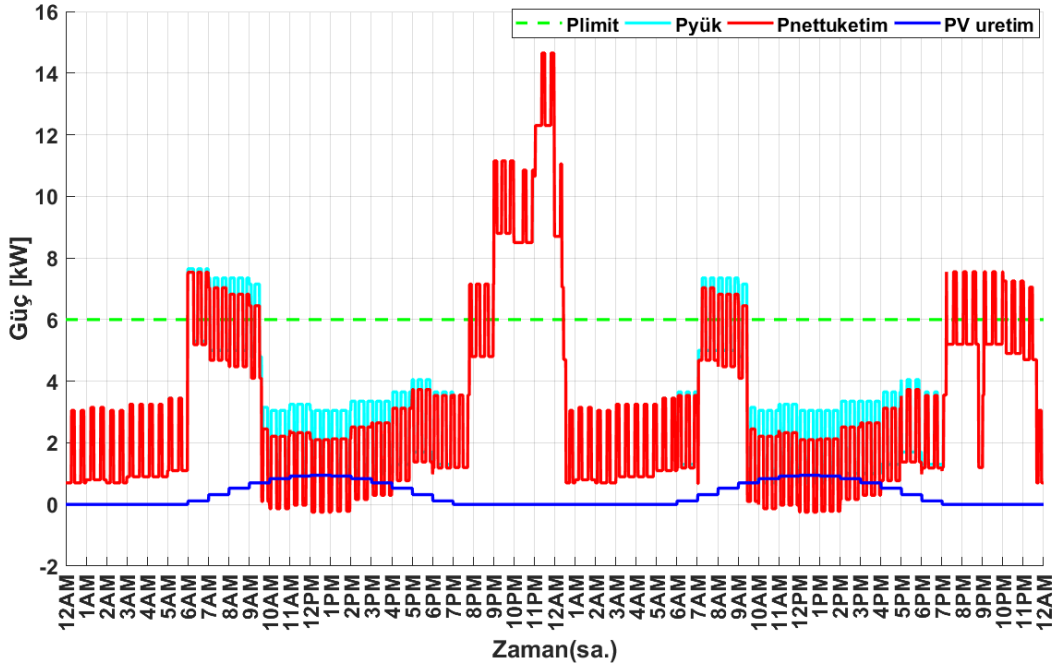


Şekil 6.18 : Güneş santrali varlığında, GA ile kurutucu görev bitiş zamanını en iyileyen durumuna özgü cihaz çalışma planı ve güç değişimleri.

6.2.8 Elektrikli araba şarj tamamlama zamanını en iyileme

Elektrikli araba şarj görevinin tamamlanma süresi için örnek olarak saat 24.00'da tamamlayacak biçimde çalışması istenmiştir. Oluşturulan yönetim modelinde kurutucu başlama saatini rastgele oluşturulur. Ayrıca güneş santralinin olmaması halinde de en iyi çözüm aranabilir. Elektrikli arabanın şarjının başlama saati 1018. dakika, erteleme süresi 172 dakika ve işi tamamlama süresi ise 1440. dakika olarak elde edilmiştir. Kurutucu başlama saati 1309'ncu dakika olup bu süre 75 dakika ertelenmiştir. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 12,4424. Klima için sıcaklık ayar değerleri [24,4 20 20 23,9 21,7 24,4 23,3] °C ve su ısıtıcı sıcaklık ayar değerleri [46,7 69,4 52,2 66,1 68,3 60 66,1] °C olarak bulunmuştur. Başlangıç sıcak su sıcaklığı 55 °C ve oda başlangıç sıcaklık değeri 22,8 °C olur. Bu durumda sabit tarifede tüketim değeri 84,7533 TL, üç zamanlı tarifede 85,6969 TL, gerçek zamanlı tarifede 82,7469 TL olarak bulundu. Bu değerler elektrikli araba dışındaki yüklerin çalışma saati ve koşullarının değişmesi ile farklı tüketim maliyetlerinin oluşmasına sebebiyet

verecektir. Burada amacımız en iyileme yönetim programı ile elektrikli arabanın şarjının hedeflenen bir görev tamamlama saatine uygun bir biçimde çalışmasının sağlanabildiğini göstermektir. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 4,4774 olarak bulunur. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 10311 kW olarak elde edilir. Şekil 6.19'da güneş santrali varlığında, GA ile elektrikli araba şarj görev bitiş zamanını en iyileme çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planlarına göre oluşan güç değişimleri görülmektedir.



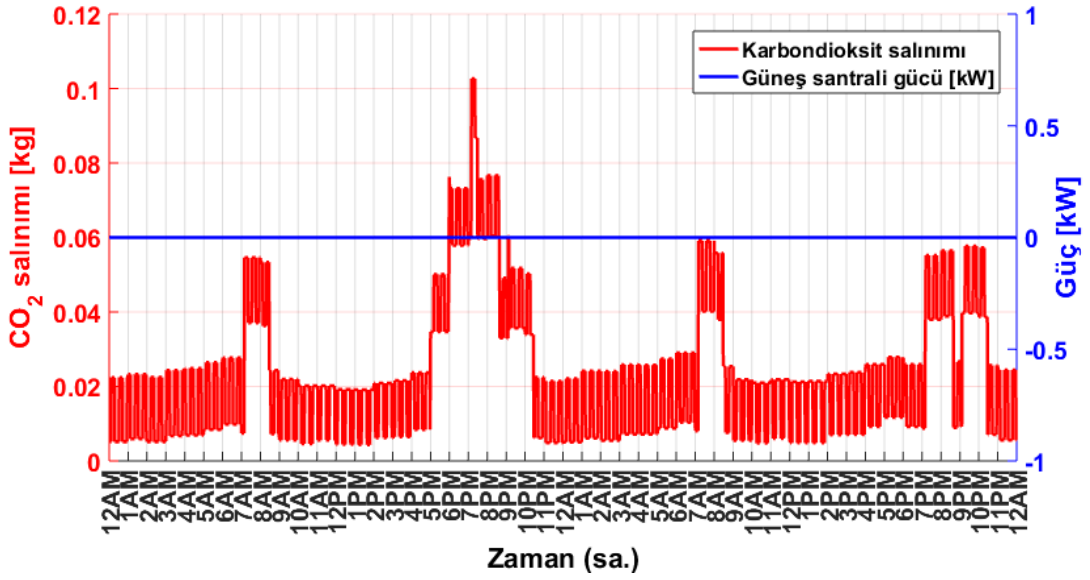
Şekil 6.19 : Güneş santrali varlığında, GA ile elektrikli araba şarj görev bitiş zamanını en iyileyen durumuna özgü cihaz çalışma planı güç değişimleri.

6.2.9 Karbondioksit salınımını en iyileme

(6.10)'da verilen ilgili zaman aralığında, elektrik tüketimi kaynaklı karbondioksit salınımı en az olacak şekilde yüklerin çalışmasının planlaması amaçlanır. Gün öncesi piyasası elektrik üretim kaynaklarına göre planlanan karbondioksit anlık değeri $CO2_m$, her bir dakikalık çözüm aralığı Δm için yük A_j'nin çalışması $x_{A_j}^m$ karar değişkenin ikili değeri ile sağlanır. Karar değişken değeri 1 ise cihaz çalışır aksi halde çalışması ya kesintiye uğrar ya da ertelenir. Karbondioksit salınım değerlerinin üretilmesiyse Bölüm 4'de ayrıntılı sunulmuştur.

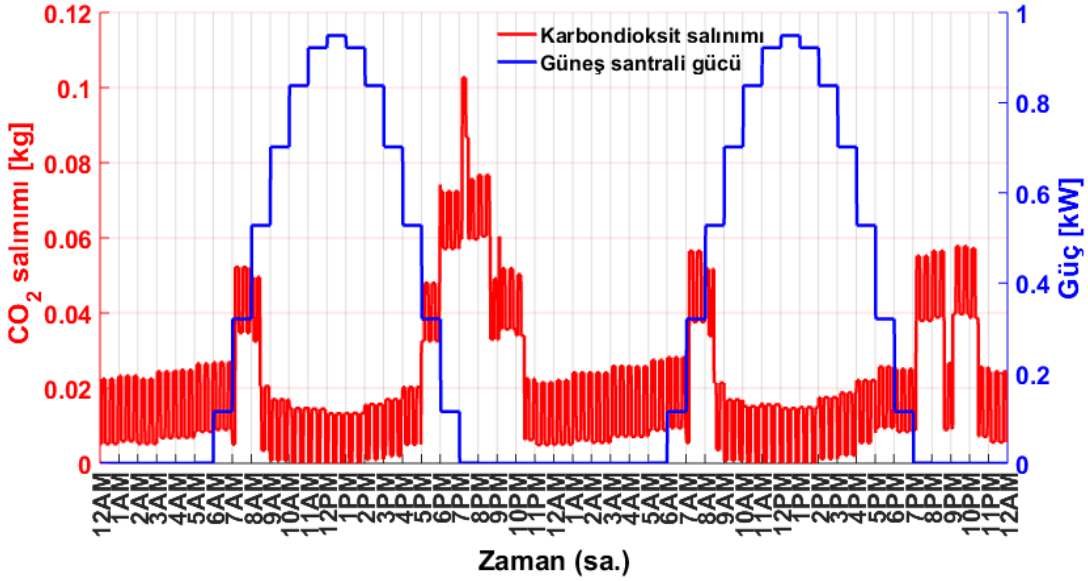
$$f(x) = min\left\{\sum_{m=1}^{M} \Delta m.CO2_m.(P_{EV}^m.x_{EV}^m + P_{AC}^m.x_{AC}^m + P_{CD}^m.x_{CD}^m + P_{WH}^m.x_{WH}^m + P_{nsload}^m - P_{güneş}^m)\right\} \quad (6.10)$$

Evde güneş santrali durumuna göre farklı en iyilemeler yapılmıştır. Güneş santrali olmayan bir evde; elektrik araba şarjının saat 17'de, çamaşır kurutucunun saat 18'de çalışmaya başlaması, oda başlangıç sıcaklığının 20 °C, termosifondaki sıcak suyun başlangıç sıcaklığının 47,8 °C olduğu bir temel senaryo için klima sıcaklık ayar değerleri [20 20 20 20 20 20 20] °C, termosifon ayar değerleri [47,8 47,8 47,8 47,8 47,8 47,8 47,8] °C seçilidir. Arabanın şarjı için 250 dakika, kurutucu program süresi 90 dakika seçilmiştir. En az karbon salınımı yapacak şekilde yapılan en iyileme öncesi güç profili Şekil 6.1'de görülmektedir. İki günlük çalışma durumu için sabit tarifede 85,5492 TL maliyet oluşmuştur. Isıl konfor %11,1582 olurken sıcak su ortalama kullanım sıcaklığı 43 °C bulunmuştur. Talebin düzgünleşme oranı 4,5696 olarak gerçekleşmiştir. Güneş santralsiz evde karbondioksit salınım durumu Şekil 6.20'de verilmiştir. Elektrik tüketimi kaynaklı CO_2 salınım toplamı 67,9977 kg olmuştur.



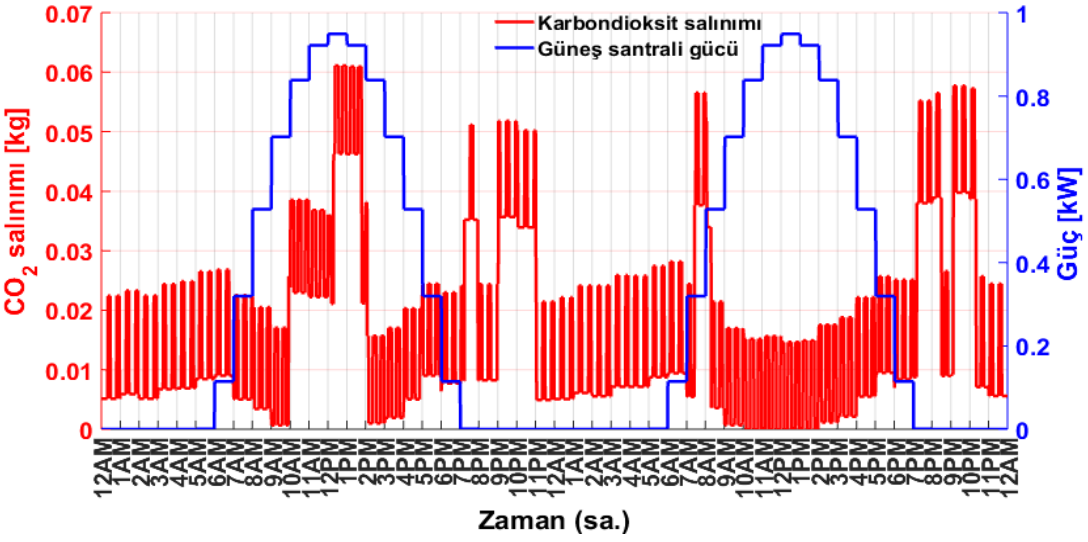
Şekil 6.20 : En iyileme öncesi karbondioksit salınımının değişimi.

Güneş santrali olması halinde temel senaryoda sabit tarife maliyeti 77,4056 TL olmaktadır. Karbondioksit salınım durumu Şekil 6.21'de verilmiş olup salınım toplamı güneş santrali varlığı nedeniyle 61,8168 kg değerine inmiştir.



Şekil 6.21 : Güneş santrali olan evde en iyileme öncesi karbondioksit salınımının değişimi.

Güneş santrali olan evde en az karbondioksit salınımı gerçekleşmesi için Genetik Algoritma ile en iyileme yapılmıştır. Sabit tarife tutarı 63,947 TL olmuştur. Toplam salınan karbondioksit miktarı 50,4841 kg değerine gerilemiştir. Elektrikli araba şarjı başlama saati 184. dakika olup 412 dakikalık bir ertelemeye sahiptir. Kurutucu 638.dakikada başlamış ancak çalışması 101 dakika ertelenmiştir. Isıl konfor %21,1091 olurken ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 45,2 °C elde edilmiştir. Talebin düzgünleşme oranı 3,9361 değerine gerilemiştir. En iyilenen karbondioksit salınım durumu Şekil 6.22'de sunulmuştur.



Şekil 6.22 : Güneş santrali olan evde en iyileme sonrası karbondioksit salınımının değişimi.

6.3 Genetik Algoritma ile Çoklu Amaç En İyileme Çalışmaları

Çoklu en iyileme probleminin çözümünde baskın olmayan sıralamalı Genetik Algoritma (Non-Dominating Sorting Genetic Algorithm, NSGA) kullanılmıştır. MATLAB'da yazılan algoritmayla NSGA yapısında öncelikle rastgele bir başlangıç popülasyonu oluşturulur. Amaç fonksiyon değeri, popülasyonun her bir elemanı (kromozomlar) için hesaplanır. Baskınlanan elemanları tutan küme başlangıçta boştur. Popülasyonda her bir koromozomun bulunduğu yer ve amaç değerleri için sıra (rank), baskınlama kümesi (domination set), baskınlama sayısı (dominated count) ve kalabalık uzaklığı (crowding distance) değerlerini tutan ve başlangıç değeri sıfır olan değişken tanımlamaları yapılır [159-160].

Çözümlerin yer aldığı Pareto sınırı için başlangıçta hiç bir eleman olmayacak şekilde bir sınır kümesi tanımlanır. Sonra popülasyon içindeki her eleman diğer elemanlarla baskın olup olmadıklarını belirlemek üzere karşılaştırılır. Baskınlık için ele alınan iki elemanın maliyet değerleri karşılaştırılır. Bu karşılaştırma örneğin en küçük değere ulaşılma problemi için ise ele alınan birinci elemanın maliyet değeri ele alınan ikinci elemanın tüm değerlerinden küçük olmalı yani birinci elemanın maliyet değeri ikinci elemanın herhangi bir değerinden küçük olmalıdır. Eğer bu koşulları birinci eleman ikinci eleman ile karşılaştırıldığında sağlıyorsa bu durumda birinci eleman ikinci elemana baskındır denir. Birinci elemanın bulunduğu yerde baskınlık kümesine ikinci elemanın ismi yani "2" yazılır. Ayrıca ikinci eleman, birinci eleman tarafından baskınlandığından dolayı ikinci elemanın olduğu satırda yer alan baskınlanma sayısı değişkeninin değeri de bir arttırılır. Başlangıçta bu değişken değeri sıfır olduğu için değer bu durumda bir olur. Eğer birinci eleman ikinci elemanı baskınlamamışsa bu kez ikinci elemanın birinci elemanı baskılayıp baskınlamadığına bakılır. İkinci eleman birinci elemanı baskınlamışsa bu durumda baskınlama kümesine "1" yazılır. Birinci elemanın olduğu satırdaki baskınlanma sayısını tutan değişken değeri bir arttırılır. Başlangıçta sıfır olduğundan değeri bir olur. Birinci elemanı tüm diğer popülasyon elemanları ile karşılaştırır sonrasında sıra (rank) atama işlemine başlanır. İkinci elemanın tüm diğer elemanlarla karşılaştırılması öncesinde hepsinin sıra değeri (rankını) atamış olunur. Burada birinci elemanın baskınlanma sayısı sıfır ise bunun anlamı birinci elemanı baskınlayan hiçbir eleman olmadığı diğer bir deyişle bu popülasyondaki en iyi maliyet değerine sahip olduğudur. En iyi maliyet değerine sahip eleman ilk sırada yer alması gerektiğinden onun sıra (rank) değerine bir atılır. Sonra

tekrar ikinci elemanı popülasyonun diğer elemanları ile karşılaştırır, baskınlık kümesi ve baskınlanma sayıları elde edilir. Sonra ikinci elemanın baskınlanma sayısının sıfır olup olmadığına bakar, baskınlanma sayısı sıfır ise ikinci elemanı da ilk Pareto sınırda olacak şekilde kümeye iki değeri de yazılır. Tüm bu karşılaştırmalar sonucunda popülasyon içinde baskınlanmayan elemanların yer aldığı bir F {1} yani ilk Pareto sınırı kümesi oluşumu tamamlanmış olur [159-160].

Şüphesiz F {1} yani ilk Pareto kümesinde yer almayan popülasyon elemanlarının da birbirine göre daha iyi maliyet değerine sahip elemanları olabilir. Bunların da maliyet değerinin en iyilik durumuna göre gruplanması gerekir. Bunu yapmak için başlangıçta Q ile tanımladığımız ve başlangıçta içinde hiçbir eleman olmayan bir küme tanımlayarak işleme başlanır. İlk bulunan F {1} içindeki ilk eleman alınır. Bu elemanın bulunduğu yer ve maliyet değeri bir p değişkenine atanır. Bu p ile tutulan i. elemanın baskınladığı elemanların her biri için değerleri sırayla q isimli bir değişkene atanır. Sonra i. elemanın baskınladığı j. elemanın baskınlanma sayısı bir azaltılır. Eğer bu j. eleman için yukarıda söz edilen işlem sonrası baskınlanma sayısı sıfır olursa bu durumda Q ile tanımlanan kümeye bu elemanın ismi j yazılır. Rank değeri ise bir artar. Örneğin başlangıçta bir ise rank değeri 2 olur. Bunun anlamı baskınlanmayan ikinci (veya bir sonraki) Pareto sınırdaki elemanının bu şekilde bulunduğudur. Yani burada yapılan işlem baskınlanmayan F {1} içinde yer alan elemanlar popülasyondan ayrıştırılırken diğer baskınladığı elemanların baskınlanma sayılarının da birer azaltılmasıdır. Q içinde bulunan elemanlar bu sayede (k+1). Pareto sınıra atanır. Bu işlem Q içinde hiçbir elemanın olmadığı diğer bir deyişle baskınlanan eleman sayısı değeri sıfır olana kadar yeni Pareto sınırlar oluşur. Her yeni Pareto sınır oluşumunda Q kümesi başlangıçta boştur. Tüm Pareto sınırlar oluşturulmuş ve rank değerleri de bu Pareto sınırdaki elamanlara atanmış olur. Baskınlanan eleman sayısı sıfır olduğu için şimdi kalabalık uzaklıkları hesaplanır.

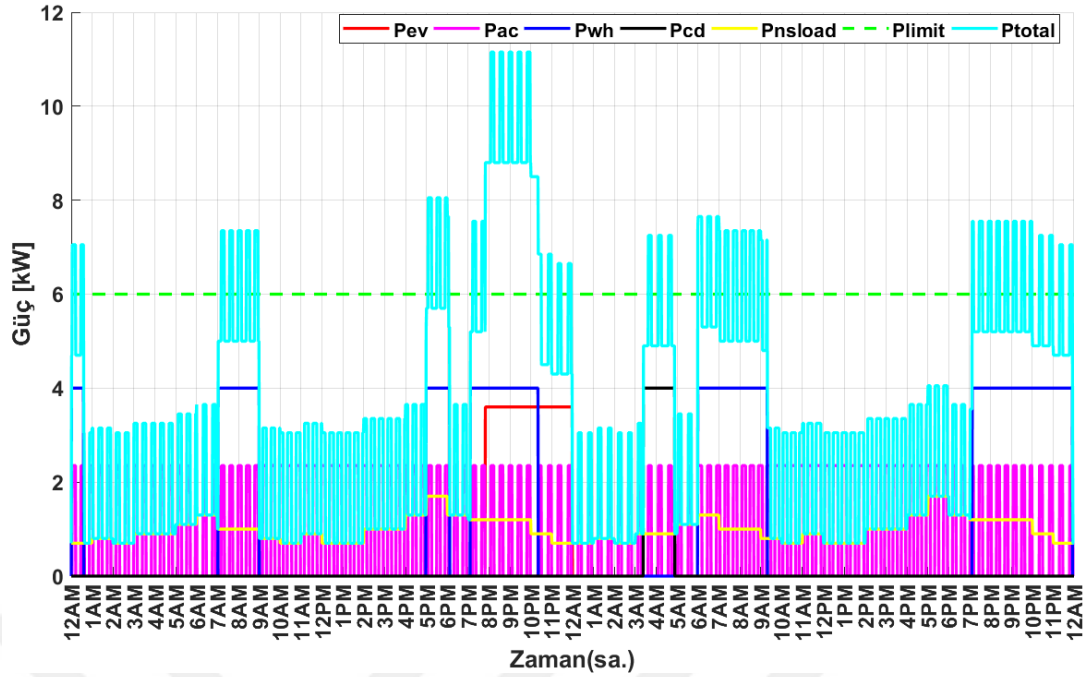
Kalabalık uzaklığı hesaplanırken öncelikle kaç tane Pareto sınır olduğu bulunur [159-160]. Sonra her bir Pareto sınır için maliyet değerleri alınır. İlgili elemanın maliyet değerinin arasında bulunduğu değer farkının en iyi ve en kötü değerler farkına oranı bulunur. Bu şekilde tüm Pareto sınırlar için kalabalık uzaklığı hesaplaması yapılır. Bu değerler en büyükten en küçüğe olacak şekilde dizilir. Sonra popülasyon ranklarına göre sıralanır. Sonra NSGA için ana döngü programı başlatılır. Bu döngüde popülasyon çaprazlama ve mutasyona tabi tutulur. Bu yeni popülasyon elemanlar için

yine baskınlık yani Pareto sınırları bulunur. Ardından kalabalık uzaklık değerleri bulunur. Sonra kalabalık uzaklığına göre popülasyon elemanları sıralanır. Yine rank sırasına göre tekrar sıralanır. Popülasyon sayısı başlangıçta öngörülen büyüklükte olması için budanır. Yani eleman sayısı başlangıçtaki popülasyon sayısı olacak kadarki kısım alınır. Bu alınan popülasyon tekrar baskınlık durumuna göre dizlir ve Pareto sınırlar elde edilir. Buna uygun biçimde kalabalık uzaklıklar hesaplanır. Kalabalık uzaklık ve ranka göre sıralanır. Bu işlem uygunluk kriteri sağlanana kadar veya yineleme sayısı tamamlana kadar devam eder. NSGA ile bulunan en iyi çözüm ilk Pareto sınırındaki elemanların yeri ve maliyet değeridir.

6.3.1 Sabit tarifede çoklu amaç en iyileme

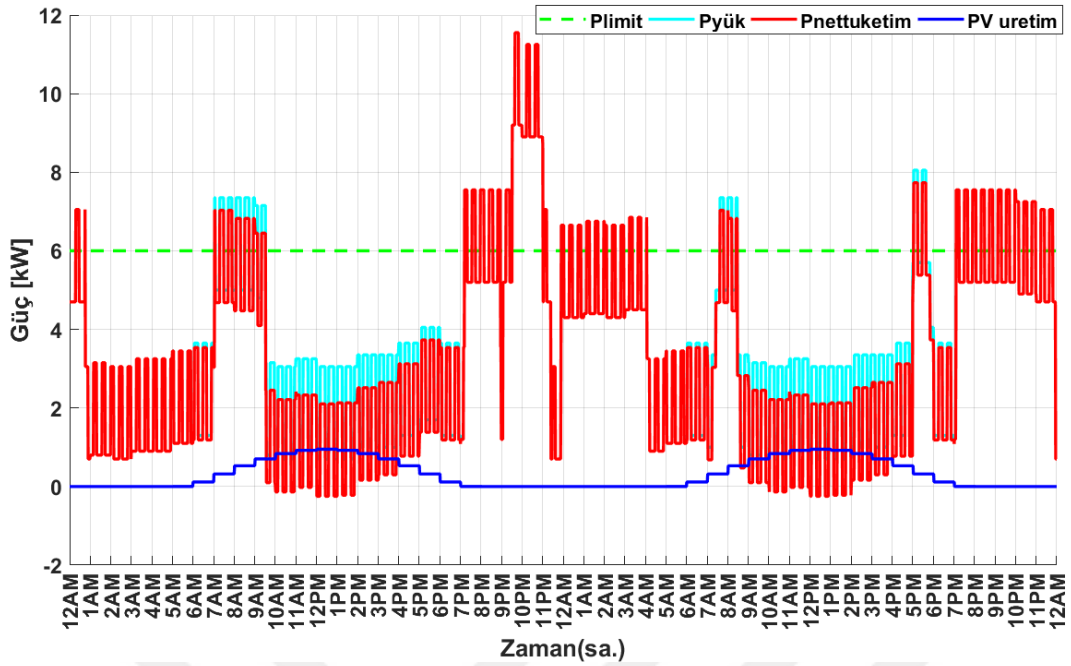
Güneş güç santrali olmayan bir evde sabit tarifede en az tutarla (obj1), oda sıcaklığından elde edilen en az ısıl konfor memnuniyetsizliği (obj3), talebin olası bir güç sınırından en az sapacak biçimde karşılanması (obj6), talebin mümkün olduğunca düzgünleştirilerek sağlanması (obj7), kurutucunun saat 23.00 civarından en az saparak görevini tamamlaması (obj8), elektrikli arabanın şarjının ise saat 24.00 civarından en az uzaklaşılarak sağlanması (obj9), en yüksek sıcak su kullanım sıcaklığı (obj4) elde edecek şekilde tanımlanmış bir çoklu en iyileme çalışması yapılmıştır.

Elde edilen çözümde sabit tarifede bulunan maliyet 94,0841 TL, üç zamanlı tarifede tüketim maliyeti 99,6670 TL, gerçek zamalı tarifede tüketim maliyeti 92,4515 TL, ısıl konfor memnuniyetsizlik PPD değeri 12,9491, olası 6 kW güç sınırından olan güç sapmaları toplamı 8830 kW, PAR değeri 3,0581, kurutucunun görevi tamamlama zamanı sapması 354 dakika, arabanın şarj tamamlama zamanı sapması sıfır dakika ve sıcak su kullanım değeri 54,3 °C. Araba 1150. dakikada 40 dakika erteleme ile başlar. Kurutucu 1410. dakikada 234 dakika ertelemeyle başlar. Oda başlangıç sıcaklığı 23,3 °C, sıcak su ilk sıcaklığı 45,6 °C, klima ayar değeri [21,7 24,4 23,3 24,4 22,8 22,2 24,4] °C ve su ısıtıcı ayar değerleri [51,1 55,6 66,1 55 66,7 65 70] °C. Şekil 6.23'de GA ile sabit tarifede çoklu amaç en iyileme durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri görülmektedir.



Şekil 6.23 : Sabit tarifede çoklu amaç en iyileme durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

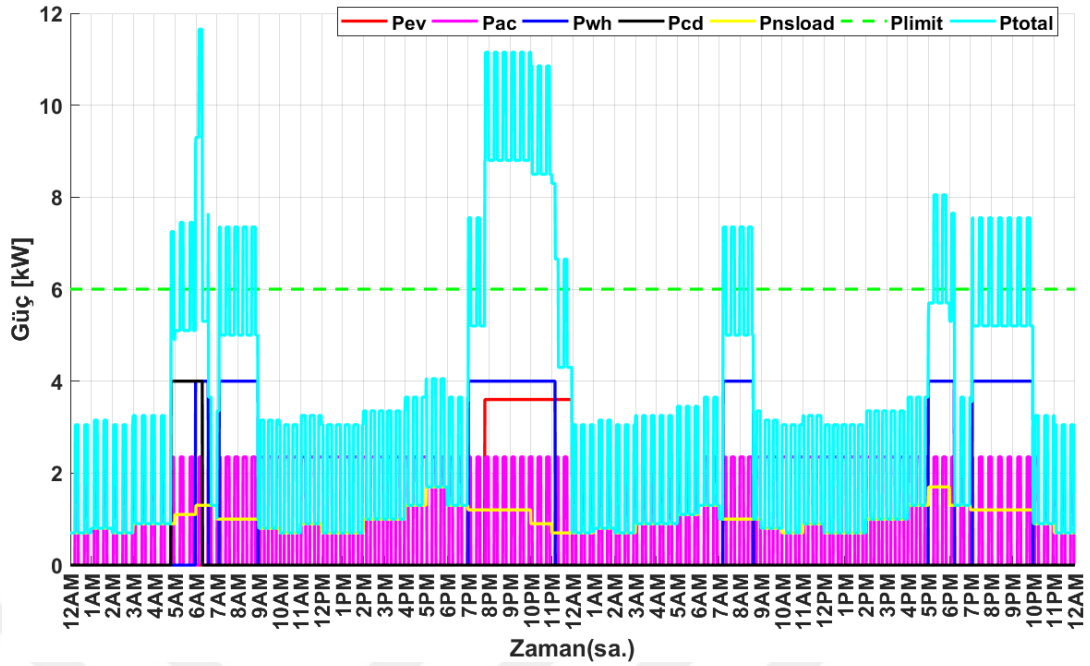
Güneş santrali olan bir evde sabit tarifede en az tutarla (obj1), oda sıcaklığından en az ısıl konfor memnuniyetsizliği (obj3), talebin olası bir güç sınırından en az sapacak biçimde (obj6), talebin mümkün olduğunca düzgünleştirilerek (obj7), kurutucunun saat 23.00 civarından en az saparak görevini tamamlaması (obj8), elektrikli arabanın şarjının ise saat 24.00 civarından en az uzaklaşılarak sağlanması (obj9), en yüksek sıcak su kullanım sıcaklığı (obj4) şeklinde tanımlanmış çoklu en iyilemeler yapılmıştır. Elde edilen çözümde sabit tarifede bulunan maliyet 87,0189 TL, ısıl konfor memnuniyetsizlik PPD değeri 8,5128, olası 6 kW güç sınırından olan güç sapmaları toplamı 9218 kW, PAR değeri 3,4357, kurutucunun görevi tamamlama zamanı sapması 2 dakika, arabanın şarj tamamlama zamanı sapması 245 dakika ve sıcak su kullanım değeri 56 °C. Araba 1246. dakikada 189 dakika erteleme ile başlar. Kurutucu 1084. dakikada 208 dakika ertelemeyle başlar. Oda başlangıç sıcaklığı 20 °C, sıcak su ilk sıcaklığı 59,4 °C, klima ayar değeri [22,8 21,1 20,6 22,8 21,1 21,1 20,6] °C ve su ısıtıcı ayar değerleri [66,7 69,4 62,2 65 55,6 63,3 69,4] °C. Şekil 6.24'de güneş santrali varlığında, GA ile sabit tarifede çoklu amaç en iyileme durumuna özgü cihaz çalışma planlarına göre oluşan güç değişimleri görülmektedir.



Şekil 6.24 : Güneş santrali mevcut ev için sabit tarifede çoklu amaç en iyileme durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

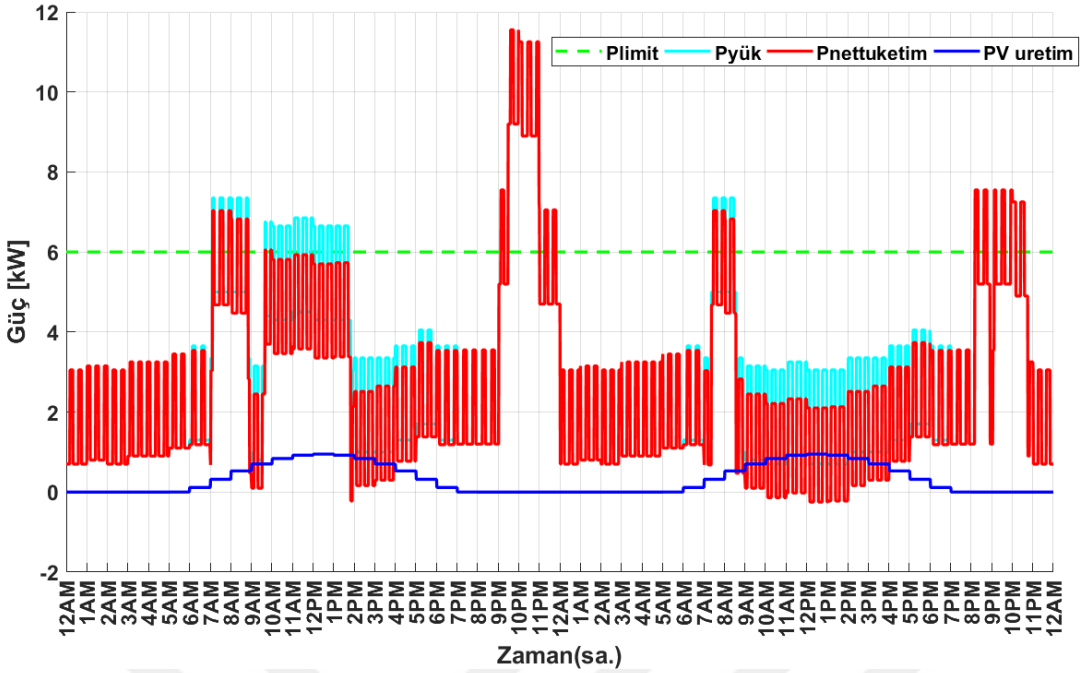
6.3.2 Üç zamanlı tarifede çoklu amaç en iyileme

Güneş güç santrali olmayan bir evde üç zamanlı tarifede en az tutarla (obj1), oda sıcaklığından en az ısıl konfor memnuniyetsizliği (obj3), talebin olası bir güç sınırından en az sapacak biçimde (obj6), talebin mümkün olduğunca düzgünleştirilerek (obj7), kurutucunun saat 23.00 civarından en az saparak görevini tamamlaması (obj8), elektrikli arabanın şarjının ise saat 24.00 civarından en az uzaklaşılarak sağlanması (obj9), en yüksek sıcak su kullanım sıcaklığı (obj4) şeklinde tanımlanmış çoklu en iyileme çalışması yapılmıştır. Elde edilen çözümde üç zamanlı tarifede bulunan maliyet 94,9853 TL, ısıl konfor memnuniyetsizlik PPD değeri 12,0454, olası 6 kW güç sınırından olan güç sapmaları toplamı 9732 kW, PAR değeri 3,4203, kurutucunun görevi tamamlama zamanı sapması 1000 dakika, arabanın şarj tamamlama zamanı sapması 1 dakika ve sıcak su kullanım değeri 54,2 °C. Araba 1153. dakikada 36 dakika erteleme ile başlar. Kurutucu 140. dakikada 150 dakika ertelemeyle başlar. Oda başlangıç sıcaklığı 22,8 °C, sıcak su ilk sıcaklığı 54,4 °C, klima ayar değeri [23,9 23,9 22,8 22,8 23,3 23,9 22,8] °C ve su ısıtıcı ayar değerleri [53,9 60 65 61,1 56,7 68,3 46,1] °C. Şekil 6.25'de GA ile üç zamanlı tarifede çoklu amaç en iyileme durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri görülmektedir.



Şekil 6.25 : Üç zamanlı tarifede çoklu amaç en iyileme durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

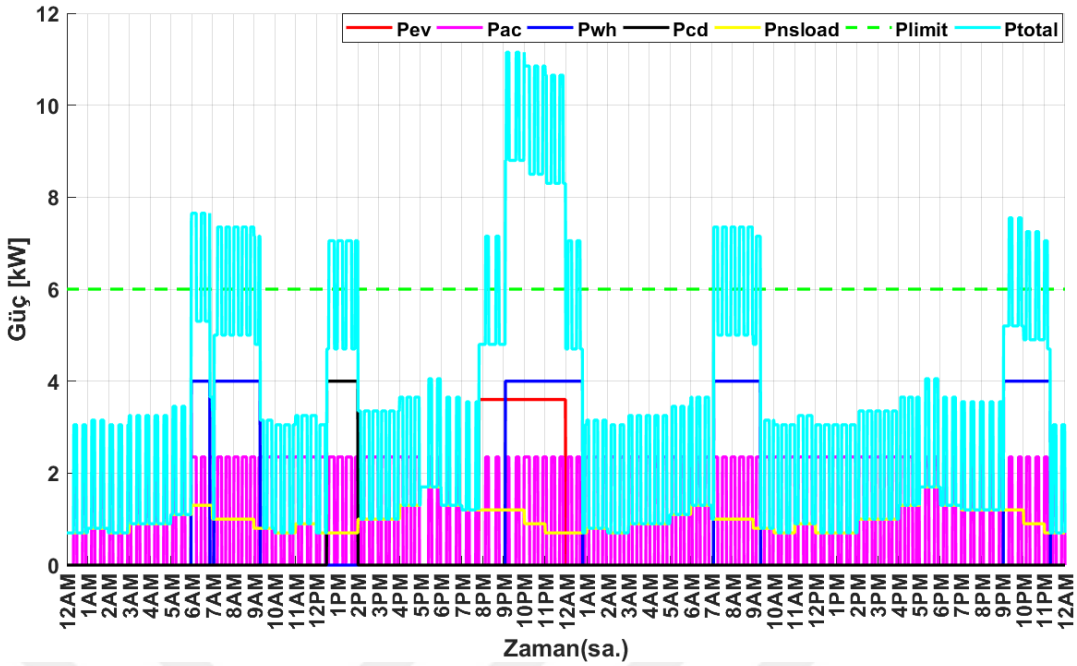
Güneş güç santrali olan bir evde üç zamanlı tarifede en az tutarla (obj1), oda sıcaklığından en az ısıl konfor memnuniyetsizliği (obj3), talebin olası bir güç sınırından en az sapacak biçimde (obj6), talebin mümkün olduğunca düzgünleştirilerek (obj7), kurutucunun saat 23.00 civarından en az saparak görevini tamamlaması (obj8), elektrikli arabanın şarjının ise saat 24.00 civarından en az uzaklaşılarak sağlanması (obj9), en yüksek sıcak su kullanım sıcaklığı (obj4) şeklinde tanımlanmış çoklu en iyilemeler yapılmıştır. Elde edilen çözümde üç zamanlı tarifede bulunan maliyet 71,7536 TL, ısıl konfor memnuniyetsizlik PPD değeri 13,0336, olası 6 kW güç sınırından olan güç sapmaları toplamı 10440 kW, PAR değeri 4,1953, kurutucunun görevi tamamlama zamanı sapması sıfır dakika, arabanın şarj tamamlama zamanı sapması 549 dakika ve sıcak su kullanım değeri 46,5 °C. Araba 523. dakikada 58 dakika erteleme ile başlar. Kurutucu 1118. dakikada 172 dakika ertelemeyle başlar. Oda başlangıç sıcaklığı 22,2 °C, sıcak su ilk sıcaklığı 59,4 °C, klima ayar değeri [22,8 24,4 23,9 22,2 23,9 23,3 20,6] °C ve su ısıtıcı ayar değerleri [52,8 58,3 45,6 59,4 53,9 45,6 49,4] °C. Şekil 6.26'da güneş santrali varlığında, GA ile üç zamanlı tarifede çoklu amaç en iyileme durumuna özgü cihaz çalışma planlarına göre oluşan güç değişimleri görülmektedir.



Şekil 6.26 : Güneş santrali mevcut ev için üç zamanlı tarifede çoklu amaç en iyileme durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

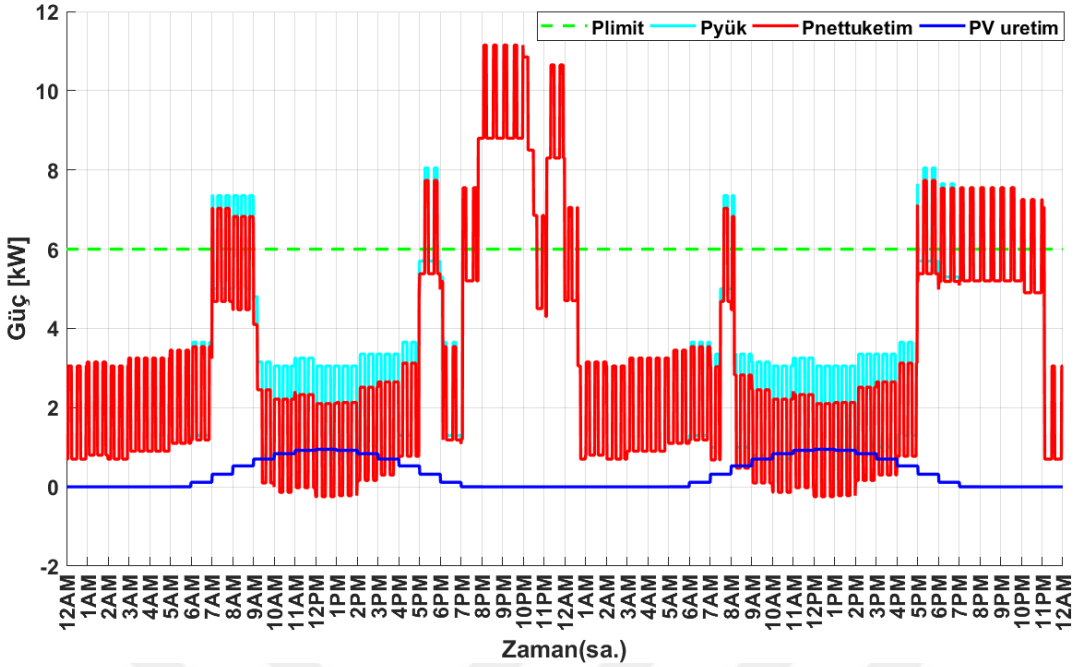
6.3.3 Gerçek zamanlı tarifede çoklu amaç en iyileme

Güneş santrali olmayan bir evde gerçek zamanlı tarifede en az tutarla (obj1), oda sıcaklığından en az ısıl konfor memnuniyetsizliği (obj3), talebin olası bir güç sınırından en az sapacak biçimde (obj6), talebin mümkün olduğunca düzgünleştirilerek (obj7), kurutucunun saat 23.00 civarından en az saparak görevini tamamlaması (obj8), elektrikli arabanın şarjının ise saat 24.00 civarından en az uzaklaşılarak sağlanması (obj9), en yüksek sıcak su kullanım sıcaklığı (obj4) şeklinde tanımlanmış çoklu en iyilemeler vardır. Elde edilen çözümde gerçek zamanlı tarifede bulunan maliyet 86,8353 TL, ısıl konfor memnuniyetsizlik PPD değeri 11,0548, olası 6 kW güç sınırından olan güç sapmaları toplamı 9402 kW, PAR değeri 3.2479, kurutucunun görevi tamamlama zamanı sapması 539 dakika, arabanın şarj tamamlama zamanı sapması 0 dakika ve sıcak su kullanım değeri 53,6 °C. Araba 1122. dakikada 68 dakika erteleme ile başlar. Kurutucu 633. dakikada 118 dakika ertelemeyle başlar. Oda başlangıç sıcaklığı 20 °C, sıcak su ilk sıcaklığı 59,4 °C, klima ayar değeri [23,3 20,6 25 20,6 21,1 23,9 22,8] °C ve su ısıtıcı ayar değerleri [47,2 67,8 47,2 69,4 68,9 51,1 55,6] °C. Şekil 6.27'de GA ile gerçek zamanlı tarifede çoklu amaç en iyileme durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri görülmektedir.



Şekil 6.27 : Gerçek zamanlı tarifede çoklu amaç en iyileme durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

Güneş güç santrali olan bir evde gerçek zamanlı tarifede en az tutarla (obj1), oda sıcaklığından en az ısıl konfor memnuniyetsizliği (obj3), talebin olası bir güç sınırından en az sapacak biçimde (obj6), talebin mümkün olduğunca düzgünleştirilerek (obj7), kurutucunun saat 23.00 civarından en az saparak görevini tamamlaması (obj8), elektrikli arabanın şarjının ise saat 24.00 civarından en az uzaklaşılarak sağlanması (obj9), en yüksek sıcak su kullanım sıcaklığı (obj4) şeklinde tanımlanmış çoklu en iyileme çalışması yapılmıştır. Elde edilen çözümde gerçek zamanlı tarifede bulunan maliyet 82,9664 TL, ısıl konfor memnuniyetsizlik PPD değeri 11,5176, olası 6 kW güç sınırından olan güç sapmaları toplamı 10013 kW, PAR değeri 3,4269, kurutucunun görevi tamamlama zamanı sapması 99 dakika, arabanın şarj tamamlama zamanı sapması 1 dakika ve sıcak su kullanım değeri 54,4 °C. Araba 1137. dakikada 54 dakika erteleme ile başlar. Kurutucu 1321. dakikada 68 dakika ertelemeyle başlar. Oda başlangıç sıcaklığı 23,3 °C, sıcak su ilk sıcaklığı 54,4 °C, klima ayar değeri [22,2 21,1 25 21,7 21,7 25 25] °C ve su ısıtıcı ayar değerleri [47,2 59,4 70 57,8 47,8 69,4 62,8] °C. Şekil 6.28'de güneş santrali varlığında, GA ile gerçek zamanlı tarifede çoklu amaç en iyileme durumuna özgü cihaz çalışma planlarına göre oluşan güç değişimleri görülmektedir.



Şekil 6.28 : Güneş santrali mevcut ev için gerçek zamanlı tarifede çoklu amaç en iyileme durumuna özgü cihaz çalışma planı güç değişimleri.

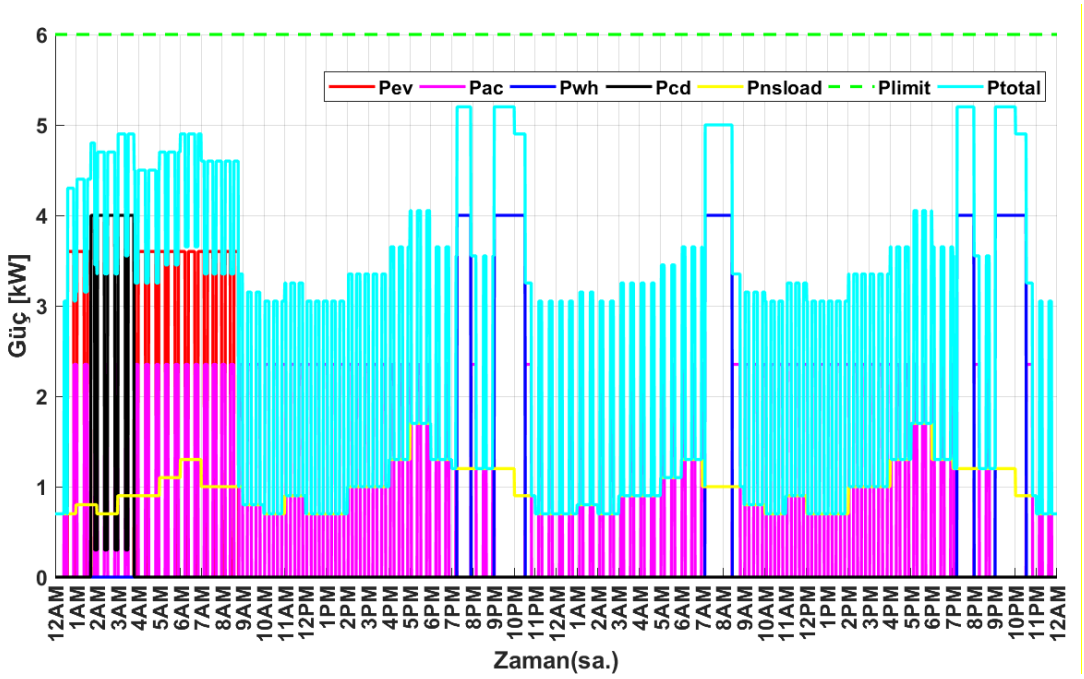
6.4 Genetik Algoritma ile Öncelikleme Temelli Yönetimde En İyilemeler

Öncelik temelli yönetimler için Genetik Algoritmalar kullanılarak çeşitli en iyilemeler yapılmıştır. Öncelik temelli yönetimlerde güç sınırının aşılmaması 0/1 sırt çantası problemi olarak ele alınarak çözülmüştür. Statik ve dinamik öncelikleme temelli yönetimlerle güç sınırı aşılmadan çeşitli en iyilemeler yapılmıştır.

6.4.1 Statik önceliklemeli yönetimde sabit tarife tutarı en iyileme

(6.6) ile verilen problemin çözümü statik önceliklemeli yönetim için gerçekleştirilmiştir. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 11. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 27 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden çamaşır kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 81. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CD,shift}$, 24 dakika olarak bulunmuştur. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [25 25 25 25 25 25 25] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [62,2 50,6 45 45 46,1 45 45] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 20,6 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 70 °C olmuştur. Gerçek zamanlı tarifede 68,4410 TL olarak bulunan en iyi maliyeti sağlayan bir yönetim için sabit tarifede ödenecek tutar 69,7621 TL, üç zamanlı tarifede 70,1325

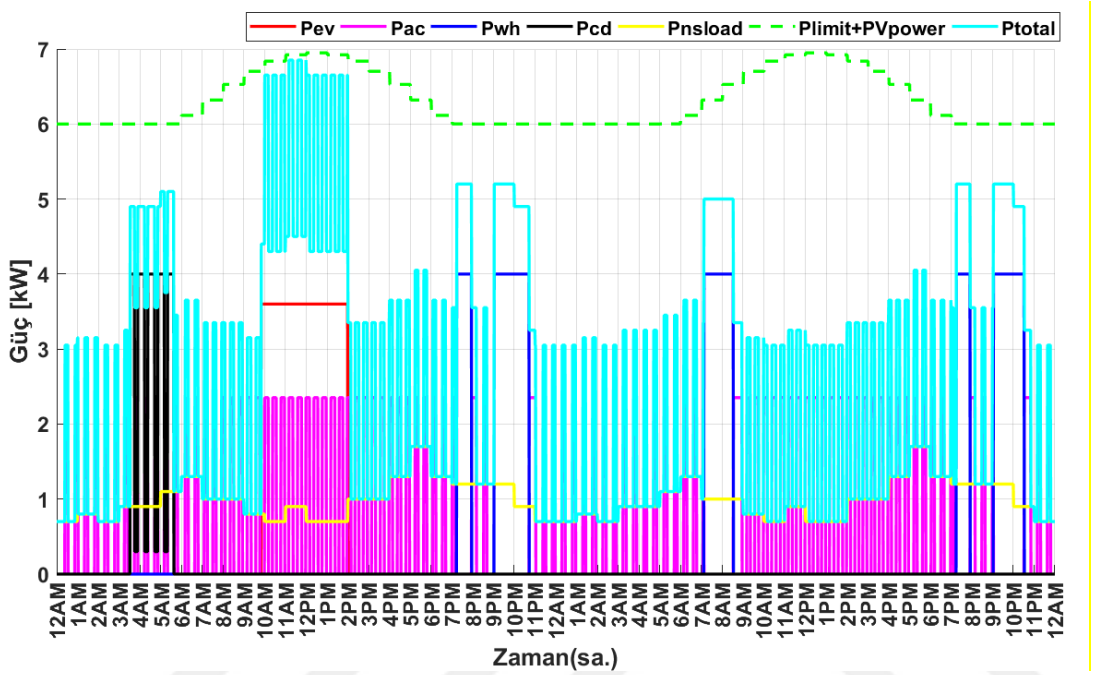
TL olur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 30,2305 olarak elde edilmiştir. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 44,2 °C olur. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 9493 kW olurdu. Tüketimin düzgünleşme oranı 1,9231 olarak bulunur. Şekil 6.29'da GA ile sabit tarifede statik öncelikleme yönetiminde en az maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 6.29 : GA ile statik önceliklemeli yönetim sabit tarifede en az maliyetle çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

Farklı sistem durumu için çatıda kurulu 1 kW lık bir güce sahip güneş santralinin olduğu düşünülmüş ve böyle bir yapı için statik önceliklemeli yönetimde çalışmalar yapılmıştır. (6.6)'da verilen problemin çözümünde sabit tarifede ödenen tutar 62,0344 TL, üç zamanlı tarifede 63,4096 TL, gerçek zamanlı tarifede 61,0356 TL olur. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 489. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 103 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden çamaşır kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 143. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CD,shift}$, 71 dakikadır. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [24,4 25 25 25 25 25 24,4] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [56,1 47,2 45,6 47,2 48,3 45 45] °C oldu. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 20,6 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 70 °C olmuştur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 30,12 olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 44,8 °C olarak elde

edilir. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 10374 kW olarak elde edilir. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 2,4813 olarak bulunur. Şekil 6.30'da güneş santrali varlığında, GA ile sabit tarifede en az maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri görülmektedir.

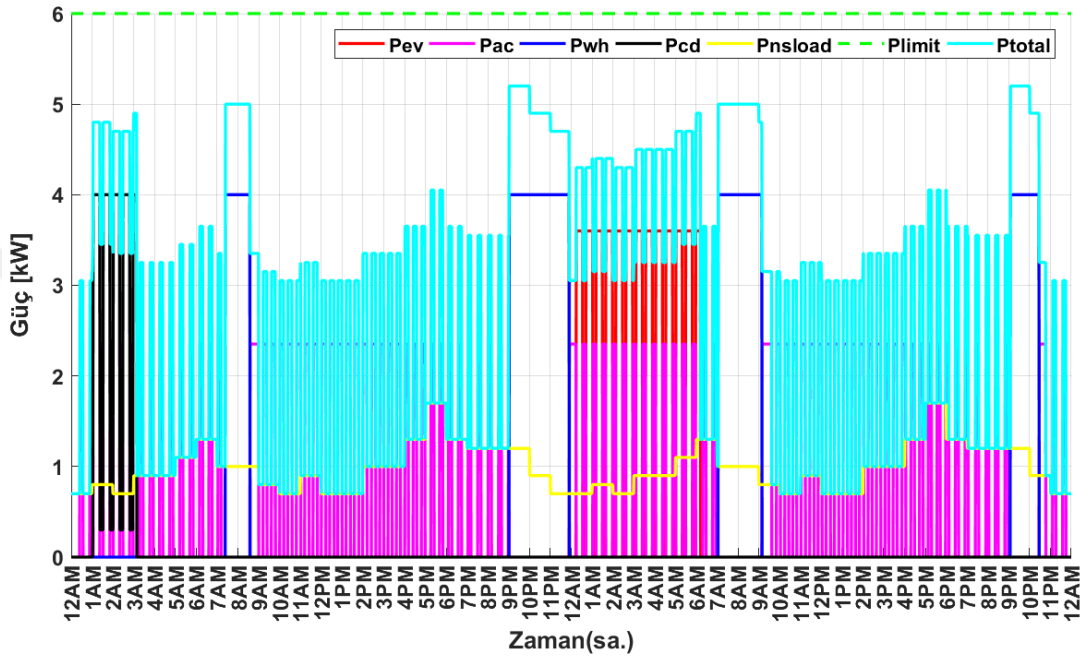


Şekil 6.30 : GA ile güneş santrali mevcutken statik önceliklemeli yönetim sabit tarifede en az maliyetle çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

6.4.2 Statik önceliklemeli yönetimde üç zamanlı tarife tutarı en iyileme

(6.6)'da verilen problemin çözümü statik önceliklemeli yönetim için gerçekleştirilmiştir. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 922. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 358 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden çamaşır kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 5. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CD,shift}$, 59 dakika olarak bulunmuştur. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [24,4 24,4 25 24,4 25 25 24,4] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [70 57,8 45,6 58,3 61,1 45 45] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 20 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 66,7 °C olmuştur. Gerçek zamanlı tarifede 71,7932 TL olarak bulunan en iyi maliyeti sağlayan biçimde yönetim için sabit tarifede ödenecek tutar 73,1556 TL, üç zamanlı tarifede 69,8806 TL olur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 31,7652

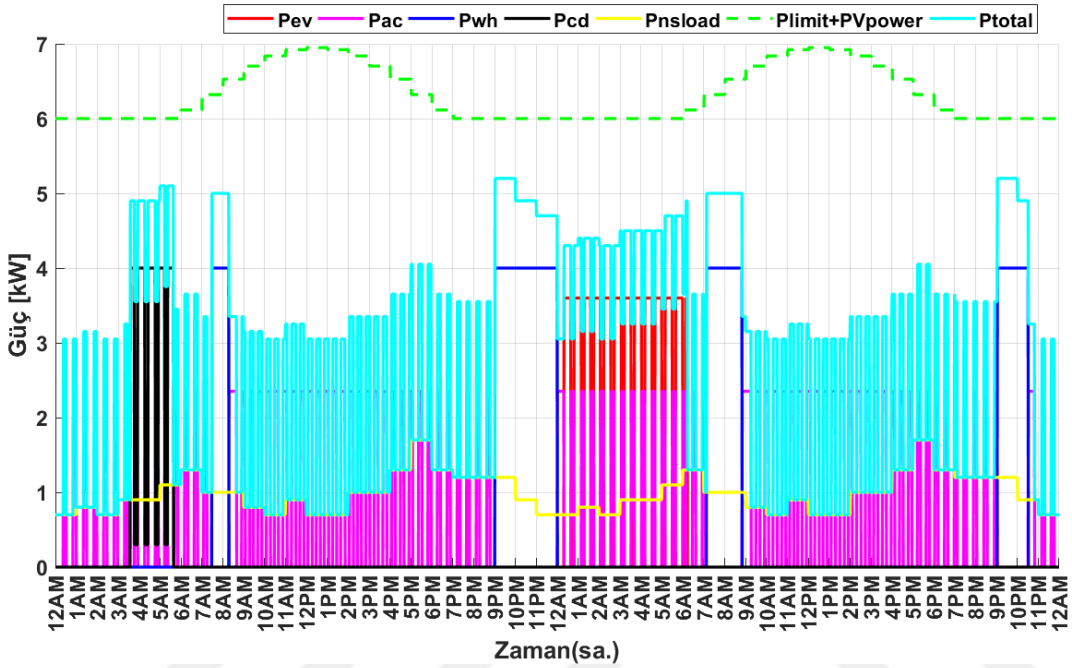
olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 48,2 °C olur. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 9114 kW olarak elde edilir. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 1,8339 olarak bulunur. Şekil 6.31'de GA ile üç zamanlı tarifede statik öncelikleme yönetiminde en az maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 6.31 : GA ile statik önceliklemeli yönetim üç zamanlı tarifede en az maliyetle çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

Farklı sistem durumu için çatıda kurulu 1 kW lık bir güce sahip güneş santralinin olduğu düşünülmüş ve böyle bir yapı için statik öncelikleme yönetimde çalışmalar yapılmıştır. (6.6)'da verilen problemin çözümünde sabit tarifede ödenen tutar 63,7614 TL, üç zamanlı tarifede 60,1521 TL, gerçek zamanlı tarifede 62,1105 TL olur. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 1007. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 275 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden çamaşır kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 92. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CD,shift}$, 125 dakika olarak bulunmuştur. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [25 25 25 25 25 25 25] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [48,3 56,1 45 58,9 57,8 45 45] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 21,7 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 70 °C olmuştur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 32,7103 olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su

kullanım sıcaklığı 47,8 °C olarak elde edilir. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 10201 kW olarak elde edilir. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 2,1156 olarak bulunur. Şekil 6.32'de güneş santrali varlığında, GA ile üç zamanlı tarifede en az maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri görülmektedir.

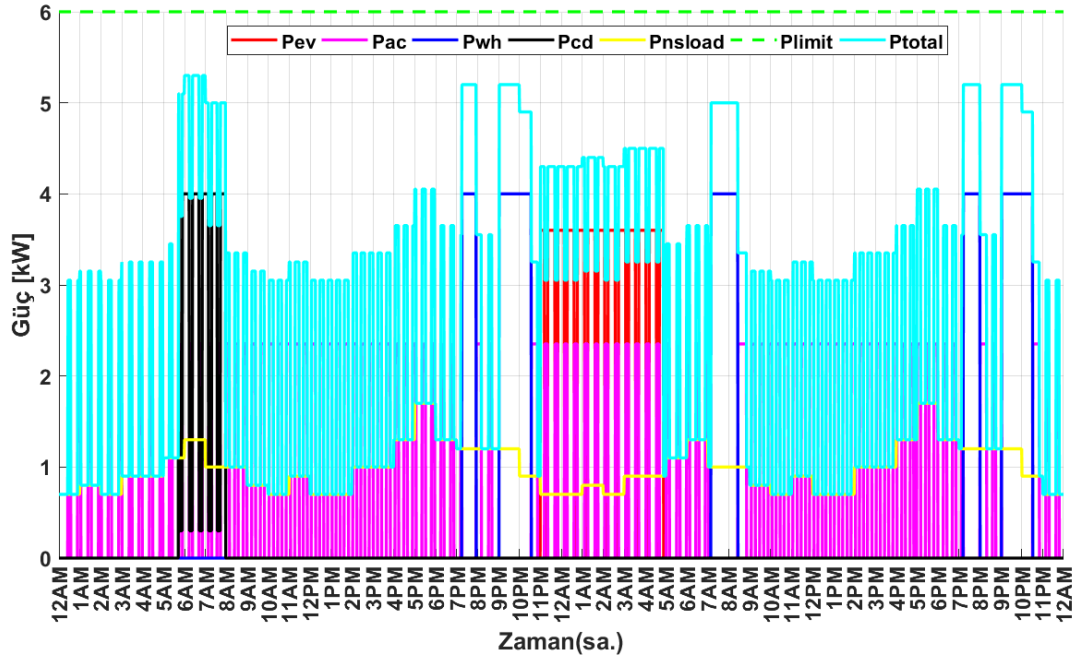


Şekil 6.32 : GA ile güneş santrali mevcutken statik önceliklemeli yönetim üç zamanlı tarifede en az maliyetle çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

6.4.3 Statik önceliklemeli yönetimde gerçek zamanlı tarife tutarı en iyileme

(6.6)'da verilen problemin çözümü statik önceliklemeli yönetim için gerçekleştirilmiştir. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 911. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 471 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden çamaşır kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 148. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CD,shift}$, 197 dakika olarak bulunmuştur. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [25 25 25 25 24,4, 22,8 24,4] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [55,6 49,4 45, 45,6 46,1 45 45] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 20,6 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 69,4 °C olmuştur. Gerçek zamanlı tarifede 68,9898 TL olarak bulunan en iyi maliyeti sağlayan biçimde yönetim için sabit tarifede ödenecek tutar 70,348 TL, üç zamanlı tarifede 70,5925 TL olur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 28,3786

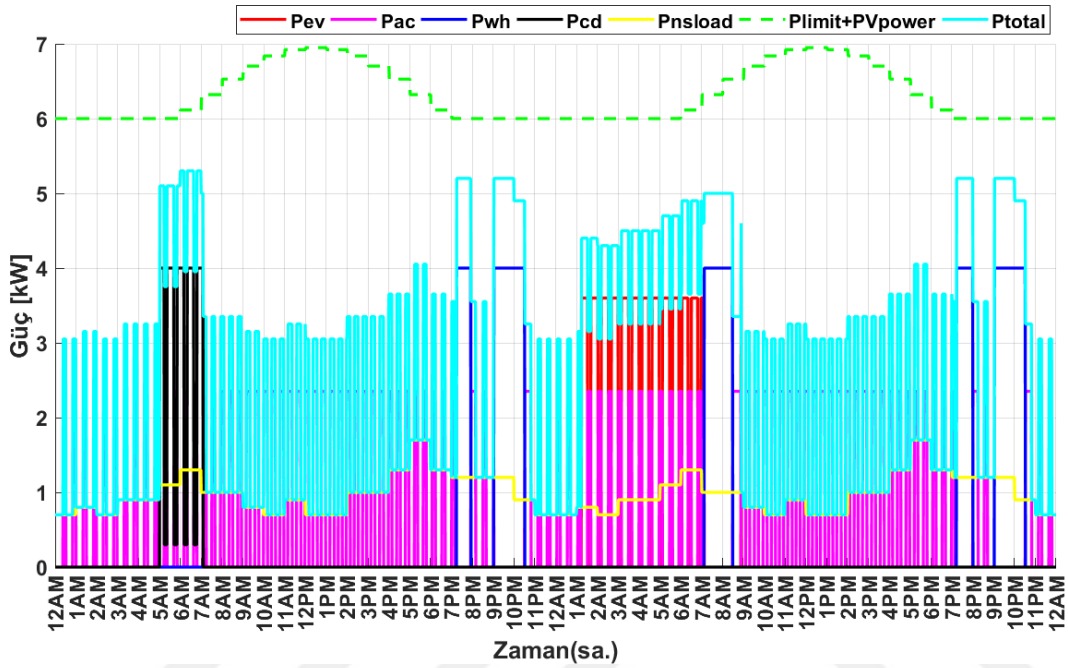
olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 44,2 °C olur. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 9427 kW olarak elde edilir. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 1,9438 olarak bulunur. Şekil 6.33'de GA ile gerçek zamanlı tarifede statik öncelikleme yönetiminde en az maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 6.33 : GA ile statik önceliklemeli yönetim gerçek zamanlı tarifede en az maliyetle çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

Farklı sistem durumu için çatıda kurulu 1 kW lık bir güce sahip güneş santralinin olduğu düşünülmüş ve böyle bir yapı için statik öncelikleme yönetimde çalışmalar yapılmıştır. (6.6)'da verilen problemin çözümünde sabit tarifede ödenen tutar 61,8663 TL, üç zamanlı tarifede 61,7398 TL, gerçek zamanlı tarifede 60,0894 TL olur. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 1017. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 499 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden çamaşır kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 228. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CD,shift}$, 75 dakika olarak bulunmuştur. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [25 25 25 25 25 24,4 25] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [52,2 46,1 45 45 46,7 45 45] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 21,7 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 69,4 °C olmuştur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 30,0863 olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su

kullanım sıcaklığı 44,2 °C olarak elde edilir. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 10412 kW olarak elde edilir. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 2,1805 olarak bulunur. Şekil 6.34'de güneş santrali varlığında, GA ile gerçek zamanlı tarifede en az maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri görülmektedir.

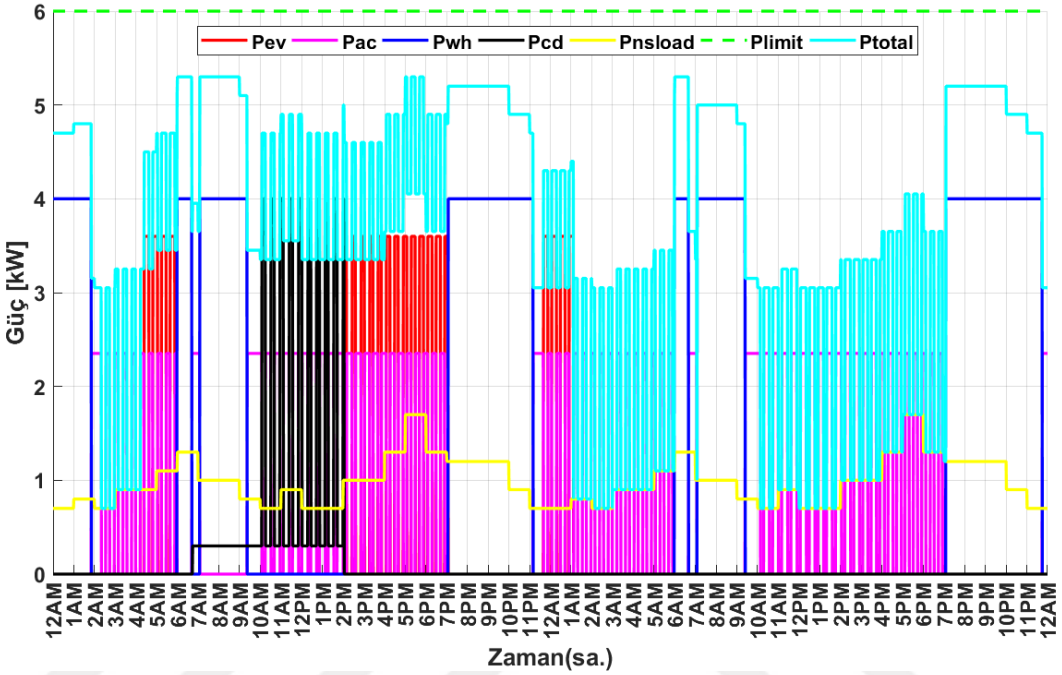


Şekil 6.34 : GA ile güneş santrali mevcutken statik önceliklemeli yönetim gerçek zamanlı tarifede en az maliyetle çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

6.4.4 Statik önceliklemeli yönetimde talebin düzgünleşmesini en iyileme

(6.9)'da verilen problemin çözümü statik önceliklemeli yönetim için gerçekleştirilmiştir. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 10. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 247 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden çamaşır kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 323. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CD,shift}$, 83 dakika olarak bulunmuştur. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [20 20 20 20 20 20 22,8] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [62,8 69,4 70 63,9 70 70 69,4] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 23,9 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 45 °C olmuştur. Gerçek zamanlı tarifede 94,8878 TL olarak bulunan en iyi maliyeti sağlayan biçimde yönetim için sabit tarifede ödenecek tutar 96,2328 TL, üç zamanlı tarifede 98,3142 TL olur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 37,4375 olarak bulunmuştur.

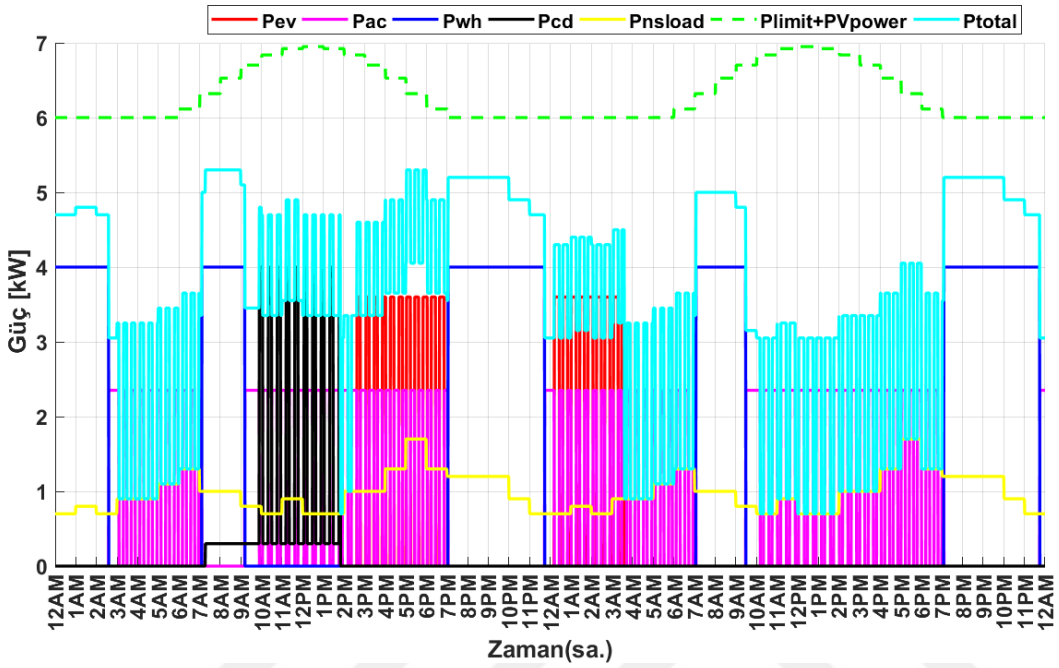
Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 59 °C olur. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 6538 kW olarak elde edilir. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 1,4209 olarak bulunur. Şekil 6.35'de GA ile statik öncelikleme yönetiminde talebin düzgünleştirilmesine özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 6.35 : GA ile statik önceliklemeli yönetim talebi en iyi düzgünleştiren çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

Farklı sistem durumu için çatıda kurulu 1 kW lık bir güce sahip güneş santralinin olduğu düşünülmüş ve böyle bir yapı için statik önceliklemeli yönetimde çalışmalar yapılmıştır. (6.9)'da verilen problemin çözümünde sabit tarifede ödenen tutar 86,8402 TL, üç zamanlı tarifede 87,7207 TL, gerçek zamanlı tarifede 85,5449 TL olur. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 834. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 37 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden çamaşır kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 288. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CD,shift}$, 151 dakika olarak bulunmuştur. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [20 20 20,6 21,1 20,6 20 22,2] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [70 67,8 69,4 68,9 70 69,4 69,4] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 21,1 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 45 °C olmuştur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 37,2840 olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 58,6 °C olarak elde edilir. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz

konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 7601 kW olarak elde edilir. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 1,5472 olarak bulunur. Şekil 6.36'da güneş santrali varlığında, GA ile talebin düzgünleştirilmesine çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri görülmektedir.

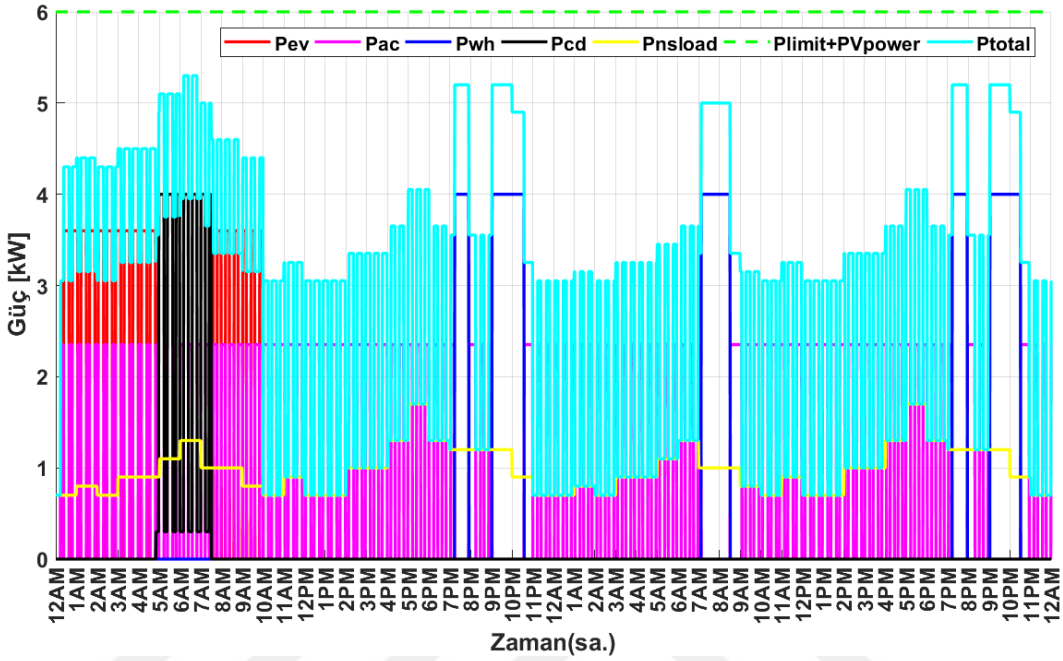


Şekil 6.36 : GA ile güneş santrali mevcutken statik önceliklemeli yönetim talebi en iyi düzgünleştiren çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

6.4.5 Statik önceliklemeli yönetimde ısıl konforu en iyileme

(6.7)'de verilen problemin çözümü statik önceliklemeli yönetim için gerçekleştirilmiştir. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 1. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 71 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden çamaşır kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 221. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CD,shift}$, 71 dakika olarak bulunmuştur. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [22,8 21,1 20,6 21,1 21,1 20 21,1] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [68,9 48,3 45 45,6 47,2 45 45] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 21,1 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 69,4 °C olmuştur. Gerçek zamanlı tarifede 75,1552 TL olarak bulunan en iyi maliyeti sağlayan biçimde yönetim için sabit tarifede ödenecek tutar 76,437 TL, üç zamanlı tarifede 77,0044 TL olur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 15,3007 olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 44,3 °C olur. Eğer 6 kW gibi bir

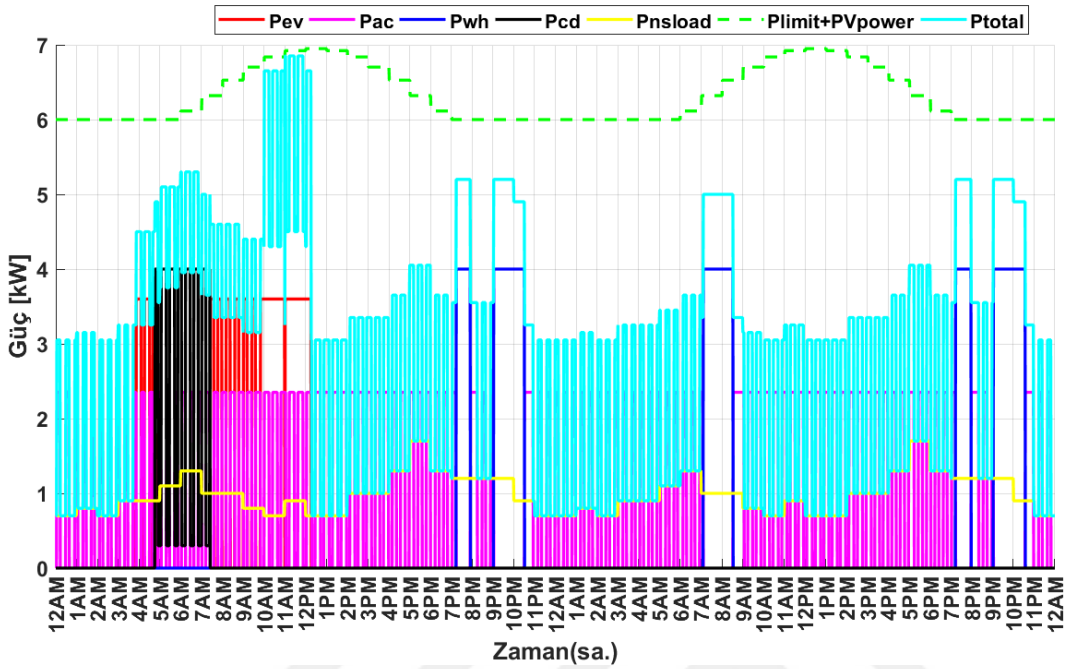
güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 8748 kW olarak elde edilir. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 1,7889 olarak bulunur. Şekil 6.37'de GA ile ısıl konforun statik öncelikleme yönetiminde en iyilenmeye çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 6.37 : GA ile statik önceliklemeli yönetim ısıl konforu en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

Farklı sistem durumu için çatıda kurulu 1 kW lık bir güce sahip güneş santralinin olduğu düşünülmüş ve böyle bir yapı için statik önceliklemeli yönetimde çalışmalar yapılmıştır. (6.7)'de verilen problemin çözümünde sabit tarifede ödenen tutar 68,302 TL, üç zamanlı tarifede 70,1635 TL, gerçek zamanlı tarifede 67,1643 TL olur. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 54. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 171 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden çamaşır kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 54. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CD,shift}$, 234 dakika olarak bulunmuştur. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [22,2 21,1 20,6 21,1 21,7 20 21,7] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [62,8 51,1 45 45 47,2 45 45,6] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 23,9 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 69,4 °C olmuştur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 15,1459 olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 44,2 °C olarak elde edilir. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı

9681 kW olarak elde edilir. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 2,2474 olarak bulunur. Şekil 6.38'de güneş santrali varlığında, GA ile ısıl konforun en iyilenmeye çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri görülmektedir.

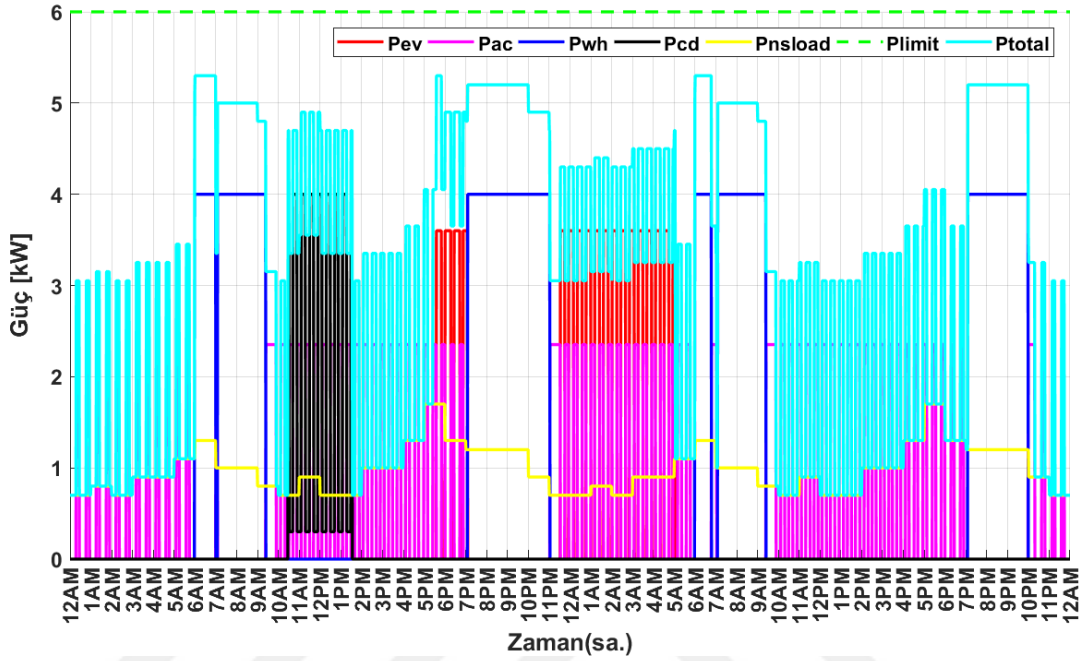


Şekil 6.38 : GA ile güneş santrali mevcutken statik önceliklemeli yönetim ısıl konforu en iyileyen cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

6.4.6 Statik önceliklemeli yönetimde sıcak su konforu en iyileme

(6.8)'de verilen problemin çözümü statik önceliklemeli yönetim için gerçekleştirilmiştir. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 993. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 63 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden çamaşır kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 434. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CD,shift}$, 196 dakika olarak bulunmuştur. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [24,4 24,4 23,9 20 25 24,4 25] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [51,1 70 69,4 62,8 70 70 45] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 22,2 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 60,6 °C olmuştur. Gerçek zamanlı tarifede 83,2897 TL olarak bulunan en iyi maliyeti sağlayan biçimde yönetim için sabit tarifede ödenecek tutar 84,8312 TL, üç zamanlı tarifede 88,4544 TL olur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 39,2185 olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 59,3 °C olur. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı

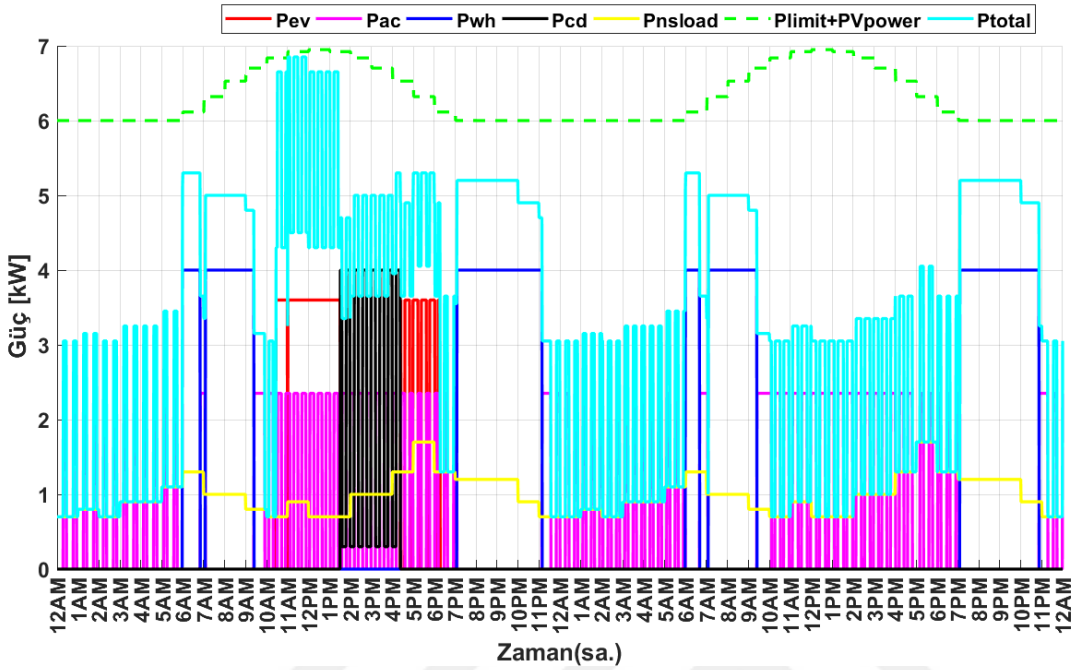
7811 kW olarak elde edilir. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 1,6119 olarak bulunur. Şekil 6.39'da GA ile sıcak su konforunun statik öncelikleme yönetiminde en iyilenmeye çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 6.39 : GA ile statik önceliklemeli yönetim sıcak su konforu en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

Farklı sistem durumu için çatıda kurulu 1 kW lık bir güce sahip güneş santralinin olduğu düşünülmüş ve böyle bir yapı için statik önceliklemeli yönetimde çalışmalar yapılmıştır. (6.8)'de verilen problemin çözümünde sabit tarifede ödenen tutar 79,2059 TL, üç zamanlı tarifede 84,1003 TL, gerçek zamanlı tarifede 78,18 TL olur. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 191. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 438 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden çamaşır kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 572. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CD,shift}$, 241 dakika olarak bulunmuştur. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [24,4 23,9 24,4 22,2 20,6 23,9 22,2] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [56,7 70 69,4 63,9 70 70 61,1] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 22,2 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 62,2 °C olmuştur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 15,1459 olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 59,3 °C olarak elde edilir. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı

8454 kW olarak elde edilir. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 1,935 olarak bulunur. Şekil 6.40'da güneş santrali varlığında, GA ile sıcak su konforunun en iyilenmeye çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri görülmektedir.

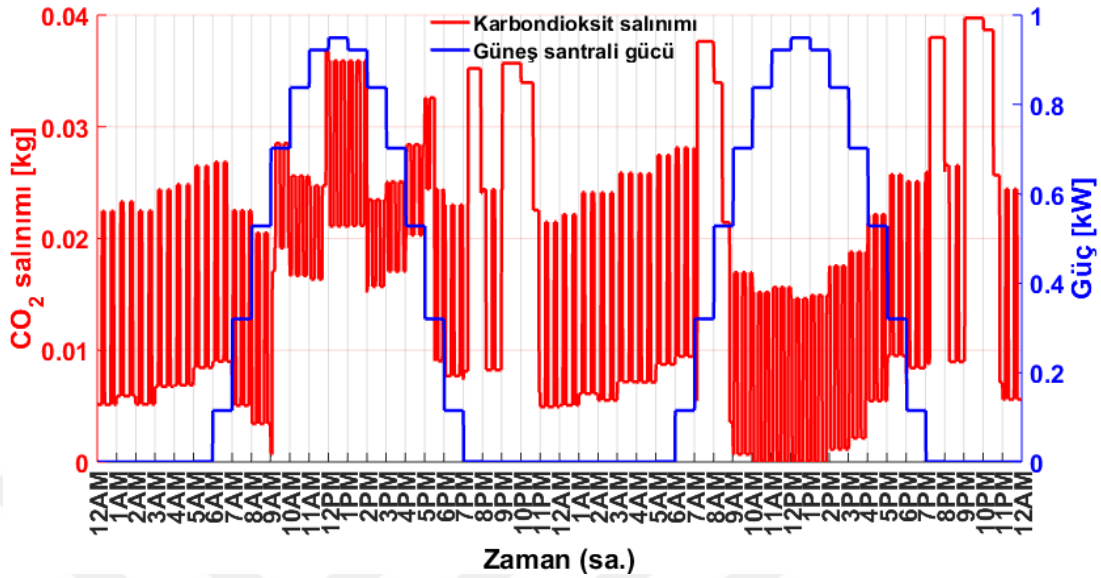


Şekil 6.40 : GA ile güneş santrali mevcutken statik önceliklemeli yönetim sıcak su konforu en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

6.4.7 Statik önceliklemeli yönetim karbondioksit salınım düzeyi en iyileme

(6.10)'da verilen problemin çözümü güneş santrali olan evde statik önceliklemeli yönetim için gerçekleştirilmiştir. Karbondioksit salınım miktarı 49,0516 kg elde edilmiştir. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı 518. dakika ve buna ek erteleme süresi 107 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden çamaşır kurutucunun çalışmaya başlama zamanı 336. dakika ve buna ek erteleme süresi 219 dakika olarak bulunmuştur. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [25 25 24,4 25 25 25 23,9] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [56,7 49,4 45 46,1 46,7 45 45] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı 23,9 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri 70 °C olmuştur. Sabit tarifede ödenecek tutar 61,9585 TL olur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 29,9602 olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 44,4 °C olur. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 2,4763 olarak bulunur. GA ile karbondioksit salınım toplam değerini statik öncelikleme yönetiminde güneş

santrali olan evde en az yapan iyileme çalışması durumuna ait sonuç Şekil 6.41'de gösterilmiştir.

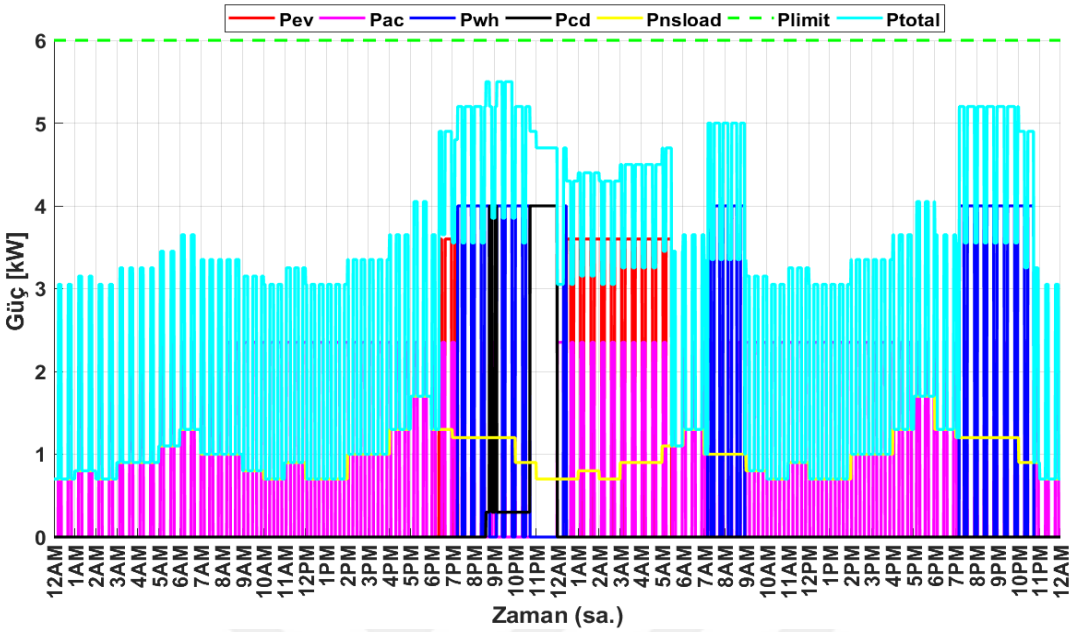


Şekil 6.41 : Güneş santrali olan evde statik önceliklemeli yönetimde en iyileme sonrası karbondioksit salınımının değişimi.

6.4.8 Dinamik önceliklemeli yönetimde sabit tarife tutarı en iyileme

(6.6)'da verilen problemin çözümü dinamik önceliklemeli yönetim için gerçekleştirilmiştir. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 798. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 306 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden çamaşır kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 1008. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CD,shift}$, 230 dakika olarak bulunmuştur. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [25 25 25 25 25 25 25] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [48,3 45,6 45 45,6 45 45 45] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 24,4 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 70 °C olmuştur. Gerçek zamanlı tarifede 70,8409 TL olarak bulunan en iyi maliyeti sağlayan biçimde yönetim için sabit tarifede ödenecek tutar 71,8020 TL, üç zamanlı tarifede 72,997 TL olur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 24,4204 olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 44,5 °C olur. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 9265 kW olarak elde edilir. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 1,9763 olarak bulunur. Şekil 6.42'de GA ile sabit tarifede dinamik öncelikleme yönetiminde en az

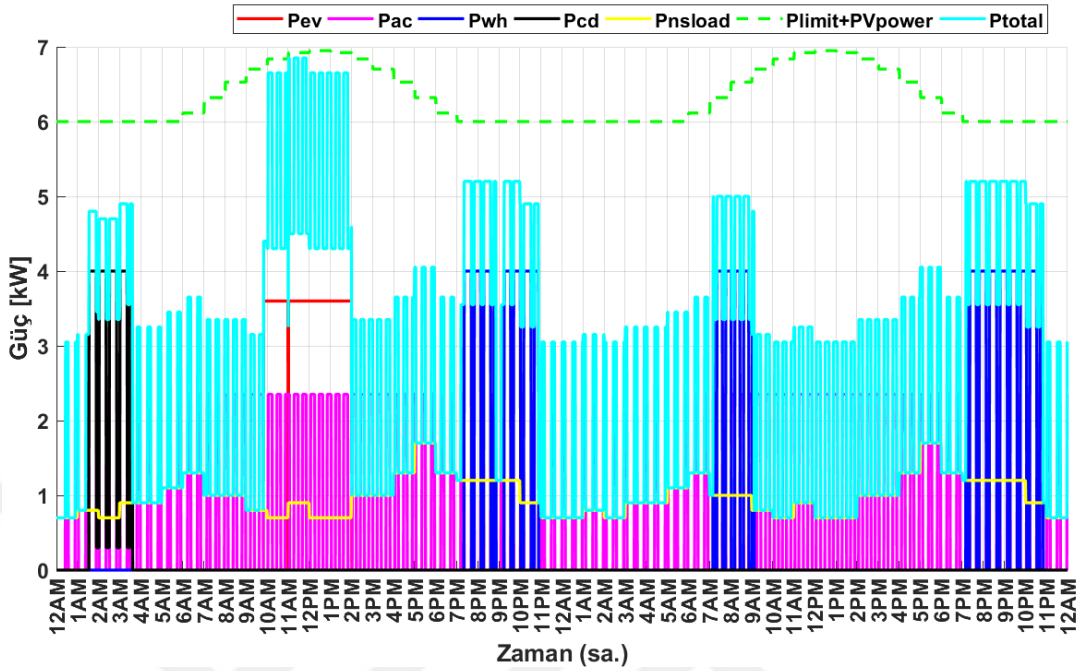
maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 6.42 : GA ile dinamik önceliklemeli yönetim sabit tarife tutarı en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

Farklı sistem durumu için çatıda kurulu 1 kW lık bir güce sahip güneş santralinin olduğu düşünülmüş ve böyle bir yapı için dinamik önceliklemeli yönetimde çalışmalar yapılmıştır. (6.6)'da verilen problemin çözümünde sabit tarifede ödenen tutar 63,3798 TL, üç zamanlı tarifede 65,7193 TL, gerçek zamanlı tarifede 62,5805 TL olur. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 585. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 7 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden çamaşır kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 75. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CD,shift}$, 20 dakika olarak bulunmuştur. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [25 25 25 25 25 25 24,4] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [51,7 46,1 45 45 45 45 45] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 20,6 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 70 °C olmuştur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 22,5179 olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 44,3 °C olarak elde edilir. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 10224 kW olarak elde edilir. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 2,4204 olarak bulunur. Şekil 6.43'de

güneş santrali varlığında, GA ile sabit tarifede en az maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri görülmektedir.

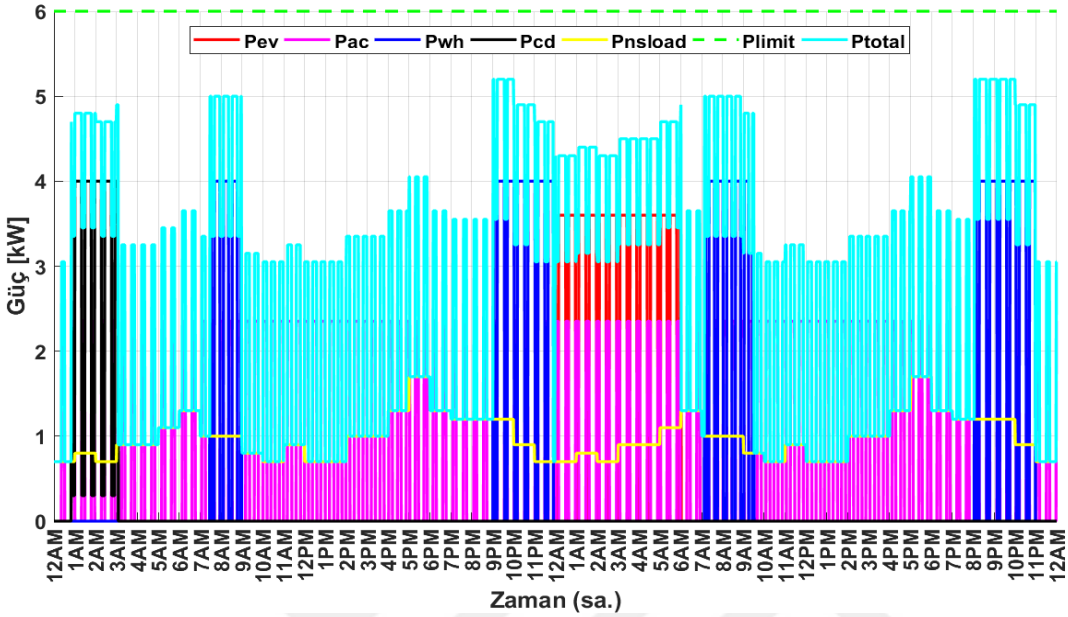


Şekil 6.43 : GA ile güneş santrali mevcutken dinamik önceliklemeli yönetim sabit tarife tutarı en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

6.4.9 Dinamik önceliklemeli yönetimde üç zamanlı tarife tutarı en iyileme

(6.6)'da verilen problemin çözümü dinamik önceliklemeli yönetim için gerçekleştirilmiştir. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 967. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 474 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden çamaşır kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 22. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CD,shift}$, 30 dakika olarak bulunmuştur. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [24,4 25 25 25 25 25 24,4] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [45,6 56,7 45 50 50 45 45] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 21,1 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 70 °C olmuştur. Gerçek zamanlı tarifede 71,3033 TL olarak bulunan en iyi maliyeti sağlayan biçimde yönetim için sabit tarifede ödenecek tutar 72,4912 TL, üç zamanlı tarifede 69,7074 TL olur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 21,9157 olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 45,4 °C olur. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 9188 kW olarak elde edilir. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 1,8507 olarak bulunur.

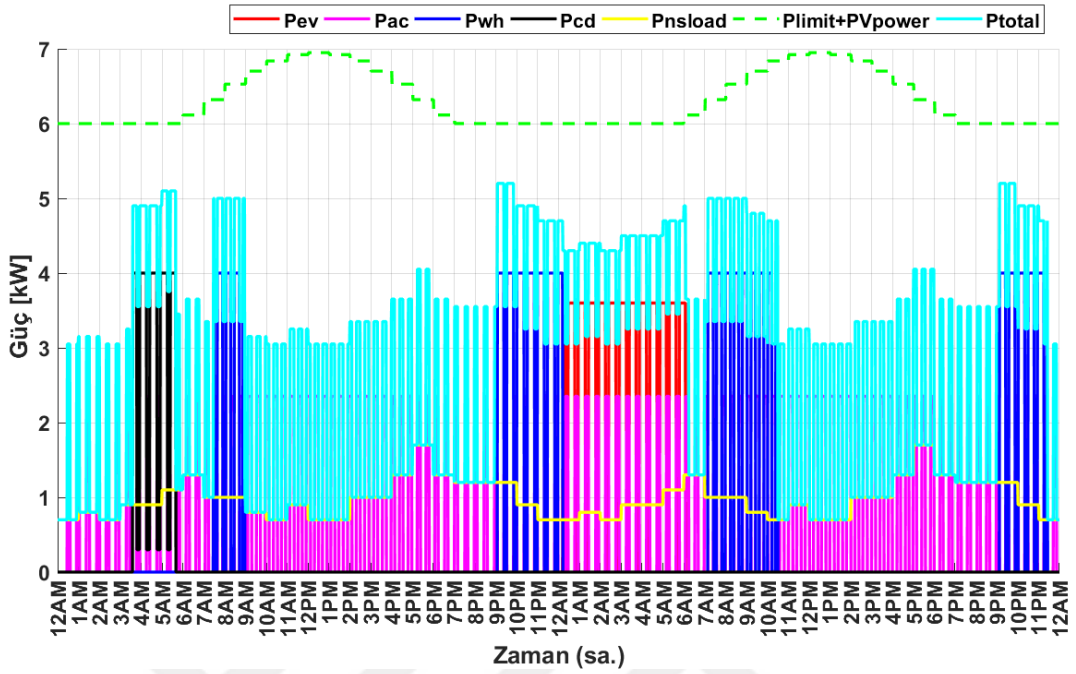
Şekil 6.44'de GA ile üç zamanlı tarifede dinamik öncelikleme yönetiminde en az maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 6.44 : GA ile dinamik önceliklemeli yönetim üç zamanlı tarife tutarı en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

Farklı sistem durumu için çatıda kurulu 1 kW lık bir güce sahip güneş santralinin olduğu düşünülmüş ve böyle bir yapı için dinamik önceliklemeli yönetimde çalışmalar yapılmıştır. (6.6)'da verilen problemin çözümünde sabit tarifede ödenen tutar 65,509 TL, üç zamanlı tarifede 61,5048 TL, gerçek zamanlı tarifede 63,8952 TL olur. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 846. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 426 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden çamaşır kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 3. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CD,shift}$, 215 dakika olarak bulunmuştur. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [25 25 25 25 24,4 23,9 23,9] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [48,3 56,7 45 52,2 56,7 45,6 45,6] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 20 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 70 °C olmuştur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 20,4162 olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 46,5 °C olarak elde edilir. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 10004 kW olarak elde edilir. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 2,0582 olarak bulunur. Şekil 6.45'de

güneş santrali varlığında, GA ile üç zamanlı tarifede en az maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri görülmektedir.

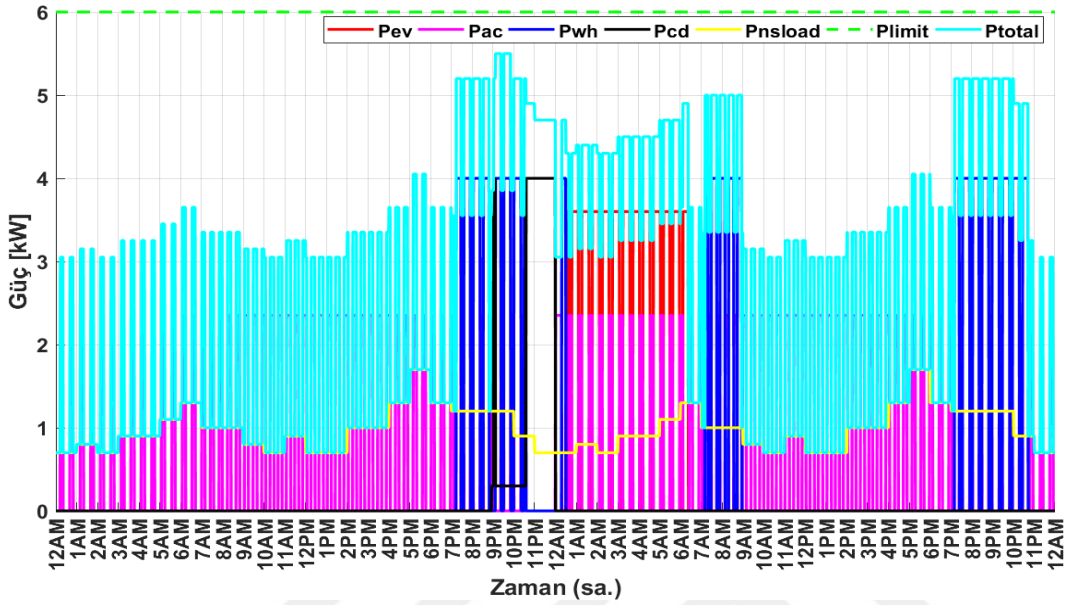


Şekil 6.45 : GA ile güneş santrali mevcutken dinamik önceliklemeli yönetim üç zamanlı tarife tutarı en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

6.4.10 Dinamik önceliklemeli yönetim gerçek zamanlı tarife tutar en iyileme

(6.6)'da verilen problemin çözümü dinamik önceliklemeli yönetim için gerçekleştirilmiştir. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 975. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 459 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden çamaşır kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 1008. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CD,shift}$, 250 dakika olarak bulunmuştur. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [25 25 25 25 25 25 25] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [65, 45,6 45,6 45,6 45 45 45] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 24,4 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 70 °C olmuştur. Gerçek zamanlı tarifede 70,7049 TL olarak bulunan en iyi maliyeti sağlayan biçimde yönetim için sabit tarifede ödenecek tutar 71,7841 TL, üç zamanlı tarifede 72,1089 TL olur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 24,4204 olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 44,6 °C olur. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı

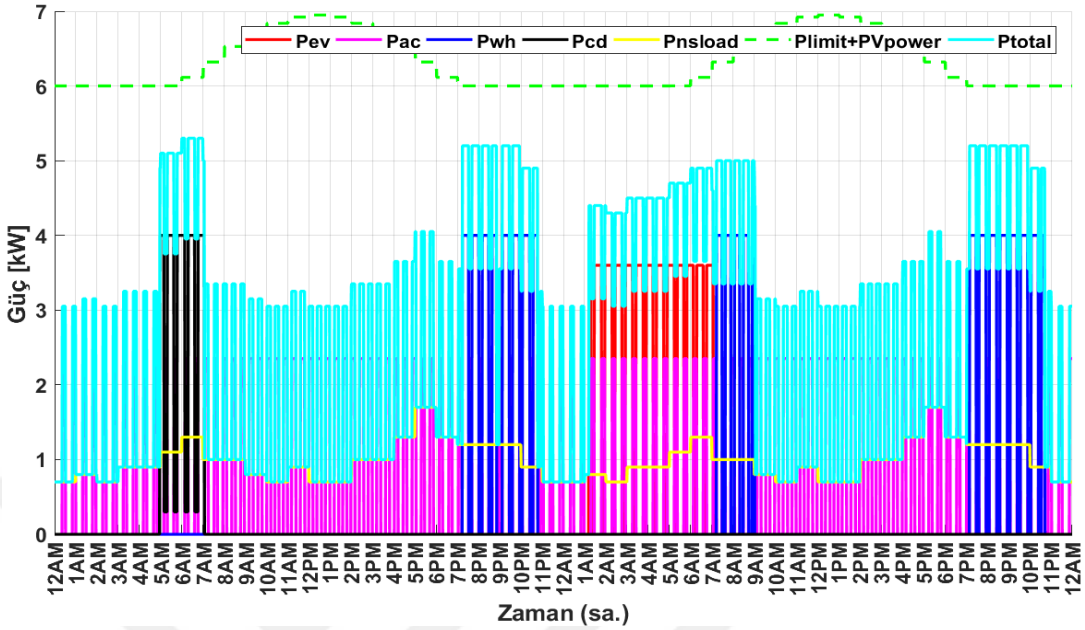
toplamı 9267 kW olarak elde edilir. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 1,9768 olarak bulunur. Şekil 6.46'da GA ile gerçek zamanlı tarifede dinamik öncelikleme yönetiminde en az maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 6.46 : GA ile dinamik önceliklemeli yönetim gerçek zamanlı tarife tutarı en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

Farklı sistem durumu için çatıda kurulu 1 kW lık bir güce sahip güneş santralinin olduğu düşünülmüş ve böyle bir yapı için dinamik önceliklemeli yönetimde çalışmalar yapılmıştır. (6.6)'de verilen problemin çözümünde sabit tarifede ödenen tutar 65,509 TL, üç zamanlı tarifede 61,5048 TL, gerçek zamanlı tarifede 63,8952 TL olur. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 1017. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 497 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden çamaşır kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 86. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CD,shift}$, 214 dakika olarak bulunmuştur. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [24,4 25 24,4 25 25 25 25] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [53,9 45 45,6 45,6 45 46,1 45] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 21,1 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 70 °C olmuştur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 21,5666 olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 44,6 °C olarak elde edilir. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 10159 kW olarak elde edilir. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 2,1029 olarak bulunur. Şekil 6.47'de

güneş santrali varlığında, GA ile gerçek zamanlı tarifede en az maliyetle çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri görülmektedir.

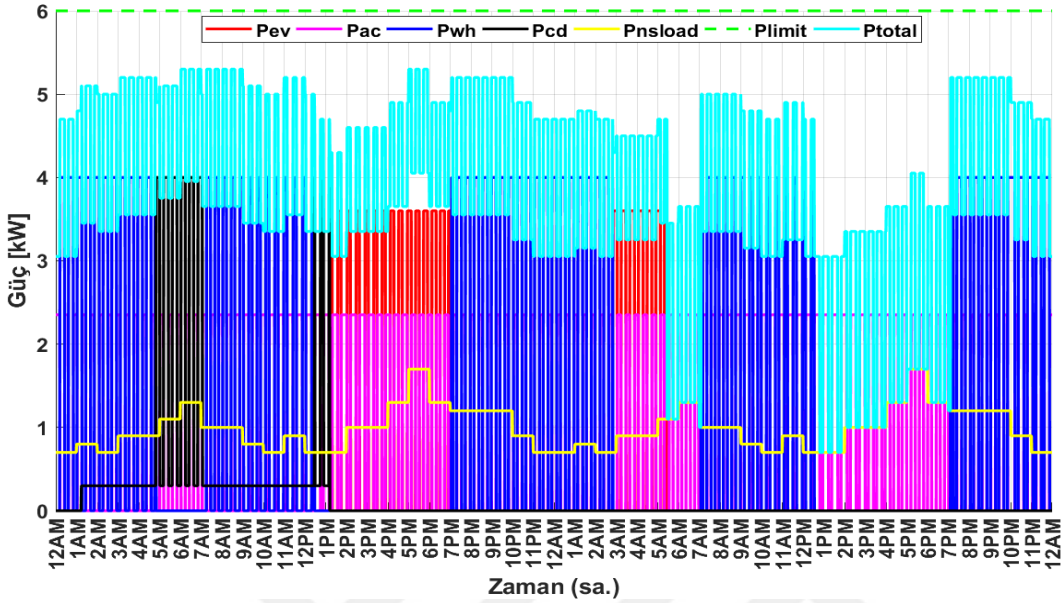


Şekil 6.47 : GA ile güneş santrali mevcutken dinamik önceliklemeli yönetim gerçek zamanlı tarife tutarı en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

6.4.11 Dinamik önceliklemeli yönetim talebin düzgünleşmesini en iyileme

(6.9)'da verilen problemin çözümü dinamik önceliklemeli yönetim için gerçekleştirilmiştir. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 171. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 355 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden çamaşır kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 42. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CD,shift}$, 34 dakika olarak bulunmuştur. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [20 20 20 20 20 20,6 22,2] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [70 69,4 70 70 70 68,3 57,2] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 22,8 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 45 °C olmuştur. Gerçek zamanlı tarifede 98,6453 TL olarak bulunan en iyi maliyeti sağlayan biçimde yönetim için sabit tarifede ödenecek tutar 99,9621 TL, üç zamanlı tarifede 98,3748 TL olur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 10,8781 olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 56,8 °C olur. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 6121 kW olarak elde edilir. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 1,3679 olarak bulunur.

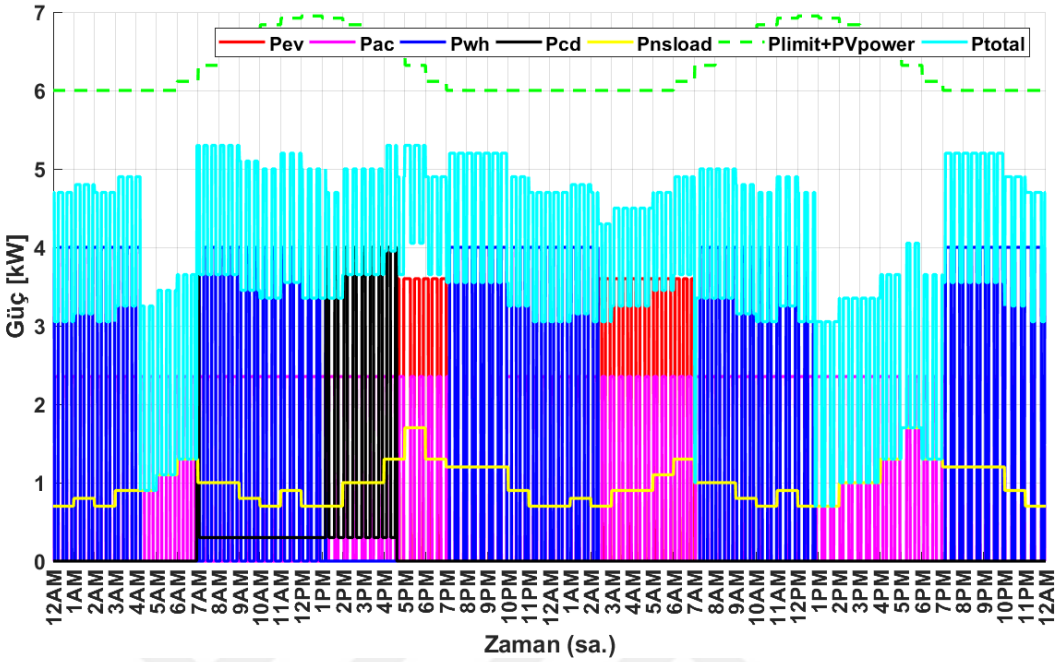
Şekil 6.48'de GA ile talebin düzgünleşmesini dinamik öncelikleme yönetiminde en iyilemeye çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 6.48 : GA ile dinamik önceliklemeli yönetim talebin düzgünleştirilmesini en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

Farklı sistem durumu için çatıda kurulu 1 kW lık bir güce sahip güneş santralinin olduğu düşünülmüş ve böyle bir yapı için dinamik önceliklemeli yönetimde çalışmalar yapılmıştır. (6.9)'da verilen problemin çözümünde sabit tarifede ödenen tutar 90,6749 TL, üç zamanlı tarifede 89,6430 TL, gerçek zamanlı tarifede 89,269 TL olur. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 813. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 22 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden çamaşır kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 286. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CD,shift}$, 133 dakika olarak bulunmuştur. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [20 20 22,8 20,6 20 22,8 24,4] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [67,8 70 66,7 69,4 70 68,3 67,2] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 21,1 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 45 °C olmuştur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 10,809 olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 56,9 °C olarak elde edilir. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 7163 kW olarak elde edilir. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 1,3810 olarak bulunur. Şekil

6.49'da güneş santrali varlığında, GA ile talebin düzgünleşmesini en iyilemeye çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri görülmektedir.

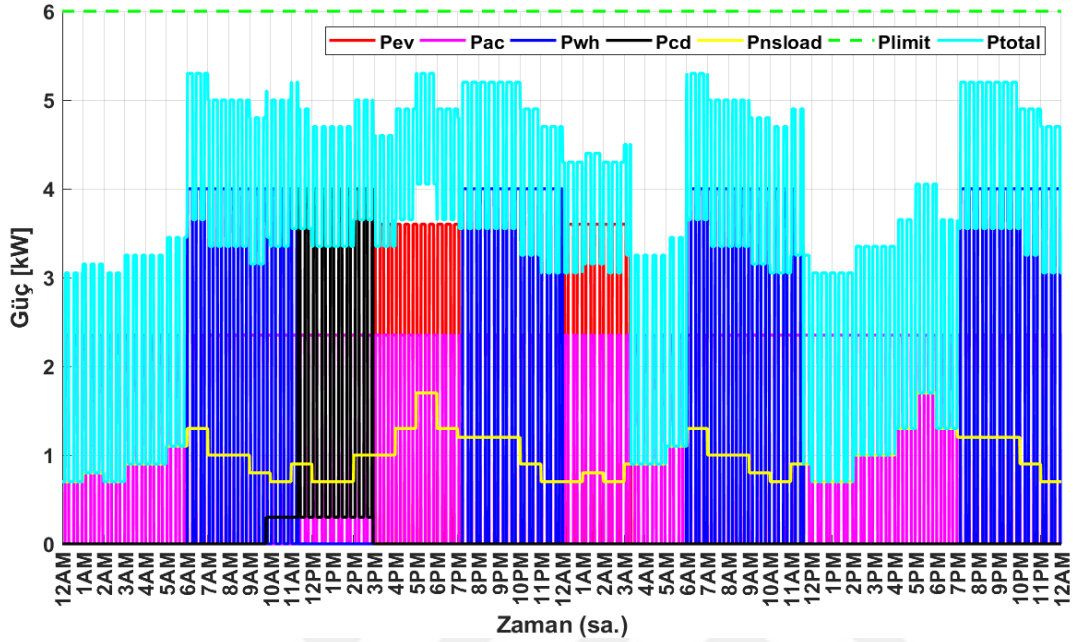


Şekil 6.49 : GA ile güneş santrali mevcutken dinamik önceliklemeli yönetim talebin düzgünleştirilmesini en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

6.4.12 Dinamik önceliklemeli yönetimde ısıl konforu en iyileme

(6.7)'de verilen problemin çözümü dinamik önceliklemeli yönetim için gerçekleştirilmiştir. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 25. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 495 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden çamaşır kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 343. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CD,shift}$, 247 dakika olarak bulunmuştur. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [21,1 21,7 21,7 21,7 21,1 21,1 21,7] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [49,4 58,3 57,2 53,9 62,2 61,7 56,7] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 20,6 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 47,8 °C olmuştur. Gerçek zamanlı tarifede 89,0834 TL olarak bulunan en iyi maliyeti sağlayan biçimde yönetim için sabit tarifede ödenecek tutar 90,0209 TL, üç zamanlı tarifede 92,4959 TL olur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 7,6918 olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 49,3 °C olur. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 7231 kW olarak elde edilir. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı

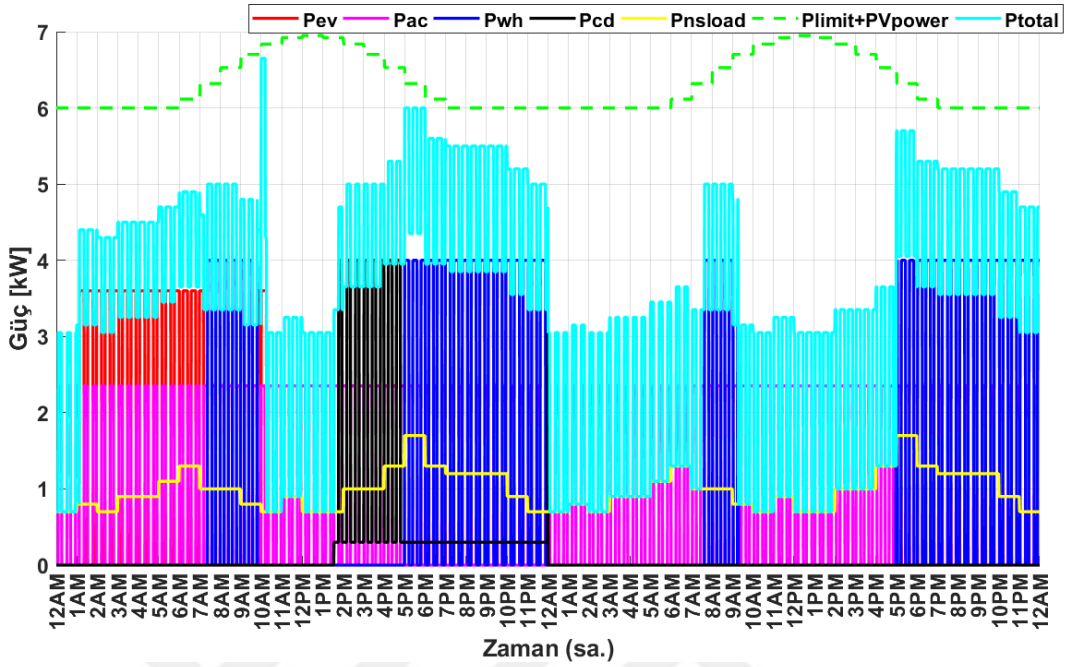
1,519 olarak bulunur. Şekil 6.50'de GA ile ısıl konforu en iyileyen dinamik öncelikleme yönetiminde çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 6.50 : GA ile dinamik önceliklemeli yönetim ısıl konfor en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

Farklı sistem durumu için çatıda kurulu 1 kW lık bir güce sahip güneş santralinin olduğu düşünülmüş ve böyle bir yapı için dinamik önceliklemeli yönetimde çalışmalar yapılmıştır. (6.7)'de verilen problemin çözümünde sabit tarifede ödenen tutar 80,3851 TL, üç zamanlı tarifede 83,3354 TL, gerçek zamanlı tarifede 79,2755 TL olur. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 31. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 39 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden çamaşır kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 571. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CD,shift}$, 244 dakika olarak bulunmuştur. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [21,7 21,7 21,7 21,7 21,7 21,7 21,7] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [56,1 56,7 68,9 56,7 48,9 69,4 54,4] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 22,2 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 64,4 °C olmuştur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 7,5489 olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 51,8 °C olarak elde edilir. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 8336 kW olarak elde edilir. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 1,9159 olarak bulunur.

Şekil 6.51'de güneş santrali varlığında, GA ile ısıl konfor en iyileme durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri görülmektedir.

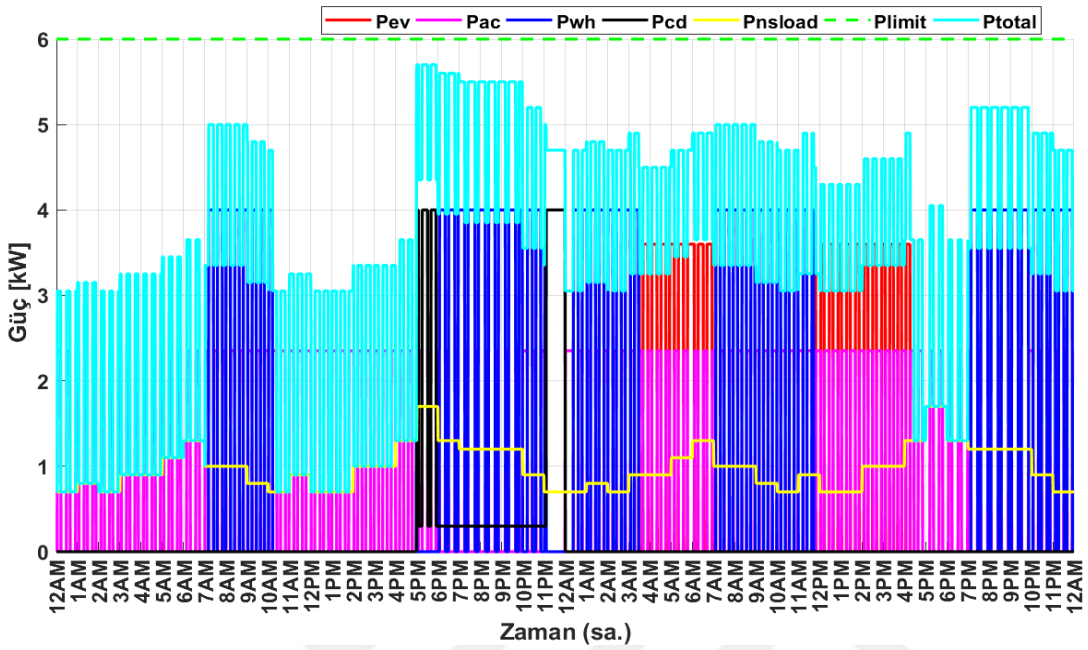


Şekil 6.51 : GA ile güneş santrali mevcutken dinamik önceliklemeli yönetim ısıl konforu en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

6.4.13 Dinamik önceliklemeli yönetimde sıcak su konforu en iyileme

(6.8)'de verilen problemin çözümü dinamik önceliklemeli yönetim için gerçekleştirilmiştir. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 675. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 368 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden çamaşır kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 865. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CD,shift}$, 156 dakika olarak bulunmuştur. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [22,2 22,8 24,4 20,6 22,2 24,4 22,2] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [62,2 63,9 70 70 70 69,4 61,1] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 23,9 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 70 °C olmuştur. Gerçek zamanlı tarifede 89,2629 TL olarak bulunan en iyi maliyeti sağlayan biçimde yönetim için sabit tarifede ödenecek tutar 90,3254 TL, üç zamanlı tarifede 92,0164 TL olur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 11,3827 olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 57,7 °C olur. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 7197 kW olarak elde edilir. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 1,6281 olarak

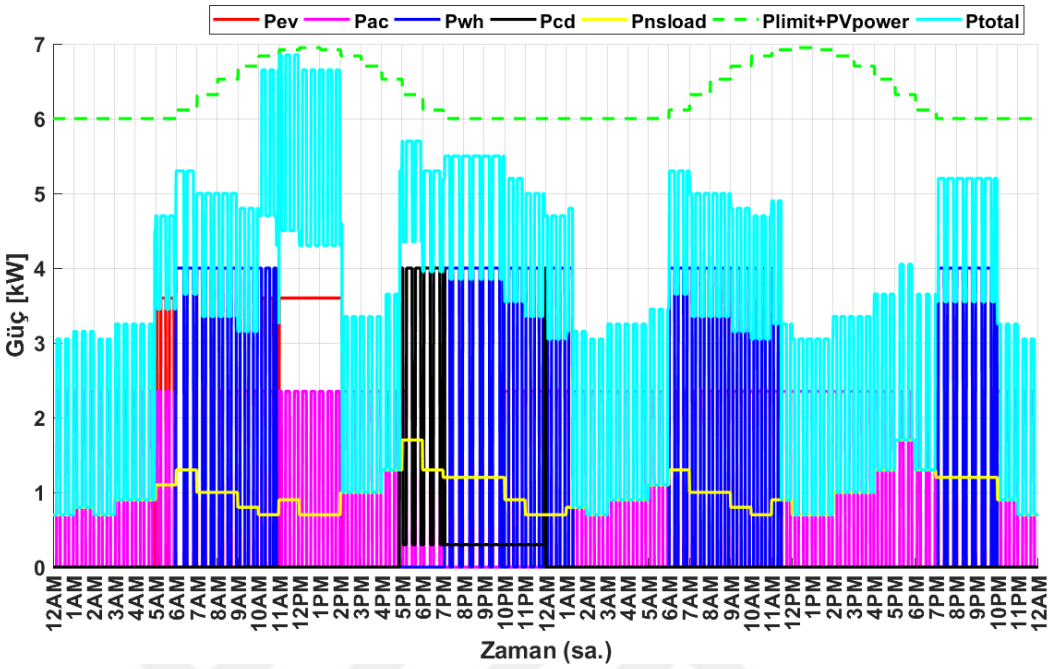
bulunur. Şekil 6.52'de GA ile sıcak su konforunu en iyileyen dinamik öncelikleme yönetiminde çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 6.52 : GA ile dinamik önceliklemeli yönetim sıcak su konfor en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

Farklı sistem durumu için çatıda kurulu 1 kW lık bir güce sahip güneş santralinin olduğu düşünülmüş ve böyle bir yapı için dinamik önceliklemeli yönetimde çalışmalar yapılmıştır. (6.8)'de verilen problemin çözümünde sabit tarifede ödenen tutar 80,398 TL, üç zamanlı tarifede 84,214 TL, gerçek zamanlı tarifede 78,8602 TL olur. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(EV)}$, 196. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{EV,shift}$, 103 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden çamaşır kurutucunun çalışmaya başlama zamanı $T_{basla(CD)}$, 881. dakika ve buna ek erteleme süresi $T_{CD,shift}$, 134 dakika olarak bulunmuştur. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [21,1 25 25 20 22,8 23,9 21,1] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [62,8 70 70 63,9 70 69,4 45] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı $\theta_{oda}^{m=0}$, 20 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri $\theta_{outlet}^{m=0}$, 63,3 °C olmuştur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 14,2531 olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 57,9 °C olarak elde edilir. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 8319 kW olarak elde edilir. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 1,9058 olarak bulunur. Şekil

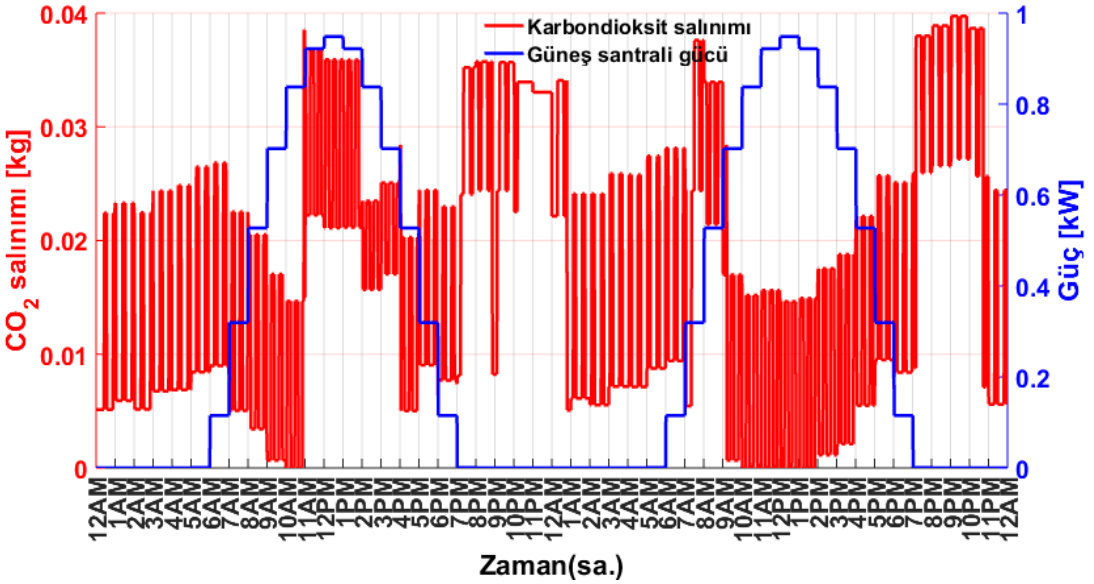
6.53'de güneş santrali varlığında, GA ile sıcak su konforunu en iyilemeye çalışılması durumuna özgü cihaz çalışma planları ve güç değişimleri görülmektedir.



Şekil 6.53 : GA ile güneş santrali mevcutken dinamik önceliklemeli yönetim sıcak su konforu en iyileyen çalışma için cihaz çalışma planları ve güç değişimleri.

6.4.14 Dinamik önceliklemeli yönetim karbondioksit salınımı en iyileme

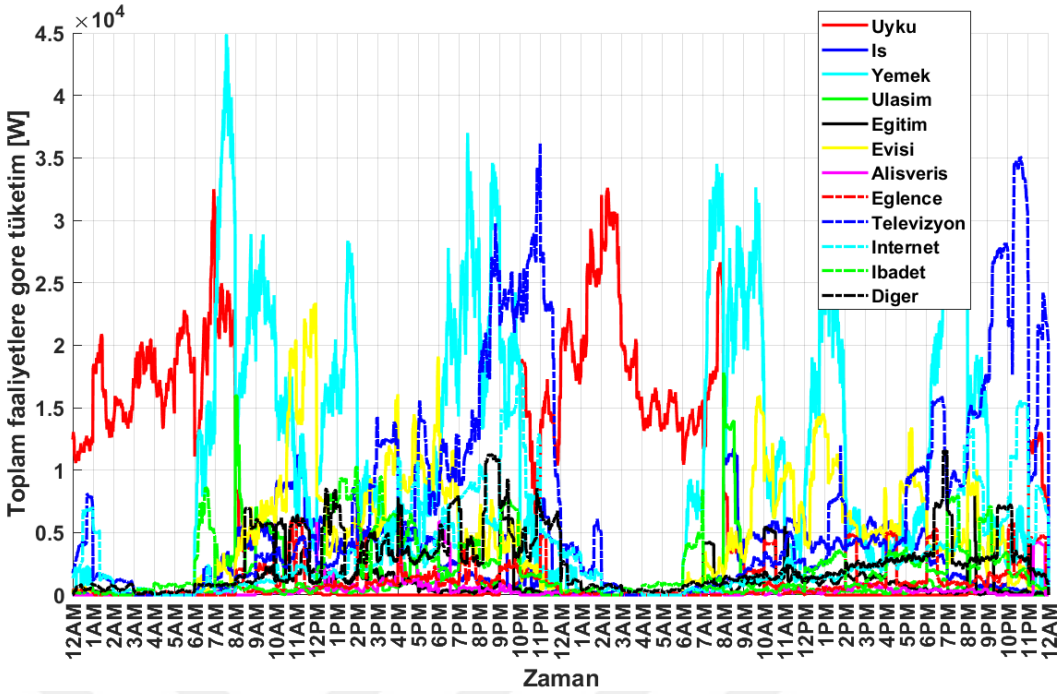
(6.10)'da verilen problemin çözümü güneş santrali olan evde dinamik önceliklemeli yönetim için gerçekleştirilmiştir. Karbondioksit salınım miktarı 50,0633 kg elde edilmiştir. Bu çözümü sağlayan yüklerden elektrikli arabanın çalışmaya başlama zamanı 215. dakika ve buna ek erteleme süresi 444 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözümü sağlayan yüklerden çamaşır kurutucunun çalışmaya başlama zamanı 1358. dakika ve buna ek erteleme süresi 209 dakika olarak bulunmuştur. Klima için sıcaklık ayar değerleri farklı zamanlar için [25 25 25 25 25 25 25] °C olarak elde edilmiştir. Termosifon için yapılması gereken sıcaklık ayar değeri farklı zamanlar için [69,4 46,1 45 46,1 45 45 45] °C olarak elde edildi. Odanın ilk sıcaklığı 20,6 °C bulundu. Sıcak su ilk değeri 70 °C olmuştur. Sabit tarifede ödenecek tutar 63,0813 TL olur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 24,918 olarak bulunmuştur. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 44,5 °C olur. Tüketimin düzgünleştirilmesi oranı 2,4336 olarak bulunur. GA ile karbondioksit salınım toplam değerini dinamik öncelikleme yönetiminde güneş santrali olan evde en az yapan iyilemeye çalışması durumuna ait sonuç Şekil 6.54'de gösterilmiştir.



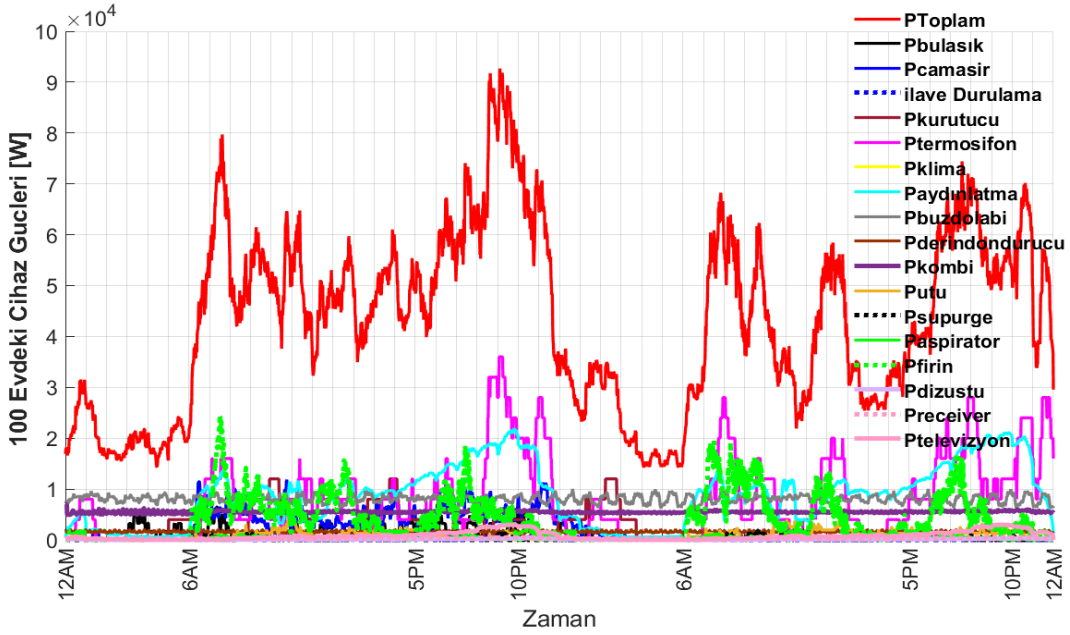
Şekil 6.54 : Güneş santrali olan evde dinamik önceliklemeli yönetimde en iyileme sonrası karbondioksit salınımının değişimi.

6.5 100 Evde Toplu En İyileme Çalışması

Bu çalışmada, on altı farklı cihaz için faaliyetlere göre tanımlanmış bazı kısıtlamalar düşünülmüştür. Elektrikli süpürge, ütü, elektrikli fırın, bilgisayar, televizyon, uydu alıcı ve aspiratör uyku faaliyeti süresince çalıştırılamaz yüklerdir. Çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, kurutucu, kombi, klima ve termosifon uyku faaliyetinde dahi çalıştırılabilir yükler olarak ele alındı. Uyku modundaki bir evde sabah saat 6 ile 8 arası lamba kullanımına izin verildi. Çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, kurutucu, klima, termosifon ve kombi kişiler evden ayrılmadan önce çalıştırabileceği yükler olarak planlandı. Buzdolabı ve derin dondurucu ise her faaliyet türünde çalışabilir yüklerdir. Kurutucu çamaşır makinesi görev bitimi sonrasında çalışabilir. Evlerde yürütülen on iki faaliyet ve yüklerle bu faaliyetler arası kurulan bağıntılarla yılın herhangi bir ayına ait rastgele bir gün için elektrik talep büyüklüğüne erişilebilir. Şekil 6.55'de, yüz ev için, birinci aya ait rasgele bir günde, faaliyetler bazında elektrik tüketim durumu görülmektedir. Toplam tüketimin cihazlara göre değişimi ise Şekil 6.56'da gösterilmiştir.

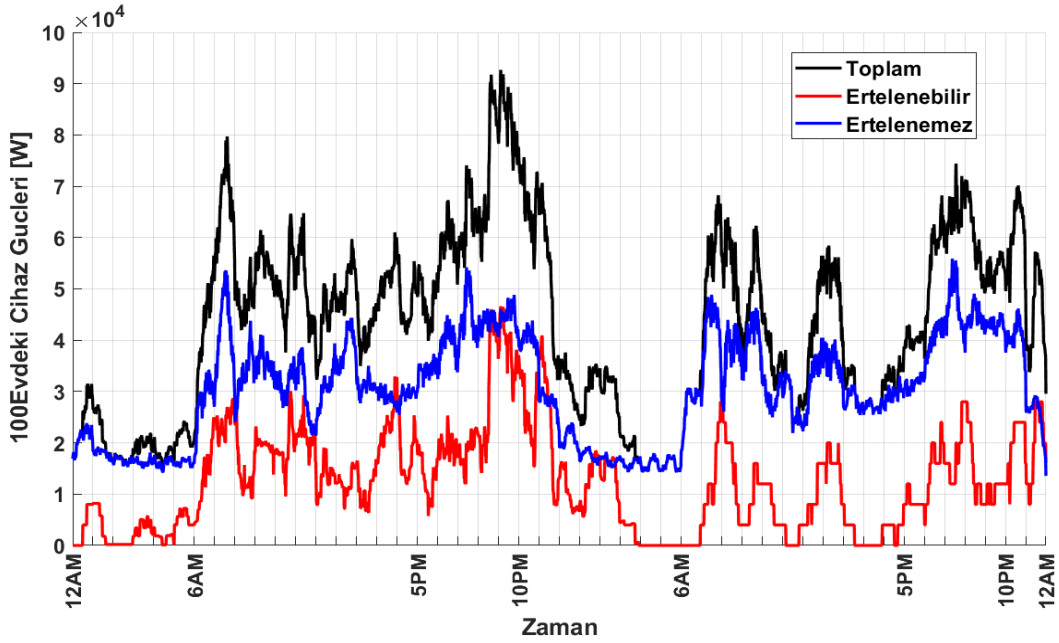


Şekil 6.55 : 100 ev için faaliyetlere göre toplam elektrik tüketimi.

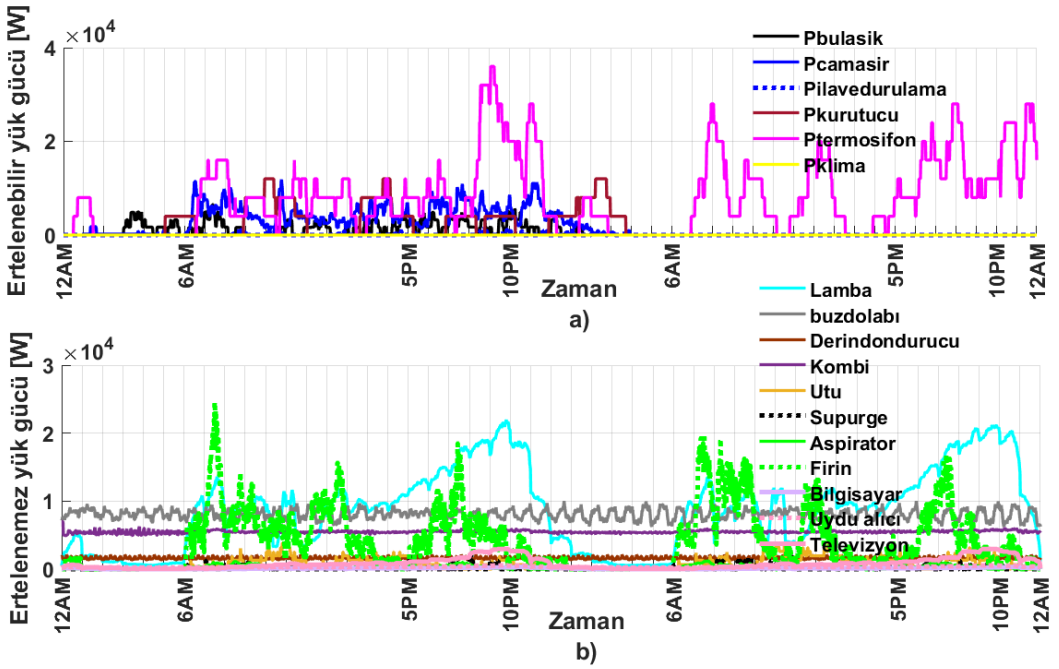


Şekil 6.56 : 100 ev için her bir cihaza ait tüketimler.

Yönetilebilir (ertelenebilir) yük olarak bulaşık makinesi, çamaşır makinesi, kurutucu, termosifon ve klima düşünülmüştür. Bunun dışındaki yükler ise temel yük olarak kabul edilmiştir. Bu durumda tüm evlerdeki tüketim dikkate alındığında yönetilebilir olan ve olmayan talep büyüklüğü örneğin birinci ay rastgele gün için Şekil 6.57'de verilen yapıda elde edilmiştir. Bu yüklerin herbirinin zamana göre tüketim durumları ise Şekil 6.58'de verilmiştir.

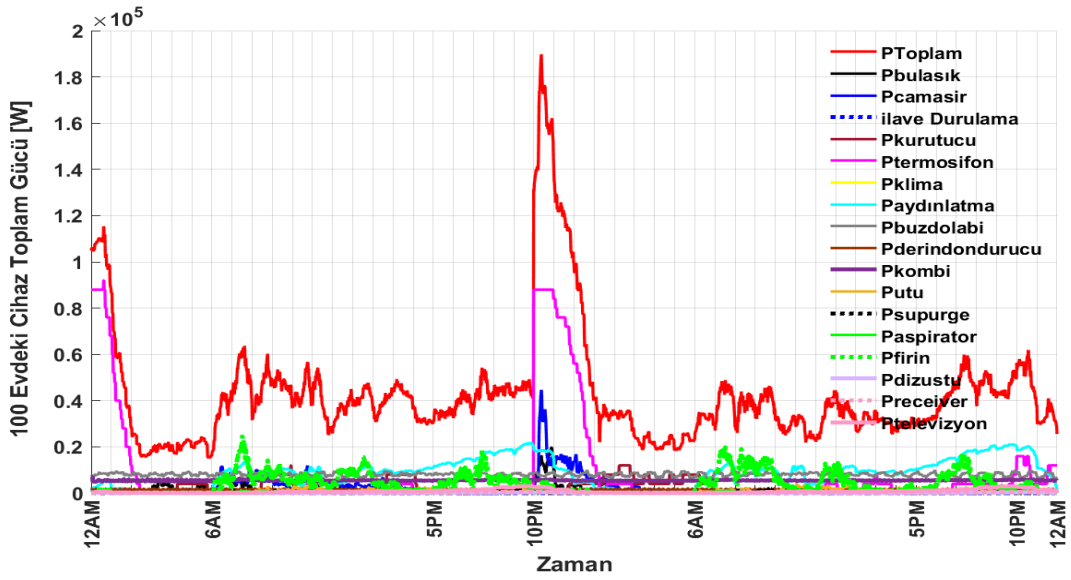


Şekil 6.57 : Yönetilebilir ve yönetilemez yük büyüklüğü.



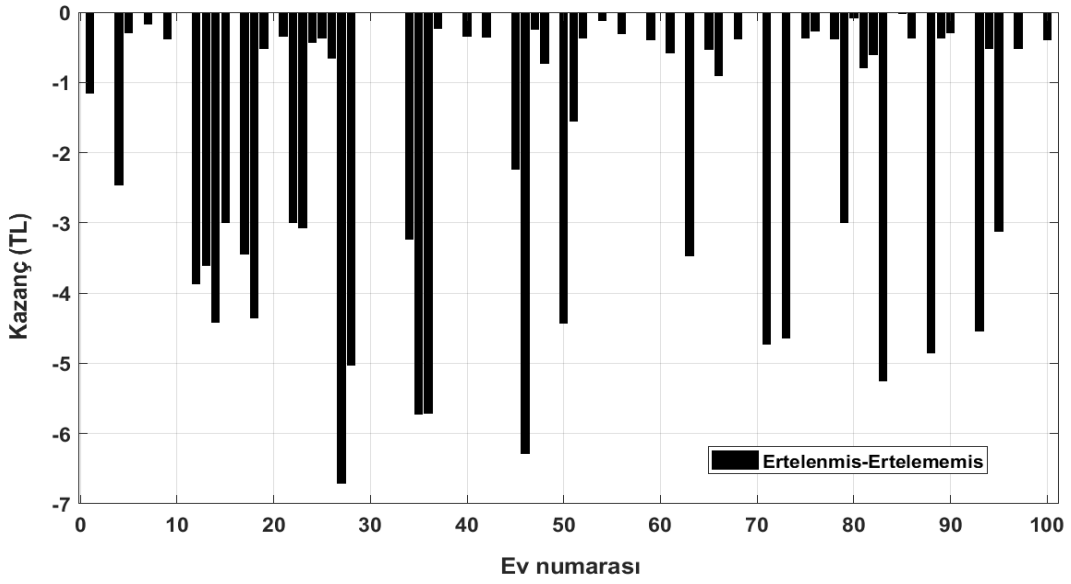
Şekil 6.58 : 100 ev için yönetilebilir ve yönetilemez yükler.

Evlerin tüketim maliyeti Genetik Algoritma kullanarak üç zamanlı tarifede en iyilendi. Sabit tarifede 1186,2 TL olan tüketim maliyeti yüklerin ertelenmesi sonucu 1179,9 TL olmuştur. Üç zamanlı tarifede 1256,3 TL olan tutar en iyilenmiş durumda 1135,9 TL bulunmuştur. Maliyet en iyileyen durumda 882,3 kg karbondioksit salınımı gerçekleşmiştir. En iyilenmeyen durum için karbondioksit salınımı 882,9 kg olmuştur. Her evin üç zamanlı tarifede en düşük tüketim maliyeti sağlayacak şekilde hareket etmesi halinde, Şekil 6.59'da verilen tüketim profili değişmektedir.

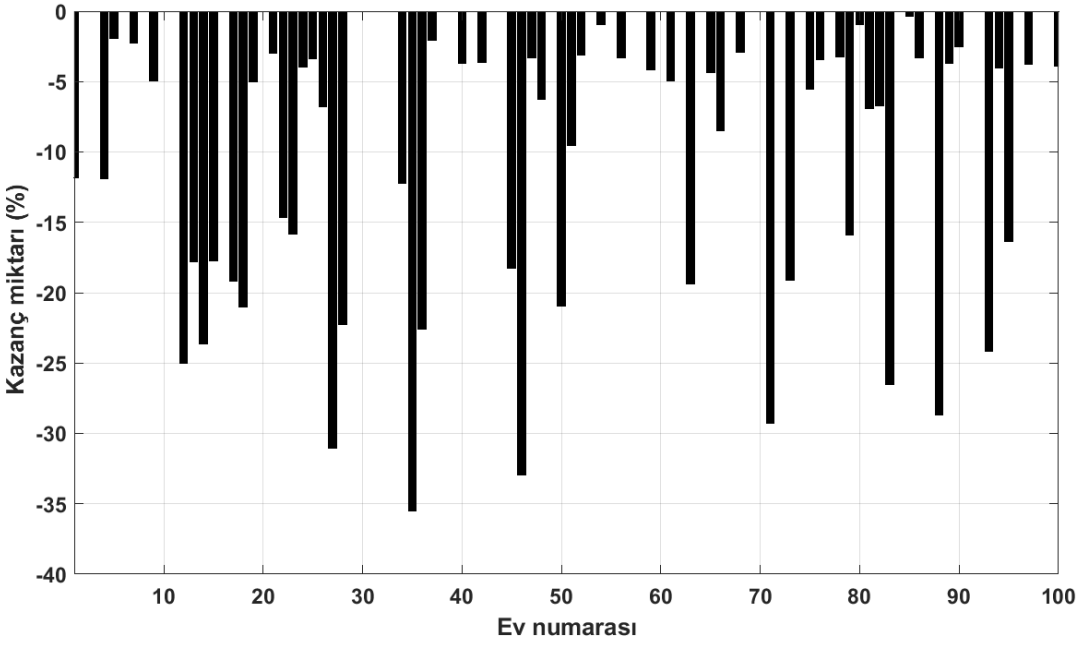


Şekil 6.59 : En iyi maliyet için oluşan talep eğrisi.

Puant zamanlardaki (saat 16.00-22.00 arası) tüketim azalmaktadır. En düşük elektrik tüketim maliyeti sağlanmış hal için elektrik tüketim durumu Şekil 6.60'da verilmiştir. Yüzde olarak maliyetteki azalma ise Şekil 6.61'de verilmiştir.

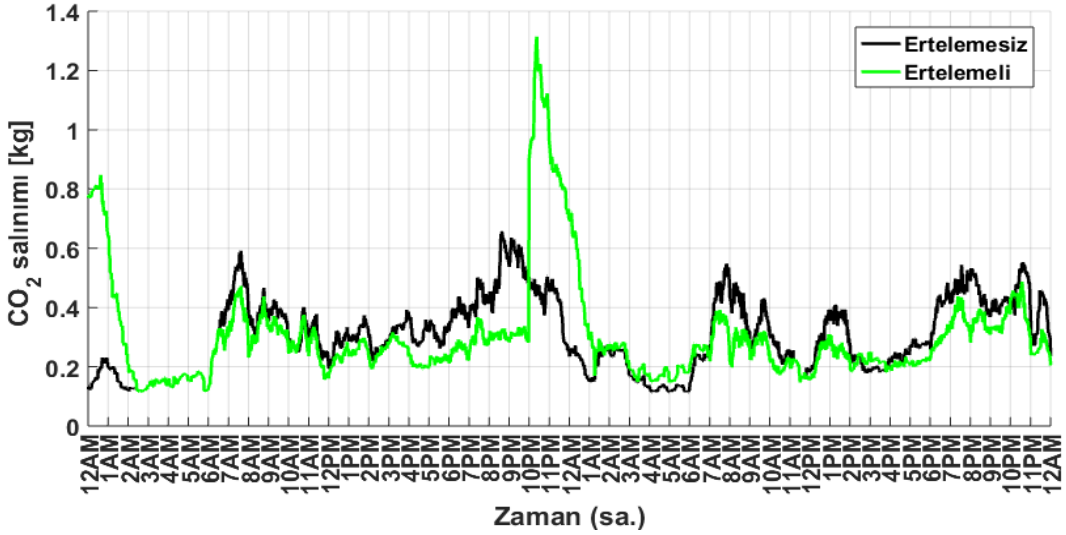


Şekil 6.60 : Ev bazında maliyette meydana gelen azalma (kazanç).



Şekil 6.61 : Ev bazında maliyette meydana gelen kazanç yüzdesi.

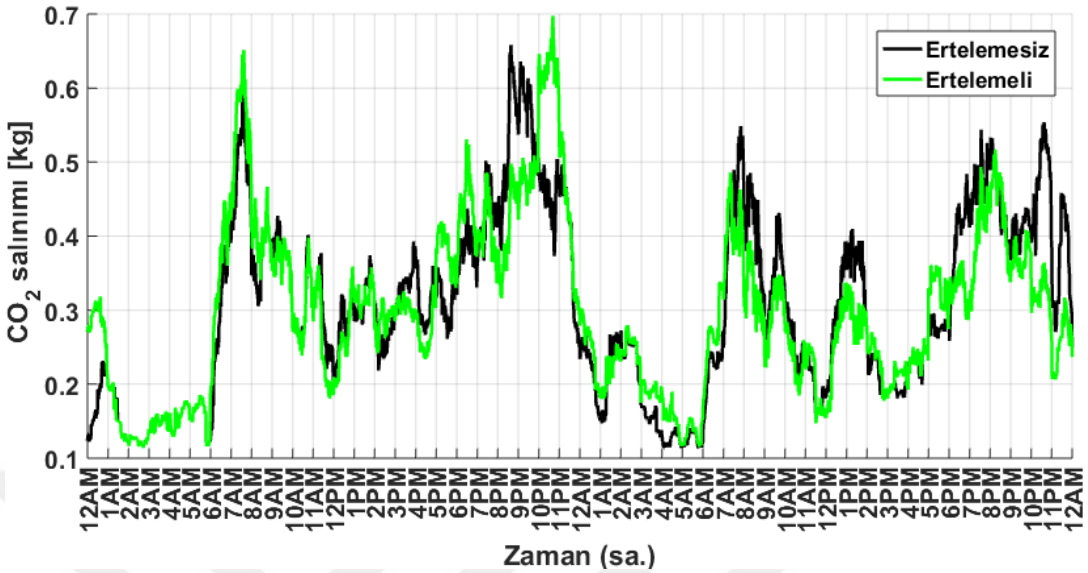
Talebin ertelenmesi karbondioksit salınımının da şekillenmesini sağlamıştır. Maliyet en iyilemesi nedeniyle oluşan yeni karbon salınımı erteleme öncesi durumla birlikte Şekil 6.62'de verilmiştir.



Şekil 6.62 : En iyi maliyet için oluşan karbondioksit salınımı.

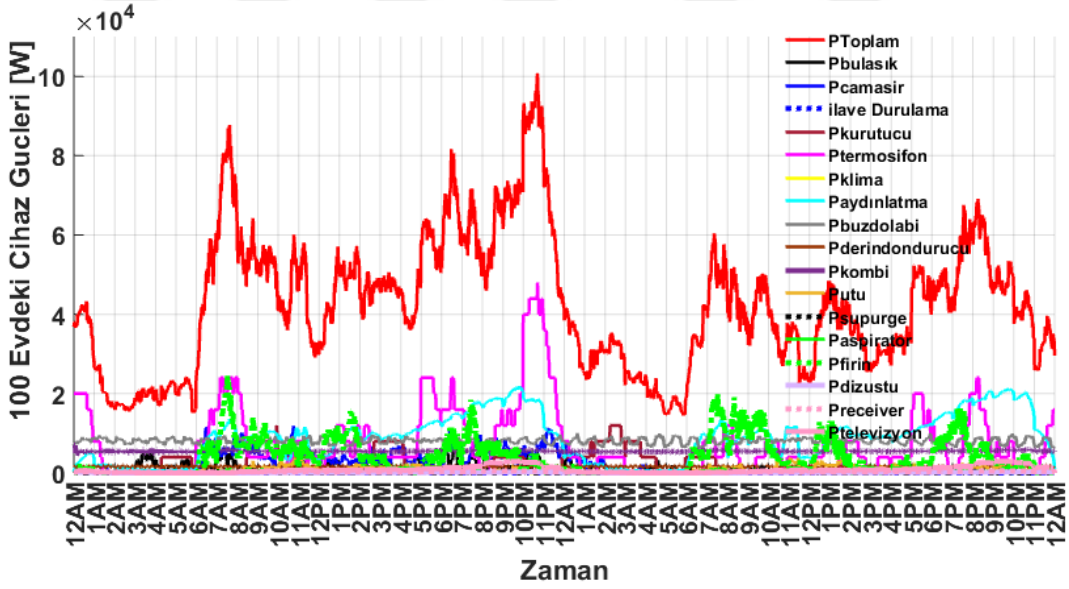
100 evde toplu karbondioksit salınımını GA ile en iyileyen çözüm için yapılan çalışmadaysa karbondioksit salınım miktarı 867,7 kg olarak bulunmuştur. Sabit tarifede en iyi karbondioksit salınımı için ödenmesi gereken tutar 1166,9 TL iken üç zamanlı tarifede tutar 1223,9 TL olarak hesaplanmıştır. Karbondioksit salınım

düzeyinin en iyilemesiyle oluşan yeni karbon salınımı erteleme öncesi durumla birlikte Şekil 6.63'de verilmiştir.



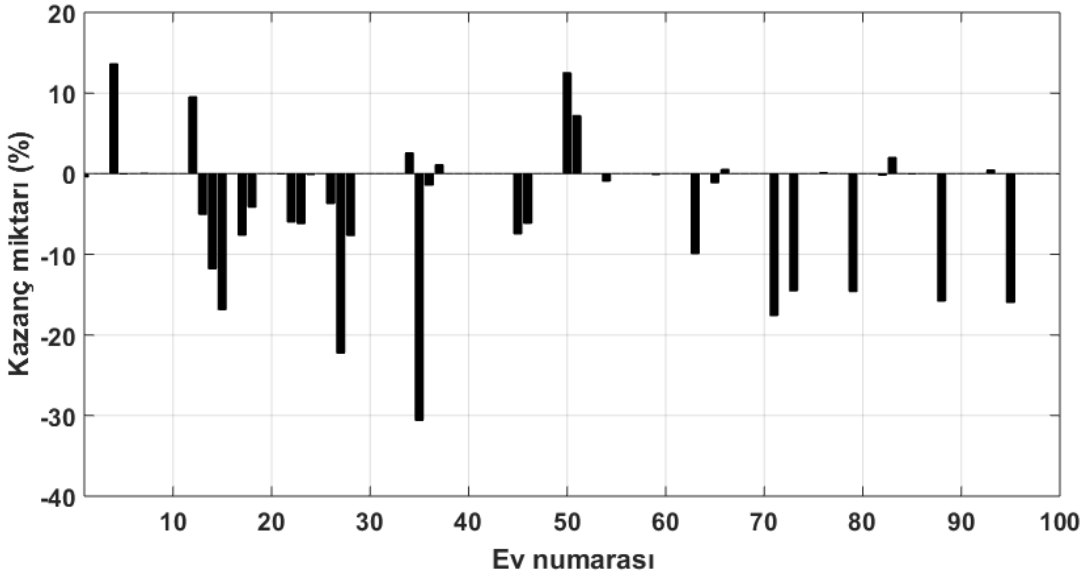
Şekil 6.63 : 100 ev için en iyilenmiş karbondioksit salınımı.

Her evin üç zamanlı tarifede en düşük karbondioksit salınımı sağlayacak şekilde hareket etmesi halinde, Şekil 6.64'te verilen talep değişmektedir.



Şekil 6.64 : En iyi karbondioksit salınımı için oluşan talep eğrisi.

En iyi karbondioksit salınımı nedeniyle üç zamanlı tarifede oluşan kazanç Şekil 6.65'te gösterilmiştir.



Şekil 6.65 : Karbondioksit salınımı azaltma kaynaklı maliyette meydana gelen kazanç yüzdesi.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında elektrik dağıtım sistemlerinde birey odaklı konfor öncelikli talep yönetimi için akıllı yöntem geliştirilmesi konu alınmıştır. Kişilerin yaşam şekilleri, davranış biçimleri talep yönetiminde çok önemlidir çünkü aslında talep yönetimi; tüketim davranışlarını değiştirmek, geliştirmek için tasarlanmaktadır. Talep yönetimi; talep toplayıcının yükü azalt, çoğalt, beklet gibi emrine müşterilerin davranış değişimleri ile cevap verebilme yeteneğinden söz etmektir. Dolayısıyla elektrik enerjisi sağlayıcılar, iletim ve dağıtım sistemi yük tevzi birimleri, bağımsız sistem işletmecileri, talep yönetimi sağlayıcılar, talep yönetiminin başarısından etkilenirler. Talep yönetimine ilgi, tüketicilerin gerçek tüketim miktarı ve maliyetlerinin zamanla değişimini izleyebilmelerini mümkün kılan uygulamalarla artabilir. Elektrik fiyatının artan taleple yükseldiği puant anlar için talep yönetimine katılım sağlayan tüketiciler ekonomik kazanım elde edecekleri veya karbondioksit emisyonunu azaltacakları uygun teşviklerle motive edilebilir. Tüketicinin kendi tüketim durumunun ve elektriği kullanma biçiminin farkındalığı, talep toplayıcılarla gerçekleştirilen bir evsel talep yönetiminde şebeke gereksinimlerine uygun bir yönetimin başarısını arttıracaktır. Evsel tüketiciler kullandıkları cihazların konforlarını sağlamaları, güvenlik kaygılarını gidermeleri, cihazlarının arıza ve çalışma durum bilgilerinin erişilebilir, kendileri ile paylaşılabilir olması halinde talep yönetiminde yer alabilecektir.

Çalışmada ilk olarak birey davranışının incelenmesi ve modellenmesi ele alınmıştır. Birey davranışının incelenmesi ve modellenmesi ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar gözden geçirilmiştir. Literatürde birey davranışının kişilerin evde varlığı ve varsayılan senaryo ile elektrik tüketim geçişlerinin ilişkilendirilmesi olarak kabul gördüğü sonucuna ulaşılmıştır. Bu tez çalışmasında ise önceki çalışmalardan farklı olarak birey davranışı, kişinin; evde varlığı, davranışları (faaliyetleri), tüketim alışkanlıkları, davranış uyarlamaları, ev ve çevrenin tüketim üzerinde etkisi olan fiziksel özelliklerinin bir birleşimi olarak yer almıştır. Birey davranışı modellemesi literatürde özellikle mühendislik çalışmalarında tercih edilen tümevarım yöntemiyle yapılmıştır.

Evsel cihazların incelenmesi ve güç modelleme çalışmalarında literatürde cihazların anlık tüketim verilerinden daha çok ortalama değerlerinin kullanımının tercih edildiği görülmüştür. Yine literatürde talep yönetiminde tüketiciye katılım bildirisinin en erken 15 dakika öncesi iletilebildiğini kabul eden çalışmalarda cihaz güç modellerinde genellikle 5 veya 15 dakikalık çözüm aralıklarına uygun güç modelleri tercih edilmiştir. Böylelikle daha az veriyle daha iyi en iyileme yapabilme hedeflenmiştir. Bu tez çalışmasında ise daha doğru çözünürlükte sonuçlara ulaşmak için en çok bir dakikalık bazı yükler içinse saniyelik ölçüm verilerinin kullanımı tercih edilmiştir. Böylece, puant yükün gerçek büyüklüğü 5 ve 15 dakikalık modellere göre daha gerçekçi bir biçimde ortaya konulmuştur. Tez çalışmasında evsel yük güç modelleri oldukça detaylı analizler sonrası oluşturulduğundan araştırmacıların bu modelleri geliştirebilme imkanı vardır. Yükler; yönetilebilir olma, kesinti yapılabilirlik, tüketiminde azaltılabilirlik imkanları açısından değerlendirilmiştir. Güç modelleri talep yönetimi gereksinimlerine cevap verebilir biçimde gerçekleştirilmiştir. Bulaşık makinesi, çamaşır makinesi, çamaşır kurutucu ertelenebilirlik özellikleri olan bir güç modeline sahiptir. Yıkama makineleri güç modelleri yine tüketici alışkanlıklarına cevap verebilecek bir çok yıkama program seçeneğini içerecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Gerçek ölçüm verilerinin kullanıldığı buzdolabı ve derin dondurucu güç modellerine dayalı geliştirilen yükler ertelenemez yük türü olarak talep yönetiminde kullanılmıştır. Elektrikli süpürge, ütü, aspiratör ve elektrikli fırın güç modelleri elle ertelenebilir yük türleri yapısına uygun güç modellerine sahiptir. Cihaz modelleri birden fazla kullanımı mümkün kılmaktadır. Televizyon ve uydu alıcısı kapalı, bekleme ve açık mod durumlarına cevap verebilir güç modelleri ile oluşturulmuştur. Bilgisayar güç modeline dakikalık verilerle kullanım alışkanlığı yansıtılmıştır. Termosifon gerçekçi su tüketim alışkanlıklarına, kesinti yapılabilir yük yönetimine uygun bir güç modeli içerir. Klima talep yönetim uygulamasında yönetilebilir nitelikleri içeren bir güç modeline sahiptir. Elektrikli arabanın ertelenebilir, kesinti yapılabilir bir yük olarak güç modeli oluşturulmuştur. Aydınlatma yükü için oluşturulan güç modelleri gün ışığı aydınlık düzeyinin yetersiz kalması halinde lamba kullanımını sağlayacak biçimde ele alınmıştır.

Evlerde ısıl, görsel ve akustik konfor ile ilgili literatürde yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Bu tez çalışmasında ısıl konfor için Fanger'in ısıl memnuniyet ölçümü için belirlediği ASHRAE55 standardı tanımına uygun incelemeler yapılmıştır. Kişisel

faktörler; giyinme ve kişinin uğraşının türü olarak modellerde yer almıştır. Çevresel faktörler ise; hava sıcaklığı, hava akımı akış hızı, radyant sıcaklık ve nem olarak konfor ölçümde kullanılmıştır. Görsel konfor aydınlık düzeyi yetersizlikleri için belirlenen rastgele değerlere göre lamba kullanımı ile oluşturulmuştur. Akustik konfor için gürültü seviyeleri 40 dB ve altında olmak ile ilgili standarda sahip buzdolabı ve derin dondurucunun uyku faaliyetindeki bir evde kullanımına izin verilmiştir. Bunun dışında çamaşır ve bulaşık makineleri uyku faaliyeti öncesi çalışmış olmaları şartıyla yıkama programlarının tamamlanmasına izin verilmektedir. Yüklere yapılan müdahaleler nedeniyle ısıl konforda, sıcak su konforunda veya belirlenmiş bir görev bitiş zamanına sahip yüklerde konforda azalmalar olduğu görülmüştür. Tüketimin azaltılması konforun da azalmasını sağlamaktadır. Yüklerin belirli bir güç sınırını aşmadan çalışması durumu için bulaşık ve çamaşır makinesinin ertelenebilir yönetim altyapısının sekiz saate kadar blok, otuz dakikaya kadar ise kısmi ertelenebilirlik kapasitesinin olduğu görülmüştür. Mevcut talep yönetimi ve yakın gelecekteki gelişmelere baktığımızda talep yönetiminde evsel kullanıcıların toplam tüketimde olan paylarının önemli bir oranda olması (%30-%40) nedeniyle yoğun çalışma yürütülen grup olduğunu görmekteyiz.

Evsel yönetilebilir yüklerin talep büyüklüğünün elde edilmesine yönelik yapılan çalışmada faaliyet kalıbının ötelenmesinin elektrik talebini de şekillendirdiği görülmüştür. Normal faaliyet kalıbının (Senaryo 1) bir saat sola ötelendiği durum (Senaryo 2) ve bir saat sağa ötelendiği (Senaryo 3) durum için günün farklı dilimlerinde talepte azalma görülmüştür. Senaryo 1, gece 1 ve öğleden sonra sırasıyla %12,27 ve %14,11'lik paylarla en az tüketime sahip olmuştur. Senaryo 2 günün kuşluk ve gece 2 olarak adlandırılan dönemlerinde sırasıyla %17,13 ve %8,87 paylarla en az değerdedir. Senaryo 3, en az tüketim payına sabah ve akşam sırasıyla %16,35 ve %23,32 ile sahip olmuştur. Yönetilebilir talep büyüklüğü Senaryo 3 için en az %56,7 olup Senaryo 1, %5 gece 1 ve %8,1 öğleden sonra dönemleri için en az değerdedir. Senaryo 2, %10,9 kuşluk ve %5 gece 2 döneminde yönetilebilir talep açısından en az tüketime sahiptir. Senaryo 3, %9,8 sabah ve %13,5 akşam dönemi yönetilebilir talep açısından en az tüketime sahiptir. Yönetilebilir talebin faaliyetlere ve senaryolara göre değişimi sonuçlarıysa; Senaryo 1, 6293 kWh (%7,8) uyku ve iş faaliyetine ait toplam yönetilebilir talep büyüklüğü en az 2061 kWh (%2,5) olarak gerçekleşmiştir. Senaryo 2 diğer senaryolara göre en az yönetilebilir talep büyüklüğü 15393 kWh (%19) yemek,

1037 kWh (%1,3) ulaşım ve 2024 kWh (%2,5) ibadet faaliyetindedir. Senaryo 3 için diğer senaryolara göre yönetilebilir talep büyüklüğü, 786 kWh (%1) eğitim, 4986 kWh (%6,2) ev işi, 475 kWh (%0,6) alışveriş, 1032 kWh (%1,3) eğlence, 5906 kWh (%7,3) televizyon, 2925 kWh (%3,6) internet ve diğer faaliyetler 2098 kWh (%2,6) ile az değerdedir. Her bir yük bazında talepteki değişimlerin faaliyet ve zaman dilimi bazında bilinmesi kullanıcıya özel teşviklerin sunulma imkanını arttırabilir. Tüketicinin talep yönetiminde hangi yüklerinin nasıl etileneceğini bilmek program başarısını olumlu etkileyecektir.

Evsel karbondioksit salınımının yönetilebilir yüklerin elektrik talebinin yönetimi ile şekillendirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Gün öncesi üretim planına uygun bir karbondioksit salınım düzeyi hedefinin sağlanması için anlık karbondioksit verilerini tüketiciyle paylaşan bir yapının talep yönetiminde önemli kazanımlar sağlayabileceği görülmüştür. Doğrudan karbondioksit salınımına yol açan elektrik tüketimi ve doğal gaz tüketiminin faaliyet ve günün zaman dilimlerine göre yapılan analizleri sonucunda; bir yıl süresince her ay bir hafta olacak şekilde yapılan çalışma sonucunda doğrudan salınımı yapılan elektrik tüketim kaynaklı toplam karbondioksit miktarı Senaryo 1 için 34290 kg, Senaryo 2'de 34767 kg, Senaryo 3'de ise 33968 kg olmuştur. Doğal gaz tüketimi kaynaklı doğrudan salınımı yapılan karbondioksit miktarı Senaryo 1 için 34525 kg, Senaryo 2'de 34620 kg ve Senaryo 3'de 34485 kg olmuştur. Elektrik tüketimi kaynaklı karbondioksit salınım miktarı doğal gaz tüketimi kaynaklı karbondioksit salınımlarıyla kombinin bu çalışmada kullanılan sahiplik oranı, ısıtma ve sıcak su kullanımı tercihleri için neredeyse aynı olmuştur. En yüksek karbondioksit salınımı toplam payı %57,7 ile Senaryo 2 ile gerçekleşmiştir. Kesinti yapılabilir yük grubu nedeniyle gerçekleşen CO_2 salınımları toplam elektrik kaynaklı salınımda Senaryo 1'de %28,7 paya sahipken bu değer Senaryo 2'de %29, Senaryo 3 içinse %28,8 olmuştur. Otomatik ertelenebilir elektrik yüklerinin neden olduğu salınımların elektrik kaynaklı salınımdaki payı Senaryo 1'de %15,3, Senaryo 2'de %16,8, Senaryo 3'de %14,8 bulunmuştur. Elle ertelenebilir elektrik yük kaynaklı salınımlar toplam elektrik kaynaklı salınımlarda Senaryo 1'de %13,3, Senaryo 2'de 12,3, Senaryo 3'de %13,1 olmuştur. Yönetilebilir CO_2 salınım payının en yüksek yemek (%19,3), uyku (%8,4) ve televizyon (%7,3) faaliyetlerine ait olduğu görülmüştür. En yüksek yönetilebilir CO_2 salınımı akşam (%13) bir saat ötelenmiş faaliyet kalıbında (Senaryo 3) sağlanmıştır. Senaryo 3 için yönetilebilir akşam CO_2 salınımlarında kesinitili yükler

(%6,1), otomatik ertelenebilir yükler (%3,1) ve elle ertelenebilir yükler ise (%3,8) paya sahip olmuştur.

Evsel talep yönetiminde konfor en iyileyen öncelik temelli yeni bir yönetim yöntemi için yapılan çalışmada literatürde kullanılan yöntemlerin konfor ile ilgili yetersizlikleri farklı senaryolarla gösterilmiştir. Dinamik öncelikleme temelli yönetimlerin statik öncelikleme temelli yönetimlere göre daha iyi konfor ve maliyetle talep yönetiminde yükleri çalıştırabileceği görülmüştür. Ertelenebilir yüklerin tüketim maliyetini azaltmak için fiyatın daha ucuz olduğu zaman aralığında daha iyi konfor elde edilerek çalışması belirli bir güç sınırı geçilmeden gerçekleşmiştir. Ev enerji yönetim sistemlerinde rahatlıkla uygulanabilir geliştirilen kural tabanlı algoritmaların aynı zamanda konfor ölçümü de yapabilir bir yapıda olması sağlanmıştır. Farklı nitelikteki yüklere ait konforunun bütüncül bir değerlendirmesi için yine çalışma yapılmıştır. Konfor sapmalarının statik öncelikleme temelli yönetimlerde genel konforda azalmayı sağlar boyutta olduğu görülmüştür. Önceliklerin dinamik değişiminin bulanık mantık temelli yapılabilmesinin de mümkün olduğu gösterilmiştir. Üyelik fonksiyon geçişlerinin daha iyi bulanıklaştırılması ileri çalışmalarda yapılabilir.

Farklı sistem ve yapı durumlarını içeren modellerle geliştirilen talep yönetimi yaklaşımının hem tüketici hem de talep toplayıcı beklentilerine etkisi popülasyon temelli en iyilemelerle araştırılmıştır. Güneş santrali mevcut olma durumu, farklı tarifeler, karbondioksit salınımı, öncelik temelli yönetim, güç sınırı olması, konfor beklentileri, talebin düzgünleştirilmesi gibi pek çok etmen göz önüne alınmıştır.

En iyileme yapılmayan temel senaryoda tüketim tutarı; sabit tarife 85,5492 TL, üç zamanlı tarifede (TOU) 96,101 TL ve gerçek zamanlı tarifede 84,6609 TL olmuştur. Yönetimsiz yapıda üç zamanlı tarifenin tüketiciye ekonomik kazanım sağlamadığı görülmüştür. Yönetimsiz durum olan temel senaryoda talebin düzgünleştirme oranı 4,5696 olmuştur. Isıl konfordan duyulan memnuniyetsizlik yani PPD %11,1582 olarak elde edilmiştir. Sıcak su kullanım ortalama sıcaklığı 43 °C'dir. Güç sınırından sapma miktarı 9851 kW olmuştur.

Sabit tarifede GA temelli olarak tüketim maliyetini en aza indirmeyi amaçlayan yapıda maliyet 71,0488 TL olmuştur. Sabit tarifede maliyette azalma cihazların daha az tüketim yapacak şekilde çalışmasını sağlamıştır. Tüketimde azalma talebin de düzgünleşme oranını %4,0496'ya indirmiştir. Ancak bu durum ısıl konfordan duyulan

memnuniyetsizliği arttırmış %22,7007 yapmıştır. Sıcak su kullanım ortalama değeri 44,3 °C bulunmuştur. Güç sınırından sapan toplam miktar 10190 kW dır. Sabit tarifede en iyilemeyle yapılan tüketimin üç zamanlı tarifede 78,4613 TL, gerçek zamanlı tarifede ise 70,6262 TL tuttuğu görülmüştür.

Üç zamanlı (TOU) tarifede GA temelli olarak tüketim maliyetini en aza indirmeyi amaçlayan yapıda maliyet 70,8314 TL olmuştur. Talebin düzgünleşme oranını %3,7509 elde edilmiştir. Isıl konfordan duyulan memnuniyetsizlik %22,0984 olmuştur. Sıcak su kullanım ortalama değeri 48 °C dir. Güç sınırından sapan toplam miktar 9999 kW dır. Üç zamanlı tarifede yapılan en iyilemeyle yapılan tüketimin sabit fiyatlı tarifede 73,9554 TL, gerçek zamanlı tarifede ise 72,6262 TL tuttuğu görülmüştür. Üç zamanlı tarifenin sabit tarifeye göre daha konforlu ve daha az maliyetli çözüm sağlayabildiği görülmüştür.

Gerçek zamanlı tarifede GA temelli olarak tüketim maliyetini en aza indirmeyi amaçlayan yapıda maliyet 69,3198 TL olmuştur. Talebin düzgünleşme oranı %3,9747 elde edilmiştir. Isıl konfordan duyulan memnuniyetsizlik %22,6917 olmuştur. Sıcak su kullanım ortalama değeri 44,3 °C dir. Güç sınırından sapan toplam miktar 10307 kW dır. Gerçek zamanlı tarifede yapılan en iyilemeyle yapılan tüketimin sabit fiyatlı tarifede 71,0909 TL, üç zamanlı tarifede ise 73,4397 TL tuttuğu görülmüştür. Gerçek zamanlı tarifeyle yapılan en iyilemenin sonuçları neredeyse sabit tarifeyle yapılan maliyet en iyileme sonuçlarıyla aynıdır. Daha az maliyetin gerçek zamanlı tarifede elde edilmesi tarifenin yapısından kaynaklanmıştır.

GA temelli olarak ısıl konforu en iyileyen yapıda maliyetler sabit tarifede 91,212 TL, üç zamanlı tarifede 96,5343 TL, gerçek zamanlı tarifede ise 89,8839 TL olmuştur. Talebin düzgünleşme oranını %3,0979 bulunmuştur. Isıl konfordan duyulan memnuniyetsizlik %7,5529 olmuştur. Sıcak su kullanım ortalama değeri 53,3 °C dir. Güç sınırından sapan toplam miktar 8859 kWdır. Isıl konforu arttıracak yönetimin tüketim maliyetini arttırdığı görülmüştür. Sabit tarife ile daha az maliyet elde edilmesine karşın üç zamanlı tarifede yönetimsiz temel senaryoya göre neredeyse aynı tutara daha iyi ısıl konfor sunan bir yük yönetimi sağlanmıştır.

GA temelli olarak sıcak su kullanım ortalama sıcaklığını en iyileyen yapıda maliyetler sabit tarifede 89,7024 TL, üç zamanlı tarifede 96,1407 TL, gerçek zamanlı tarifede ise 88,4323 TL olmuştur. Talebin düzgünleşme oranını %3,2075 bulunmuştur. Isıl

konfordan duyulan memnuniyetsizlik %16,1407 olmuştur. Sıcak su kullanım ortalama değeri 59,3 °Cdir. Güç sınırından sapan toplam miktar 8510 kWdır. Sıcak su kullanım konforu arttıracak yönetimin tüketim maliyetini arttırdığı ancak ısıl konforu arttıran en iyilemeye göre daha az tutarla bunu sağladığı görülmüştür. Sabit tarife ile daha az maliyet elde edilmesine karşın üç zamanlı tarifede yönetimsiz temel senaryoya göre neredeyse aynı tutara daha iyi sıcak su konforu sunan bir yük yönetimi sağlanmıştır.

GA temelli olarak talebin düzgünleştirilmesini en iyileyen yapıda maliyetler sabit tarifede 102,6692 TL, üç zamanlı tarifede 101,9903 TL, gerçek zamanlı tarifede ise 101,9903 TL olmuştur. Talebin düzgünleşme oranını %1,8978 bulunmuştur. Isıl konfordan duyulan memnuniyetsizlik %10,5211 olmuştur. Sıcak su kullanım ortalama değeri 58,4 °C dir. Güç sınırından sapan toplam miktar 7355 kWdır. Talebin düzgünleştirilmesinin en çok maliyet artışı sağladığı görülmüştür.

Güneş santrali varlığında yapılan en iyilemelerde maliyetin her bir tarifede daha az tüketim tutarına yol açtığı görülmüştür. Bunda tüketimin güneş santrali üretiminin bol olduğu dilimlere yönlendirilmesi etkili olmuştur. En iyilenmiş tüketim tutarı sabit tarifede 62,8311 TL, üç zamanlı tarifede 62,233 TL, gerçek zamanlı tarifede ise 61,4259 TL olmuştur. En iyi ısıl konforu güneş santrali olan bir yapıda elde etmek için sabit tarifede 76,8009 TL, üç zamanlı tarifede 82,0615 TL, gerçek zamanlı tarifede 76,3501 TL harcamak gerekmiştir. En iyi sıcak su konforu güneş santrali olan bir yapıda elde etmek için sabit tarifede 84,4909 TL, üç zamanlı tarifede 89,2175 TL, gerçek zamanlı tarifede 82,5061 TL harcamak gerekmiştir. En iyi talep düzgünlük oranını güneş santrali olan bir yapıda elde etmek için sabit tarifede 94,7669 TL, üç zamanlı tarifede 96,1773 TL, gerçek zamanlı tarifede 93,2452 TL harcamak gerekmiştir. Güneş santrali varlığında GA temelli çamaşır kurutucu ve elektrikli araba için görev bitiş zamanını en iyileyen çözümlerde sabit tarifede tüketim maliyetinin üç zamanlı tarifeden daha az olduğu görülmüştür. Bu durum üç zamanlı tarifenin az tüketim maliyetinin güneş santrali üretim anlarına denk gelmesi dolayısıyla sabit tarifeye göre tüketim maliyetinde yeterince azalma sağlayamamasından kaynaklanmıştır.

Çoklu amaç en iyileme çalışmaları sabit tarifede yapıldığında en iyi ısıl konfor %12,7059, en iyi sıcak su konforu 54,3 °C, en iyi talep düzgünleşmesi %3,0581, en iyi görev bitiş süresi için tutar 94,0841 TL olmuştur. Güneş santrali varlığı maliyeti

87,0189 TL yaparken en iyi ısıl konfor %8,5128, en iyi sıcak su konforu 56 °C, en iyi talep düzgünlük oranı % 3,4357 olmuştur.

Çoklu amaç en iyileme çalışmaları üç zamanlı tarifede yapıldığında en iyi ısıl konfor %12,0454, en iyi sıcak su konforu 54,2 °C, en iyi talep düzgünleşmesi %3,4203, en iyi görev bitiş süresi için tutar 94,9853 TL olmuştur. Güneş santrali varlığı maliyeti 71,7533 TL yaparken en iyi ısıl konfor %13,0336, en iyi sıcak su konforu 46,5 °C, en iyi talep düzgünlük oranı % 4,1953 bulunmuştur. Güneş santrali varlığının sabit tarifede maliyette üç zamanlı tarife kadar azalma sağlayamadığı görülmüştür.

Çoklu amaç en iyileme çalışmaları gerçek zamanlı tarifede yapıldığında en iyi ısıl konfor %11,0548, en iyi sıcak su konforu 53,6 °C, en iyi talep düzgünleşmesi %3,2479, en iyi görev bitiş süresi için tutar 86,8353 TL olmuştur. Güneş santrali varlığı maliyeti 82,9664 TL yaparken en iyi ısıl konfor %11,5179, en iyi sıcak su konforu 54,4 °C, en iyi talep düzgünlük oranı % 3,4269 bulunmuştur. Güneş santrali varlığının gerçek zamanlı tarifede maliyette üç zamanlı tarife kadar azalma sağlayamadığı görülmüştür.

Statik öncelikleme temelli yönetimde GA ile yapılan en iyilemede gerçek zamanlı tarifede 68,4410 TL olarak bulunan en iyi maliyeti sağlayan bir yönetim için sabit tarifede ödenecek tutar 69,7621 TL, üç zamanlı tarifede 70,1325 TL olur. Isıl konfor memnuniyetsizlik yüzdesi 30,2305 olarak elde edilmiştir. Ortalama sıcak su kullanım sıcaklığı 44,2 °C olur. Eğer 6 kW gibi bir güç sınırı söz konusu olsaydı tüm çalışma süresince bu değer ile olan güç farkı toplamı 9493 kW olurdu. Tüketimin düzgünleşme oranı 1,9231 olarak bulunur. Öncelik temelli yapılan en iyileme öncelik temelsiz yönetimle yapılan en iyilemelere göre tüketimde daha az maliyete neden olmuştur.

Karbondioksit salınım değeri yönetimsiz durum için 67,9977 kg olarak gerçekleşmiştir. Güneş santrali varlığı karbondioksit salınımını yönetimsiz yapıda (temel senaryoda) 61,8168 kg ve maliyeti ise 77,4056 TL yapmıştır. Sabit tarifede güneş santrali varlığında yapılan en iyi karbon salınım miktarı 50,4841 kg değerine gerilemiştir. Karbon salınımını güneş santrali varlığında en az yapan çözümde sabit tarifede tüketim tutarı 63,947 TL olmuştur. Sabit tarifede güneş santrali varlığında tüketim maliyetini azaltan çözüme göre bir miktar fazla maliyetle karbondioksit emisyonu azaltılmıştır. Statik ve dinamik öncelikleme temelli yönetimlerde yapılan karbondioksit salınım en iyilemeleri için sabit tarifede ödenmesi gereken tutarlar

sırasıyla 61,9585 TL ve 63,0813 TL olmuştur. Dinamik önceliklemede maliyet bir miktar artmasına karşın ısıl konfor, sıcak su konforu, talebin düzgünlük oranı daha iyi düzeye gelmiştir.

Bu doktora tez çalışmasında ortaya konulan en önemli katkılar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- İlk kez bu tez çalışmasında yer verilen birey odaklı yaklaşımlarla literatürde evsel talep yönetimine katkı sunulmuştur.
- Evlerde tüketimde belirleyici role sahip yaygın kullanılan on altı yük için gerçekçi ölçüm verilerinden evsel faaliyet temelli elektrikli cihaz modelleri üretilmiştir.
- Talep yönetimi yapısında araştırmacıların kullanabileceği cihazların yönetilebilirlik durumlarına uygun modeller gerçekleştirilmiştir.
- Konfor tanımlarına yer verilmiş bu tez çalışmasında, özgün konfor ölçme ve değerlendirme yöntemleri tanıtılmıştır.
- Talep yönetimi problemi, gerçekçi evsel tüketici cihaz modelleri kullanılarak ilk kez birey odaklı konfor öncelikli olarak yüksek çözünürlükte ele alınmıştır.
- Literatürde yönetilebilir evsel elektrik talep büyüklüğünün elde edilmesine yönelik yapılmış uzun dönem analizler içeren ilk çalışmadır.
- Talep toplayıcıların özel yaşam gizliliği, veri toplamadaki ekonomik ve teknik zorluklar nedeniyle elde edemedikleri yönetilebilir elektrik talebin büyüklüğü bu tez çalışmasında sunulan özgün yöntemle; faaliyet, günün dilimleri, cihazlar bazında erişilebilir olmuştur.
- Karbondioksit salınımı evsel talep yönetiminde ele alan ve yönetilebilir karbondioksit salınımını günün çeşitli dilimleri, evsel faaliyetler bazında üretebilen yeni bir yöntem gerçekleştirilmiştir.
- Evsel talep yönetim problem tanımlarında kural tabanlı kombinasyonel çözümler için ilk kez 0/1 sırt çantası dinamik programlama algoritmalarının entegrasyonu sağlanmıştır. Literatürde yaygın kullanılan en iyilemelere göre ev enerji yönetim sistemleri yapısına daha uygun yeni bir yöntem önerilmiştir.

- Evsel talep yönetiminde yaygın kullanılan yönetim yöntemi ve önerilen yeni yönetim yöntemi için algoritmalar üretilmiş, bu tez çalışmasında MATLAB ortamında üretilen özgün yönetim algoritmaları araştırmacılar ile paylaşılmıştır.
- Literatürde genellikle ısıl konfor için yapılan konfor ölçüm yöntemlerine ek olarak sıcak su konforu, görev zamanı tanımlı konfor ve bunlardan tüm yönetilebilir yükler için genel bir konfor değerinin nasıl elde edileceğine ait özgün yöntem tanıtılmıştır.
- Evsel talep yönetiminde dinamik önceliklemenin nasıl yapılabileceği konusunda hem kural tabanlı hem de bulanık mantık temelli özgün yaklaşımlarla literature katkı sunulmuştur.
- Tek ve çok amaç en iyilemeleri farklı sistem yapı ve beklentileri için analiz edilmiştir. Talep toplayıcı amaçları yanında tüketicinin konfor, maliyet ve düşük karbondioksit salınımı beklenti durumunlarına uygun bir akıllı yönetimin mümkün olduğu görülmüştür. Tarifelerin talep yönetimindeki etkinliği, güneş santrali varlığının önemi, konfor değişimleri ayrıntılı analizlere tabi tutulmuştur.
- Evsel talep yönetiminde problemlerin çözümünde kullanılan popülasyon temelli en iyileme algoritmaları MATLAB ortamında hazır çözücüler kullanılmaksızın tez çalışmasında yazılmış özgün kodlarla oluşturulmuştur.
- Birey odaklı konfor öncelikli yönetim probleminin birden fazla ev için de toplu olarak ele alınıp çözülebildiği maliyet ve karbondioksit salınım azaltma hedefleri için gösterilmiştir.

Bu tez çalışmasıyla elektrik dağıtım sistemlerinde birey odaklı konfor öncelikli talep yöntemi için geliştirilen akıllı yöntemlerin etkin kullanımının mümkün olduğu görülmüştür. Gelecek çalışmada birey odaklı evsel toplu yük yönetiminin daha büyük ölçekte ele alınması, talep toplayıcı ve katılımcılar için en iyilenen farklı amaçların durum analizi araştırmacılar tarafından gerçekleştirilebilir. Bu tez çalışmasında yer verilmeyen fiyat temelli puant zaman ücretlendirme, puant yük fiyatlama ve puant günü geri satılabilir tarifelerle analizler de gelecek çalışmada gerçekleştirilebilir. Şebeke olaylarının farklı teşvik unsurları ile etkileşimi, sunulan teşviklerin fayda maliyet analizi yine gelecek çalışmalarda ele alınabilecek hususlar arasındadır.

KAYNAKLAR

[1] **Zhang, F.** (2016). *Thermal comfort and cognitive performance under peak demand air conditioning management strategies* (Doctoral dissertation). Retrieved from https://ses.library.usyd.edu.au/handle/2123/15651

[2] **Wang, H., Henri, G., Tan, C.W., Rajagopal, R.** (2020). Activity detection and modeling using smart meter data: concept and case studies, *IEEE Power & Energy Society General Meeting*, August 2020, Doi:10.1109/pesgm41954.2020.9281746.

[3] **Liu, T. & Gu, N.** (2015). A generic energy disaggregation approach: what and when electrical appliances are used, *2015 IEEE International Conference on Data Mining Workshop (ICDMW)*, (pp. 389-397). Doi: 10.1109/ICDMW.2015.28.

[4] **Martinez-Gil, J., Freudenthaler, B. & Natschlaeger, T.** (2013). Modeling user behavior through electricity consumption patterns, *24th International Workshop on Database and Expert Systems Applications*, (pp. 204-208). Doi: 10.1109/DEXA.2013.44.

[5] **Zhang, T., Siebers, P.O. & Aickelin, U.** (2011). Modelling electricity consumption in office buildings: an agent based approach, *Energy and Buildings*, *43* (10), 2882-2892. Doi: 10.1016/j.enbuild.2011.07.007.

[6] **Yu, Z., Fung, B.C.M., Haghighat, F., Yoshino, H., Morofsky, E.** (2011). A systematic procedure to study the influence of occupant behavior on building energy consumption, *Energy and Buildings*, *43* (6), 1409-1417. Doi: 10.1016/j.enbuild.2011.02.002.

[7] **Widén, J., Wäckelgård, E**. (2010) A high-resolution stochastic model of domestic activity patterns and electricity demand, *Applied Energy*, *87* (6), 1880-1892. Doi: 10.1016/j.apenergy.2009.11.006

[8] **Hoes, P., Hensen, J.L.M., Loomans, M.G.L.C., Vries, B. de, Bourgeois D.** (2009). User behavior in whole building simulation, *Energy and Buildings*, *41* (3), 295-302. Doi: 10.1016/j.enbuild.2008.09.008.

[9] **Klein, L., Kwak, J., Kavulya, G., Jazizadeh, F., Becerik-Gerber, B., Varakantham, P., Tambe, Milind.** (2012). Coordinating occupant behavior for building energy and comfort management using multi-agent systems, *Automation in Construction*, *22*, 525-536. Doi: 10.1016/j.autcon.2011.11.012.

[10] **Hong, T., Yan, D., D'Oca, S., Chen, C.** (2017). Ten questions concerning occupant behavior in buildings: The big picture, *Building and Environment*, *114*, 518-530. Doi: 10.1016/j.buildenv.2016.12.006.

[11] **Calì, D., Andersen, R.K., Müller, D., Olesen, B.W.** (2016). Analysis of occupants' behavior related to the use of windows in German

households, *Building and Environment*, *103*, 54-69. Doi: 10.1016/j.buildenv.2016.03.024.

[12] **Yao, R., Steemers, K.** (2005). A method of formulating energy load profile for domestic buildings in the UK, *Energy and Buildings*, *37* (6), 663-671. Doi: 10.1016/j.enbuild.2004.09.007.

[13] **Motlagh, O., Paevere, P., Hong, T.S., Grozev, G.** (2015). Analysis of household electricity consumption behaviours: Impact of domestic electricity generation, *Applied Mathematics and Computation*, *270*, 165-178. Doi: 10.1016/j.amc.2015.08.029.

[14] **Oberst, C. & Madlener, R.** (2015). Prosumer preferences regarding the adoption of micro-generation technologies: empirical evidence for German homeowners, *Social Science Research Network*, Rochester, NY, SSRN Scholarly Paper ID 2670035, Sep. 2015. Doi: 10.2139/ssrn.2670035.

[15] **McMakin, A.H., Malone, E.L., Lundgren, R.E.** (2002). Motivating residents to conserve energy without financial incentives, *Environment and Behavior*. *34* (6), 848-863. Doi: 10.1177/001391602237252.

[16] **McLoughlin, F., Duffy, A., Conlon, M.** (2012). Characterising domestic electricity consumption patterns by dwelling and occupant socio-economic variables: An Irish case study, *Energy and Buildings*, *48*, 240-248. Doi: 10.1016/j.enbuild.2012.01.037.

[17] **Aalami, H.A., Moghaddam, M.P., Yousefi, G.R.** (2010). Modeling and prioritizing demand response programs in power markets, *Electric Power Systems Research*, *80* (4), 426-435. Doi: 10.1016/j.epsr.2009.10.007.

[18] **Swan, L.G., Ugursal, V.I.** (2009). Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *13* (8), 1819-1835. Doi: 10.1016/j.rser.2008.09.033.

[19] **Paul, A., Subbiah R., Marathe, A., Marathe, M.** (2012). A review of electricity consumption behavior, Consortium for Building Energy Innovation, Report Date: February 2012.

[20] **Capasso, A., Grattieri, W., Lamedica, R. & Prudenzi, A**. (1994). A bottom-up approach to residential load modeling, *IEEE Transactions on Power Systems*, *9* (2), 957-964. Doi: 10.1109/59.317650.

[21] **Paatero, J.V. & Lund, P.D.** (2006). A model for generating household electricity load profiles, *International Journal of Energy Research*, *30* (5), 273–290. Doi: 10.1002/er.1136.

[22] **M. Stokes.** (2005). Removing barriers to embedded generation: a fine-grained load model to support low voltage network performance analysis, Erişim: Temmuz 23, 2021, https://dora.dmu.ac.uk/handle/2086/4134.

[23] **Firth, S., Lomas, K., Wright, A., Wall, R.** (2008), Identifying trends in the use of domestic appliances from household electricity consumption measurements, *Energy and Buildings*, *40* (5), 926-936. Doi: 10.1016/j.enbuild.2007.07.005.

[24] **Groot, E.D, Spiekman, M. & Opstelten, I.** (2008). 361: Dutch research into user behaviour in relation to energy use of residences, *PLEA 2008-25th Conference on Passive and Low Energy Architecture*, (5 sayfa), Dublin, 24 Ekim.

[25] **Lee, Y.S., Malkawi, A.M.** (2014). Simulating multiple occupant behaviors in buildings: An agent-based modeling approach, *Energy and Buildings*, *69*, 407-416. Doi: 10.1016/j.enbuild.2013.11.020.

[26] **Richardson, I., Thomson, M., Infield, D.** (2008). A high-resolution domestic building occupancy model for energy demand simulations, *Energy and Buildings*, *40* (8), 1560-1566. Doi: 10.1016/j.enbuild.2008.02.006.

[27] **Richardson, I., Thomson, M., Infield, D., Delahunty, A.** (2009). Domestic lighting: A high-resolution energy demand model, *Energy and Buildings*, *41* (7), 781-789. Doi: 10.1016/j.enbuild.2009.02.010.

[28] **Stokes, M., Rylatt, M., Lomas, K.** (2004). A simple model of domestic lighting demand, *Energy and Buildings*, *36* (2), 103-116. Doi: 10.1016/j.enbuild.2003.10.007.

[29] **Bottaccioli, L., Cataldo, S.D., Acquaviva, A. & Patti, E.** (2019). Realistic multi-scale modeling of household electricity behaviors, *IEEE Access*, *7*, 2467-2489. Doi: 10.1109/ACCESS.2018.2886201.

[30] **Kuzlu, M., Pipattanasomporn, M. & Rahman, S.** (2012). Hardware demonstration of a home energy management system for demand response applications, *IEEE Transactions on Smart Grid*, *3* (4), 1704-1711. Doi: 10.1109/TSG.2012.2216295.

[31] **Venkatesan, N., Solanki, J., Solanki, S.K.** (2012). Residential Demand Response model and impact on voltage profile and losses of an electric distribution network, *Applied Energy*, *96*, 84-91. Doi: 10.1016/j.apenergy.2011.12.076.

[32] **Palensky, P. & Dietrich, D.** (2011). Demand side management: demand response, intelligent energy systems, and smart loads, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, *7* (3), 381-388. Doi: 10.1109/TII.2011.2158841.

[33] **Tutkak E.** (2010). *Bulaşık makinesi enerji tüketimi-yıkama performansı ilişkisinin incelenmesi*, (Yüksek Lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[34] **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: 19.06.2021.

[35] **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: 19.06.2021.

[36] **Pipattanasomporn, M., Kuzlu, M., Rahman, S. & Teklu, Y.** (2014). Load profiles of selected major household appliances and their demand

response opportunities, *IEEE Transactions on Smart Grid*, *5* (2), 742-750. Doi: 10.1109/TSG.2013.2268664.

[37] **Dora, C.M.** (2007). *Bir yıkama makinesinde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik modelleme*, (Yüksek Lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[38] **Al-Mumin, A., Khattab, O., Sridhar, G.** (2003). Occupants' behavior and activity patterns influencing the energy consumption in the Kuwaiti residences, *Energy and Buildings*, *35* (6), 549-559. Doi: 10.1016/S0378-7788(02)00167-6.

[39] **KONDA.** (2019). Türkiye'de toplumsal cinsiyet raporu hayat tarzları 2018 araştırması, (178 sayfa). https://konda.com.tr/wp-content/uploads/2019/11/KONDA_ToplumsalCinsiyetRaporu.pdf. erişim tarihi: 19.06.2021.

[40] **TUİK.** <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=18627>, erişim tarihi 19.06.2021.

[41] **Nehrir, M.H., Jia, R., Pierre, D.A. & Hammerstrom D.J.** (2007). Power management of aggregate electric water heater loads by voltage control, *2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 1-6. Doi: 10.1109/PES.2007.386024.

[42] **Shao, S., Pipattanasomporn, M. & Rahman, S.** (2013). Development of physical-based demand response-enabled residential load models, *IEEE Transactions on Power Systems*, *28* (2), 607-614. Doi: 10.1109/TPWRS.2012.2208232.

[43] **Parker, D.S., Fairey, P., & Lutz, J.D. (2015).** Estimating daily domestic hot-water use in North American Homes, *ASHRAE Transactions*, 121 (2), 258–271.

[44] **Radyatör hesabı.** <https://www.tesisat.org/pratik-radyator-hesabi.html> erişim tarihi 20.07.2021.

[45] **Tesisat su miktarı.** https://www.uzmanlartesisat.com/tesisatci/bir-dairedeki-radyatorlerin-icindeki-su-miktari.html

[46] **Çelik, S.** Binalarda Isıl kayıp hesabı, <http://selahattincelik.com/ wpcontent/ uploads/2014/10/B%C3%B6l%C3%BCm-2-Is%C4%B1-kayb%C4%B1-hesab%C4%B1.pdf> erişim tarihi 20.07.2021.

[47] **Marino, C., Nucara, A., Pietrafesa, M.** (2012). Proposal of comfort classification indexes suitable for both single environments and whole buildings, *Building and Environment*, *57*, 58-67. Doi: 10.1016/j.buildenv.2012.04.012.

[48] **Yang, R., Wang, Lingfeng.** (2013). Development of multi-agent system for building energy and comfort management based on occupant behaviors, *Energy and Buildings*, *56*, 1-7. Doi: 10.1016/j.enbuild.2012.10.025.

[49] **Guo, W. & Zhou, M.** (2009). Technologies toward thermal comfort-based and energy-efficient HVAC systems: A review, *2009 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 3883-3888. Doi: 10.1109/ICSMC.2009.5346631.

[50] **Ku, K.L., Liaw, J.S., Tsai, M.Y. & Liu, T.S.** (2015). Automatic control system for thermal comfort based on predicted mean vote and energy saving, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, *12* (1), 378-383. Doi: 10.1109/TASE.2014.2366206.

[51] **Safdar, A., DoHyeun, K.** (2013). Energy conservation and comfort management in building environment, *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, *9* (6), 2229-2244.

[52] **Wang, Z., Yang R. & Wang, L.** (2010). Multi-agent intelligent controller design for smart and sustainable buildings, *2010 IEEE International Systems Conference*, 277-282. Doi: 10.1109/SYSTEMS.2010.5482326.

[53] **Emmerich, S. & Persily, A.** (2001), State-of-the-Art Review of CO₂ Demand Controlled Ventilation Technology and Application, NIST Interagency/Internal Report (NISTIR), National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, [online], https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=860846 (Accessed July 23, 2021)

[54] **Huang, L., Zhu, Y., Ouyang, Q., Cao, B.** (2012). A study on the effects of thermal, luminous, and acoustic environments on indoor environmental comfort in offices, *Building and Environment*, *49*, 304-309. Doi: 10.1016/j.buildenv.2011.07.022.

[55] **ANSI/ASHRAE 55.** (2004). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy; American Society of Heating Ventilating and Air-Conditioning Engineers: Atlanta, GA, USA.

[56] **ISO7730.** (1994). Moderate Thermal Environments. Determination of the PMV and PDD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort; ISO7730; International Organisation for Standardisation: Geneva, Switzerland.

[57] **Fanger, P.O,** (1972). Thermal Comfort Analysis and Applications in Environment Engineering; McGraw Hill: New york, NY, USA.

[58] **ASHRAE.** (2009). American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). ASHRAE Handbook-Fundamentals; Refrigerating American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers: Atlanta, GA, USA.

[59] **Gagge, A.P., Stolwijk, J.A.J., Nishi, Y.** (1970). An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response. *ASHRAE Transactions*, *77*, 247–262.

[60] **Küçükçalı, R.** (2001). Lejyoner hastalığına karşı mekanik tesisatta alınması gereken önlemler, *V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, 115-137.

[61] **Gungor, H., Simon, A.U.** (2017), Energy consumption, finance and growth: The role of urbanization and industrialization in South Africa. *International Journal of Energy Economics and Policy*, *7* (3), 268-276.

[62] **Alberini, A., Filippini, M.** (2011). Response of residential electricity demand to price: The effect of measurement error, *Energy Economics*, *33* (5), 889-895. Doi: 10.1016/j.eneco.2011.03.009.

[63] **Warren, P.** (2014). A review of demand-side management policy in the UK, *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 29*, 941-951. Doi: 10.1016/j.rser.2013.09.009.

[64] **Gellings, C.W.** (1985). The concept of demand-side management for electric utilities, *Proceedings of the IEEE, 73* (10), 1468-1470. Doi: 10.1109/PROC.1985.13318.

[65] **Runnels, J.E. & Whyte M.D.** (1985). Evaluation of demand-side management, *Proceedings of the IEEE, 73* (10), 1489-1495. Doi: 10.1109/PROC.1985.13320.

[66] **Zahedi, A.** (2011). A review of drivers, benefits, and challenges in integrating renewable energy sources into electricity grid, *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15* (9), 4775-4779. Doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.074.

[67] **Reddy, K.S., Kumar, M., Mallick, T.K., Sharon, H., Lokeswaran, S.** (2014). A review of integration, control, communication and metering (ICCM) of renewable energy based smart grid, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *38*, 180-192, Doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.049.

[68] **Ambrosio, R.** (2016). Transactive energy systems, *IEEE Electrification Magazine*, *4* (4), 4–7.

[69] **Pallonetto, F., Rosa, M.D., Milano, F., Finn, D.P.** (2019). Demand response algorithms for smart-grid ready residential buildings using machine learning models, *Applied Energy*, *239*, 1265-1282. Doi: 10.1016/j.apenergy.2019.02.020.

[70] **Gyamfi, S., Krumdieck, S.** (2012). Scenario analysis of residential demand response at network peak periods, *Electric Power Systems Research*, *93*, 32-38, Doi: 10.1016/j.epsr.2012.07.004.

[71] **Vardakas, J.S., Zorba, N. & Verikoukis, C.V.** (2015). A Survey on Demand Response Programs in Smart Grids: Pricing Methods and Optimization Algorithms, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, *17* (1), 152-178. Doi: 10.1109/COMST.2014.2341586.

[72] **Moghaddam, M. P., Abdollahi, A., Rashidinejad, M.,** (2011). Flexible demand response programs modeling in competitive electricity markets, *Applied Energy*, *88* (9), 3257-3269. Doi: 10.1016/j.apenergy.2011.02.039.

[73] **Kostková, K., Omelina, Ľ., Kyčina, P., Jamrich, P.** (2013). An introduction to load management, *Electric Power Systems Research*, *95*, 184-191.Doi: 10.1016/j.epsr.2012.09.006.

[74] **Tang, C.-J., Dai, M.-R., Chuang, C.-C., Chiu, Y.-S., Lin, W.S.** (2014). A load control method for small data centers participating in demand response programs, *Future Generation Computer Systems*, *32*, 232-245. Doi: 10.1016/j.future.2013.07.020.

[75] **Medina, J., Muller, N. & Roytelman, I.** (2010) Demand response and distribution grid operations: opportunities and challenges. *IEEE Transactions on Smart Grid*, *1*, 193-198. Doi: 10.1109/TSG.2010.2050156

[76] **Lu, N. & Zhang, Y.** Design considerations of a centralized load controller using thermostatically controlled appliances for continuous regulation reserves, *IEEE Transactions on Smart Grid, 4* (2), 914-921. Doi: 10.1109/TSG.2012.2222944.

[77] **Palensky P. et al.** (2011). Demand response with functional buildings using simplified process models, *IECON 2011 - 37th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 3230-3235. Doi: 10.1109/IECON.2011.6119828.

[78] **Yano, H., Kudo, K., Ikegami, T., Iguchi, H., Kataoka, K. & Ogimoto K.** (2012). A novel charging-time control method for numerous EVs based on a period weighted prescheduling for power supply and demand balancing, *2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*, 1-6. Doi: 10.1109/ISGT.2012.6175612.

[79] **Shi, W., & Wong, V.W.S.** (2011). Real-time vehicle-to-grid control algorithm under price uncertainty, *2011 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)*, 261-266. Doi: 10.1109/SmartGridComm.2011.6102330.

[80] **Han, S., Han, S. & Sezaki, K.** (2010). Development of an Optimal Vehicle-to-Grid Aggregator for Frequency Regulation, *IEEE Transactions on Smart Grid, 1* (1), 65-72. Doi: 10.1109/TSG.2010.2045163.

[81] **Lee, J., Kim, H.J., Park, G.L., Jeon, H.** (2012) Genetic Algorithm-Based Charging Task Scheduler for Electric Vehicles in Smart Transportation. In: Pan JS., Chen SM., Nguyen N.T. (eds) Intelligent Information and Database Systems. ACIIDS 2012. Lecture Notes in Computer Science, vol 7196. Springer, Berlin, Heidelberg. Doi: 10.1007/978-3-642-28487-8_21

[82] **Domínguez-García, A.D. & Hadjicostis, C. N.** (2011). Distributed algorithms for control of demand response and distributed energy resources, *2011 50th IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference*, 27-32. Doi: 10.1109/CDC.2011.6160431.

[83] **Doostizadeh, M., Ghasemi, H.** (2012). A day-ahead electricity pricing model based on smart metering and demand-side management, *Energy, 46* (1), 221-230. Doi: 10.1016/j.energy.2012.08.029.

[84] **Aghaei, J., Alizadeh, M.-I.** (2013). Demand response in smart electricity grids equipped with renewable energy sources: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 18*, 64-72. Doi: 10.1016/j.rser.2012.09.019.

[85] **Faruqui, A., Sergici, S., Sharif, A.** (2010). The impact of informational feedback on energy consumption-A survey of the experimental evidence, *Energy*, 35 (4), 1598-1608. Doi: 10.1016/j.energy.2009.07.042.

[86] **Zhou, Q., Guan, W. & Sun, W.** (2012). Impact of demand response contracts on load forecasting in a smart grid environment, *2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 1-4. Doi: 10.1109/PESGM.2012.6345079.

[87] **Liang, Y., He, L., Cao, X. & Shen, Z.** (2013). Stochastic control for smart grid users with flexible demand, *IEEE Transactions on Smart Grid*, *4* (4), 2296-2308. Doi: 10.1109/TSG.2013.2263201.

[88] **Samadi, P., Mohsenian-Rad, H., Schober, R. & Wong, V.W.S.** (2012). Advanced demand side management for the future smart grid using mechanism design, *IEEE Transactions on Smart Grid*, *3* (3), 1170-1180. Doi: 10.1109/TSG.2012.2203341.

[89] **Chen, C., Kishore, S. & Snyder, L.V.** (2011). An innovative RTP-based residential power scheduling scheme for smart grids, *2011 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 5956-5959. Doi: 10.1109/ICASSP.2011.5947718.

[90] **Mohagheghi, S., Stoupis, J., Wang, Z., Li, Z. & Kazemzadeh, H.** (2010). Demand Response Architecture: Integration into the Distribution Management System, *2010 First IEEE International Conference on Smart Grid Communications*, 501-506, doi: 10.1109/SMARTGRID.2010.5622094.

[91] **Albadi, M.H., El-Saadany, E.F.** (2008). A summary of demand response in electricity markets, *Electric Power Systems Research*, *78* (11), 1989-1996, doi: 10.1016/j.epsr.2008.04.002.

[92] **Khajavi, P., Abniki, H. & Arani, A.B.** (2011). The role of incentive based demand response programs in smart grid, *10th International Conference on Environment and Electrical Engineering*, 1-4, doi: 10.1109/EEEIC.2011.5874702.

[93] **Lee, J., Park, G.-L., Kim, S.-W., Kim, H.-J., & Sung, C.O.** (2011). Power consumption scheduling for peak load reduction in smart grid homes, *In Proceedings of the 2011 ACM Symposium on Applied Computing (SAC '11)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 584–588, doi: 10.1145/1982185.1982310

[94] **Dong, Q., Yu, L., Song, W., Tong, L. & Tang, S**. (2012). Distributed demand and response algorithm for optimizing social-welfare in smart grid, *IEEE 26th International Parallel and Distributed Processing Symposium*, 1228-1239, doi: 10.1109/IPDPS.2012.112.

[95] **OpenADR alliance,** <http://www.openadr.org/specification> erişim tarihi 14.07.2021.

[96] **Sonoda, T., Kitajima, H., Takahashi, S.** (2014). Trend and technology development of demand response, *Fujitsu Sci.Tech. J*ournal, *50* (2), 85-91.

[97] **Vardakas, J. S., Zorba, N., Verikoukis, C.V.** (2015). Performance evaluation of power demand scheduling scenarios in a smart grid environment, *Applied Energy*, *142*, 164-178, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.12.060.

[98] **Giorgio, A.D., Pimpinella, L.** (2012). An event driven Smart Home Controller enabling consumer economic saving and automated Demand Side Management, *Applied Energy*, *96*, 92-103, doi: 10.1016/j.apenergy.2012.02.024.

[99] **Baboli, P.T., Moghaddam, M.P. & Eghbal M.** (2011). Present status and future trends in enabling demand response programs, *2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 1-6, doi: 10.1109/PES.2011.6039608.

[100] **O'Doherty, J., Lyons, S., Tol, R.S.J.** (2008). Energy-using appliances and energy-saving features: Determinants of ownership in Ireland, *Applied Energy*, *85* (7), 650-662, doi: 10.1016/j.apenergy.2008.01.001.

[101] **Haider, H.T., See, O.H., Elmenreich, W.** (2016). A review of residential demand response of smart grid, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *59*, 166-178, doi: 10.1016/j.rser.2016.01.016.

[102] **Khan, A.A., Razzaq, S., Khan, A., Khursheed F., Owais.** (2015). HEMSs and enabled demand response in electricity market: An overview, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *42*, 773-785. Doi: 10.1016/j.rser.2014.10.045.

[103] **Knudsen, M.D., Petersen S.** (2016). Demand response potential of model predictive control of space heating based on price and carbon dioxide intensity signals, *Energy and Buildings*, *125*, 196-204, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.04.053.

[104] **McKenna, E., Barton, J., Thomson, M. (2017).** Short-run impact of electricity storage on CO2 emissions in power systems with high penetrations of wind power: A case-study of Ireland, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: *Journal of Power and Energy*, *231*, 590-603, doi: 10.1177/0957650916671432

[105] **Dones, R., Heck, T., & Hirschberg, S.** (2004). Greenhouse gas emissions from energy systems: comparison and overview (CH--0401), 77-95. Gschwend, B. (Ed.). Switzerland.

[106] **Arango-Miranda, R., Hausler, R., Romero-Lopez, R., Glaus, M., Ibarra-Zavaleta S.P.** (2018). Carbon dioxide emissions, energy consumption and economic growth: a comparative empirical study of selected developed and developing countries, "The role of exergy", *Energies*, 11, 1-16, doi:10.3390/en11102668

[107] **Le Quéré, C., Jackson, R.B., Jones, M.W. et al.** (2020). Temporary reduction in daily global CO2 emissions during the COVID-19 forced confinement. *Nat. Clim. Chang*. *10*, 647–653, doi: 10.1038/s41558-020-0797-x

[108] **Cui-Mei, M., Quan-Sheng, G.** (2014). Method for Calculating CO2 Emissions from the Power Sector at the Provincial Level in China, *Advances in Climate Change Research*, *5* (2), 92-99, doi: 10.3724/SP.J.1248.2014.092.

[109] **De Chalendar, J.A., Taggart, J., Benson, S.M. (2019).** Tracking emissions in the US electricity system, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *116* (51), 25497-25502, doi: 10.1073/pnas.1912950116

[110] **Abdallah, L., El-Shennawy, T. (2013).** Reducing Carbon Dioxide Emissions from Electricity Sector Using Smart Electric Grid Applications,

Journal of Engineering, vol. *2013*, Article ID 845051, 8 pages, doi: 10.1155/2013/845051

[111] **Hirano, Y., Ihara, T., Yoshida, Y.** (2016). Estimating residential CO2 emissions based on daily activities and consideration of methods to reduce emissions, *Building and Environment*, *103*, 1-8, doi: 10.1016/j.buildenv.2016.02.021.

[112] **Balsalobre-Lorente, D., Álvarez-Herranz, A., Shahbaz, M.** (2019) The Long-Term Effect of Economic Growth, Energy Innovation, Energy Use on Environmental Quality. In: Shahbaz M., Balsalobre D. (eds) Energy and Environmental Strategies in the Era of Globalization. *Green Energy and Technology*. Springer, Cham, doi: 10.1007/978-3-030-06001-5_1

[113] **Zubair, A.O., Samad, A.-R. A., Dankumo, A.M.** (2020). Does gross domestic income, trade integration, FDI inflows, GDP, and capital reduces CO2 emissions? An empirical evidence from Nigeria, *Current Research in Environmental Sustainability*, *2*, doi: 10.1016/j.crsust.2020.100009.

[114] **Adika, C.O., Wang, L.** (2014). Smart charging and appliance scheduling approaches to demand side management, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, *57*, 232-240, doi: 10.1016/j.ijepes.2013.12.004.

[115] **McKenna, E., Darby, S.J.** (2017). How much could domestic demand response technologies reduce CO2 emissions? *Proceedings of the ECEEE Summer Study on Consumption, Efficiency and Limits*, Stockholm, 337-347.

[116] **Schlömer, S.** (2015), Technology-specific cost and performance parameters, *Intergovernmental panel on climate change in 2014: Working group III contribution to the IPCC Fifth Assessment Report*, Cambridge, 1329-1356.

[117] **Yin, L., Liu, G., Zhou, J., Liao, Y., Ma, X.** (2017). A Calculation Method for CO2 Emission in Utility Boilers Based on BP Neural Network and Carbon Balance, *Energy Procedia*, *105*, 3173-3178, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.690.

[118] **Ari, I., Koksal, M.A.** (2011). Carbon dioxide emission from the Turkish electricity sector and its mitigation options, *Energy Policy*, *39* (10), 6120-6135, doi: 10.1016/j.enpol.2011.07.012.

[119] **Chen, X., Wei, T. & Hu, S.** (2013). Uncertainty-aware household appliance scheduling considering dynamic electricity pricing in smart home, *IEEE Transactions on Smart Grid*, *4* (2), 932-941, doi: 10.1109/TSG.2012.2226065.

[120] **Sharma, I., Dong, J., Malikopoulos, A.A, Street, M., Ostrowski, J., Kuruganti, T., Jackson, R.** (2016). A modeling framework for optimal energy management of a residential building, *Energy and Buildings*, *130*, 55-63, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.08.009.

[121] **Wu, Z., Zhou, S., Li, J. & Zhang, X.** (2014). Real-Time Scheduling of Residential Appliances via Conditional Risk-at-Value," in IEEE

Transactions on Smart Grid, *5* (3), 1282-1291, May 2014, doi: 10.1109/TSG.2014.2304961.

[122] **Rastegar, M., Fotuhi-Firuzabad, M., Zareipour, Hamidreza.** (2016). Home energy management incorporating operational priority of appliances, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, *74*, 2016, 286-292, ISSN 0142-0615, doi: 10.1016/j.ijepes.2015.07.035.

[123] **Mohsenian-Rad, A. & Leon-Garcia, A.** (2010). Optimal residential load control with price prediction in real-time electricity pricing environments, *IEEE Transactions on Smart Grid*, *1* (2), 120-133, Sept. 2010, doi: 10.1109/TSG.2010.2055903.

[124] **Hsu, Y.-Y. & Su, C.-C.** (1991). Dispatch of direct load control using dynamic programming, *IEEE Transactions on Power Systems*, *6* (3), 1056-1061, Aug. 1991, doi: 10.1109/59.119246.

[125] **Golshannavaz, S.** (2018). Cooperation of electric vehicle and energy storage in reactive power compensation: An optimal home energy management system considering PV presence, *Sustainable Cities and Society*, *39*, 2018, 317-325, ISSN 2210-6707, doi: 10.1016/j.scs.2018.02.018.

[126] **Anzar, M., Nadeen, J., Asghar, K.M., Sohail, R.** (2015). An overview of load management techniques in smart grid, *International Journal of Energy Research*, *39* (11), 1437–1450, 2015, doi: 10.1002/er.3350

[127] **Shakeri, M., Shayestegan, M., Reza, S.M.S., Yahya, I., Bais, B., Akhtaruzzaman, M., Sopian, K., Amin, N.** (2018). Implementation of a novel home energy management system (HEMS) architecture with solar photovoltaic system as supplementary source, *Renewable Energy*, *125*, 108-120, ISSN 0960-1481, doi: 10.1016/j.renene.2018.01.114.

[128] **Qian, L.P., Zhang, Y.J.A., Huang, J. & Wu, Y.** (2013). Demand Response Management via Real-Time Electricity Price Control in Smart Grids, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, *31* (7), pp. 1268-1280, July 2013, doi: 10.1109/JSAC.2013.130710.

[129] **Marzband, M., Ghazimirsaeid, S.S., Uppal, H., Fernando, T.** (2017). A real-time evaluation of energy management systems for smart hybrid home Microgrids, *Electric Power Systems Research*, *143*, 624-633, doi: 10.1016/j.epsr.2016.10.054.

[130] **Conejo, A.J., Morales, J.M. & Baringo, L.** (2010). Real-Time Demand Response Model, *IEEE Transactions on Smart Grid*, *1* (3), pp. 236-242, Dec. 2010, doi: 10.1109/TSG.2010.2078843.

[131] **Adika, C.O. & Wang, L.** (2014). Autonomous Appliance Scheduling for Household Energy Management, IEEE Transactions on Smart Grid, *5* (2), 673-682, March 2014, doi: 10.1109/TSG.2013.2271427.

[132] **Pedrasa, M.A.A., Spooner, T.D. & MacGill, I. F.** (2010). Coordinated Scheduling of Residential Distributed Energy Resources to Optimize Smart Home Energy Services, *IEEE Transactions on Smart Grid*, *1* (2), pp. 134-143, Sept. 2010, doi: 10.1109/TSG.2010.2053053.

[133] **Rastegar, M., Fotuhi-Firuzabad, M., Aminifar, F.** (2012). Load commitment in a smart home, *Applied Energy*, *96*, 45-54, doi: 10.1016/j.apenergy.2012.01.056.

[134] **Wang, Z., Gu, C., Li, F., Bale, P. & Sun, H.** (2013). Active demand response using shared energy storage for household energy management, *IEEE Transactions on Smart Grid*, *4* (4), 1888-1897, Dec. 2013, doi: 10.1109/TSG.2013.2258046.

[135] **Zhao, Z., Lee, W.C., Shin, Y. & Song, K.** (2013). An Optimal Power Scheduling Method for Demand Response in Home Energy Management System, *IEEE Transactions on Smart Grid*, *4* (3), 1391-1400, Sept. 2013, doi: 10.1109/TSG.2013.2251018.

[136] **Koutitas, G.** (2012). Control of Flexible Smart Devices in the Smart Grid, IEEE Transactions on Smart Grid, *3* (3), pp. 1333-1343, Sept. 2012, doi: 10.1109/TSG.2012.2204410.

[137] **Filomeno M. Vieira, Pedro S. Moura, Aníbal T. de Almeida.** (2017). Energy storage system for self-consumption of photovoltaic energy in residential zero energy buildings, *Renewable Energy*, *103*, 308-320, doi: 10.1016/j.renene.2016.11.048.

[138] **Arun, S.L., Raj, A.A. & Selvan, M.P.** (2017). Demand response in smart buildings through time-varying priority of household appliances, *2017 IEEE Region 10 Symposium (TENSYMP)*, pp. 1-5, doi: 10.1109/TENCONSpring.2017.8069992.

[139] **Sianaki, O.A., Hussain, O. & Tabesh, A.R. (**2010). A Knapsack problem approach for achieving efficient energy consumption in smart grid for endusers' life style, *2010 IEEE Conference on Innovative Technologies for an Efficient and Reliable Electricity Supply*, pp. 159-164, doi: 10.1109/CITRES.2010.5619873.

[140] **Pipattanasomporn, M., Kuzlu, M. & Rahman, S.** (2012). An Algorithm for Intelligent Home Energy Management and Demand Response Analysis, *IEEE Transactions on Smart Grid*, *3* (4), 2166-2173, Dec. 2012, doi: 10.1109/TSG.2012.2201182.

[141] **Liu, X., Ivanescu, L., Kang, R. & Maier, M.** (2012). Real-time household load priority scheduling algorithm based on prediction of renewable source availability, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, *58* (2), 318-326, May 2012, doi: 10.1109/TCE.2012.6227429.

[142] **Erol-Kantarci, M. & Mouftah, H.T.** (2011). Wireless Sensor Networks for Cost-Efficient Residential Energy Management in the Smart Grid, *IEEE Transactions on Smart Grid*, *2* (2), 314-325, June 2011, doi: 10.1109/TSG.2011.2114678.

[143] **Ahmed, M.S., Mohamed, A., Homod, R.Z., Shareef, H.** (2017). A home energy management algorithm in demand response events for household peak load reduction, *Przeglad Elektrotechniczny*, *93* (3), 197-200. doi:10.15199/48.2017.03.46

[144] **Azar, A.G., Jacobsen, R.H.** (2016). Appliance Scheduling Optimization for Demand Response, *International Journal on Advances in Intelligent Systems*, *9*, 50-64.

[145] **Hu, B., Zhong, X. & Liu, S.** (2015). A household load priority scheduling model based on real-time electricity price, *2015 International Conference on Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS)*, pp. 206-211, doi: 10.1109/ICAMechS.2015.7287110.

[146] **Abushnaf, J., Rassau, A., Górnisiewicz, W.** (2015). Impact of dynamic energy pricing schemes on a novel multi-user home energy management system, *Electric Power Systems Research*, *125*, 124-132, doi: 10.1016/j.epsr.2015.04.003.

[147] **Ahmed, M.S., Mohamed, A., Khatib, T., Shareef, H., Homod, R.Z., Ali, J.A.** (2017). Real time optimal schedule controller for home energy management system using new binary backtracking search algorithm, *Energy and Buildings*, *138*, 215-227, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.12.052.

[148] **Danca, P., Vartires, A., Dogeanu, A.** (2016). An Overview of Current Methods for Thermal Comfort Assessment in Vehicle Cabin, *Energy Procedia*, *85*, 162-169, doi: 10.1016/j.egypro.2015.12.322.

[149] **Kennedy, J. & Eberhart, R.** (1995). Particle swarm optimization, Proceedings of ICNN'95 - *International Conference on Neural Networks*, 1995, pp. 1942-1948 vol.4, doi: 10.1109/ICNN.1995.488968.

[150] **PSO1.** <http://www.swarmintelligence.org> erişim tarihi 20.07.2021.

[151] **PSO2.** <http://www.particleswarm.info> erişim tarihi 20.07.2021.

[152] **PSO3.** <http://www.mage.fst.uha.fr/icsibo2016> erişim tarihi 20.07.2021.

[153] **Swarm Intelligence.** (2014). *9th International Conference, ANTS 2014*, Brussels, Belgium, September 10-12, 2014. Proceedings.

[154] **Holland, J.H.,** Adaptation in Natural and Artifical Systems, Cambridge MIT Press 2nd Edition, 1992.

[155] **Krohling, R.A. & Rey, J.P.** (2001). Design of optimal disturbance rejection PID controllers using genetic algorithms, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, *5* (1), 78-82, Feb 2001, doi: 10.1109/4235.910467.

[156] **Bianchi, H., Bolognani, S.** (1998). Design optimisation of electric motors by genetic algortihms, *IEE Procedings of Electric Power Applications*, *145* (5), 475-283, doi: 10.1049/ip-epa:19982166

[157] **Kumar, P. & Mahajan, A.** (2009). Soft Computing Techniques for the Control of an Active Power Filter, *IEEE Transactions on Power Delivery*, *24* (1), 452-461, Jan. 2009, doi: 10.1109/TPWRD.2008.2005881.

[158] **Jin, H.-D., Leung, K.-S., Wong, M.-L. & Xu, Z.-B.** (2003). "An efficient self-organizing map designed by genetic algorithms for the traveling salesman problem, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, *33* (6), 877-888, Dec. 2003, doi: 10.1109/TSMCB.2002.804367.

[159] **Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S. & Meyarivan, T.** (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, *6* (2), 182-197, April 2002, doi: 10.1109/4235.996017.

[160] **Wang, R.** (2016). An Improved Nondominated Sorting Genetic Algorithm for Multiobjective Problem, *Mathematical Problems in Engineering*, vol. *2016*, Article ID 1519542, 7 pages, 2016, doi: 10.1155/2016/1519542

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad **:** Mehmet Ali SÖNMEZ

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 1997, Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** **:** 2014, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 1998-2010 yılları arasında İstanbul Yakası İl Türk Telekom Müdürlüğü'nde Mühendis olarak ARGE ve Müşteri İlişkileri Birimlerinde çalıştı.
- 2010 yılından itibaren İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'nde Mühendis olarak çalışmaktadır.
- 2014 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi'nde yüksek lisans eğitimini tamamladı.
- 2018 yılında düzenlenen 6. Uluslararası İstanbul Akıllı Şebekeler ve Şehirler Kongre ve Fuarı'nda sunduğu "Demand Response by Real-Time Management of Flexible Loads using Dynamic Priorities" başlıklı bildiri en iyi 3. bildiri ödülüne layık görüldü.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

Dergi Yayınları:

- **Sonmez, M.A.,** Bagriyanik, M. 2021. Generating Manageable Electricity Demand Capacity for Residential Demand Response Studies by Activity-based Load Models, *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 21(1), 99-108.
- **Sonmez, M. A.,** Bagriyanik, M. 2021. A Novel Priority-Based Load Management Method that Improves Comfort in Residential Demand Response, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 1-17.

Konferans Yayınları

- **Sonmez M. A.,** Bagriyanik, M. 2018. Talep Yönetimi için Evsel Yük Modelleri. *ELECO'2018 – Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu,* 30 Kasım – 01 Aralık 2018, Bursa, Turkiye.
- **Sonmez M. A.,** Bagriyanik, M. 2018. Demand Response by Real-Time Management of Flexible Loads Using Dynamic Priorities. *6th International Istanbul Smart Grids and Cities Congress and Fair*, (pp.155-159) , April 25-26, Istanbul, Turkey.