

**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**AKILLI KONUTLARDA ELEKTRİK ENERJİSİ YÖNETİM  
SİSTEMİNE YENİ BİR YAKLAŞIM**

**Hazırlayan  
Ahmet DOĞAN**

**Danışman  
Prof. Dr. Mustafa ALÇI**

**Doktora Tezi**

**Mart 2018  
KAYSERİ**



**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**AKILLI KONUTLARDA ELEKTRİK ENERJİSİ YÖNETİM  
SİSTEMİNE YENİ BİR YAKLAŞIM  
(Doktora Tezi)**

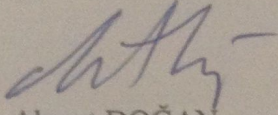
**Hazırlayan  
Ahmet DOĞAN**

**Danışman  
Prof. Dr. Mustafa ALÇI**

**Mart 2018  
KAYSERİ**

## BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

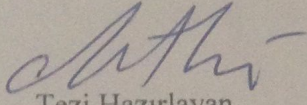
Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.



Ahmet DOĞAN

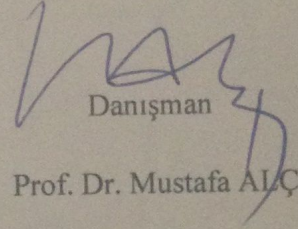
## YÖNERGEYE UYGUNLUK

Akıllı Konutlarda Elektrik Enerjisi Yönetim Sistemine Yeni Bir Yaklaşım adlı Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.



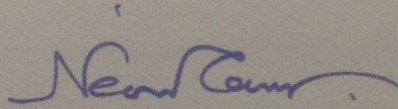
Tezi Hazırlayan

Ahmet DOĞAN



Danışman

Prof. Dr. Mustafa ALÇI



Elektrik Elektronik Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR

Prof. Dr. Mustafa ALÇI danışmanlığında **Ahmet DOĞAN** tarafından hazırlanan “**Akıllı Konutlarda Elektrik Enerjisi Yönetim Sistemine Yeni Bir Yaklaşım**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik-Elektronik Mühendisliği** Anabilim Dalında **Doktora** tezi olarak kabul edilmiştir.

02.03.2018

**JÜRİ:**

Başkan: Prof. Dr. Ömer Faruk BAY

Üye : Prof. Dr. Mustafa ALÇI

Üye : Prof. Dr. Ferhat DALDABAN

Üye : Doç. Dr. Murat BARUT

Üye : Yrd. Doç. Dr. Nurettin ÜSTKOYUNCU

*(Handwritten signatures of the jury members)*

**ONAY:**

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun *22/03/2018* tarih ve *2018/13-24* sayılı kararı ile onaylanmıştır.

*22.03.2018*  
*Mehmet Akkurt*  
**Enstitü Müdürü**  
**Prof. Dr. Mehmet AKKURT**

## ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

“Akıllı Konutlarda Elektrik Enerjisi Yönetim Sistemine Yeni Bir Yaklaşım” konulu tez çalışmasının yürütülmesinde, sonuçlandırılmasında desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen başta değerli hocam sayın Prof. Dr. Mustafa ALÇI olmak üzere üzerimde emeği olan tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunuyorum.

Hayatım boyunca verdikleri tüm desteklerden dolayı aileme, anlayış ve desteğinden dolayı eşim Demet ÇİDEM DOĞAN'a ve sağladığı motivasyondan dolayı oğlum İbrahim'e teşekkür ederim.

Ayrıca, bu tez çalışması sırasında yurt dışında araştırma yapabilmem için “2214-A - Yurt Dışı Doktora Sırası Araştırma Burs Programı” kapsamında maddi destek sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'a teşekkür ederim.

Ahmet DOĞAN

Kayseri, Mart 2018

# AKILLI KONUTLARDA ELEKTRİK ENERJİSİ YÖNETİM SİSTEMİNE YENİ BİR YAKLAŞIM

Ahmet DOĞAN

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi, Mart 2018

Danışman: Prof. Dr. Mustafa ALÇI

## ÖZET

Artan enerji talebi ve puant yükler; elektrik güç sistemlerinde gerilim düşümü, transformatörlerin aşırı yüklenmesi, güç sistemi ekipmanlarının zarar görmesi, kayıpların artması vb. problemlere neden olmaktadır. Geleneksel yaklaşımda artan puant yükleri karşılamak için yeni elektrik enerjisi üretim tesislerinin inşa edilmesi, iletim ve dağıtım hattı ekipmanlarının yenilenmesi gerekmektedir. Bu yaklaşım maliyetli olmasının yanında güç sisteminin de verimsiz bir şekilde işletilmesine sebep olmaktadır. Bu yüzden Talep Yanıt (TY), sistem verimliliğini artırmak ve şebekenin sağlıklı işletilebilmesi açısından önemli bir unsur haline gelmiştir. TY, daha çok endüstriyel ve ticari müşterilere uygulanırken yakın gelecekte Konut Enerji Yönetim Sistemleri (KEYS) ile konut tüketicileri için de yaygınlaşacağı öngörülmektedir.

Bu tez çalışmasında, konut içerisinde en fazla güç tüketimini gerçekleştiren Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme Sistemleri (IHİS), Elektrikli Su Isıtıcısı (ESI) ve Elektrikli Taşıtlar (ET) için TY uygulanmıştır. IHİS ve ESI için fiyat işaretlerine kullanıcı tercihleri doğrultusunda KEYS aracılığıyla yanıt verilmesine olanak sağlayan aktif kontrol yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle, puant yükler düşürülürken tüketicilerin de enerji bedellerinden tasarruf etmesi sağlanmaktadır. Bununla birlikte, ET'lerin dolma/boşalma koordinasyonu, gerektiğinde şebekeye enerji aktarılmasına olanak sağlayan Taşıttan Şebeke (T→Ş)'ye yapısı içerisinde sezgisel algoritmalar kullanılarak optimize edilmiştir. Önerilen hedef fonksiyonu dolma/boşalma işlemi koordinasyonunu sağlayan toplayıcının maliyetini minimize etmektedir. Böylece, ET sahiplerinin konforu düşünülerek, dolma/boşalma koordinasyonu için kullanılan araç sayısı da en aza indirilmekte ve şebeke kapasitesi optimum şekilde kullanılmaktadır. Bu şekilde, ET'lerin olabildiğince çabuk dolum işlemini gerçekleştirmesi sağlanmaktadır. Farklı algoritmalarla yapılan benzetimler karşılaştırıldığında, Genetik Algoritma (GA) ile toplayıcı için minimum maliyet ve ET sahipleri için maksimum konfor sağlanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Talep Yanıt, Akıllı Şebekeler, Elektrikli Taşıtlar, Konut Enerji Yönetim Sistemleri, Dolma/Boşalma Koordinasyonu, Sezgisel Algoritmalar



# **A NEW APPROACH TO THE ELECTRICITY ENERGY MANAGEMENT SYSTEM IN SMART HOMES**

**Ahmet DOĞAN**

**Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Ph. D. Thesis, March 2018**

**Supervisor: Prof. Dr. Mustafa ALÇI**

## **ABSTRACT**

Increased energy demand and peak loads may cause problems such as voltage drop, overloading of transformers, damaging power system equipment, increasing losses, etc. In the traditional approach, new electrical power generation plant, transmission and distribution line equipment is required in order to meet increasing demand. This approach is not only costly but also causes the power system to operate inefficiently. Hence, Demand Response (DR) has become an important tool for increasing system efficiency and ensuring healthy operation of the network. DR is generally applied to industrial and commercial customers for now but it will be common with residential consumers via Home Energy Management Systems (HEMS) in the near future.

In this thesis, DR is applied for Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC), Electric Water Heater (EWH) and Electric Vehicles (EV) which are most power consumers in a house. Active Control (AC) method has been used that allows the user to respond to price signals via HEMS in the direction of user preferences. AC provides that decreasing peak load and reducing consumer cost. Furthermore, charge/discharge coordination of EV is optimized using heuristic algorithms in the structure of Vehicle to Grid (V2G) which allows energy to be transferred from EV to grid. The proposed objective function minimizes the cost of the collector which provides the coordination in a power system. Thus, considering the comfort of EV owners, the number of EV used for charge/discharge coordination is also minimized and grid capacity is used optimally. Genetic Algorithm (GA) provides the minimum cost for the collector and maximum comfort for EV owners among the simulated algorithms.

**Keywords:** Demand Response, Smart Grid, Electric Vehicle, Home Energy Management Systems, Heuristic Algorithms.

## İÇİNDEKİLER

### AKILLI KONUTLARDA ELEKTRİK ENERJİSİ YÖNETİM SİSTEMİNE YENİ BİR YAKLAŞIM

	<u>Sayfa</u>
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI .....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI.....	iii
KABUL VE ONAY SAYFASI .....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xiii
KISALTMALAR VE SİMGELER .....	xv
<b>GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>

## 1. BÖLÜM

### TALEP YANITIN SINIFLANDIRILMASI VE KONUT SEVİYESİNDE TALEP YANIT

<b>1.1. Teşviğe Dayalı Talep Yanıt Programları.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1.1 Doğrudan Yük Kontrolü (DYK).....</b>	<b>4</b>
<b>1.1.2 Yük Kısıtlama (YK) .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1.3 Talep Teklifi (TT) .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2. Fiyata Dayalı Talep Yanıt Programları.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.1 Kullanım Zamanı Fiyatlandırma (KZF).....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.2 Gerçek Zamanlı Fiyatlandırma (GZF) .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.3 Kritik Puant Fiyatlandırma (KPF) .....</b>	<b>7</b>
<b>1.3. Talep Yanıtın Üstlükleri.....</b>	<b>7</b>
<b>1.4. Talep Yanıtın Önündeki Engeller .....</b>	<b>8</b>

1.5. Konut Enerji Yönetim Sistemleri ile Talep Yanıt.....	10
1.6. Elektrikli Taşıtların Dolma/Boşalma Koordinasyonu.....	12

## 2. BÖLÜM

### ELEKTRİKLİ EV CİHAZLARININ MODELLENMESİ VE GÜÇ TÜKETİM EĞİLİMİNİN OLUŞTURULMASI

2.1. Sabit Yük Modeli .....	16
2.2. Fiziksel Model.....	18
2.3. Elektrikli Cihazlar Güç Tüketim Modelleri.....	19
2.3.1 Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme Sistemleri (IHİS) .....	19
2.3.2 Elektrikli Su Isıtıcısı (ESI) .....	24
2.3.2.1 Tek Düğüm Sıcaklık Modeli.....	27
2.3.2.2 Çift Düğüm Sıcaklık Modeli.....	29
2.3.3 Çamaşır Makinesi Güç Tüketim Modeli .....	31
2.3.4 Bulaşık Makinesi .....	31
2.3.5 Çamaşır Kurutma Makinesi .....	32
2.3.6 Fırın .....	33
2.3.7 Buzdolabı .....	33
2.3.8 Aydınlatma ve Diğer Priz Yükleri .....	34
2.4. Konut Yük Profiline Oluşturulması .....	35
2.5. Dağıtım Sistemi Yük Profiline Oluşturulması .....	38

## 3. BÖLÜM

### TERMOSTATLI YÜKLERDE GERÇEK ZAMANLI FİYATLANDIRMA İÇİN TALEP YANIT

3.1. Aktif Kontrol .....	41
3.2. Benzetim Sonuçları .....	46
3.2.1 Tek Konutta Termostatik Kontrol .....	46
3.2.2 Dağıtım Sisteminde Termostatik Kontrol.....	48

## 4. BÖLÜM

### ELEKTRİKLİ TAŞITLARIN DAĞITIM SİSTEMLERİNE ENTEGRASYONU ve DOLUM STRATEJİLERİ

4.1. Elektrikli Taşıtların (ET) Modellenmesi.....	55
4.2. ET Dolum Profilleri .....	56
4.3. ET Dolum Stratejileri .....	57
4.4. Benzetim Sonuçları .....	59
4.4.1 Normal Dolum Modu.....	60
4.4.2 Hızlı Dolum Modu.....	62

## 5. BÖLÜM

### ELEKTRİKLİ TAŞITLARIN DOLMA/BOŞALMA KOORDİNASYONU OPTİMİZASYONU

5.1. Taşıttan Şebekeye (T→Ş) Yapısı .....	67
5.2. T→Ş Sistemin Üstünlükleri .....	70
5.2.1 Çevresel Üstünlükleri.....	70
5.2.2 Yardımcı Hizmetler .....	71
5.2.2.1 Frekans Regülasyonu.....	71
5.2.2.2 Gerilim Regülasyonu .....	72
5.2.2.3 Yük Sınırlama ve Yük Kaydırma.....	72
5.2.2.4 Yenilenebilir Enerjiyi Destekleme ve Dengeleme.....	73
5.3. T→Ş Sistemin Sakıncaları .....	73
5.3.1 Bataryanın Aşınması.....	73
5.3.2 Dağıtım Ekipmanlarına Etkileri.....	74
5.3.3 Yatırım Maliyetleri .....	74
5.4. Dolma/Boşalma Koordinasyonu .....	75
5.5. Dolma/Boşalma Koordinasyonun Sezgisel Algoritmalar ile Optimizasyonu ..	79
5.5.1 Genetik Algoritma.....	80
5.5.2 Diferansiyel Gelişim Algoritması.....	80
5.5.3 Parçacık Sürü Optimizasyonu .....	82
5.5.4 Yapay Arı Kolonisi.....	82
5.6. Benzetim Sonuçları .....	83

**6. BÖLÜM****TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER**

<b>6.1. Tartışma .....</b>	<b>93</b>
<b>6.2. Sonuç ve Öneriler .....</b>	<b>95</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>97</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>98</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>106</b>



**TABLolar LİSTESİ**

Tablo 2.1. IHİS durumlar arası geçiş koşulları.....	22
Tablo 2.2. Bir dağıtım sistemindeki konutlar için parametre değerleri.....	39
Tablo 3.1. IHİS için kontrol parametreleri.....	46
Tablo 3.2. Dağıtım sisteminde kullanıcı ve konut parametreleri.....	49
Tablo 4.1. Normal dolum modunda, farklı bağlantı oranları ve dolum stratejileri için sistemin puant yük değerindeki artış yüzdesi.....	62
Tablo 4.2. Normal dolum modunda, farklı bağlantı oranları ve dolum stratejileri için sistem yük faktörü.....	62
Tablo 4.3. Hızlı dolum modunda, farklı bağlantı oranları ve dolum stratejileri için sistemin puant yük değerindeki artış yüzdesi.....	64
Tablo 4.4. Hızlı dolum modunda, farklı bağlantı oranları ve şarj stratejileri için sistem yük faktörü.....	65
Tablo 5.1. Sistemdeki ET'lerin özellikleri.....	84

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Eşdeğer Termal Parametreler (ETP) Modeli .....	20
Şekil 2.2.	IHİS güç tüketim eğilimi .....	24
Şekil 2.3.	ESI çalışma algoritması. ....	27
Şekil 2.4.	ESI tek düğüm modeli .....	27
Şekil 2.5.	ESI çift düğüm modeli.....	29
Şekil 2.6.	ESI güç tüketim eğilimi .....	30
Şekil 2.7.	Çamaşır makinesi güç tüketim eğilimi .....	31
Şekil 2.8.	Bulaşık makinesi güç tüketim eğilimi.....	32
Şekil 2.9.	Çamaşır kurutma makinesi güç tüketim eğilimi .....	33
Şekil 2.10.	Fırın güç tüketim eğilimi.. ....	33
Şekil 2.11.	Buzdolabı güç tüketim eğilimi.....	34
Şekil 2.12.	Aydınlatma/ priz güç tüketim eğilimi .....	34
Şekil 2.13.	Çamaşır makinesi aktif olma süreci.....	37
Şekil 2.14.	Bir konutun günlük yük eğilimi.....	38
Şekil 2.15.	1000 konuttan oluşan bir dağıtım sisteminin haftalık yük eğilimi. ....	39
Şekil 3.1.	Enerji tüketiminin a) ABD genelinde b) konutlarda dağılımı .....	41
Şekil 3.2.	Aktif kontrol mimarisi .....	42
Şekil 3.3.	Soğutma durumunda fiyat-ayar sıcaklığı değişimi .....	45
Şekil 3.4.	Isıtma durumunda fiyat-ayar sıcaklığı değişimi. ....	45
Şekil 3.5.	Elektrik fiyat verisi .....	46
Şekil 3.6.	IHİS sıcaklık ayar değerlerinin elektrik fiyatına göre değişimi.....	47
Şekil 3.7.	Kullanıcı ve ayar değerleri ile IHİS güç ve enerji tüketimi .....	47
Şekil 3.8.	Kullanıcı ve ayar değerleri ile ESI güç tüketimi.....	48
Şekil 3.9.	IHİS ortalama sıcaklık ayar değerleri. ....	50
Şekil 3.10.	IHİS toplam güç tüketimi .....	50
Şekil 3.11.	ESI ortalama sıcaklık ayar değerleri.....	51
Şekil 3.12.	ESI toplam güç tüketimi. ....	52
Şekil 3.13.	Kullanıcı ve ayar değerleri ile IHİS ve ESI yüklerinin fatura bedelleri.....	52
Şekil 4.1.	Taşıtların eve ulaşım zamanları dağılımı.....	56
Şekil 4.2.	Normal dolun modunda ET yük eğilimleri.....	57
Şekil 4.3.	Hızlı dolun modunda ET yük eğilimleri. ....	57
Şekil 4.4.	Dolun Stratejisi-3 akış diyagramı .....	59

Şekil 4.5.	Normal dolum modunda ET'nin 20% oranında sisteme bağlandığı farklı dolum stratejileri için yük eğilimleri.....	60
Şekil 4.6.	Normal dolum modunda ET'nin 40% oranında sisteme bağlandığı farklı dolum stratejileri için yük eğilimleri.....	61
Şekil 4.7.	Hızlı dolum modunda ET'nin 20% oranında sisteme bağlandığı farklı dolum stratejileri için yük eğilimleri.....	63
Şekil 4.8.	Hızlı dolum modunda ET'nin 40% oranında sisteme bağlandığı farklı dolum stratejileri için yük eğilimleri.....	63
Şekil 5.1.	Toplayıcıyı T→Ş sistemindeki rolü.....	69
Şekil 5.2.	Dolma/boşalma koordinasyonunun sezgisel algoritmalar ile gerçekleştirilmesini gösteren akış diyagramı.....	79
Şekil 5.3.	Genetik algortmada çaprazlama işlemi.....	81
Şekil 5.4.	Genetik algortmada mutasyon işlemi.....	81
Şekil 5.5.	Toplam ET ve sistem gücü.....	85
Şekil 5.6.	Baraların minimum gerilim değerleri.....	86
Şekil 5.7.	Sistemdeki toplam aktif güç kayıpları.....	86
Şekil 5.8.	17.30'da koordinasyon maliyeti yakınsama eğrileri.....	87
Şekil 5.9.	Dolma/boşalma koordinasyonu günlük toplam maliyeti.....	88
Şekil 5.10.	Ertelenen veya şebekeye aktarılan güç miktarı.....	88
Şekil 5.11.	Dolma/boşalma koordinasyonu için kullanılan ET sayısı.....	89
Şekil 5.12.	Dağıtım sistemi toplam yükü.....	90
Şekil 5.13.	a)17.30 b)18.00 c)18.30 d)19.00 e)19.30 f)20.00 için her bir baranın genliği.....	91



## KISALTMALAR VE SİMGELER

<b><u>Sembol</u></b>	<b><u>Anlamı</u></b>	<b><u>Birimi</u></b>
ET	Elektrikli Taşıtlar	--
EDS	Enerji Depolama sistemleri	--
TY	Talep Yanıt	--
KEYS	Konut Enerji Yönetimi Sistemleri	--
T→Ş	Taşıttan Şebekeye	--
IHİS	Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme Sistemleri	--
ESI	Elektrikli Su Isıtıcısı	--
DYK	Doğrudan Yük Kontrolü	--
YK	Yük Kısıtlama	--
TT	Talep Teklifi	--
KZF	Kullanım zamanı fiyatlandırma	--
GZF	Gerçek zamanlı fiyatlandırma	--
KPF	Kritik puant fiyatlandırma	--
PG&E	Pasifik Gaz ve Elektrik Şirketi	--
ERCOT	Teksas Elektrik Güvenilirlik Konseyi	--
BESO	Bağımsız Elektrik Sistemi Operatörü	--
$P$	Aktif Güç	(kW)
$Q$	Reaktif Güç	(kVAR)
$P_0$	Nominal Aktif Güç	(kW)
$Q_0$	Nominal Reaktif Güç	(kVAR)
$U$	Gerilim	(V)
$U_0$	Nominal Gerilim	(V)
$f$	Frekans	(Hz)
$f_0$	Nominal Frekans	(Hz)
$a_f$	Frekans Hassasiyeti	--
$a_{0-2}, b_{0-2}$	ZIP model parametreleri	--
ETP	Eşdeğer Termal Parametreler	--

$Q_{iç}$	İç hava ısı değeri	(kW)
$Q_{kazanç}$	Isı kazanç değeri	(kW)
$Q_{IHİS}$	IHİS ısı değeri	(kW)
$Q_{kütle}$	Yapı kütle ısısı	(kW)
$Q_{güneş}$	Güneşten gelen ısı	(kW)
$C_{iç}$	İç hava ısı kapasitesi	(j/°K)
$C_{kütle}$	Kütle ısı kapasitesi	(j/°K)
$UA_{yalıtım}$	İç hava ile dışarı arasındaki ısı transfer katsayısı	(W/°K)
$UA_{kütle}$	İç hava ile kütle arasındaki ısı transfer katsayısı	(W/°K)
$T_{dış}$	Dış hava sıcaklığı	(°C)
$T_{iç}$	İç hava sıcaklığı	(°C)
$T_{kütle}$	Kütle sıcaklığı	(°C)
$S_{motor}$	Kompresör motorun çektiği güç	(kVA)
$PK$	IHİS performans katsayısı	--
$V_T$	Uç gerilimi	(V)
$S_{kayıp}$	Kompresör Motorunun elektriksel kaybı	(kVA)
$T_{kul-ısıt}$	Kullanıcı ısıtma ayar değeri	(°C)
$T_{kul-soğ}$	Kullanıcı soğutma ayar değeri	(°C)
$T_{destek}$	IHİS destek sıcaklığı	(°C)
$T_{db}$	Sıcaklık bölgesi	(°C)
$S_{HVAC}$	IHİS'in görünür gücü	(kVA)
$S_{fan}$	Fanın görünür gücü	(kVA)
$R_{ısıt}$	Isıtma elemanı direnci	(Ω)
$T_{su}$	Su sıcaklığı	(°C)
$T_{giriş}$	Giriş suyu sıcaklığı	(°C)
$UA_{tank}$	Tank yüzeyi ısı iletkenlik katsayısı	(W/°K)
$m_{su}$	Akan su miktarı	(lt/dak. )

$C_{su}$	Su ısı kapasitesi	(j/°K)
$T_{su,baş}$	Suyun başlangıç sıcaklığı	(°C)
$T_{su,son}$	Suyun son sıcaklığı	(°C)
$h_{ss}$	Sıcak su yüksekliği	(m)
$h_{ss,baş}$	Sıcak su başlangıç yüksekliği	(m)
$h_{ss,son}$	Sıcak su son yüksekliği	(m)
ELCAP	End-Use Load and Consumer Assessment Program (Son Kullanım Yüğü ve Tüketici Değerlendirme Programı)	
$\zeta o_i(k)$	$i$ cihazının $k$ zamanında çalışma olasılık değeri	--
$E_k$	$k$ zamanında harcanan enerji	(kWh)
$E_{tot}$	Gün içerisinde harcanan toplam enerji	(kWh)
$T_i$	$i$ cihazının günlük talebi	(kW)
$\delta$	Olasılık değer toplamı	--
$F_{gün}$	Güncel fiyat işareti	( - \$)
$F_{ort}$	Fiyat ortalaması	( - \$)
$\sigma$	Standart sapma	--
$r_{alt/st}$	Sıcaklık değişiminin alt/st sınırları	(°C)
$k_{alt/st}$	Talep yanıt katılım oranı	--
$T_{ayar-ısıt}$	AKB tarafından ayarlanan ısıtma ayar değeri	(°C)
$T_{ayar-soğ}$	AKB tarafından ayarlanan soğutma ayar değeri	(°C)
$E_n(t)$	$n$ taşıtının bataryasının $t$ anında enerjisi	(kWh)
$BDO_n(t)$	$n$ taşıtının bataryasının $t$ anında doluluk oranı	(%)
$EK_n$	$n$ taşıtının bataryasının enerji kapasitesi	(kWh)
$BDO_n^{varış}$	$n$ taşıtının bataryasının eve vardığında doluluk oranı(%)	
$BDO_n^{mak}$	$n$ taşıtının bataryasının maksimum doluluk oranı	(%)
$P_n^d$	$n$ taşıtının dolum gücü	(kW)
$e_n^d$	$n$ taşıtının dolum etkinliği	(%)
DS-1	Dolum Stratejisi-1	--

DS-2	Dolum Stratejisi-2	--
DS-3	Dolum Stratejisi-3	--
DS-4	Dolum Stratejisi-3	--
TYZ	Talep Yanıt Zamanı	--
$BDO_n^{min}$	$n$ taşıtının bataryasının minimum doluluk oranı	(%)
GA	Genetik Algoritma	--
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu	--
DGA	Diferansiyel Gelişim Algoritması	--
YAK	Yapay Arı Kolonisi	--
V2G	Taşıttan Şebekeye (Vehicle to Grid)	--
ES	Enerji Sağlayıcısı	--
BSİ	Bağımsız Sistem İşletmeni	--
BİK	Bölgesel İletim/Dağıtım Kurumu	--
$x(t)$	$t$ anında durum değişkenleri	--
$P_{DS}(t)$	Dağıtım sisteminin $t$ anında toplam yükü	(kW)
$V_m(t)$	$m$ barasının $t$ anında gerilimi	(V)
$P_n(t)$	$n$ taşıtının $t$ anında dolma/boşalma gücü	(kW)
$u(t)$	$t$ anında kontrol değişkenleri	--
$u_n(t)$	$n$ taşıtının $t$ anında dolma/boşalma durumu	--
$P_H(t)$	Sistemdeki hanelerin $t$ anında toplam aktif yükü	(kW)
$P_{ET}(t)$	Elektrikli taşıtların $t$ anında dolum yükü	(kW)
$P_K(t)$	$t$ anında sistem kayıpları	(kW)
$P_{DS}^{mak}$	Dağıtım sistemi maksimum yük sınırı	(kW)
$V^{mak}$	Baraların maksimum gerilim sınırı	(p.u.)
$V^{min}$	Baraların minimum gerilim sınırı	(p.u.)
$E_n^{eksik}$	$E_n^{mak}$ 'a ulaşmak için eksik enerji miktarı	(kWh)
$E_n^{mak}$	İzin verilen maksimum enerji miktarı	(kWh)
$T_n^{gerekli}(t)$	$t$ anında maksimum kapasiteye ulaşmak için gerekli süre	(dk.)

$son_n(t)$	$n$ taşıtı için dolma/boşalma koordinasyonu için müsait olabileceği son zaman	--
$t_n^{har}$	Taşıtın hareket zamanı	--
$BDO_n^{min}$	Minimum batarya doluluk oranı	(%)
$BDO_n^{mak}$	Maksimum batarya doluluk oranı	(%)
$f(x)$	Hedef fonksiyon	--
$P_n^{dolma,boşalma}$	Boşalma gücü	(kW)
$\alpha_{boşalma}$	Boşalma için kWh başına ödeme miktarı	(\$)
$\alpha_{dolma}$	Boşalma için kWh başına ödeme miktarı	(\$)
$\rho_{ceza}$	Aşılan güç kısıtı için ceza toplamı	(\$)
$v_{ceza}$	Aşılan gerilim için ceza toplamı	(\$)
$son_{ceza}$	Son müsait zamanından sonra kullanılan taşıt için ceza toplamı	(\$)
$c_{ceza}$	Ceza katsayısı	(\$)
$mi$	Potansiyel çözümlerin toplamını	--
$i$	Potansiyel çözümün numarasıdır	--
$D$	Kontrol değişkeni sayısı	--
$j$	Kontrol değişkeni numarası	--
$(F)$	Ölçek faktörü	--
$X_i(t)$	Mevcut vektör	--
$V_i(t)$	Verici vektör	--
$U_i(t)$	Deneme vektörü	--
$hız_i$	Parçacığının hızı	--
$kon_i$	Parçacığının konumu	--
$c1, c2$	Hızlandırma sabitleri	--
$w$	Atıl ağırlık faktörü	--
$kay_{i,j}$	Yeni kaynak	--

## GİRİŞ

Geleneksel elektrik enerji sistemleri üretim, iletim ve dağıtım kısmı olmak üzere üç önemli yapı üzerine inşa edilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalar son yıllara kadar bu yapıların en verimli şekilde kullanımı ve işletimi üzerine yoğunlaşmıştır. Bununla birlikte, enerji sektöründeki serbestleşme, yenilenebilir enerji kaynakları, enerji depolama sistemleri ve Elektrikli Taşıtlar (ET) gibi yeni teknolojilerin sisteme dâhil olması ve geleneksel yapının değişmesiyle birlikte talep tarafının önemi artmaktadır. Rekabetçi pazarların gelişmesiyle, güç sistemlerinin ilgi alanları çeşitlenmekte ve piyasa rekabetlerinde talep tarafı kaynaklarının rolü yeniden tanımlanmaktadır. Bu süreçte toptan elektrik pazarlarını disipline etmeye yardımcı olmak, ekonomik verimliliği artırmak ve müşteri taleplerini karşılamak için talep desteği sağlamak konusunda artan bir hassasiyet vardır. Bu yüzden modern elektrik güç sistemlerinin doğru planlanması, kurulumu ve işletilmesinin sağlanabilmesi analitik araçların en uygun şekilde kullanılması gerekmektedir. Üretim, iletim ve dağıtıma ek olarak talep tarafı da sistem verimliliğini artırmak için en önemli araçlardan biri haline gelmektedir. Sistemin sağlıklı işletilmesi için bu dört önemli unsurun birbiri ile tam uyum içerisinde olması gerekmektedir.

Talep tarafı yük eğiliminde istenen değişiklikleri gerçekleştirmek üzere tasarlanan faaliyetlerin planlanması, uygulanması ve izlenmesi, talep tarafı yönetimi olarak adlandırılmaktadır. Talep tarafı yönetiminin amacı genellikle, tüketiciyi puant saatler boyunca daha az enerji kullanmaya veya enerji kullanım süresini gece ve hafta sonları gibi yoğun olmayan zamanlara kaydırmaya teşvik etmektir. Talep tarafı yönetimi toplam enerji tüketimini azaltmayabilir fakat puant talebi karşılamak için şebeke ve/veya üretim tesis yatırımlarına olan ihtiyacı azaltması beklenebilir. Akıllı şebeke yapısının uygulanmasına olan ilginin artmasıyla, talep tarafı yönetiminin önemli bir parçası olan talep yanıt (TY-

Demand Response) stratejileri, güç sistemi operasyonlarında son zamanlarda oldukça önem kazanmaktadır.

TY, nihai tüketim müşterilerinin bir fiyat işaretine, mali teşvike veya şebeke güvenliği işaretine yanıt olarak standart enerji tüketim alışkanlıklarının dışına çıkarak enerji tüketim eğilimini değiştirmesidir. Bunlar, özellikle yoğun saatlerde elektrik kullanımını azaltan veya değiştiren eylemler olduğu kadar düşük fiyat avantajından tüketicinin de faydalanmasını sağlanmaktadır. TY'nın başlıca hedefleri, talep tarafı yönetiminin rekabetçi piyasalarda tam olarak rol olmasını sağlayarak sistem güvenilirliğini korumak ve piyasa verimliliğini artırmaktır.

TY programları genellikle yüksek güç çeken ticari ve endüstriyel müşterilere uygulanırken geleceğin elektrik şebekesinde konut tüketicileri gibi küçük tüketicilerin de pazarda daha çok rol olması kaçınılmazdır. Fakat TY işaretlerine sürekli insan eliyle cevap verilmesi zordur. Bu yüzden akıllı şebekeler kavramı içerisinde yer alan Konut Enerji Yönetimi Sistemleri (KEYS), TY stratejilerinin hane halkı düzeyinde uygulanabilmesi ve son kullanıcı noktalarının, etkin ve verimli çalışması için hayati bir rol oynamaktadır.

Bu tez çalışmasında da konutlarda farklı fiyat stratejileri ve şebeke güvenlik işaretleri için en yüksek TY potansiyeline sahip termostat kontrollü cihazlar ve ET'ler için TY uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Termostatlı yükler için anlık fiyat değişimlerine kullanıcı tercihleri doğrultusunda bir yanıt oluşturulmaktadır. Yüksek fiyat zaman dilimlerinde tüketim düşerken, düşük fiyat aralıklarında tüketimde artış gerçekleşmektedir. Diğer bir yüksek talep cevabı potansiyeline sahip ET'ler için ise şebeke güvenliği açısından önce koordinasyonsuz dolun stratejisi ve daha sonra Taşıttan Şebekeye (T→Ş -Vehicle to Grid) sistemlerde sezgisel optimizasyon algoritmaları kullanılarak dolma/boşalma işleminin koordinasyonu sağlanmıştır. Sonuçlar hem şebeke hem de kullanıcılar açısından değerlendirilmiştir.

Tez çalışmasının birinci bölümünde, TY programlarının sınıflandırılmış, TY programlarının avantajları, uygulanması ve zorlukları hakkında bilgi verilmiştir. Daha

sonra konutlardaki talep cevabı uygulamaları ve ET'lerin dolma/boşalma koordinasyonu ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar incelenmiştir.

İkinci bölümde, bir konut içerisinde yer alan elektrikli cihazların sabit güç modelleri ve TY açısından en yüksek potansiyele sahip termostatlı yükler Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme Sistemleri (IHİS-Heat Ventilation and Air Conditioner) ve Elektrikli Su Isıtıcısı (ESI- Electric Water Heater)'nın fiziksel modelleri gerçekleştirilmiştir. Önce bir konut için yük eğilimi oluşturma yönteminden bahsedilmiş daha sonra ise 1000 konuttan oluşan bir dağıtım sistemi için yük eğilimi oluşturulmuştur.

Üçüncü bölümde konutlardaki IHİS ve ESI'nın kontrolü için fiyat ve konfor odaklı aktif kontrol mekanizması gerçek zamanlı fiyatlandırmanın göz önüne alındığı bir sisteme uygulanmıştır. Kontrol mekanizması, tek konut için uygulandıktan sonra 1000 konutluk sistem üzerindeki benzetim sonuçları gösterilmiştir. Aktif kontrol mekanizmasının yük eğilimine ve tüketici bedellerine etkisi değerlendirilmiştir.

Dördüncü bölümde, farklı oranlarda ET'nin sisteme bağlantısı gerçekleştirilmiş, normal ve hızlı dolum modlarında puant yüke ve yük faktörüne etkisi incelenmiştir. Daha sonra puant yükün düşürülmesi ve yük faktörünün geliştirilmesini sağlayan farklı dolum stratejileri tanıtılmıştır.

Beşinci bölümde, Taşıttan Şebekeye (T→Ş) sistemlerde şebeke gerilim ve maksimum güç sınır değerlerinin aşılmasını engellemek için dolma/boşlama koordinasyonunun optimizasyonu Genetik Algoritma (GA), Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ve Yapay Arı Kolonisi Algoritması (YAK) gibi sezgisel optimizasyon yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. Optimum koordinasyon sonucunda toplayıcı için maliyet minimize edilirken, kullanıcı konforu da maksimize edilmiştir.

Altıncı bölümde ise tezden çıkarılan sonuçlar ve değerlendirme verilmiştir.



## 1. BÖLÜM

### TALEP YANITIN SINIFLANDIRILMASI VE KONUT SEVİYESİNDE TALEP YANIT

Talep Yanıt (TY) programları, müşterilerin elektrik kullanımındaki değişiklikleri harekete geçirmek için oluşturulmuş, ekonomik veya sistemsel nedenlerle uygulanmaktadır. TY programları genel olarak teşvike ve fiyata dayalı TY programlar olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir: [1, 2]. Ayrıca, bu sınıflar, bazı çalışmalarda pazar nedeni (ekonomik) ve sistem nedeni (acil/güvenilirlik) TY programları olarak da tanımlanmaktadır [3]. Bu kategoriler arasındaki en büyük fark, teşvike dayalı programlarda daha önceden sözleşmeler yapılarak yük azaltma için müşterilere ödeme yapılırken, fiyat temelli TY programlarında yük azaltma işlemi ise elektrik fiyatlarıyla orantılı olarak tüketiciler tarafından isteğe bağlı olarak gerçekleştirilirler.

#### 1.1 Teşvike Dayalı Talep Yanıt Programları

Doğrudan yük kontrolü, yük kısıtlaması, talep tarafı teklifi gibi TY programları müşterilerin bir acil duruma yanıt verdiği programları ifade etmektedir. Teşvik tabanlı TY programlarına katılan müşteriler indirimli perakende satış ücretleri veya önceden taahhütlü ya da ölçülen yük indirimleri için teşvik ödemeleri alabilirler. Müşteriler, TY olayları bildirildiğinde sözleşme taahhütlerini yerine getirmezlerse, mali cezalara maruz kalmaktadırlar.

##### 1.1.1 Doğrudan Yük Kontrolü (DYK)

DYK, sistem operatörünün bir müşterinin bazı elektrikli cihazlarını devreden çıkardığı programları ifade etmektedir. DYK programlarının hedefi, konutlar gibi çok sayıda

küçük tüketicinin bu programa katılımı sağlamaktır. Bu tür programlar yoluyla, son kullanıcı seviyesinde belirli türden cihazlar enerji yönetim birimleri aracılığıyla şebeke tarafından doğrudan kontrol edilebilir. DYK uygulamaları için tipik yükler, kısa süreli kesintilerin hizmet kalitesinde büyük etki yaratmayacağı yük türleridir. Örneğin klimalar, aydınlatma, su ısıtma, havuz pompaları vb. Bu programlarda genellikle son kullanıcıların konfor seviyesinden ödün vermemek için kesinti sayısı ve süresi sınırlanmaktadır. Buzdolabı, fırın gibi kesintiye uğratılması kullanıcıyı oldukça etkileyecek yükler bu program kapsamına girmemektedir. Son kullanıcının DYK programına katılımı, elektrik faturasındaki indirimler veya ek ödemeler yoluyla telafi edilir. Bu programlar, şebeke tarafından yönetilir ve son kullanıcı kesinti için önceden bilgilendirilmemektedir.

### **1.1.2 Yük Kısıtlama (YK)**

Yük kısıtlama hizmeti, müşterilerin sistem arızaları sırasında yükü azaltmayı kabul karşılığında indirim teşvik ödemesi aldığı programları işaret eder. YK programları genelde katılımcı müşterilerin sözleşme imzalamalarını gerektirir. Bu programlar, orta ve büyük tüketicilere hitap etmektedir ve etkin puant yük kontrolünü gerçekleştirmek için yardımcı programlar tarafından kullanılan en yaygın talep tarafı yönetimi araçlarından biridir. Bu programlara katılanlar, belirli bir yükü kapatmak ya da enerji kullanımını kesmek için yardımcı program tarafından gönderilen çağrılara yanıt vermek için teşvik almaktadır. Sözleşmelerde kesintilerin maksimum sayısı ve süresi belirtilmelidir. Bir TY olayına yanıt vermemesi durumunda müşteriler cezalara maruz kalmaktadırlar.

### **1.1.3 Talep Teklifi (TT)**

Üreticiler tarafından sunulan tekliflere benzer şekilde, talebin teklifleri tek veya çift yönlü olabilir. Tek yönlü teklif, katılımı sadece bir pazar yapısında, iki yönlü teklif ise iki farklı pazardaki (üretim, tüketim) birleşmiş katılımı ilgilendiren bir teklifi ifade eder. Talep teklifi, talep tarafının yük azaltmak için fiyat teklif ederek piyasa ticaretine katılma fırsatı verir. Bu yapıda, katılımcılar, yük azaltmaları için piyasaya sundukları fiyatı belirtmektedir. Diğer piyasa yapısında ise, işletmeci ödemeyi düşündükleri fiyatı belirler ve müşteriler ne kadar yük indirimi yapmaya istekli olduklarını belirler. Talep

teklifinin kullanıldığı serbestleşmiş piyasalarda, müşterilerin çoğu büyük ticari ve endüstriyel müşterilerdir. Daha küçük müşteriler toplayıcılar veya enerji hizmeti sağlayıcıları gibi küçük yükleri birleştirmek ve sunmak üzere toplam teklifi paketleyen araçlarla katılabilir. New York Bağımsız Sistem İşletmesi ve Pasifik Gaz ve Elektrik Şirketi (PG&E) gibi şirketler başarılı talep teklifi programları uygulamaktadır.

## **1.2 Fiyata Dayalı Talep Yanıt Programları**

Fiyat mekanizması, piyasa işletmeciliğinin temelini oluşturmaktadır. Kullanım Zamanı Fiyatlandırma (KZF), Gerçek Zamanlı Fiyatlandırma (GZF) ve Kritik Puant Fiyatlandırma (KPF) olmak üzere müşterilerin zamanla değişen perakende elektrik fiyatlarına tepki verdiği programları ifade etmektedir. Müşteriler ekonomik karar alma süreci sayesinde, elektrik fiyatlarının yüksek olduğu zamanlarda talebi azaltabilir veya yüksek fiyatlı zamanlardaki talebi düşük fiyatlı zamana kaydırarak elektrik bedelini düşürebilmektedir. Yük değişiklikleri fiyata dayalı TY programlarına katılan müşteriler tarafından tamamen gönüllü olarak gerçekleştirilmelidir.

### **1.2.1 Kullanım Zamanı Fiyatlandırma (KZF)**

Elektrik tedarikinin son birim maliyeti çok kısa zaman ölçeklerinde değişirken, çoğu müşteri genellikle aylar ya da yıllarca ortalama elektrik tedarik maliyetlerini temsil eden sabit oranlarla perakende elektrik fiyatları üzerinden ödeme yapmaktadırlar. KZF'nin arkasındaki temel fikir, bir gün veya bir mevsimdeki farklı dönemlerde, elektrik tedarik maliyeti değişkenliğini daha iyi yansıtılabilmesidir. KZF, elektriğin tüketildiği zaman ile ortalama piyasa koşulları altında fiyatları yansıtmayı amaçlayan ama tedarik maliyetlerinin günlük değişkenliğini tamamen yansıtmayan kademeli bir fiyat yapısıdır. Tipik KZF yapısı genellikle, hizmet programı tarafından tanımlanan zaman dönemleri için puant, gece ve gündüz fiyatlarını içermektedir.

### **1.2.2 Gerçek Zamanlı Fiyatlandırma (GZF)**

Fiyat güncelleme döngüsü, bir fiyat yapısının en önemli yönüdür. Güncelleme döngüsü ne kadar kısa olursa, fiyat o kadar etkin ve teknik destek gereksinimleri de o kadar yüksek olur. GZF, fiyat güncelleme döngüsünün bir saat veya daha kısa sürdüğü

dinamik fiyatlandırma yaklaşımıdır. GZF, elektrik üretiminin son birim maliyeti değişimlerini her zaman aralığında doğrudan yansıtmakta ve toptan ve perakende elektrik piyasaları arasındaki bağlantıyı etkili bir biçimde güçlendirmektedir. GZF teorisi, Schwebbe tarafından getirilen spot fiyat kavramına dayanmaktadır [4]. Tüketicilerin GZF'ye cevap vermek için yeterli zamana sahip olmasını sağlamak üzere, GZF tarifesi fiyatları genellikle saat başı toptan fiyatlarına endekslenmiştir. Böylece tüketiciler bir gün veya bir saat önceden bildirilen fiyatlara göre talep ayarlamalarını yapabilmektedir.

GZF, elektrik tedarikinin son birim maliyetlerini zamanında yansıtabildiğinden, ekonomik açıdan en verimli perakende fiyatlandırma şemasıdır. Bunun yanında GZF'deki tüketicilerin fiyat değişimlerine gerçek zamanlı yanıt vermeleri gerekir ve müşterilerin sürekli olarak elektrik fiyatlarını kontrol etmesi ve taleplerini ayarlaması çok zahmetlidir. Bunun için GZF'ye katılımını teşvik etmek için müşterilere ücretsiz gelişmiş ölçüm altyapısı hizmetleri sağlanabilmektedir.

### **1.2.3 Kritik Puant Fiyatlandırma (KPF)**

Kullanım zamanı tarifeleri, günün belirli bir döneminde elektrik kullanımı ile ilişkili uzun vadeli elektrik arz masraflarını yansıtır. Güç sistemi için kritik kabul edilen kısa dönemli maliyetlerini yakalamak için KPF kullanılabilir. KPF tarifesi, sistem ölçütleriyle tetiklenen sabit oranlarda zamandan bağımsız yüksek bir oranın oluşması anlamına gelmektedir. İlgili sözleşmeler, kritik kabul edilebilecek yıllık maksimum gün sayısını ve KPF oranının uygulanacağı dönem sayısını belirtir. Bununla birlikte, hizmet programı KPF oranı uygulamadan birkaç dakika ila birkaç saat arasında bir kısa sürede kullanıcıya iletilmektedir. KPF müşterileri genellikle normal dönemlerde bir fiyat indirimi alır. KPF, GZF kadar ekonomik değildir ancak KPF, GZF ile ilişkili potansiyel fiyat riskini azaltabilir. KPF, KZF ve GZF arasında iyi bir uyum sağlamaktadır.

### **1.3 Talep Yanıtın Üstünlüğü**

Dağıtım sistemin işletilmesinin geliştirmeyi amaçlayan TY programları dağıtım sistemi açısından bir dizi fayda sağlamaktadır. Elektrik ekipmanları nominal gerilimde optimum çalışma için tasarlanmıştır. Gerilim değişimleri, verimliliğin azalmasına,

ekipmanların zarar görmesine veya altyapının ömrünün ciddi şekilde azalmasına neden olabilir [5]. Gerilim değişimleri, dağıtım trafosunun aşırı yüklenmesi ve kayıplar ile ilgili sorunlar dağıtım seviyesindeki TY faaliyetleri ile hafifletilebilir. Ayrıca, tepe değerlerin düşürülmesi etkin güç kayıplarını azaltabilir ve sistemin genel güvenilirliğini artırabilir.

Şebeke kapasitesinin artırılması konusundaki geleneksel yaklaşım, talebin kademeli olarak artması ve bunun sonucunda şebekeye yeni üretim tesislerinin eklenmesi şeklindedir. Fakat eklenen şebekenin bir kısmı sadece puant zamanlarda kullanılacak ve diğer zamanlarda kullanım dışı olarak bekletilecektir. Bu yüzden kapasite artırımı ekonomik olarak verimsiz olmaktadır. Eğer kapasite artırımı planlaması TY göz önünde bulundurularak yapılırsa puant yük değerleri daha düşük olarak hesaplanacak ve gereksiz kapasite artırımının önüne geçilecektir. Sonuç olarak TY, yedek kapasite sağlamak için verimsiz işletilecek yeni enerji santralleri inşası için yapılacak yatırıma bir alternatif olarak hizmet edebilir.

TY uygulamaları ile birlikte şebekeler çevre açısından daha duyarlı hale gelmektedir. Yenilenebilir enerji üretim sistemlerinin bütünleşmesini kolaylaştırmak, genel enerji verimliliğini artırabilir ve fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltabilir. Yenilenebilir enerji ve depolama sistemlerinin bağlantı sayıları artırılarak ve yoğun talep zamanlarında devreye alınarak sistemin aşırı yüklenmesi önenebilir. Ayrıca, puant zamanlarda karbon salınımının diğer zamanlara oranla çok daha yoğun olduğu bilinmektedir ve yüksek talebi karşılamak için puant noktalarda verimsiz enerji üreten santrallerin kullanımının azaltılması, sistemin karbon salınımının azaltılmasına katkıda bulunabilir.

TY'nin elektrik piyasalarındaki olumlu etkileri olarak; daha düşük ve daha istikrarlı elektrik fiyatları, piyasa gücünün kontrolü, tüketiciler için ekonomik kazanımlar olarak sıralanabilir. TY programlarına katılmayan tüketiciler için de uzun vadede faydalar ortaya çıkabilir; zira devam eden TY programlarından kaynaklanan daha düşük toptan satış piyasa fiyatları da perakende fiyatlarında düşüşe neden olabilir.

#### **1.4 Talep Yanıtın Önündeki Engeller**

TY son yıllarda birçok şebekede farklı şekillerde kullanılmaya başlandı. Bazı bölgelerde katılım yoğun olurken bazı bölgelerde ise TY uygulamaları sınırlı kalmıştır. Bu durum

son kullanıcının TY programlarına katılımını zorlaştıran bazı engeller ile ilgilidir. TY için en büyük engellerden biri mevcut piyasa yapılarında uygun piyasa mekanizmalarının bulunmamasıdır. TY'nin yetersiz seviyede ücretlendirilmesi, yatırım geri kazanma kabiliyetini sınırlayabilir ve böylece TY gelişimini azaltabilir. Yüksek seviyede bedellendirilen yatırımlar ise piyasanın ekonomik istikrarını tehlikeye atabilir.

Yeni pazar katılımcılarının çeşitli pazar türlerine (enerji, yedek ve yan hizmetler piyasalarına) girişine ilişkin düzenlemeler, büyük merkezileştirilmiş üreticiler olduğu dikkate alınarak geliştirilmiştir ve ilgili kurallar, diğer küçük kaynakların çeşitli teknik ve niteliksel özelliklerini yansıtacak konumda değildir. Yani, piyasa yapıları mevcut pazar giriş ölçütlerinin gözden geçirilmeden bu kaynaklar sistemle bütünleştiremez. Minimum kaynak teklifi boyutu, TY toplama işlemi, teklif yönü, yanıt süresi, sabit ücretler, üyelik ve giriş ücretleri gibi belirsizlikler küçük ölçekli müşterilerin TY'ya katılımı ile ilgili engeller oluşturabilmektedir.

Talep tarafının elektrik piyasalarına katılması için etkili olan iş akışı henüz tartışmalıdır ve TY'nin toplanması ve uygulanması aşamasında en önemli problemlerden biridir. Toplayıcının daha küçük tüketicilerin (konut, ticari) piyasaya sürülmesine izin verecek bir seçenek olduğu göz önüne alındığında, toplayıcının rolü ve sorumluluklarının belirli bir şekilde tanımlanmaması, ele alınması gereken bir konu olarak durmaktadır. Ayrıca, talebin gerçek zamanlı piyasa fiyatlarına yanıtı, talep ve fiyat değişimi ile ilgili endişeleri artırmaktadır. Genel olarak, esnek tüketiciler, esnek olmayan tüketicilerin aksine, ekonomik hedeflerini gerçekleştirebildikleri için fiyat hareketliliğinin hafifletilmesine katkıda bulunma eğiliminde değildirler. Talep ve fiyat hareketliliğini azaltmak, talep ve pazar arasındaki etkileşimi tanımlamak için uygun kontrol düzenlemeleri geliştirilmelidir.

TY faaliyetlerinin genişlemesini sağlamak için, güç sistemleri içindeki gerçek zamanlı kontrol, ölçme ve iletişim teknolojilerinin mevcut bütünleşme oranları arttırılmalıdır. Bu gelişmiş sistemler maliyetlerden dolayı önemli bir ekonomik yük oluşturmaktadır. Bir kamu hizmeti tarafından gerçekleştirilecek teknolojik yeniliklerin kurulum, işletme ve bakım masraflarını taşıyan bu tür yatırımları yatırım programı kapsamına alınması gerekmektedir.

Elektrik tüketicilerinin ekonomik olarak rasyonel bir davranışı zorunlu olarak yerine getirmediklerinden, geleneksel ekonomik modelleri kullanarak yanıtın tahmin edilmesi zordur. Bu yüzden farklı tüketicilere tüketim eğilimlerine göre uygun sözleşmeler sunulmalıdır. Fiyat karşılaştırma araçları ve sözleşme tasarımının standardizasyonu gibi araçların ve mekanizmaların bulunmaması, son kullanıcıların kendileri için en uygun sözleşmeyi seçmelerinde zorluk oluşturabilir. Akıllı Sayaçların (AS) yerleştirilmesi ve tüketicinin korunması ile ilgili konular son kullanıcıları TY programlarına geçişini kolaylaştırmak için aşılması gereken zorluklardır.

### **1.5 Konut Enerji Yönetim Sistemleri ile Talep Yanıt**

TY programları genellikle yüksek güç çeken ticari ve endüstriyel müşterilerine uygulanırken geleceğin akıllı şebekesinde konut tüketicileri gibi küçük tüketicilerin de pazarda daha çok rol olması kaçınılmazdır. Fakat çok sayıda cihazın algılama, kontrol ve iletişim cihazları olmadan insan eliyle yönetilmesi oldukça zordur. Akıllı şebekelerde KEYS, AS, düşük maliyetli sensörler ve konut müşterilerinin TY katılımını kolaylaştırmak için akıllı cihazlarla birlikte kullanılmalıdır. Bu yüzden KEYS/AS, konut düzeyinde yük sunma birimleri tarafından TY stratejileri ile koordine edilen bu son kullanıcı noktalarının etkin ve verimli çalışması için hayati bir rol oynamaktadır. Enerji tedarikçisi ile son kullanıcılar arasında güvenilir iki yönlü iletişimi sağlayan gelişmiş iletişim altyapılarının ortaya çıkmasıyla birlikte, elektriğin zamanla değişen fiyatı ile tüketicilere sunulması mümkün hale gelmiştir. Ayrıca, gelişmiş ölçüm ve iletişim altyapısı, kullanım verilerini toplamayı ve diğer cihazlarla iletişim kurmayı mümkün hale getirmiştir. Bu verilerle, kullanıcılar enerji yönetimi birimlerini kullanarak elektrik tüketimini programlayabilmektedirler.

Ev aletlerinin güç tüketim eğilimleri ve TY potansiyelleri [6]'da tartışılmış ve ev aletleri arasında IHİS ve ESI'nın TY uygulamaları için en yüksek TY potansiyeline sahip oldukları görülmüştür. Bu tip yüklerde kullanıcılar tarafından tercih edilen sıcaklık set değerlerinin talep cevabına katkısını gösteren çalışmamalar literatürde yer almaktadır [7-11]. Yüksek TY potansiyeline sahip bu sistemlere TY'nin uygulanması elektrik sistemlerinin rahatlamasını sağlayacağı gibi, fiyat stratejilerinin uygulandığı sistemlerde de kullanıcı için finansal tasarruf anlamına gelmektedir.

[12]'de konutlardaki zamanla değişen fiyatlar karşısında, tahmine dayanan IHİS ve ESI'nın sıcaklık ayar kontrolü gerçekleştirilmiştir. [13]'de, kullanıcının konfor ayarlarını dikkate alarak fiyat ve tüketim tahminlerine dayanan termostatik olarak kontrol edilen hane halkı yüklerini programlamak için bir KEYS algoritması sunulmuştur. [14] 'te, KEYS optimizasyonunda sıcaklık ayar değerlerini optimize eden bir strateji geliştirilmiştir. [15] 'te, gerçek zamanlı fiyatlandırma stratejisini kullanarak enerji tüketiminin maliyetini azaltmak için IHİS ve ESI'nın kontrol edilmesini sağlayan bir KEYS önerilmektedir. [16]'da, konutların TY uygulamaları için puant yükü sınırlayan KEYS mimarisi önerilmiştir. Termostatik olarak kontrol edilebilir (IHİS ve ESI) ve termostatik olarak kontrol edilemeyen (çamaşır makineleri, bulaşık makineleri vb.) cihazları ve ET'ler de dahil olmak üzere her türlü kontrol edilebilir cihaz, açık bir şekilde modellenmiştir. Termostatlı yüklerin ayar değerleri puant zamanlarda düşmektedir. [17]'de farklı özelliklerdeki yükler için bir optimize edilmiş dinamik bir model ve bir tahmini model geliştirmiştir. Optimizasyon kullanıcı konforunun güç, maliyet kısıtları dikkate alınarak maksimize edilmesi üzerine gerçekleştirilmektedir. Termal yükler için birinci dereceden dinamik modeller kullanılmıştır. IHİS ayar değeri hedef fonksiyona göre olasılıklı bir modelle belirlenmektedir. [18]'de kontrol edilebilir yükler özellikle IHİS için, öğrenme temelli bir TY stratejisi geliştirilmiştir. IHİS'ların enerji tüketim modelini öğrenmek için bir öğrenme sisteminin nasıl tasarlanması gerektiği, optimum öğrenme mekanizmasını optimizasyon teknikleriyle nasıl birleştirileceği ve optimum TY stratejileri üretileceği gösterilmektedir. Öğrenme tabanlı ev enerji yönetim sisteminin bir TY çerçevesinde nasıl davrandığını incelenmektedir.

TY'nin benzetiminin yapıldığı bir çok çalışmada, termostatik yükler için birinci dereceden diferansiyel eşitlikler kullanılmaktadır. Birinci dereceden modeller, IHİS ve ESI'ların büyük ısı kapasiteleri nedeniyle hassas bir modelleme ortaya koyamayabilirler. Ayrıca, yük parametrelerinin çeşitliliği, gerçekçi sonuçlar elde etmek için önemli olmasına rağmen, önceki birçok çalışmada yük modeli homojen kabul edilmiştir. Öte yandan, termostatik yükler, kullanıcının konforunu doğrudan etkileyen cihazlar olmasına rağmen daha önceki çalışmalarda birincil öncelik, hizmet gereksinimlerine veya maliyete verilirken, kullanıcı tercihleri yeterince dikkate alınmamıştır. IHİS ve ESI'lar genelde, TY işaretime bağlı olarak belirli sıcaklıklara düşen veya yükselen ayar sıcaklığı ile kontrol edilmektedir.



Bu çalışmada termostatlı yüklerden ESI ve IHİS'ların ikinci dereceden hassas modelleri kullanılmıştır. Ayrıca, kataloglardan ve genel kullanım verilerinden uyarlanan parametre değerleri ile sistemde bulunan termostatlı yükler çeşitlendirilmiştir. Benzetimi gerçekleştirilen yüklerin aktif kontrolü yönteminde fiyat işareti, kontrolü gerçekleştirilen yükü devreye alıp devreden çıkarmaz veya ayar noktasını belirtilen sabit değere ayarlamak için kullanılmaz. Önceki çalışmaların aksine, kullanıcının belirlediği sınır değerler arasında herhangi bir değer sıcaklık ayar değeri olarak ayarlanabilir. Üstelik önceki çalışmalarda kullanıcı, TY programına ya tamamen katılır ya da hiç katılmaz. Aktif kontrol yöntemi ile kullanıcı, TY katılım oranını kendi tercihlerine göre belirlemektedir. Yüksek katılım oranı, daha fazla finansal tasarruf sağlarken, düşük katılım oranı, daha fazla konfor sağlamaktadır. Kullanıcı açısından konfor tercihleri ihlal edilmeden maliyet düşürülmekte ve sistemin yoğun olduğu yüksek fiyat anlarında toplam sistem yükü azalırken, yük fiyatın düşük olduğu zaman dilimlerine kaydırılmaktadır.

### **1.6 Elektrikli Taşıtların Dolma/Boşalma Koordinasyonu**

Yakın gelecekte büyük ET filolarının sistem güç talebinin önemli bir bölümünü oluşturması beklenmektedir [19]. ET'ler, eve gelir gelmez dolun işlemine başlamaları, puant yükte artış, transformatörlerin aşırı yüklenmesi, gerilimin düşmesi vb. gibi sorunlara neden olmaktadır. [20-22]. Bu yüzden ET'lerin belirli bir strateji ile dolun işleminin gerçekleştirmeleri gerekmektedir.

ET dolun koordinasyonları, merkezi ve merkezi olmayan yaklaşımlar olmak üzere iki gruba ayrılabilir. [23]'de vadi dolun eğilimini elde etmek için merkezi olmayan bir kontrol algoritması önerilmektedir. Her ET, hizmet programı tarafından yayınlanan fiyat işaretlerine dayanarak kendi dolun maliyetini optimize eder. [24]'de ET'leri dolunu için satın alınan toplam enerji maliyetini en aza indirmenin bir aracı olarak ve ilgili şebeke enerji kayıplarını azaltmak için gerçek zamanlı bir dolun yönetimi yöntemi önerilmiştir. [25]'de taşıtların varış zamanları göz önünde bulundurulduğu fakat kayıpların ve hat tıkanıklığının ihmal edildiği dolun zamanlaması optimizasyonu için bir yöntem önerilmiştir.

Merkezi yaklaşımda ise, ET'ler her bir zaman aralığında her taşıt için en uygun dolum kararlarını belirleyen bir toplayıcı tarafından kontrol edilir. [26]'da şebeke kayıpları, yük faktörü ve yük değişimi arasındaki ilişki göz önüne alınarak dağıtım sisteminde ET'lerin etkilerini en aza indirmek için optimum dolum kontrol algoritması önerilmektedir. [27]'de, hizmet sağlayıcısı, ET sahibi ve dağıtım sistemi operatörü arasındaki etkileşimi göz önünde bulundurularak merkezi bir eşgüdümlü dolum kontrol yapısı önerilmiştir. [28]'de geçmiş sürüş verilerinin en düşük dolum maliyetini sağlamak için kullanıldığını bir yöntem önerilmiştir. [29]'da taşıt sahibinin memnuniyeti, sürücülerin yolculuk alışkanlıklarına dayalı günlük güç tüketimi ve araç dolum başlatma zamanının olasılık modeliyle ele alınmaktadır.

Bununla birlikte, gerekli alt yapı oluşturulduktan sonra, ET'lerin akıllı şebekede çift yönlü güç aktarım özelliğinden ötürü, bir yükten daha fazlası olarak sistemde kullanılabilir [30]. ET'lerin şebekeye güç sağlayabilme özelliğine Taşıttan Şebekeye (T→Ş) teknolojisi denir [31, 32]. Bu teknolojiye ET'ler bir depolama cihazından farklı olarak şebekeye güç sağlamak için bir üretim kaynağı gibi de kullanılabilirler. [30, 31]'de T→Ş teknolojisinin mevcut durumu, dağıtım ağı üzerindeki etkileri, zorlukları ve fırsatları araştırılmıştır. ET'lerin sisteme bütünleşmesi arttıkça, gerilim ve frekans regülasyonu, puant yük azalımı, döner yedek (spinning reserve) ve gerilim desteği gibi yardımcı hizmetleri sağlayabilmektedir [33-41].

[42] 'de, ET sahibinin gelirini en yükseğe çıkarmak ve dağıtım sistemindeki güç kayıplarını azaltmak için Parçacık Sürüş Optimizasyonu yaklaşımı önerilmiştir. Böylece, tepe yükü ve şebeke kayıpları sırasıyla % 9.76 ve % 2.62 oranında azalmıştır. Fakat , hedef fonksiyon içerisinde sistem gerilimi kısıtlar olarak yer almamaktadır. [43] 'de, yük değişimi ve trafoların kapasite kısıtları göz önünde bulundurularak ET dolma koordinasyonu gerçekleştirilmiştir. Puant yükün temel yükten fark değeri 504.54 kW'tan 127.49 kW'a düşürülmüştür. Fakat bu çalışmada ET'lerin bir sistem içinde benzetimi yapılmadığından sistem kayıpları ve kısıtları ihmal edilmiştir. [44] 'de, yük eğilimini düzleştirmek için ET dolum koordinasyonu Genetik Algoritma tabanlı bir yöntemle çözümlenmektedir. Bununla birlikte, önerilen yöntem ET bataryasının hareket zamanında tam dolu olmasını garanti etmemektedir. [45] 'de, ET dolum zamanlama problemini çözmek için sezgisel bir algoritma önerilmiştir. Toplayıcıya ait gelir, en uygun dolum planlamasını kullanarak %80,1 oranında iyileştirilebilmektedir. Burada,

ET sahiplerinin konforu kriteri ve ET kısıtlamaları göz önünde bulundurulmamıştır. [46] 'da, hibrid parçacık sürü optimizasyonu ve yerçekimi arama algoritması tabanlı optimizasyon, her bir ET'ye optimal olarak güç tahsis etmek için kullanılmıştır. Burada, ET'lerin bir sistem içerisinde benzetimi yapılmadığından gerçekçi değerlendirmeler yapılmamıştır. [47] 'de, ET yükleri tek tek ele alınarak, sistemin iyileştirilmesi için toplam yük belirlenmiştir. Dolayısıyla, ET sahibinin memnuniyeti sağlanmamaktadır.

Daha önce sunulan çalışmaların bir kısmında [42, 43, 47], elektrik şebekesinin durumu ve kısıtları ihmal edilmiş, diğer kısmında [44, 45, 46] ise kullanıcı konforu ve toplayıcı maliyeti göz önünde bulundurulmamıştır. Dolayısıyla bu hedef fonksiyonlar için dolma/boşalma kararlarının müşteri memnuniyeti veya şebeke için uygulanabilirliği garanti edilemez. Dolum stratejisi normal şebeke operasyonunu sağlamanın yanında taşıtların sahibi tarafından belirtilen doluluk miktarıyla hareket edebilmesi için tüm ET'ler için batarya dolum talebinin de garanti edilmesi gerekir. Bu bilgilere dayanarak, optimizasyon birimi hizmet güvenilirliğini garanti eden, operatör kârını en üst düzeye çıkaran, sistem kısıtlamalarını ve müşteri güç taleplerini karşılayan en uygun ET dolma/boşalma koordinasyonu kararları vermelidir. Bu çalışmada T→Ş yapısında hem sistem gereksinimlerini karşılayan ve bunun için toplayıcının maliyetini minimize eden, ve taşıt sahibinin konforunu maksimize edilmesini sağlayan hedef fonksiyon belirlenmiş ve evrimsel ve sürü tabanlı optimizasyon algoritmaları kullanılarak optimize edilmiştir.

Bu tez çalışmasının konutlarda enerji yönetim sistemine temel katkısı ise kullanıcı konfor değerleri içerisinde konutların yer aldığı dağıtım sistemlerinde puant yüklerin düşürülmesi ve akıllı konutlarda elektrik enerjisinin yönetilmesi amacıyla;

-Isıtma Havalandırma ve İklimlendirme Sistemleri (IHİS) ve Elektrikli Su Isıtıcısı (ESI) ikinci dereceden modelleri kullanılmış ve 1000 konut için parametre değerleri çeşitlendirilerek gerçekçi bir sistem elde edilmiştir. Konutlarda en fazla güç tüketimi sağlayan IHİS ve ESI'nin aktif kontrol yöntemi ile kontrol edilmesi önerilmiştir. Böylece termostatlı yükler olan IHİS ve ESI'nın ayar değerleri elektrik fiyatları ve kullanıcı tercihleri doğrultusunda ayarlanmaktadır. 1000 konutluk bir dağıtım sistemi için puant yüklerdeki düşüş ve kullanıcı elektrik fatura bedellerinde sağlanan tasarruf sunulmaktadır.

-Geleceğin elektrik sisteminde önemli bir yer tutması beklenen ET'lerin dolma/boşalma koordinasyonu sistem ihtiyaçlarını karşılamak amacı ile sezgisel algoritmalar kullanılarak optimize edilmiştir. ET'lerin konuta varış zamanı, konuttan ayrılış zamanı ve başlangıçtaki doluluk durumları dağılım yapılarak çeşitlendirilmiştir. ET'ler sistemdeki kayıplar ve diğer veriler değerlendirilebilmesi için 33 baralı sisteme yerleştirilmiştir.

-Taşıttan Şebekeye (T→Ş) sistemler için, aynı anda toplayıcı maliyetini minimize eden, kullanıcı konforunu maksimize eden, ET'nin hareket zamanında maksimum doluluk durumunu garanti eden, şebeke kısıtlarını sağlayan bir hedef fonksiyon önerilmiştir.

-Belirlenen hedef fonksiyonun çözümü için sürü tabanlı Yapay Arı Kolonisi (YAK) ve Parçacık Sürü Algoritması (PSO) ile evrimsel tabanlı Genetik Algoritma (GA) ve Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) kullanılmış ve karşılaştırmalı sonuçlar elde edilmiştir.

## 2. BÖLÜM

### ELEKTRİKLİ EV CİHAZLARININ MODELLENMESİ VE GÜÇ TÜKETİM PROFİLİNİN OLUŞTURULMASI

Elektrik enerjisi sisteminin üç temel unsuru üretim, iletim ve dağıtım önemli çalışma alanları olmakla birlikte, sistemdeki yük eğiliminin değişmesini sağlayan talep tarafı yüklerinin modellenmesi ve kontrolü son zamanlarda oldukça önem kazanmıştır. Dağıtım sistemi analizi alanında yapılan son çalışmalarda, geleneksel anlık yük kullanılarak yapılan analiz yönteminin, gelişmekte olan dağıtım sistemi teknolojilerinin değerlendirilmesi için yeterli olmadığı görülmektedir. ET, enerji depolaması, talep tarafı katılımı, günlük, mevsimsel ve/veya yıllık değişkenliğe sahip yükler bu durum için örnek olarak verilebilir. Elektrikli ev cihazları ve elektrikli taşıt dolumu gibi gelişen teknolojiler, enerji tüketimini etkileyen kontrol işaretleri ile TY oluşturma potansiyeline sahiptir. Farklı zaman dilimlerindeki güç sistemi analizini gerçekleştirmek ve potansiyel TY işaretinin sisteme etkilerinin incelenebilmesi için, sadece puant yük zamanlarındaki anlık yük koşullarının değil, çeşitli koşullardaki yükleri doğru bir şekilde gösteren, son kullanıcı yük modelleri gereklidir. Dağıtım sistemi geriliminin normal değişimleri nedeniyle en basit dağıtım sistemleri yükleri bile zamanla değişmektedir. Çıkış geriliminin zamana bağımlılığı göz önünde bulundurularak son kullanıcı yüklerini modellemek için iki yöntem geliştirilmiştir: sabit yük modeli [48] ve fiziksel yük modeli [49].

#### 2.1 Sabit Yük Modeli

Halen, son kullanıcı yük modellemesinin en yaygın yöntemi, yükleri sabit empedans ( $Z$ ), sabit akım ( $I$ ) ve sabit güç ( $P$ ) elemanlarının zamanla değişmeyen kombinasyonları olarak düşünüldüğü ve ZIP modeli olarak ifade edilen yöntemdir.

Zamanla değişen yük modelleri sunmak için, ZIP modeli kullanılmakta ve tek tek öğelerin oranlarının ve büyüklüklerinin zamana göre değişimine izin verilir. Sabit yük modelleri aşığıdaki şekilde sınıflandırabilir [50, 51]:

**Sabit Güç Modeli:** Eşitlik (2.1)'de verildiği üzere, aktif güç ( $P$ ) ve reaktif güç ( $Q$ ) değerinin gerilim değerinden bağımsız olduğu ve gerilimdeki değişikliklerden yükün etkilenmediği modelidir.

$$\frac{P}{P_0} = \left( \frac{U}{U_0} \right)^0 = 1 \quad \frac{Q}{Q_0} = \left( \frac{U}{U_0} \right)^0 = 1 \quad (2.1)$$

**Sabit Akım Modeli:** Eşitlik (2.2)'de verildiği üzere,  $P$  ve  $Q$  değerinin gerilim değeri ile orantılı olarak değiştiiği modelidir.

$$\frac{P}{P_0} = \left( \frac{U}{U_0} \right) \quad \frac{Q}{Q_0} = \left( \frac{U}{U_0} \right) \quad (2.2)$$

**Sabit Empedans Modeli:** Eşitlik (2.3)'de verildiği üzere,  $P$  ve  $Q$  değerinin gerilimin karesi ile orantılı olarak değiştiiği doğrusal olmayan bir modeldir.

$$\frac{P}{P_0} = \left( \frac{U}{U_0} \right)^2 \quad \frac{Q}{Q_0} = \left( \frac{U}{U_0} \right)^2 \quad (2.3)$$

**Polinomal Model:**  $P$  ve  $Q$  değerinin gerilim değeri ile polinomal olarak değiştiiği doğrusal olmayan model olup ZIP model olarak da bilinir. Bu model, sabit empedans, sabit akım ve sabit güçten oluşan yük modelidir.  $a_{0-2}$  ve  $b_{0-2}$  yük modeli parametreleridir; nominal gücün sabit güç, sabit akım ve sabit empedans kısımlarına nasıl bölüneceğini belirler. Eşitlik (2.4) ve Eşitlik (2.5)'de verildiği üzere, bu modellerle gerilim değeri değiştikçe üç bileşen de değişecektir.

$$\frac{P}{P_0} = a_0 + a_1 \frac{U}{U_0} + a_2 \left( \frac{U}{U_0} \right)^2, \quad a_0 + a_1 + a_2 = 1 \quad (2.4)$$

$$\frac{Q}{Q_0} = b_0 + b_1 \frac{U}{U_0} + b_2 \left( \frac{U}{U_0} \right)^2, \quad b_0 + b_1 + b_2 = 1 \quad (2.5)$$

**Eksponansiyel Model:** Eşitlik (2.6)'da verildiği üzere,  $P$  ve  $Q$  değerinin gerilim değeri ile eksponansiyel olarak değiştiği doğrusal olmayan modeldir. Sabit empedans, sabit akım ve sabit güç ekponansiyel modelin özel halleridir.

$$\frac{P}{P_0} = \left( \frac{U}{U_0} \right)^{n_p} \quad \frac{Q}{Q_0} = \left( \frac{U}{U_0} \right)^{n_q} \quad (2.6)$$

**Frekansa bağlı model:** Eşitlik (2.7)'de verildiği üzere, frekansın etki ettiği bir statik yük modelidir. Bu genellikle bir polinom veya üstel yük modeli ile frekans sapması ve frekans hassasiyet parametresinin dahil olduğu dahil bir faktör çarpılarak gösterilir.  $a_f$ 'nin frekans hassasiyetini temsil ettiği modelde yük değişimi Eşitlik (2.7)'de verildiği şekildedir.

$$\frac{P}{P_0} = \left( \frac{U}{U_0} \right)^{n_p} [1 + a_f (f - f_0)] \quad (2.7)$$

Geleneksel dağıtım analizinde, ZIP modelleri genellikle her bir yük için geliştirilmez. Bunun yerine modeller konut, ticari ve endüstriyel gibi yük sınıfları için geliştirilir. Belirli bir yük sınıfı içerisindeki her yük aynı ZIP değerlerini kullanır. Her bir yük değeri besleyici seviyesinde bir günlük yük eğilimi oluşturmak için aralıklarla değişebilir.

## 2.2. Fiziksel Model

Mevcut dağıtım sistemi altyapısının davranışını tam olarak göstermek ve ortaya çıkan akıllı şebeke teknolojilerinin etkisini değerlendirmek için çok durumlu yük modelleri geliştirilmesi gereklidir. Elektrikli araç dolun ve TY gibi teknolojiler ve cihazları, her biri farklı davranışlara sahip farklı durumlar arasında geçiş yapmaya zorlar. Son kullanım yüklerinin davranışını düzgün bir şekilde göstermek için, zamanla değişen çok durumlu fiziksel yük modelleri kullanmak gerekmektedir. Son kullanım yükü enerji tüketimi, çıkış gerilimi gibi değişkenlerin bir sonucu olduğunda, ZIP modelinin

kullanılması yetersizdir. Bu, bir harici kontrol sistemi veya bir iç kontrol döngüsü olan herhangi bir yük için de geçerlidir.

### 2.3. Elektrikli Cihazlar Güç Tüketim Modelleri

Bu çalışmada konutun termal çevrimine dâhil olan IHİS ve ESI fiziksel modelleri kullanılarak modelleme gerçekleştirilirken, diğer cihazlar için zamanla değişen sabit yük modelleri kullanılmıştır.

#### 2.3.1. Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme Sistemleri (IHİS)

Bir son kullanıcı yükünün enerji tüketimi, çıkış gerilimi ve diğer değişkenlerin bir fonksiyonudur. Bu durumda artık bir ZIP modeli kullanmak yeterli değildir. IHİS iç ortam sıcaklığını belli bir sıcaklık aralığında tutmaktadır. IHİS'in ZIP modelinde açık ve kapalı olmak üzere iki durum söz konusudur. Oysa çalışma geçmişi, çalışma zamanı, dış hava sıcaklığı, bulunduğu binanın termal yapısı ve çıkış gerilimi; enerji ve güç tüketimini etkilemektedir. Bu durumun gösterilebilmesi için IHİS fiziksel modeli ve binanın termal yapısı Eşdeğer Termal Parametreler (ETP) modeli kullanılarak modellenmiştir. ETP model konutların ve ticari binaların güç ve enerji tüketiminin hassas bir şekilde hesaplandığı bir modeldir [50].

IHİS, konutun termal çevrimi içerisinde en büyük etkiye sahiptir. Bu cihazlar, ev sıcaklığını bir sıcaklık aralığında tutmak için belirli miktarda enerji tüketirler. Kullanılan enerji dış sıcaklığa, bina termal yapısına, evdeki insanlara, eşyalara ve elektrikli cihazlara bağlı olarak değişmektedir. Evin termal yapısını etkileyen başlıca faktörler şunlardır;

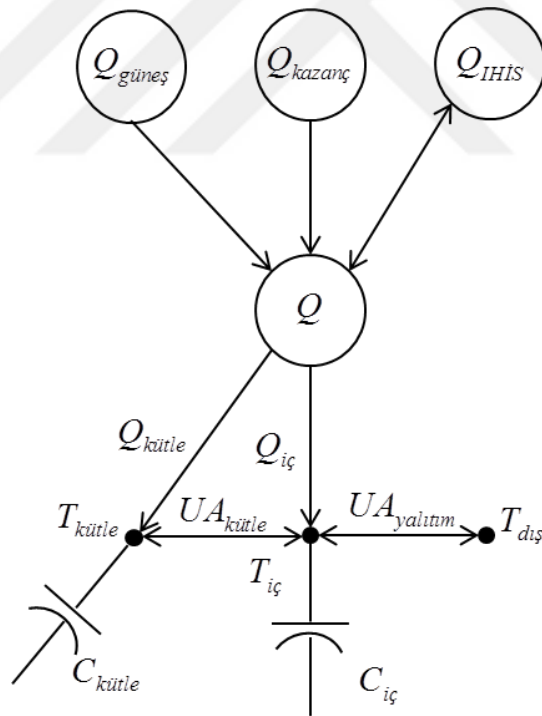
1. Dış duvarlar, çatı ve cam yoluyla ısı değişimi,
2. Güneş ışığı ışıması,
3. Aydınlatmadan, insanlardan ve cihazlardan elde edilen ısıl kazançlar.

Şekil 2.1'de, bir konutun, ısı akışının ETP ile modellendiği bir diyagram gösterilmektedir. Burada,  $C_{iç}$  :iç hava ısı kapasitesi,  $C_{küttele}$  :yapı kütlesi ısı kapasitesi,  $UA_{yalıtım}$  :iç hava ile dışarı arasındaki ısı transfer katsayısı,  $UA_{küttele}$  :iç hava ile yapı kütlesi



arasındaki ısı transfer katsayısı,  $T_{dış}$  :dış hava sıcaklığı,  $T_{iç}$  :iç hava sıcaklığı,  $T_{küttele}$  :yapı kütle sıcaklığı,  $T_{ayar}$  : ayarlanan sıcaklık,  $Q_{iç}$  : iç hava ısı değeri,  $Q_{kazanç}$  : ısı kazanç değeri,  $Q_{IHIS}$  :IHİS ısı değeri,  $Q_{küttele}$  : yapı kütle ısısı,  $Q_{güneş}$  :güneşten gelen ısı.

IHİS ısıtma veya soğutma esnasında ortama aktardığı ısı ve bina dış yüzeyinden gelen ısı kazancı/kaybı dışında, bir evin içinde iki önemli ısı akışı vardır; güneş radyasyon ışınımı ve son kullanıcı yükleri tarafından üretilen atık ısı kazançlarıdır. Bu ısı kaynakları, evdeki toplam ısı enerjisi değişimini teşkil etmektedir. Isı akışı evdeki hava ile evin kütlesi, yani duvarlar ve mobilya arasında bölünür. Pencereden içeri süzülen güneş ışığının bir kısmı duvarlar, zemin ve eşyalar tarafından emilirken bir kısmı da oda içerisindeki havayı ısıtmaktadır. Benzer bir ısı bölünümü, son kullanıcı yüklerinden kaynaklanan atık ısı için de gerçekleşmektedir. Konutun iç ortam sıcaklığı, iç kütle sıcaklığı ve dış hava sıcaklığı ile termal olarak etkileşim halindedir.



Şekil 2.1. Eşdeğer Termal Parametreler (ETP) Modeli

Eşitlik (2.8) ve Eşitlik (2.9)'da, Şekil 2.1'deki ısı akışlarını açıklayan diferansiyel eşitliklerdir. Eşitlik (2.8)'de zamana bağlı hava sıcaklığı değişimi ve Eşitlik (2.9)'da zamana bağlı yapı kütlesi sıcaklık değişimi verilmiştir [49].

$$\frac{dT_{iç}}{dT} = \frac{1}{C_{iç}} \left[ T_{küttele} UA_{küttele} - T_{iç} (UA_{yalıtım} + UA_{küttele}) + Q_{iç} + T_{dış} UA_{yalıtım} \right] \quad (2.8)$$

$$\frac{dT_{küttele}}{dt} = \frac{1}{C_{iç}} \left[ UA_{küttele} (T_{iç} + T_{küttele}) + Q_{küttele} \right] \quad (2.9)$$

Eşitlik (2.10), Eşitlik (2.8) ve Eşitlik (2.9) 'un birleşiminden elde edilen ve ısı akışını temsil eden bir ikinci dereceden diferansiyel eşitliklerdir. Eşitliğin çözümü konutun zamanla değişen iç sıcaklığını vermektedir. Eşitliğin çözümünde hava ve bina kütlelerinin termal bilgileri kullanılmaktadır. IHİS'in termal davranışını daha önce belirlenen sıcaklık ayar değerine ve iç hava sıcaklığına göre belirlenmektedir.

$$a \frac{d^2 T_{iç}}{dt^2} + b \frac{dT_{iç}}{dt} + c T_{iç} = d \quad (2.10)$$

$$a = \frac{C_{küttele} C_{iç}}{UA_{küttele}}, \quad b = \frac{C_{küttele} (UA_{yalıtım} + UA_{küttele})}{UA_{küttele}} + C_{iç}, \quad c = UA_{yalıtım}, \quad d = Q_{küttele} + Q_{iç} + (UA_{yalıtım} T_{dış}) \quad (2.11)$$

Eşitlik (2.10) ile hesaplanan evin sıcaklığı ve kullanıcının ayar değeri ile IHİS'in işleyişine karar verilmektedir. Bu değerler ışığında IHİS, içerideki hava sıcaklığı belirlenen seviyeye ulaşana kadar çalışır vaziyette bulunacaktır. Eşitlik (2.12)'de gösterildiği gibi IHİS kompresör motorun çektiği güç ( $S_{motor}$ ), IHİS performans katsayısı ( $PK$ ), uç gerilimi ( $V_T$ ) motorunun elektriksel kaybı ( $S_{kayıp}$ )'na bağlıdır.

$$S_{motor} = \left[ Q_{IHİS} (T_{dış}, V_T, PK) + S_{kayıp} (V_T) \right] \quad (2.12)$$

$PK$ , IHİS'in ısıtma-soğutma oranını, sıcaklığın ve çalışma zamanının fonksiyonu olarak kompresör tarafından çekilen mekanik güce ilişkilendiren skalar bir değerdir.  $PK$ 'nın yüksek olması yer değiştirmesi gereken hava miktarı için daha az enerji harcanması anlamına gelmektedir.  $V_T$  ise kompresör motorunun uç gerilimidir. Eşitlik (2.12)'deki iki değişken de uç gerilimine bağlıdır ve uç gerilimindeki değişim güç tüketimini değiştirmektedir. Eşitlik (2.12) zaman serisi benzetimine uygulandığında sonuç; dış sıcaklık, iç sıcaklık, ekipman parametreleri, uç gerilimi ve kullanıcıyı

belirlediği ayar değerlerinin fonksiyonu olarak soğutma sisteminin enerji tüketimi, gerçek ve aktif güç değerini vermektedir.

Zamanla değişen çok durumlu bir yük modelinde son kullanıcının enerji tüketimini belirlemek için birden fazla durum kullanılmaktadır. Çok durumlu bir IHİS modelinde dört işletme durumu vardır. Bunlar; kapalı, soğutma, ısıtma, acil ısıtmadır. Tablo 2.1, durumlar arasında geçiş mantığını açıklamaktadır. Isıtma ayar değeri ( $T_{kul-ısıt}$ ) ve soğutma ayar değeri ( $T_{kul-soğ}$ ) kullanıcı tarafından belirlenmektedir. IHİS bu ayar değerler çerçevesinde ve iç ortam sıcaklığına göre hangi modda çalışacağına karar vermektedir. Ortam sıcaklığı yine kullanıcı tarafından belirlenen bir sıcaklık bölgesinde ( $T_{db}$ ) tutulur. İç ortam sıcaklığı, ( $T_{kul-soğ}$ ) + ( $T_{db}$ ) değerinin üzerine çıktığı anda IHİS soğutma işlemine başlamaktadır. Eğer iç ortam sıcaklığı, ( $T_{kul-ısıt}$ ) + ( $T_{db}$ ) değerinin altına düşerse IHİS ısıtma modunda çalışacaktır. Dış ortam sıcaklığı ( $T_{dış}$ ), destek sıcaklığı ( $T_{destek}$ )'in altına düştüğünde IHİS'in etkinliği çok düşmektedir. Bu durumda sistem rezistif ısıtma elemanını kullanarak yardımcı ısıtma durumuna geçmektedir ve ortam sıcaklığını bu şekilde sağlamaktadır.

Tablo 2.1 IHİS durumlar arası geçiş koşulları

Çalıştığı durum	Geçtiği durum	Geçiş şartı
Kapalı	Soğutma	$T_{iç} > (T_{kul-soğ} + T_{db})$
Soğutma	Kapalı	$T_{iç} < (T_{kul-soğ} - T_{db})$
Kapalı	Isıtma	$T_{iç} < (T_{kul-ısıt} - T_{db})$
Isıtma	Kapalı	$T_{iç} > (T_{kul-ısıt} + T_{db})$
Kapalı	Yardımcı Isıtma	$T_{iç} < (T_{kul-ısıt} - T_{db}) \& T_{dış} < T_{destek}$
Yardımcı Isıtma	Kapalı	$T_{iç} > (T_{kul-ısıt} + T_{db})$
Isıtma	Yardımcı Isıtma	$T_{dış} < T_{destek}$

Dört ayrı çalışma durumunda ani güç tüketimine karar veren değişik karakteristikler vardır. Kapalı durumda şebekeden herhangi bir güç çekimi söz konusu değildir. Isıtma ve soğutma durumlarında fan motoru ve kompresör motoru çalışır durumdadır. Yardımcı ısıtma durumunda ise ısıtma işlemi elektrik fan motorunun dönmesiyle gerçekleşmektedir. Fakat ısıtma işlemi rezistif ısıtma elemanı ile sağlanmaktadır.

Verilen dört durumda da ani çekilen güç değeri Eşitlik (2.13), Eşitlik (2.14) ve Eşitlik (2.15)'de gösterilmiştir.

Kapalı durumda;

$$S_{IHIS} = 0 \quad (2.13)$$

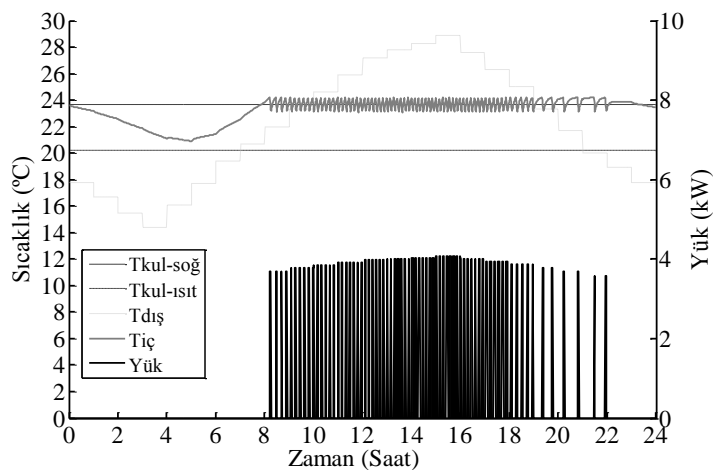
Soğutma ve ısıtma durumunda;

$$S_{IHIS} = S_{fan} + S_{motor} \quad (2.14)$$

Yardımcı-Isıtma durumunda;

$$S_{IHIS} = S_{fan} + \frac{V_T^2}{R_{isit}}, \quad R_{isit} : \text{Isıtma elemanı direnci} \quad (2.15)$$

Isıtma ve soğutma işlemi için harcanan güç aynı görünmekle beraber bu güç değerleri  $PK$  'ya göre değişmektedir. Eşitlik (2.14) ve Eşitlik (2.15)'de hesaplanan ani güç tüketimiyle iç ortam ısısının kullanıcı set değerleri içerisinde olması için gerekli zaman Eşitlik (2.12)'nin çözümü ile hesaplanmaktadır. Sıcaklık, gerilim ve  $PK$  'nın değişimi IHİS çalışma çevriminde değişiklere neden olmaktadır.



Şekil 2.2 IHİS güç tüketim eğilimi

Şekil 2.2'de bir IHİS'in davranışına ait örnek gösterilmektedir [51]. IHİS'de ısıtma ve soğutma işlemleri için ayrı ayrı ayar noktaları tanımlanmaktadır. Böylece dışarı ile içeri

arasındaki aşırı sıcaklık farkı engellenebilmektedir. Benzetim yaz aylarında gerçekleştirildiği için dış ortam sıcaklığına bağlı olarak IHİS soğutma modunda çalışmaktadır. 23.5°C olarak belirlenen soğutma ayar sıcaklığı bant değeri içerisinde hareket etmektedir. İç ortam sıcaklığı bu değerin üstüne çıktığında IHİS aktif hale gelirken, bant değerinin alt sınırına geldiğinde ise IHİS soğutma işlemini sonlandırmaktadır.

### 2.3.2. Elektrikli Su Isıtıcısı (ESI)

Tipik elektrikli su ısıtıcısı tankı büyüklüğü kullanım oranına göre genelde 150-300 litre arasında değişmektedir. Sıcak su tankın üst tarafından boşalırken soğuk su tankın alt tarafından dolmaktadır. Bundan dolayı sıcak su tüketimi esnasında tankın aşağı bölgesinde bir soğuk su katmanı oluşma eğilimindedir. Su genel olarak iki ısıtma elemanı ile ısıtılmaktadır. İlki tankın alt kısmında yer alırken diğeri de tankın üst bölgesinde bulunmaktadır. Tankın alt kısmında bulunan eleman genellikle ısıtma işlemini gerçekleştiren elemandır. Tankın üst kısmında bulunan eleman ise yalnızca soğuk su katmanı üstteki elemanın bulunduğu noktaya kadar ulaşması halinde ısıtma işlemine başlamaktadır. İki ısıtma elemanı birbirinden bağımsız termostatlar ile kontrol edilmektedir. Isıtıcı eleman kapasitesi 1.5 kW-6 kW arasında değişirken bu değer genelde 4.5 kW civarındadır.

Termostatik kontrolün ayar değeriyle birlikte bir de sıcaklık bölgesi ( $T_{db}$ ) vardır. Su ısıtıcısının bir sıcaklığa eşit olduğunda çalışıp eşit olmadığında çalışmasını durdurması gibi sürekli bir döngünün içinde olmasını engeller. Sıcaklık bölgesi ayar değerinin bir kaç derece altı ve bir kaç derece üstünün arasında kalan sıcaklık aralığıdır. Su ısıtıcısı fiziksel modelinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır [52]:

- 1- Tankın durumuna göre su sıcaklığının tankın içinde düzenli bir şekilde dağıldığı veya tankın içinde soğuk ve sıcak su katmanlarının oluştuğu kabul edilmiştir.
- 2- Tankın alt tarafından tanka dolan soğuk suyun akış hızına göre ya sıcak suyla tamamen karıştığı ya da hiç karışmadığı kabul edilmiştir.

Elektrikli su ısıtıcısı modeli verilen herhangi bir zaman için tankın durumuna bağlı olarak iki değişik model kullanılmaktadır. Bunlar; tek düğüm ve çift düğüm modelleridir.

**Tek Dügüm Modeli:** Tankın içindeki suyun sıcaklık olarak düzgün dağıldığı ve tek bir parçadan oluştuğu kabul edilen basit bir modeldir. Bu modelde verilen zaman dilimi için suyun sıcaklık değişimi göz önünde bulundurulmaktadır.

**Çift Dügüm Modeli:** Bu durumda sıcak su tankı iki katmanlıdır ve her bir katmandaki su sıcaklığı kendi içerisinde düzgün olarak dağıldığı kabul edilmektedir. Üst katmandaki suyun sıcaklığı ayar değerine yakınken alt katmandaki suyun sıcaklığı giriş suyunun sıcaklığına yakındır. Bu modelde sıcak su katmanı ile soğuk su katmanı arasındaki sınır göz önünde bulundurulur. Tanktan sıcak su boşalırken ve tanka ısı verilirken sıcak su yüksekliğinin değişimi hesaplanmaktadır.

ESI temel iki duruma göre benzetimi gerçekleştirmektedir.

**1- Tankın Durumu:** Tank aşağıdaki üç durumda bulunabilir.

**Dolu:** Eğer tanktaki su kullanıcının ayar değerine yakın bir sıcaklıkta homojen bir şekilde ise tank doludur denir ve tek düğüm modeli uygulanır.

**Parçalı:** Tanktan sıcak su çekiliyor ve bir yandan da soğuk su girişi yapılırken tank soğuk ve sıcak su katmanları halinde bölünüyorsa tank parçalı bir yapıya sahiptir ve bu durumda çift düğüm modeli uygulanır.

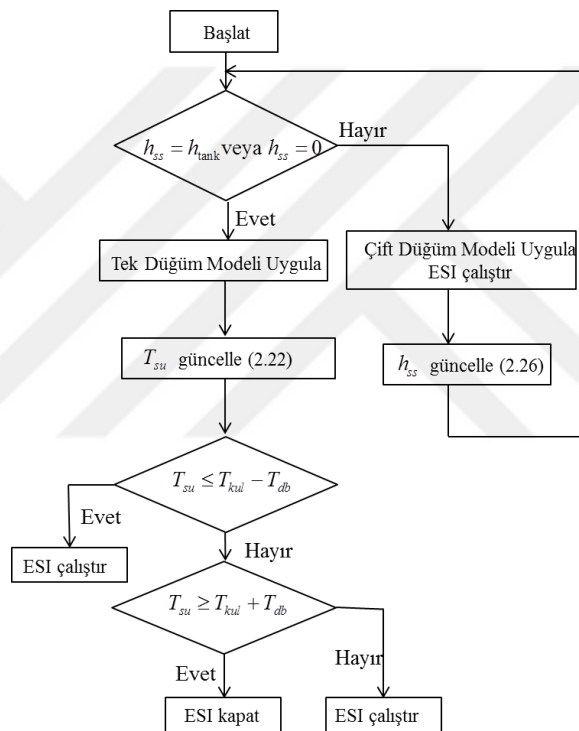
**Boş:** Eğer tanktaki sıcak su tamamen tüketilmiş ve tankın içindeki su sıcaklık olarak giriş suyu sıcaklığına yakın homojen bir şekilde ise tank boştur denir ve tek düğüm modeli uygulanır.

**2- Suyun Durumu:** Tankın içinde bulunan suyun tüketim durumunu işaret etmektedir. Tankın içindeki sıcak suyunu tüketilip tüketilmediğine ve eğer tüketiliyorsa hangi hızla tüketildiğine göre değişmektedir. Su aşağıdaki durumlarda olabilir;

**Boşalma:** Bu durumda sıcak suyun tüketilme hızı, soğuk ile sıcak su sınırını yukarı doğru çekebilecek seviyededir. Yani suyun tüketilme hızı, yerine dolan soğuk suyun ısıtılma hızından fazladır. Bu durumda tanktaki sıcak su miktarı azalırken soğuk su miktarı artmaktadır.

**Dolma:** Bu durumda ya tanktan su çekilmiyordur ya da çekilen su miktarı azdır. Isıtma elemanın kapasitesi giren soğuk suyu ısıtma kapasitesine sahiptir. Bu durumda, tanktaki sıcak su miktarı artarken soğuk su miktarı azalmaktadır ve tank dolu duruma yaklaşmaktadır.

**Denge:** Bu durumda tanktan çekilen sıcak su ile giriş yapan suyun ısınması birbirini dengelemektedir. Bu denge durumunda tank ne dolu duruma ne de boş duruma geçemeyecektir.



Şekil 2.3 ESI çalışma algoritması

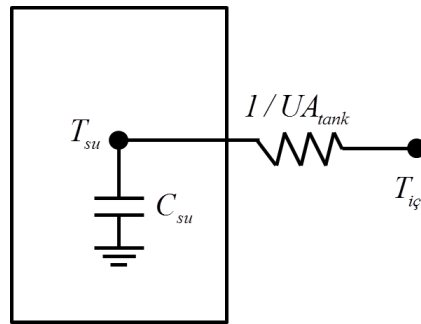
Denge durumuna örnek olarak bir tank için sıcak suyun çekilme hızı yaklaşık olarak 1.70 lt/dk'nın üzerinde ise soğuk su seviyesi artmaktadır ve belirli bir zaman sonra tankın boşalacağı anlamına gelmektedir. Akış hızı yaklaşık 1.69 lt/dk'nın altında ise tanktaki sıcak su miktarı artmaktadır ve belirli bir zaman sonra tank dolu duruma geçecektir. Bu iki uç arasında kalan suyun akış hızlarında dolma ya da boşalma zamanı sonsuz olarak gerçekleşmektedir. Tank içindeki sıcak ve soğuk su miktarı aynıdır veya tankın içindeki su sıcaklığı değişmemektedir. Dolayısıyla tank denge durumundadır ve ne boş ne de dolu duruma geçemeyecektir. Bu kritik akış hızı tankın ölçüsüne ve

şekline, tankın termal iletkenliğine, ısıtma elemanının kapasitesine, soğuk ve sıcak su katmanlarının sıcaklıkları gibi birçok faktöre göre değişmektedir.

ESI'nin işleyişi Şekil 2.3'deki akış şeması ile açıklanmaktadır. Depo dolu veya boş durumda değilse çift düğüm modeli uygulanmakta ve ESI çift düğüm modelinde her zaman çalışır durumdadır. Eğer tank dolu veya boş durumda ise tek düğüm modu uygulanır. Tek düğüm modunda ise eğer  $T_{su} \leq T_{kul-ısıt} - T_{db}$  ise ESI çalışır durumdadır. Eğer  $T_{su} \geq T_{kul-ısıt} + T_{db}$  ESI kapalı durumdadır. Bu işlem, benzetim süresince her zaman aralığı için tekrarlanmaktadır.

### 2.3.2.1 Tek Düğüm Modeli

Tek düğüm modelinde suyun tank içinde düzenli bir şekilde dağıldığı ve her noktadaki su sıcaklığının aynı olduğu farz edilmektedir. Şekil 2.4'de su ısıtıcı tek düğüm modelin şematik görünümü verilmiştir.  $T_{su}$  tank içindeki ortalama su sıcaklığıdır. Suyun termal kapasitesi ise tank hacmi ile değişmektedir.  $UA_{tank}$  ise tank yüzeyinin termal iletkenliğini temsil etmektedir.



Şekil 2.4 ESI tek düğüm modeli [52]

Şekil 2.4'de verilen tek düğüm modeli göz önünde bulundurulduğunda termal iletkenlik, oda sıcaklığına, tank yüzeyi iletkenliği ( $UA_{tank}$ ) ile bağlanır. Akan su kütlesi ( $m_{su}$ ), ısı girişi  $Q_{elek}$  ile gösterilmiştir.

Eşitlik (2.16)'da tek düğüm modelinde ısı dengesi verilmiştir [52].



$$Q_{elek} - m_{su}(T_{su} - T_{giriş}) + UA_{tank}(T_{iç} - T_{su}) = C_{su} \frac{dT_{su}}{dt} \quad (2.16)$$

Eşitlik (2.16) düzenlendiğinde;

$$\frac{dT_{su}}{dt} = \frac{m_{su}T_{giriş} + UA_{tank} * T_{iç} + Q_{elek}}{C_{su}} - \frac{UA_{tank} + m_{su}}{C_{su}} * T_{su} \quad (2.17)$$

veya

$$dt = \frac{dT_{su}}{\frac{m_{su}T_{giriş} + UA_{tank} * T_{iç} + Q_{elek}}{C_{su}} - \frac{UA_{tank} + m_{su}}{C_{su}} * T_{su}} \quad (2.18)$$

elde edilmektedir. Su sıcaklığının başlangıç değerinden ( $T_{su,baş}$ ) belli bir sıcaklığa ( $T_{su,son}$ ) çıkması için gerekli süre aşağıdaki eşitliğin integrali alınarak bulunur;

$$t_1 - t_0 = \int_{T_{su,baş}}^{T_{su,son}} \frac{dT_{su}}{\frac{m_{su}T_{giriş} + UA_{tank} * T_{iç} + Q_{elek}}{C_{su}} - \frac{UA_{tank} + m_{su}}{C_{su}} * T_{su}} \quad (2.19)$$

Eşitlik (2.19),  $\frac{dx}{a+bx}$  formundadır ve bu eşitliğin çözümü  $\frac{1}{b} \ln(a+bx)$  şeklindedir.

Tanktaki suyun son sıcaklığa ulaşması için gerekli zamanın hesaplaması aşağıdaki şekilde gerçekleştirilir.

$$t_1 - t_0 = \frac{1}{b} * \log(a + bT_{su}) \Big|_{T_{su,baş}}^{T_{su,son}} \quad (2.20)$$

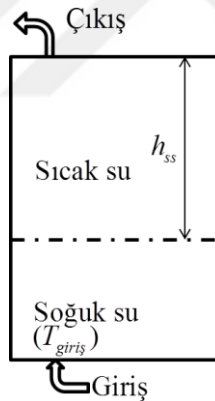
$$a = \frac{m_{su}T_{giriş} + UA_{tank} * T_{iç} + Q_{elek}}{C_{su}}, \quad b = -\frac{UA_{tank} + m_{su}}{C_{su}} \quad (2.21)$$

Tank suyunun sıcaklığı, bilinen başlangıç değeri ve zaman farkı kullanılarak Eşitlik (2.22) ile hesaplanmaktadır.

$$T_{su,son} = \frac{m_{su} T_{giriş} + UA_{tank} + T_{iç} + Q_{elek}}{UA_{tank} + m_{su}} - \left( \frac{m_{su} T_{giriş} + UA_{tank} * T_{iç} + Q_{elek}}{UA_{tank} + m_{su}} - T_{giriş} \right) e^{b(t_1 - t_0)} \quad (2.22)$$

### 2.3.2.2 Çift Düğüm Modeli

Bu modelde tanktan sıcak su çekilmektedir ve bir yandan da soğuk su girişi olmaktadır. Tank, Şekil 2.5'deki gibi sıcak ve soğuk su olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Tankın üst tarafı sıcak uç, tankın alt tarafı ise soğuk uçtur. Hesaplamalarda sıcak suyun yüksekliği dikkate alınır ve durum değişimine sıcak su yüksekliğine ( $h_{ss}$ ) göre karar verilmektedir. Sıcak su, tanktan belirli bir orandan daha hızlı çekilirse, sıcak suyun yüksekliği azalır. Sıcak su tanktan çekilmiyorsa veya belirli orandan daha düşük bir hızda çekilirse, ısıtma elemanı tanktaki soğuk suyu ısıtma işlemini gerçekleştirebilmektedir. Dolayısıyla tankın içindeki sıcak su yüksekliği bu süre boyunca artmaktadır.



Şekil 2.5 ESI çift düğüm modeli

Bu model tankın parçalı olduğu durumlar için uygulanmaktadır. Tankta her biri kendi içerisinde homojen dağılım gösteren iki farklı sıcaklık değerinde su kütleleri vardır. Yukardaki sıcak su kütlelerinin sıcaklığı ayar sıcaklığına yakınken tankın alt kısmında bulunan su kütlelerinin sıcaklığı ise giriş su sıcaklığına yakındır. Tanktaki sıcak su yüksekliğinin değişmesi için gerekli zaman Eşitlik (2.23) kullanılarak hesaplanır.  $dh_{ss} / dt$  su yüksekliğinin değişimini ifade eder. Bu tanktan çekilen su kütlesi miktarı ile sıcak ve soğuk su kütleleri sıcaklık farkının fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır.

$$t_1 - t_0 = \frac{1}{b} * \log\left(\frac{dh_{ss}}{dt}\right) \Big|_{h_{ss,bas}}^{h_{ss,son}} \quad (2.23)$$

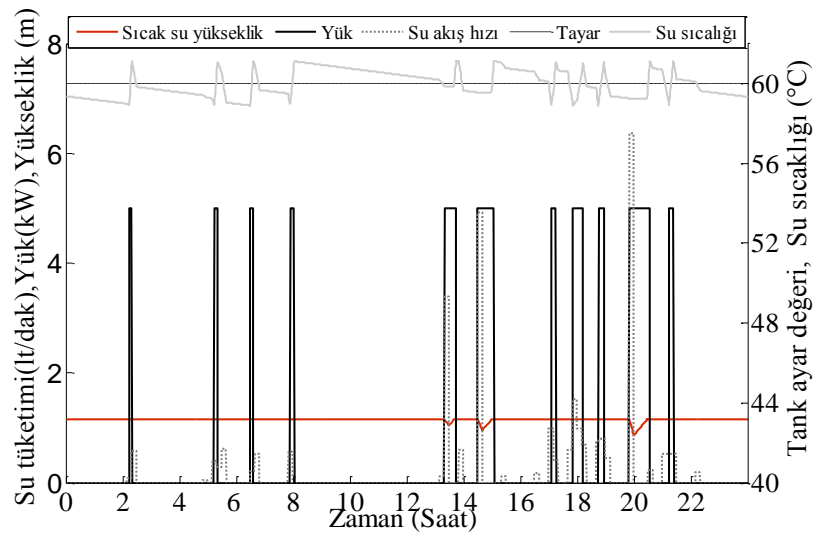
$$\frac{dh_{ss}}{dt} = a + bh \quad (2.24)$$

$$a = \frac{-m_{su}}{C_{su}} + \frac{UA_{tank} + T_{iç} + Q_{elek}}{C_{su} + T_{giriş}}, \quad b = \frac{UA_{tank}}{C_{su}} \quad (2.25)$$

Çift düğüm sıcaklık modelinde sıcak su yüksekliği akan su kütlesine bağlı olarak Eşitlik (2.26)'daki gibi hesaplanır.

$$h_{ss,son} = \frac{e^{bT_{su}} * (a + bh_{ss,bas}) - a}{b} \quad (2.26)$$

Şekil 2.6'da bir ESI'nın günlük çalışması gösterilmiştir. Tanktaki suyun sıcaklığı belirli bir bant aralığında tutulmaktadır. Tek düğüm modelinde su sıcaklığı tanktan su çekilirken hızla azalmaktadır ve sıcaklık bandın alt limitine ulaştığında ESI aktif olmaktadır. Eğer tanktan çekilen su akışı belli bir değerin üzerinde ise kırmızı çizgi ile gösterilen sıcak su yüksekliği azalmaktadır ve ESI aktif hale gelmektedir. Tanktaki sıcak su yüksekliği tank yüksekliğine eşit olana kadar ESI çalışır konumdadır [53].

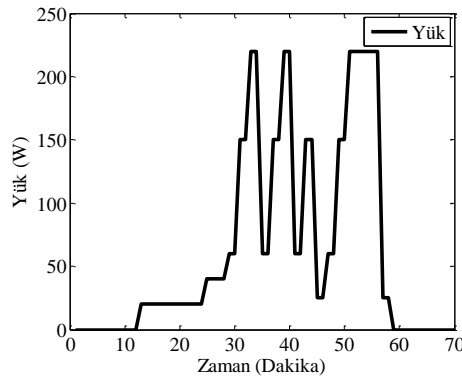


Şekil 2.6 ESI güç tüketim eğilimi

### 2.3.3. Çamaşır Makinesi

Çamaşır makineleri genellikle su pompası, valfler, kontrol anahtarları, termostatlar ve motorların dondurduğu iki tüpten oluşmaktadır. Çamaşır makinesi yıkama boyunca farklı programlarla çalışır.

GridLAB-D’de modellenen çamaşır makinelerinin çalışma dongusu hazneye su alınması ile başlar. Daha sonra hazne farklı yönlerde döndürülerek çamaşırların yıkanması sağlanır. Kirli su boşaltılarak ve yeniden temiz durulama su hazneye alınır. Seyreltilmiş suyu boşaltmak için ikinci dönme hareketi gerçekleştirilir. Durulamada su eklenerak yine hazne döndürülür. En son döndürme işlemi suyun büyük bir kısmını boşaltmak için duşuk hız döndürme çevrimi gerçekleşir. Sudan arındırılmış çamaşırlar dağıtılmak için tekrar döndürülür. En son hız limitine ulaşana kadar döndürme işlemi hızlandırılır. Bu en son hızlandırma işlemi çamaşırları uzerindeki nem miktarının mümkün olduğu kadar azaltılmasını sağlamaktadır. Bu programlar ve elektrik tüketim değerleri aşağıda verilmiştir; ön yıkama gücü: 20 W, Yıkama gücü: 40 W, Duşuk döndürme gücü: 60 W, Orta döndürme gücü: 150 W, Yüksek döndürme gücü: 220 W. Şekil 2.7’de çamaşır makinesinin gücü tüketim eğilimi verilmiştir [54].

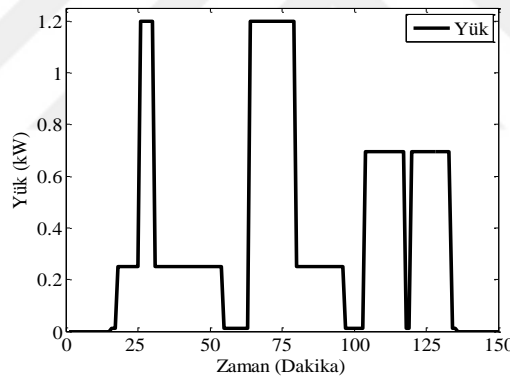


Şekil 2.7 amaşır makinesi gücü tüketim eğilimi

### 2.3.4. Bulaşık Makinesi

Bulaşık makinesinin gücü tüketimi rezistans ısıtıcılar ve motor arasında paylaşılmıştır. Bu modelde sekiz farklı zaman dilimi gözü onunde bulundurulmuştur ve bu zaman dilimleri durumlar arasında geçişe karar vermektedir. Bu durumlar elektrik tüketim

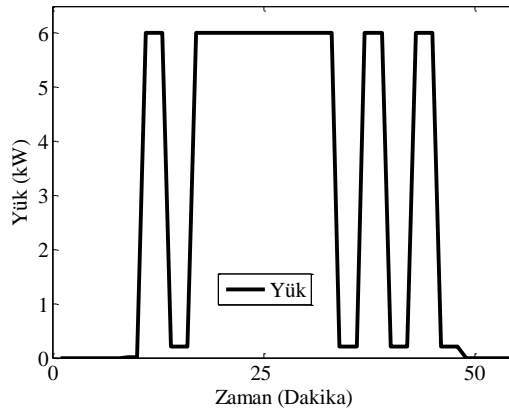
seviyelerine göre tanımlanmıştır. Bunlar; kapalı, sadece kontrol, sadece motorun çalıştığı, motor ve bobininin birlikte çalıştığı ve sıcak kurutma durumlarıdır. Şekil 2.8’de çok durumlu modellenmiş bulaşık makinesinde göz önünde bulundurulmuş zaman dilimleri sonucunda oluşan güç tüketim modeli görülmektedir. Bulaşıkların yıkanması işlemi yıkama, durulama ve kurutma süreçlerini kapsamaktadır. Makine çalışınca ilk durum kontrol durumudur ve yıkama-kurutmadan önce bu durumda çalışır. Kontrol durumunda bulaşık makinesi 10 W’lık bir güç harcamaktadır. Daha sonra sadece motorun çalıştığı duruma geçer. Makine ilk çalıştığında kontrol modu ile beraber yıkama ve durulama çevriminden sonra sadece motor modunda çalışır. Motor 250 W’lık bir güç çekmektedir. Yıkama çevriminde motor bir süre çalıştıktan sonra bobinle beraber çalışır ve bu ikisi 1.2 kW yük çekmektedir. Durulama modunda da motor ve bobin tekrar birlikte çalışır. Sıcak kurutma modunda ise bobinler çalışır ve 650 W güç tüketimine sahiptir. Şekil 2.8’de bulaşık makinesi güç tüketim eğilimi verilmiştir [54].



Şekil 2.8. Bulaşık makinesi güç tüketim eğilimi

### 2.3.5 Çamaşır Kurutma Makinesi

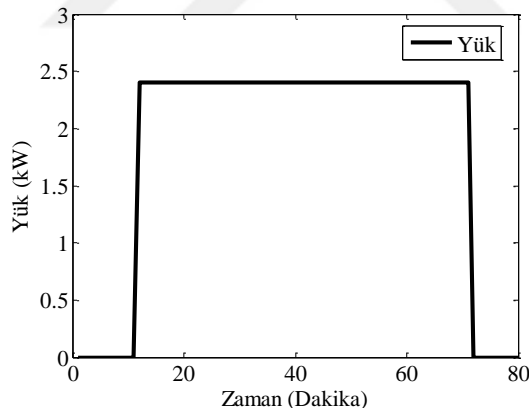
Çamaşır kurutma makinesinde üç temel parça güç tüketmektedir. Bunlar; iki adet elektrikli rezistanslı ısıtma bobini ve kasnak döndürme bobini. Isıtma bobinleri kurutma makinesindeki havayı ısıtırken motor çamaşırıkları kurutmak için kasnağı çevirmektedir. Sensörler cihaz içerisindeki nem miktarı kabul edilebilir seviyeye düştüğünde çamaşır makinesinin durmasını sağlamaktadır. Şekil 2.9’da çamaşır kurutma makinesinin güç tüketim eğilimi verilmiştir [54].



Şekil 2.9. Çamaşır kurutma makinesi güç tüketim eğilimi

### 2.3.6 Fırın

Fırın güç tüketim modeli gerçek bir sabit rezistif yük şeklindedir. Fırının 2.4 kW'lık yük çektiği kabul edilmiş ve kullanım süresi değişebilmektedir. Şekil 2.10'daki modelde fırının 65 dakika kadar çalıştığı görülmektedir.



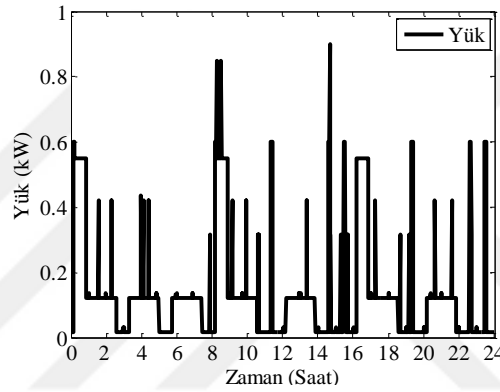
Şekil 2.10. Fırın güç tüketim eğilimi

### 2.3.7 Buzdolabı

Buzdolabının en fazla güç tüketen elemanı kompresörlerdir. Kompresörler buzluğun ve buzdolabının iç sıcaklığını belirli bir seviyede tutmak için çalışırlar. Buz çözme döngüsü de buharlaşma bobinlerinin buz tutmasını önlemektedir. Diğer güç tüketiciler nispeten daha az güç tüketmektedirler. Buna ek olarak dolap kapağının açılması buzdolabı güç tüketim eğilimini etkilemektedir. Dolabın kapağını açılması kovuklardaki

nemi artırabileceği gibi soğuk havanın dışarı çıkmasına neden olduğundan kompresörün daha fazla çalışmasına neden olmaktadır ve enerji tüketimini artırmaktadır.

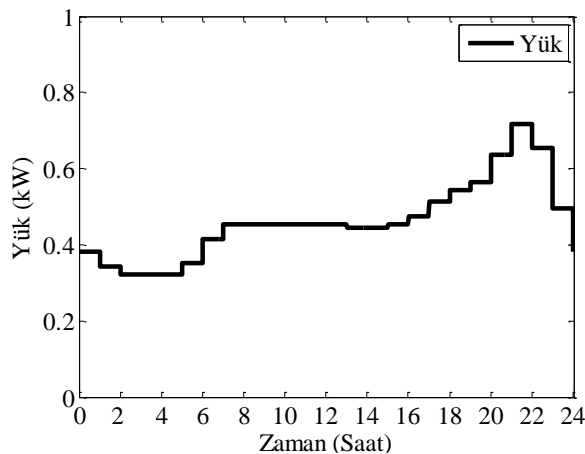
Buzdolabı sürekli çalışır vaziyettedir. Diğer elektrikli ev cihazları gibi kullanıcının aktive etmesine gerek yoktur. Buzdolabı modelinde kompresörün çalışma durumu, buz eritme durumu ya da buz yapma durumu gibi durumlar modellenmiştir. Bu modelde buz eritme döngüsü kapı açılma sayısının bir fonksiyonu olarak değişmektedir. Kompresör aktif değil iken harcanan güç 15 W, kompresör çalışırken 120 W, buz çözme çevriminde harcanan güç 550 W, buz yaparken de harcanan güç 300 W'dır. Şekil 2.11'de örnek bir buzdolabının güç tüketim eğrisi verilmiştir [52].



Şekil 2.11. Buzdolabı güç tüketim eğilimi

### 2.3.8 Aydınlatma ve Diğer Priz Yükleri

Bu yükler her bir konut için belirlenmiş aydınlatma ve telefon bilgisayar gibi priz yükleridir. Bu yükler için ortalama bir aydınlatma ve priz güç tüketim eğrisi kullanılmaktadır. Şekil 2.12'de örnek bir aydınlatma/priz güç tüketim eğrisi verilmiştir.



Şekil 2.12. Aydınlatma/ priz güç tüketim eğilimi

## 2.4 Konut Yük Eğiliminin Oluşturulması

Bölüm 2.2 ve Bölüm 2.3’de bir konut içerisinde elektrik tüketen cihazların güç eğilimleri verilmiştir. Bu elektrik tüketen cihazlardan buzdolabı, aydınlatma, prizler ve fırın geciktirilemeyen ve müdahale edilemeyen yüklerdir. Termostatlı yüklerden ESI ve IHIS ise belirlenen ayar değerleri çerçevesinde çalışıp çalışmayacağına ya da hangi durumda çalışacağına karar verilir. Çamaşır makinesi, bulaşık makinesi ve çamaşır kurutucusunun aktif hale gelmesi ve kullanım sıklığı kullanıcı davranışlarına göre değişmektedir. Bu kullanım sıklığını ve genel kullanıcı davranışlarını belirlemek üzere yapılan ELCAP projesi değişik konutlardaki elektrikli cihazların elektrik tüketimleri için dalga şekillerini gösteren bir çalışmadır [55]. Bu dalga şekilleri farklı ev aletleri için günün değişik zamanlarında kullanıcı alışkanlıklarını göstermektedir. Yük şekilleri her bir aralıkta ölçülen son kullanıcı bilgilerinin yıllık mevsimlik ortalamaları o aralıktaki ortalama güç tüketimini hesaplamak için kullanılır. Her bir cihazın birbirinden bağımsız olarak çalıştığı etmen tabanlı (agent based) güç sistem analiz programı olan GridLAB-D’de bu değerler kullanıcının elektrikli ev aletlerini kullanma olasılığının hesaplanması için kullanılmaktadır [56]. Cihazların aktif hale gelmesi kullanıcının kullanma sıklığına bağlı olasılıksal olarak değişen elektrikli ev aletleri için uygulanacak model aşağıda anlatılmaktadır.

Elektrikli ev cihazlarının bir kısmı sürekli devrede olmayıp düzensiz periyotlar halinde sistemden güç çeken yüklerdir. Bunlar; çamaşır makinesi, çamaşır kurutucusu, bulaşık makinesi ve fırındır. Çalışmaları sırasında her bir çalışma periyodunda şebekeden belirli miktarda güç çekerler. Cihazların kullanım oranını ya da talebi gösteren değerler cihazların o anlardaki kullanılma olasılıklarını ifade eden ortalama değerlerdir. Gerçek hayatta düşünüldüğünde cihazın kullanılma oranı kullanıcının davranışına göre karar verilmektedir.  $T_i$ ,  $i$  cihazının kullanıcı tarafından ortama günlük kullanım oranını göstermektedir.  $T_i$ ’nin değerine göre cihazların çalışma sıklığı değişmektedir. Kimisi benzetim zamanı içerisinde hiç çalışmazken bazı cihazlar ise bir kaç kere çalışabilmektedir.



Her bir  $i$  cihazı ve her bir benzetim basamağı  $k_N$ ,  $k=1,2,3,\dots,N$  de benzetim örneklendirme aralığı olmak üzere  $i$  cihazının çalışma olasılık değeri  $\zeta o_i(k)$  aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır [54];

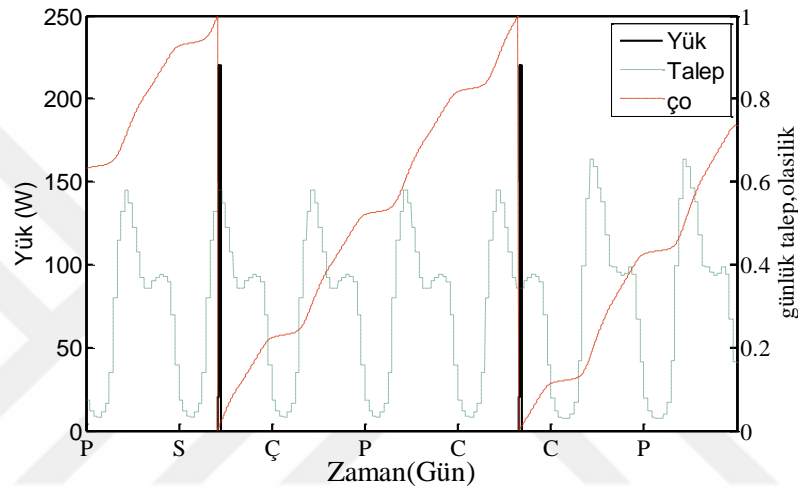
$$\begin{aligned}\zeta o_i(k) &= \zeta o_i(k-1) + T_i * (E_k / E_{tot}) \\ \zeta o_i(0) &= rand(0,1)\end{aligned}\quad (2.27)$$

ELCAP projesinde  $E_k$  cihaz tarafından  $k$ 'ncü zaman aralığında harcanan enerjiyi gösterirken,  $E_{tot}$  ise yine ELCAP'dan alınan bilgilere göre cihazın o gün içerisinde harcadığı toplam enerjidir.  $E_k / E_{tot}$  oranı cihazın  $k$ 'ncü zaman dilimi için günlük kullanım yüzdesini vermektedir ve  $E_k / E_{tot}$  grafiği normalize edilmiş ELCAP yük eğrisini vermektedir. Benzetimde her bir  $i$  cihazı rastgele bir olasılık değeri ile başlamaktadır. Her bir cihazın çalışma olasılığı geçen zaman dilimindeki olasılıkların toplamı ile oluşmaktadır. Her bir zaman diliminin benzetim basamağı süresince  $T_i$ ,  $\zeta o_i(k)$ , o zaman dilimindeki talebi ile günlük talebinin oranı oranınca artırılır. Yani o cihazın çalışması için her bir zaman diliminde olasılık değeri artar. Olasılığın artma oranı normalize edilmiş yük şekline  $E_k / E_{tot}$ 'a bağlıdır. Bundan dolayı  $E_k / E_{tot}$ 'un yüksek olması demek çalışma olasılık değerinin daha hızlı artması demektir. Zaman aralıklarında toplanan olasılık değeri  $\delta$  değerine ulaştığında cihaz çalışmaya başlamaktadır. Bu  $\delta$  değeri genellikle 1'dir. Cihaz çalışma durumuna geçince Eşitlik (2.28)'de gösterildiği gibi olasılık değeri  $\zeta o_i(k) - \delta$ 'ya düşer ve tekrar olasılık değerleri her bir zaman dilimi için toplanmaya başlamaktadır ve bir süre sonra cihaz tekrar çalışmaktadır. Verilen cihazın  $k$  zamanında çalışma olasılığı günlük talep,  $T_i$ , normalize edilmiş yük eğrisi,  $E_k / E_{tot}$  değerlerine bağlıdır. Bu değerlerin yüksek olması cihazın çalışma olasılığını artırmaktadır.

$$\begin{aligned}\text{if } \zeta o_i(k) &\geq \delta \quad i=ON \\ \zeta o_i(k+1) &= \zeta o_i(k) - \delta\end{aligned}\quad (2.28)$$

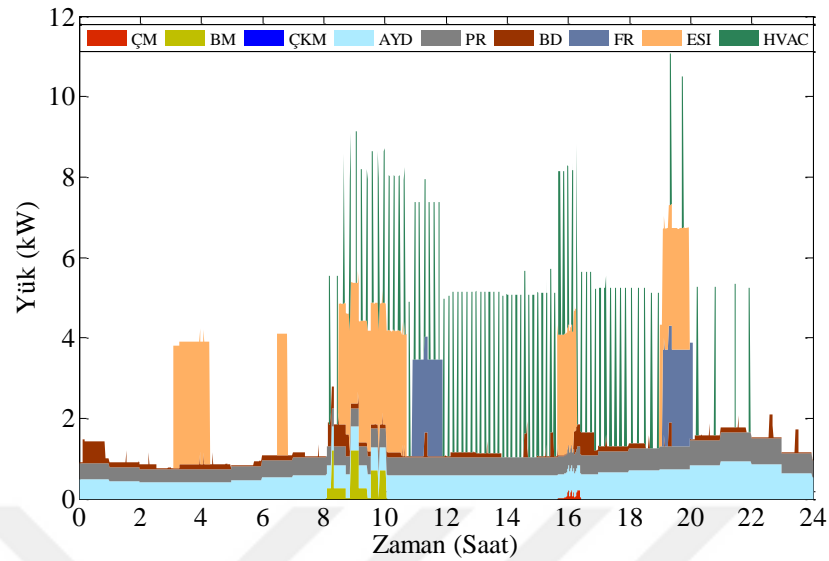
Çalışır duruma geçmesi olasılıksal değere bağlı olan yüklerden olan çamaşır makinesinin aktif olma sürecini gösteren grafik Şekil 2.13'de verilmiştir. Yeşil kesikli

grafik kullanıcının  $E_k / E_{tot}$  oranını göstermektedir ve  $T_i$  ile çarpılarak o andaki talep olasılığını vermektedir. Bu oranlar her bir zaman dilimi için toplanmakta ve kırmızı kesikli ile gösterilen çizgi o andaki çalışma olasılığını temsil etmektedir ve çalışma olasılık değeri 1'e ulaştığı zaman cihaz aktif hale geçer ve şebekeden güç çekmeye başlamaktadır. Cihaz çalıştığında olasılık değeri sıfıra düşer ve yeni çalışma zamanı için anlık olasılık değerleri tekrar toplanmaya başlamaktadır.



Şekil 2.13 Çamaşır makinesi aktif olma süreci

Şekil 2.14'de yukarıda bahsedilen elektrikli cihazların bulunduğu bir konutun bir günlük güç tüketim eğilimi sunulmuştur. Elektrikli ev cihazların tükettiği enerji cihazın kapasitesine ve kullanımına göre farklılık göstermektedir. Dış ortam sıcaklığı olarak ABD'nin Tennessee eyaletinde bulunan Nashville şehrinin yıllık meteorolojik verileri kullanılırken, ısıtma ve soğurma ayar değerleri  $21^{\circ}\text{C}$  ve  $24^{\circ}\text{C}$  olan bir İHİS kullanılmıştır. Güç tüketimi iç ortam sıcaklığına göre değişmektedir. İHİS belirlenen ayar değerlerinin arasında kapalı konumdadır ve güç tüketimi olmamaktadır. Ayar değeri  $50^{\circ}\text{C}$  olan ve 3.5 kW gücünde bir ESI kullanılmış ve su tüketim oranına ve tank içindeki suyun sıcaklığına bağlı olarak günün farklı saatlerinde şebekeden güç çekmektedir. Bunlarla beraber çalışması olasılık değerine bağlı olan cihazlardan çamaşır makinesi ve bulaşık makinesi gün içerisinde aktif olurken çamaşır kurutucusu aktif olmamıştır. Fırın günde iki kez çalışmış ve belirli süreler boyunca şebekeden güç çekmiştir. Bu konutta en yüksek güç tüketimi 11.093 kW ile 19.26'de gerçekleşmiştir.



Şekil 2.14. Bir konutun günlük yük eğilimi

## 2.5 Dağıtım Sistemi Yük Eğiliminin Oluşturulması

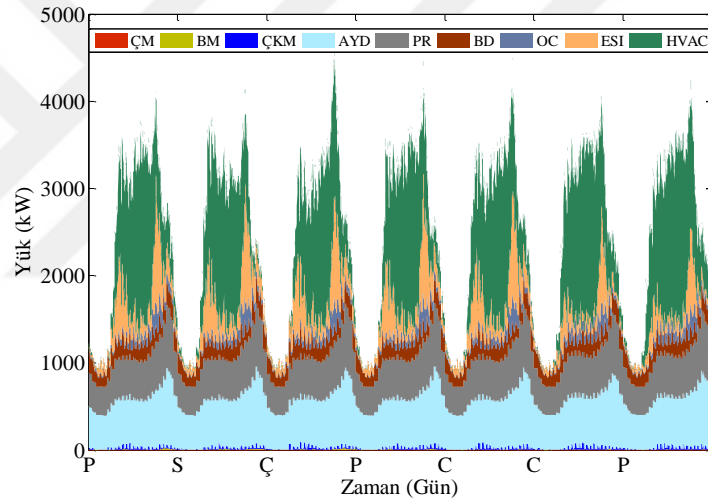
Dış ortam sıcaklığı ısı alışverişlerinden dolayı iç ortamda bulunan cihazlar ve insanlar kadar iç ortam sıcaklığına etki etmektedir. Dolayısıyla güç tüketiminin hesaplanmasında benzetimin yapıldığı mevsim ve ay da oldukça önemlidir. 1000 konuttan oluşan bir dağıtım sisteminin temmuz ayı içindeki bir haftalık benzetimi yapılmıştır. [57]'e dayanarak konutların yüz ölçümleri  $95 \text{ m}^2 - 185 \text{ m}^2$  arasında seçilmiştir. IHİS'ların *PK* değerleri York kataloğundaki bilgiler baz alınarak seçilmiştir [58]. ESI değerleri de [52]'de verilen genel değerler göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Konutlarda yaşayan kişi sayısı ise 2 ile 6 arasında seçilmiştir. Benzetim için göz önünde bulundurulmuş elektrikli ev cihazları; IHİS, ESI, buzdolabı, çamaşır makinası, çamaşır kurutucu, bulaşık makinası, fırın, aydınlatma ve prizlerdir.

Isıtma ve soğutma ayar noktaları her bir konut için sırası ile  $24-26^\circ\text{C}$  and  $19.5-22^\circ\text{C}$  arasında rastgele seçilmiştir. Su ısıtıcı ayar noktası  $50-60^\circ\text{C}$  arasında belirlenmiştir. Su tüketim talebi de olarak her bir konut için ayrı ayrı belirlenmiştir. Olasılık değerleri ile çalışma durumu belirlenen cihazların kullanımı için ise her konut için yine ELCAP verileri kullanılarak farklı tüketici talep değeri belirlenmiştir. Cihazlar ve konut için seçilen değerler Tablo 2.2'de gösterilmektedir. Bu şartlar altında 1000 konuttan oluşan

bir dağıtım sisteminin yük eğilimi Şekil 2.15’de verilmiştir. Dağıtım sisteminde en yüksek güç tüketimi 4610 kW ile gerçekleşmiştir.

Tablo 2.2 Bir dağıtım sistemindeki konutlar için parametre değerleri

Konutun yüz ölçümü (m <sup>2</sup> )	95-185
Kişi sayısı	2-6
IHİS ısıtma/soğutma PK	rand(2.8-3.3)
IHİS soğutma set (°C)	rand(24-26)
IHİS ısıtma set (°C)	rand(19.5-22)
ESI ısıtıcı eleman (kW)	rand(3-5)
ESI tank hacmi(lt)	rand(90-210)
ESI tank set (°C)	rand(50-60)
Fırın (kW)	rand(2-3)



Şekil 2.15. 1000 konuttan oluşan bir dağıtım sisteminin haftalık yük eğilimi

### 3. BÖLÜM

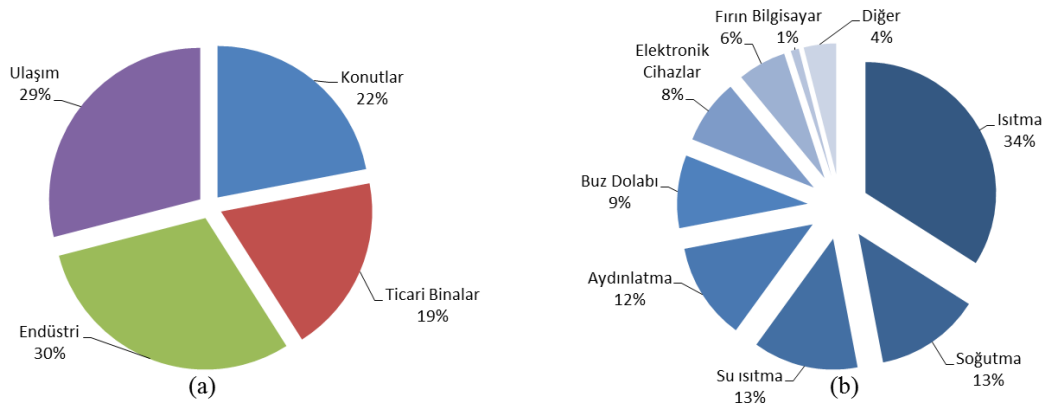
#### TERMOSTATLI YÜKLERDE GERÇEK ZAMANLI FİYATLANDIRMA İÇİN TALEP YANITI

Enerji talebindeki artışın önümüzdeki yıllarda hızlanarak devam etmesi beklenmektedir. Özellikle puant saatlerdeki artan talep miktarının karşılanması yeni üretim tesisleri ihtiyaçlarını ortaya çıkarırken, enerjinin iletilmesi sırasında sistemin fiziksel sınırlarının aşılması riskini de doğurmaktadır. Bundan dolayı sistemlerin üretim ve iletim kapasitesinin artırılması için yeni yatırımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yatırımlar ekonomik yönden pahalı olduğu gibi yeni santrallerin çevreye olumsuz etkileri de bir diğer kaygı verici husustur. Bu sorunun bir çözümü olarak literatürde üretim, dağıtım ve iletim seviyesinde bazı çözüm önerileri getirilmektedir [59, 60]. Bunun yanında, elektriğin verimli ve doğru kullanımı birçok yatırım gereksinimlerinin önüne geçebilmeyi sağlamaktadır. Bu doğrultuda talep tarafı yönetimini amaçlayan TY uygulamaları günümüzde önemli bir araç olarak görülmektedir. Elektrik şirketleri, Bölüm-1’de detaylı şekilde anlatıldığı gibi kullanıcıları TY programına dâhil etmek için kullanım zamanı fiyatlandırması, kritik puant fiyatlandırma, gerçek zamanlı fiyatlandırma vb. gibi fiyatlandırma stratejileri uygulamaktadırlar.

Yapılan araştırmalara göre, binalar dünya genelinde %30 oranla en fazla sera gaz salınımı yapan ve %41 ile de birincil enerji tüketicisi konumundadır. Şekil 3.1(a)’da görüldüğü gibi ABD’de enerjinin tüketildiği binaların %19’u ticari ve %22’si de normal konutlardır. Şekil 3.1(b)’de görüldüğü gibi konutlarda tüketilen enerjinin %60’ı termostatik olarak kontrol edilebilen İHİS ve ESI yükleridir [61, 62].

Bu bölümde, havayı ve kütle sıcaklık dinamiklerini dikkate alarak İHİS'nin ikinci dereceden ETP modeli ile tek ve iki düğüm modellerini içeren ESI modeli

kullanılmıştır. Ayrıca, parametreler, heterojen model oluşturmak için katalogdan veya genel değerlerden uyarlanan bir aralıkta seçilmiştir.



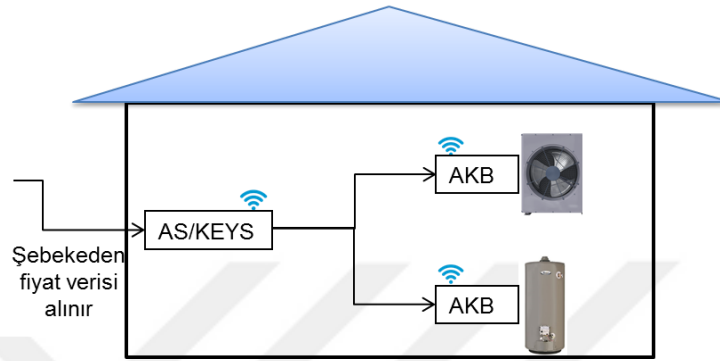
Şekil 3.1 Enerji tüketiminin a) ABD genelinde b) konutlarda dağılımı

### 3.1 Aktif Kontrol

Bir elektrik piyasasında elektrik fiyatı genellikle enerji sağlayıcıları tarafından belirlenmektedir. Son kullanıcı da elektriğin market fiyatına göre enerji tüketimini değiştirerek yük yönetiminin aktif bir parçası olur. Şebeke tarafından gönderilen işaretlere TY verilebilmesi için her bir konutta şebeke ile haberleşmesini sağlayan AS/KEYS ve kontrol edilecek cihaza entegre bir kontrol birime ihtiyaç duyulur.

Güncel fiyat işareti ( $F_{gün}$ ) ile beraber belirlenen zaman diliminin fiyat ortalaması ( $F_{ort}$ ) ve bu zaman dilimindeki standart sapması ( $\sigma$ ) da AS/KEYS'ne gönderilir. Şekil 3.2'de aktif kontrol için kullanılan mimari verilmiştir. AS/KEYS, şebeke ve cihazlar arasında ara yüz sağlamak için bir kullanılan modüllerdir. AS/KEYS şebekeden aldığı fiyat işaretlerini cihazların Aktif Kontrol Birimleri (AKB)'ne gönderir. AKB, kullanıcı konfor ve cihaz bilgilerinin de saklandığı yerdir. AKB, AS/KEYS 'den gelen fiyat işaretine göre cihazlar üzerinde yerel kontrol uygulamaktadır. Bu birimde kullanıcı konfor bilgileri ve şebeke işaretleri birlikte değerlendirilerek kontrol edilen termostatlı cihaz için yeni bir ayar değeri belirlenir. AKB'de kullanıcı ara yüz uygulaması ile temel güç yönetimi işlemleri (iletişim, izleme, kontrol) gerçekleştirilir. Cihazların durumu, müşteri tercihleri, güncellenmiş ayar noktaları ve güç tüketimi monitör modülünde görülebilir. Kontrol modülü, karar süreci temel olarak sıcaklık ayar noktasını

değiştirirken, iletişim modülü ise AS/KEYS ile iletişim kurulmasını sağlamaktadır. Ev alan ağı (Home Area Network-HAN), evdeki her bir cihazın AS/KEYS ve AKB arasındaki iletişimi sağlar. Hem AS/KEYS hem de AKB, bütünleşmiş bir iletişim modülüne ihtiyaç duymaktadır.



Şekil 3.2 Aktif kontrol mimarisi

Akıllı ev için çeşitli iletişim teknolojileri [63, 64] 'de sunulmuştur. Ev alan ağı içinde en çok bilinen iletişim teknolojileri; ZigBee (802.15.4), Güç Hattı Taşıyıcısı (GHT), Wi-Fi (802.11n) ve Bluetooth (802.15.1). Bluetooth, 100 metreye kadar kapsama mesafesi sağlar. Diğer kablosuz iletişim standartlarına kıyasla zorlu güvenlik gereksinimlerini karşılayamaz. Ayrıca, diğer kablosuz iletişim teknolojilerine kıyasla daha düşük iletim kapsamı sağlar. ZigBee düşük veri hızı ve düşük güç tüketimli kablosuz iletişim protokolüdür. 100 metreye kadar kapsama mesafesi sağlar. Ayrıca, şifrelemeli sağlam bir güvenlik katmanı sunar. Kablosuz Yerel Alan Ağı (WLAN), güvenilir, sağlam ve yüksek hızlı bir kablosuz bilgisayar iletişim teknolojisidir. WLAN teknolojileri güvenilirlik ve yüksek hızlı iletişim sağlarken, Bluetooth veya ZigBee'ye kıyasla yüksek maliyet ve yüksek güç tüketimine sahiptir. GHT, mevcut altyapıyı yeniden kablolama ya da modifikasyonlar olmadan kullandığı için maliyet açısından verimli bir veri iletimi aracıdır. Maliyet etkin olmasına rağmen, muhtemel parazitler, sesler, bozulmalar ve güvenlik endişeleri olumsuz yönleridir [65].

AKB, güncel fiyat ve ortalama fiyat eşit olduğunda sıcaklık ayar değerini kullanıcının tanımlamış olduğu varsayılan değere ayarlayacaktır. Güncel fiyat ve ortalama fiyat eşit olmadığında sıcaklık ayar değeri kontrol birimi tarafından varsayılan değerden aşağıda ya da yukarıda belirlenecektir.

Soğutma durumunda, eğer güncel fiyat işareti kontrol birimine gelen ortalama fiyat değerinin üzerinde ise soğutma set değeri istenen değerden yukarıya doğru kayar. Bu durumun aksine, eğer güncel fiyat değeri ortalama değerinin altında ise soğutma set değeri kullanıcının isteği doğrultusunda düşürülür. Kontrol birimi tarafından belirlenen yeni değerler kullanıcının belirlemiş olduğu konfor bölgesinin dışına çıkamaz. Yani yeni set değerleri alt ve üst sıcaklık limit değerlerini aşamaz.

Isıtma durumunda ise güncel fiyat değeri ortalama değerinin üstünde ise ısıtma set değeri düşürülür, eğer güncel fiyat ortalama fiyatın altında ise ısıtma set değeri daha yüksek bir dereceye çekilir ve oda daha yüksek bir sıcaklığa ısıtılır. Yine bu durumda da alt ve üst sıcaklık değerleri kullanıcının belirlemiş olduğu limitler dâhilinde ayarlanır.

Kontrol biriminin bu şekilde ısıtma ve soğutma sıcaklık set değerlerini değiştirmesi ile fiyatın yüksek olduğu zamanlarda elektrik tüketiminin düşürülmesi, fiyatın düşük olduğu zamanlarda ise düşük fiyat avantajından faydalanılarak kullanıcının konforunun artırılması sağlanmaktadır. Eğer kullanıcı fiyatın düşük olduğu zamanlarda elektrik tüketimini artırmak istemez ise kontrol birimi ile bunu sağlayabilmektedir.

Kullanıcı konfor tercihleri, termostatlı yüklerin ayar değerlerini ve bunların kabul edilebilir değişim sınırlarını belirtir. TY katılım oranı, diğer parametrelerle birlikte ayar noktası sıcaklık değişim oranını belirler. Katılım oranının sıfır olması durumunda, ayar değeri fiyat ne olursa olsun değişmeyecek ve kullanıcıyı ayar noktasında tutacaktır. Katılım oranının yüksek olması durumunda, ayar noktası değişimi yüksek olacak ve daha fazla tasarruf sağlayacaktır. Bununla birlikte, ayar noktası değişimi, kullanıcı maksimum sıcaklık değişim oranı ile sınırlıdır. Sıcaklık değişimi kullanıcı limitinden yüksek hesaplanırsa, sıcaklık değişimi sınır değer olarak belirlenir. Kontrol birimi soğutma ve ısıtma set değerlerinin belirlenmesinde sırasıyla Eşitlik (3.1) ve Eşitlik (3.2) kullanılmaktadır [66-68].

$$T_{ayar-soğ} = \begin{cases} T_{kul-soğ} + \frac{(F_{gün} - F_{ort}) * |r_{alt/üst}|}{k_{alt/üst} * \sigma} & \sigma \neq 0 \\ T_{kul-soğ} & \sigma = 0 \end{cases} \quad (3.1)$$



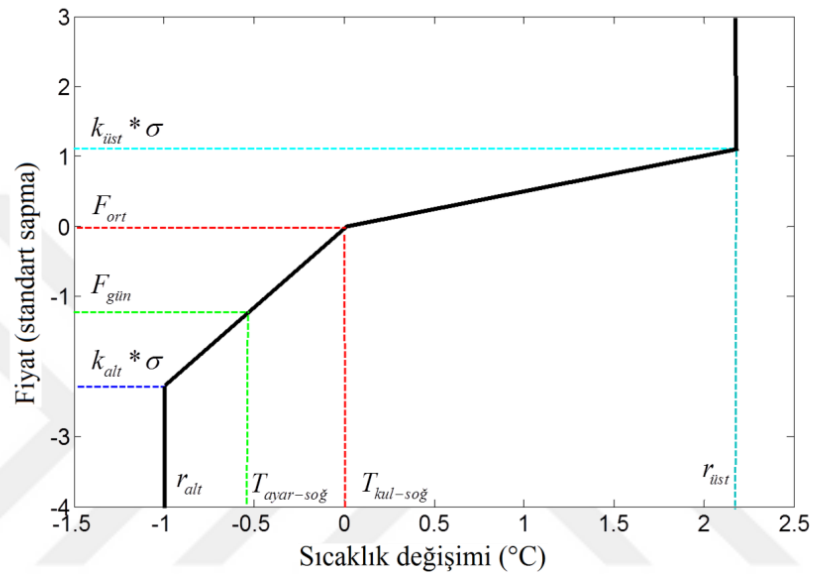
$$T_{ayar-ısıt} = \begin{cases} T_{kul-ısıt} - \frac{(F_{gün} - F_{ort}) * |r_{alt/üst}|}{k_{alt/üst} * \sigma} & \sigma \neq 0 \\ T_{kul-ısıt} & \sigma = 0 \end{cases} \quad (3.2)$$

$T_{kul-soğ/ısıt}$  kullanıcı tarafından tanımlanan varsayılan sıcaklık ayar değerleridir.  $r_{alt/üst}$  kullanıcının belirlemiş olduğu ayar değerini değiştirilme alt ve üst limit değerlerini ifade etmektedir.  $k_{alt/üst}$  ise TY programına katılım oranını belirten değerlerdir. Eğer katılım oranı yüksek seçilirse TY işareti daha yoğun cevap verir ve ayar değerleri daha fazla değiştirilir. Ayar değerinin aşağı ve yukarı hareketi için ayrı ayrı tanımlanır. Bu parametreler kullanıcı tarafından kullanıcı biriminde tanımlanmaktadır. Daha önce tanımlanan  $F_{gün}$ ,  $F_{ort}$  ve  $\sigma$  değerleri ise KEYS/AS tarafından şebekeden alınmaktadır. Eğer fiyatta standart sapma yoksa termostat ayar değeri kullanıcı ayar değerinde kalacaktır ve değişmeyecektir.

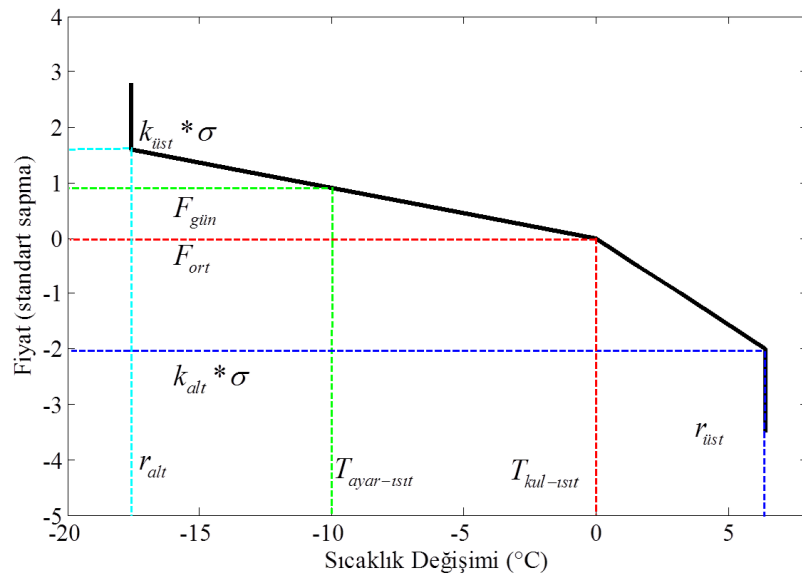
Şekil 3.3'te soğutma işlemi için uygulanan kontrol yönteminin sıcaklık fiyat eğrisi gösterilmiştir. Güncel fiyat değerinin ortalama fiyat değerine eşit olduğu durumda soğutma ayar değeri kullanıcı ayar değeri olarak ayarlıdır. Eğer güncel fiyat değeri ortalama fiyat değerinin altında ise soğutma ayar değeri de aktif kontrol birimi tarafından aynı şekilde daha düşük bir değer olarak belirlenir ve soğutma işlemi daha düşük sıcaklıklarda başlar. Böylece soğutma ayar değeri yukarı çekilerek enerji tüketimi azaltılmış olur. Şekilde verilen örnekte, kullanıcı tarafından soğutma ayar değeri sıcaklık değişimleri  $r_{üst}$  ve  $r_{alt}$  sırasıyla 2.2 °C ve 1°C olarak belirlenmiştir. Bunun anlamı, güncel fiyat değeri yüksek olduğunda kullanıcı soğutma ayar değerinin en fazla 2.2 °C üstüne çıkmasına müsaade edilirken, fiyatlar düşük olduğunda soğutma set değerinin 1°C kadar aşağıya inmesine müsaade etmektedir. Verilen durumda güncel fiyata göre soğutma değeri 0.5 °C düşürülmüştür.

Bir ESI için termostat kontrollü ısıtma işleminde ayar noktası sapmasının örnek çalışması Şekil 3.4'de gösterilmektedir. Isı değişimi aralıkları, -17.6 °C ve +5.4 °C olarak seçilmiştir. Bu, katılımcının su sıcaklığının düşük fiyatlarda varsayılan ayar noktasından 5.4 °C kadar üzerine çıkmasına ve kullanıcı yüksek piyasa fiyatları sırasında 17.6 °C kadar aşağı inmesine gönüllü olduğu anlamına gelmektedir. Mevcut

fiyatın ortalama fiyatı ile aynı olması durumunda, ayar noktası bir kullanıcı ayar değeri olarak sabitlenir. Sol taraf, piyasa fiyatlarının yüksek olması nedeniyle ısıtma set değeri düşüşünü gösterirken, sağ alan düşük fiyatlardan dolayı sıcaklığın arttığını gösterir. Hattın eğimi kullanıcının katılım oranına bağlıdır. Bu durumda ısıtma ayar değeri kullanıcı ayar noktasından  $10^{\circ}\text{C}$  daha aşağıda olarak ayarlanmıştır.



Şekil 3.3 Soğutma durumunda fiyat-ayar sıcaklığı değişimi



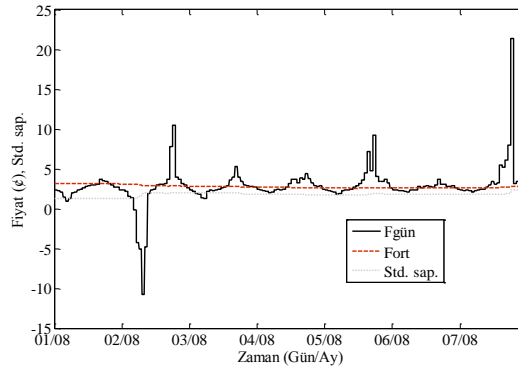
Şekil 3.4 Isıtma durumunda fiyat-ayar sıcaklığı değişimi

### 3.2 Benzetim Sonuçları

IHİS ve ESI'nın aktif kontrol yöntemi ile TY önce tek konut için daha sonra 1000 konut için gösterilmiştir.

#### 3.2.1 Tek Konutta Termostatik Kontrol

Bu benzetim için dört kişilik bir ailenin yaşadığı 130 m<sup>2</sup>'lik bir konut göz önünde bulundurulmuştur. Konutun termal yapısı Bölüm-2'de açıklanan ETP fiziksel modeli ile modellenmiş ve ısıtma-soğutma set değerlerine göre konutun sıcaklığı ayarlanmaktadır. Benzetimler, 2015 yılının tamamı için gerçekleştirilmiş olup bir haftalık sonuçlar sunulmuştur. Şebekeden fiyat bilgisi alınarak ayar değerleri aktif kontrol yöntemi ile kullanıcı konfor tercihi doğrultusunda güncellenmiştir. Ortalama fiyat değeri olarak son bir haftanın fiyat ortalaması alınmaktadır. Şekil 3.5'te 1-8 Ağustos 2015 arasındaki güncel ve ortalama elektrik fiyatları ile fiyatların standart sapma eğrileri verilmiştir. Şu belirtilmelidir ki, elektrik fiyatının gerçek zaman fiyatlandırma stratejisinde kısa süreler için negatif olması mümkündür. Tek konuttaki IHİS'in kontrolü için seçilen kullanıcı parametreleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

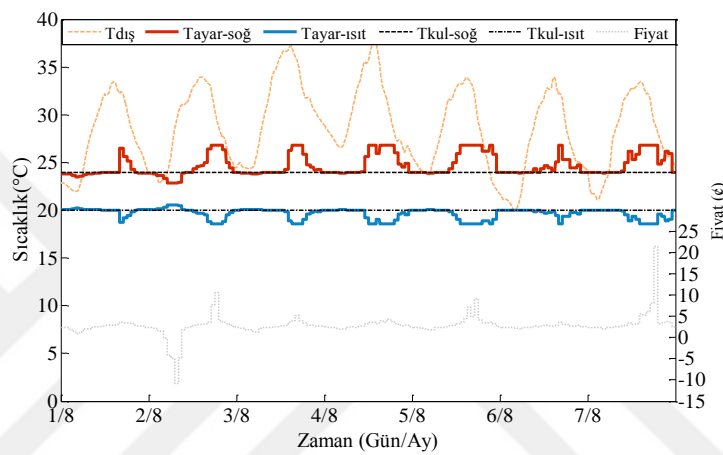


Şekil 3.5 Elektrik fiyat verisi

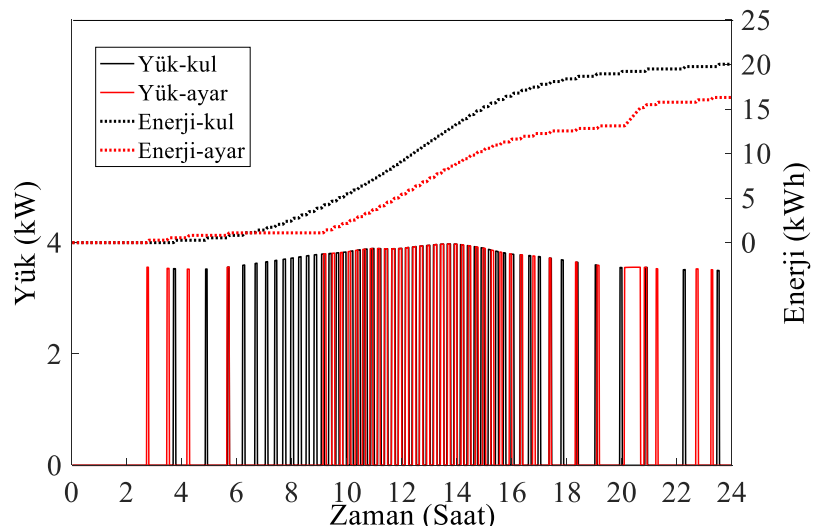
Tablo 3.1 IHİS için kontrol parametreleri

	Isıtma	Soğutma
$T_{kul}$ ( $^{\circ}C$ )	20	24
$r_{alt}$ ( $^{\circ}C$ )	-0.83	-1.1
$r_{üst}$ ( $^{\circ}C$ )	0.5	2.7
$k_{alt}$	0.5	4
$k_{üst}$	4.3	0.5

Bu konuta ait yaz aylarında alınmış bir benzetim örneği Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Kullanıcı ısıtma sıcaklığını 20 °C, soğutma sıcaklığını ise 24 °C olarak ayarlamıştır. Dış ortam sıcaklığına bağlı olarak IHİS soğutma modunda çalışmaktadır. IHİS kontrolün uygulanmadığı durumda iç sıcaklık  $24 \pm 0,5$  °C'yi korumaktadır. Kontrolün uygulandığı durum için ise elektrik fiyatının yüksek olduğu anlarda soğutma ayar değeri 26.7 °C'ye kadar yükselirken, düşük olduğu anlarda ise soğutma ayar değeri 22.8 °C'ye kadar düşmektedir. Isıtma ayar değeri 18.6 °C ile 20.5 °C arasında değişmektedir.



Şekil 3.6. IHİS sıcaklık ayar değerlerinin elektrik fiyatına göre değişimi

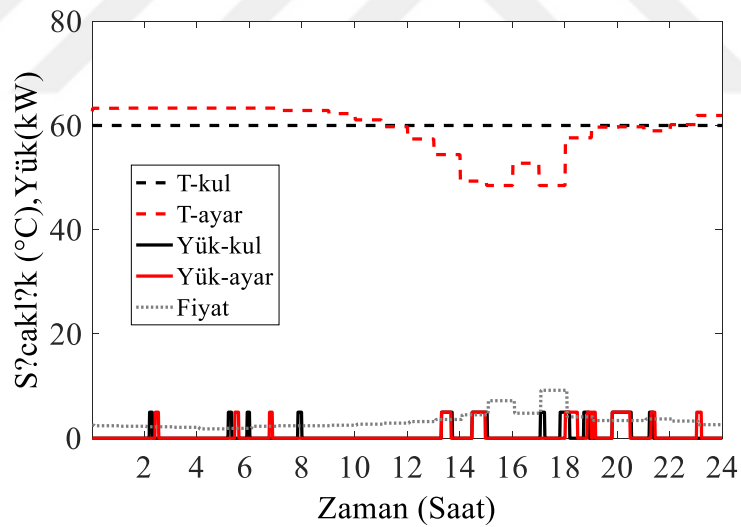


Şekil 3.7 Kullanıcı ve ayar değerleri ile IHİS güç ve enerji tüketimi

Şekil 3.7'de 4 Ağustos günü için IHİS güç tüketimi gösterilmiştir. Elektrik fiyatının düşük olduğu gece saatlerinde soğutma değeri aktif kontrol mekanizması ile düşürülmüş ve IHİS kullanıcı ayar değerlerine göre soğutma modunda daha erken çalışmaya başlamış ve daha çok enerji tüketmiştir. Elektrik fiyatını yükselmesi ile birlikte ortalama

fiyat değerinin üzerine çıkan güncel fiyat değeri ile birlikte soğutma ayar değeri de yükselmiştir. Böylece aktif kontrolün uygulanması ile birlikte yüksek fiyatlı zamanlarda çekilen güç düşmüştür. Bu IHİS'in tükettiği enerji miktarında da açıkça görülmektedir. Kontrolün uygulanmadığı durumda 20 kWh enerji tüketimi gerçekleştirilirken, kontrolün uygulandıktan sonraki durumda çekilen günlük enerji 15.2 kWh'e düşmüştür.

Şekil 3.8'de konuttaki elektrikli su ısıtıcısının fiyatla ayar değişimi ve güç tüketim değerleri verilmiştir. Fiyatın düşük olduğu anlarda ayar değeri kullanıcının belirlediği değerin üzerinde iken güncel fiyat değeri ortalama fiyat değerinin üzerine çıktığında ayar değeri düşmüştür. Düşük elektrik fiyatlarında ayar değeri en fazla 65°C olurken, fiyatın yüksek olduğu anlarda 48°C'ye kadar düşmüştür. Kırmızı düz çizgi ile gösterilen kullanıcı ayar değerleri ile su ısıtıcısını güç tüketimi iken, siyah düz çizgi aktif kontrol uygulandığı durumdaki güç tüketimini göstermektedir. Elektrik fiyatını yüksek olduğu anlarda güç tüketimi azalmıştır.



Şekil 3.8 Kullanıcı ve ayar değerleri ile ESI güç tüketimi

### 3.2.2 Dağıtım Sisteminde Termostatik Kontrol

1000 konutta bulunan IHİS ve ESI için 2015 yılının tamamı boyunca benzetim gerçekleştirilmiştir ve 4 Ağustos günü için sonuçlar verilmiştir. Konutların IHİS ve ESI ile ilgili parametreler, her bir konut için Tablo 3.2'de gösterilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi, sıcaklık ayar değerleri, sıcaklık aralığı ve katılım oranı gibi aktif kontrol parametreleri her konut için ayrı ayrı belirlenmiştir. Fiyat bilgileri ComED saatlik

fiyatlandırma programından alınmıştır ve ayar değerleri 1 saatlik aralıklarla güncellenmektedir [69]. Ortalama fiyat olarak haftalık ortalama elektrik fiyatı kullanılmıştır.

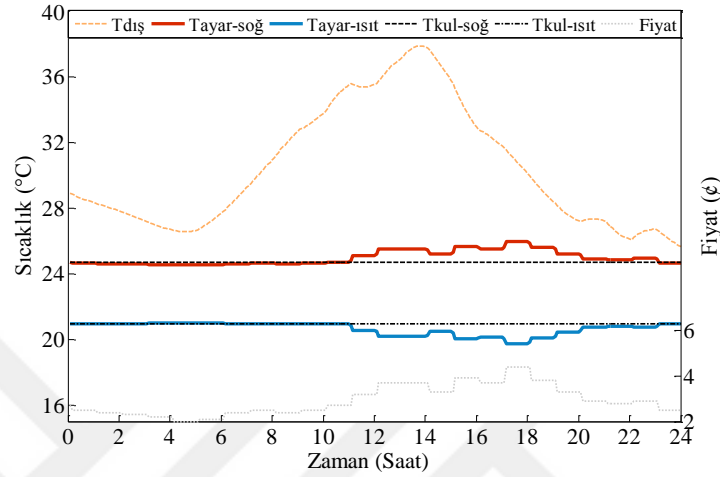
Tablo 3.2 Dağıtım sisteminde kullanıcı ve konut parametreleri

Konutun yüz ölçümü (m <sup>2</sup> )	95-185
Kişi sayısı	2-6
IHİS ısıtma/soğutma COP	rand(2.8-3.3)
IHİS soğutma set (°C)	rand(24-26)
IHİS ısıtma set (°C)	rand(19.5-22)
IHİS ısıtma $r_{alt} / r_{üst}$ (°C)	rand(0-1.5)/rand(0-0.5)
IHİS ısıtma $k_{alt} / k_{üst}$	rand (0.5-3)/rand (0-5)
IHİS soğutma $r_{alt} / r_{üst}$ (°C)	rand(0-0.5)/ rand(0-1.5)
IHİS soğutma $k_{alt} / k_{üst}$	rand(0-5)/ rand(0.5-3)
ESI ısıtıcı eleman (kW)	rand(3-5)
ESI tank hacmi(lt)	rand(90-210)
ESI tank set (°C)	rand(50-60)
ESI ısıtma $r_{alt} / r_{üst}$ (°C)	rand(0,10) /0
ESI ısıtma $k_{alt} / k_{üst}$	rand(0,3)/0

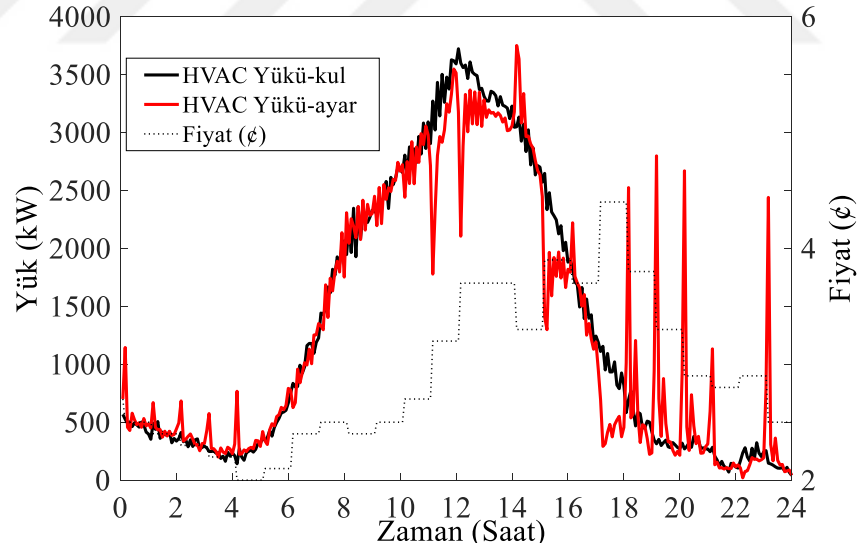
Şekil 3.9'da, bir dağıtım sistemindeki 1000 konuta ait IHİS'ların ortalama ayar değeri değişimi 4 Ağustos için verilmiştir. Ortalama ısıtma ayar değeri 20.9 °C iken kontrol uygulandıktan sonra bu değer 19.7 °C ve 21 °C arasında değişmektedir. Benzer şekilde, ortalama soğutma ayar değeri 24.7 °C'dir. Bu değer elektrik fiyatına bağlı olarak 24.5°C ile 25.9°C arasında değişmektedir. Kullanıcılar kontrol parametrelerini maddi açıdan tasarruf ağırlıklı tercih ettikleri için, düşük fiyat dönemlerinde ani değişiklikler gözlenmemektedir. Dolayısıyla düşük fiyat dönemlerinde enerji tüketimi çok fazla artmamaktadır.

Şekil 3.10'da, varsayılan kullanıcı tercihleriyle aktif kontrol mekanizması tarafından ayarlanan ayar değerleri sonucu oluşan IHİS yük değerleri gösterilmiştir. Toplam IHİS güç tüketimi, 17.09'da elektrik fiyatı 4.4 ¢'e çıktığında 1192.5 kW'dan 693 kW'a düşmektedir. Görüldüğü gibi tüketilen güç, kontrol mekanizması ile fiyat artışı ile ters orantılı olarak gerçekleşmektedir. Böylece, yüksek fiyat zamanlarında şebekedeki yük miktarının azalmasına dolayısıyla şebeke üzerindeki baskının düşmesine neden olmaktadır. Birçok IHİS soğutma ayar noktasının düşen fiyatla birlikte düşmektedir.

IHİS düşük fiyat zaman aralıklarında çalıştığı için düşük fiyat bölgelerinde tüketilen güç artmaktadır. Bu noktalarda oluşan tepe değerler, yoğun olmayan zamanlarda gerçekleşmesi nedeniyle şebeke için tehlike oluşturmamaktadır.



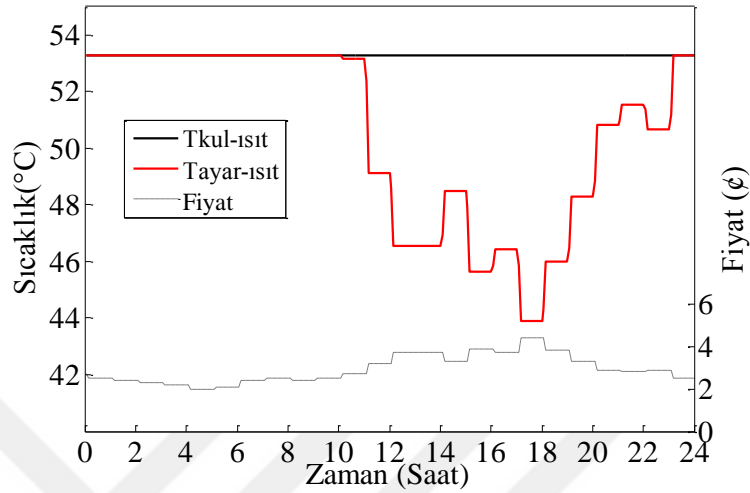
Şekil 3.9 IHİS ortalama sıcaklık ayar değerleri



Şekil 3.10 IHİS toplam güç tüketimi

Şekil 3.11'de, bir dağıtım sistemindeki 1000 konuta ait ESI'ların ortalama ayar değeri değişimi verilmiştir. Kullanıcıların ortalama ayar noktası 53.3°C iken, kontrol mekanizmasının devreye girmesi ile birlikte fiyat değişikliğine bağlı olarak ayar değerleri farklı değerler olarak ayarlanmaktadır. Kullanıcıların hiçbiri, düşük fiyat avantajından faydalanıp bu süre içerisinde su sıcaklığını artırmayı tercih etmemektedir. Bu nedenle, güncel elektrik fiyatının değeri ortalama fiyat değerinden daha yüksek

olana kadar ayar noktası değişmemektedir. Ardından, fiyat değişime bağlı olarak ayar noktası 43.9 °C ile 53.3 °C arasında değişmektedir.

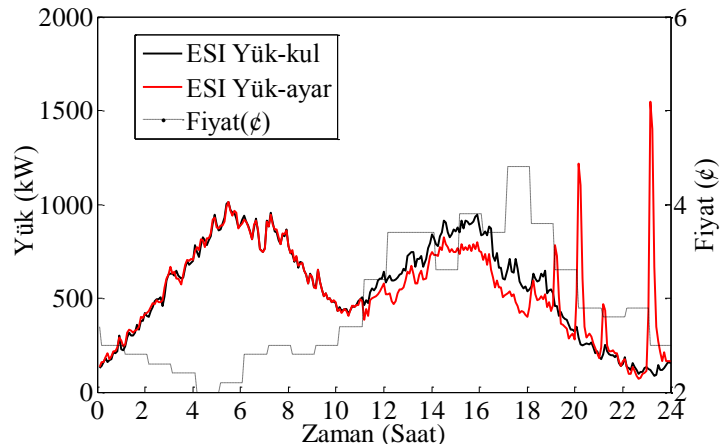


Şekil 3.11 ESI ortalama sıcaklık ayar değerleri

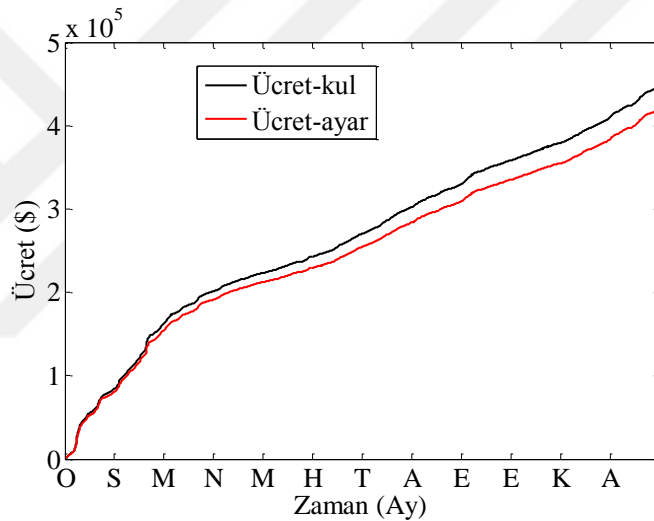
Şekil 3.12'de, varsayılan kullanıcı tercihleriyle kontrol mekanizması tarafından ayarlanan ayar değerleri sonucu oluşan su ısıtıcısı yük değerleri gösterilmiştir. Toplam ESI güç tüketimi, 17.09'da elektrik fiyatı 4.4 ₺'e çıktığında 709.5 kW'tan 503 kW'a düşmektedir. Kullanıcı tercihleri ve ayarlanmış toplam ESI güç tüketimi, güncel elektrik fiyatını ortalama fiyattan daha düşük olduğu an 11.00'e kadar neredeyse güç tüketim eğilimi aynıdır. Daha sonra tüketilen ESI gücü, yüksek fiyat süresince aktif kontrol tarafından ayar noktası değiştirilerek azalması sağlanmıştır. Fiyat düştüğü anlarda ise ESI güç tüketimi artmaktadır.

Bu bölümde sunulan termostatlı yüklerin toplam yıllık enerji sarfiyatları kontrol edildiği ve edilmediği durumlar için sırasıyla 14.590 milyon kWh ve 14.411 milyon kWh'tır. Şekil 3.13'te görüldüğü gibi, bu cihazların toplam yıllık enerji ücretleri kontrol öncesinde 446.780\$ iken, kontrol mekanizması ile ise 419.232 \$'dır. Benzetimi yapılan dağıtım sistemi için yıllık toplam konut tasarrufu 27.548\$'dır. Bu termostatlı yüklerin toplam maliyetinin %6.1'ine tekabül etmektedir. Akıllı şebeke teknolojisindeki iyileştirmelerle teknoloji maliyetlerin düşürülmesi, aktif kontrol mekanizmasının uygulanması ve TY'nin kullanıcının tercihleri doğrultusunda yönetilmesi için daha uygun olmasını sağlamaktadır.





Şekil 3.12 ESI toplam güç tüketimi



Şekil 3.13 Kullanıcı ve ayar değerleri ile İHİS ve ESI yüklerinin fatura ücretleri

Elektrik şirketleri talebi yönetmek için farklı fiyatlandırma stratejileri uygulamaktadırlar. Bununla birlikte, TY programına katılım, zamanla değişen fiyat koşullarında cihazların elle kontrolünün zorluğundan dolayı sınırlıdır. Bu nedenle, bu bölümde akıllı şebekeler modelinde yüksek enerji tüketen ve TY potansiyeline sahip termostatlı elektrik yükleri için aktif kontrol yöntemi uygulanmıştır. İHİS ve ESI parametreleri, bu cihazların gerçek güç tüketim eğilimini oluşturmak için farklı koşullardaki 1000 konut için farklı seçilmiştir. Her cihazın ayar değerleri, elektrik fiyatı ve kullanıcı tercihleri dikkate alınarak kontrol biriminde güncellenir. Benzetim sonuçları, yüksek fiyat süreleri boyunca cihazların güç tüketiminin azaldığını, düşük fiyat süreleri boyunca arttığını göstermektedir. Başka bir deyişle, termostatik olarak kontrol edilen yüklerin önemli kısmı puant zamanlarından talebin az olduğu

zamanlarına kaymaktadır. Dahası, bu tamamen kullanıcının tercihi doğrultusunda olmaktadır. Böylece kullanıcılar konforlarından ödün vermeden tasarruf sağlarken, talebin yoğun olduğu dönemlerde elektrik şebekesindeki baskı azalmaktadır.



## 4. BÖLÜM

### ELEKTRİKLİ TAŞITLARIN DAĞITIM SİSTEMLERİNE ENTEGRASYONU ve DOLUM STRATEJİLERİ

Ulaşım sektöründe tüketilen enerji dünyada tüketilen toplam enerjinin %29'unu oluşturmaktadır [61]. Bu nedenle, ulaşımda fosil yakıtların tüketimi, çevre kirliliğine ve yüksek enerji maliyetine yol açmaktadır. Bununla birlikte, enerji verimliliği ve çevre üzerinde artan bir hassasiyet de söz konusudur. Elektrikli Taşıtlar (ET) hem yakıt maliyetini hem de zararlı gaz emisyonlarını azaltmak için ulaşım sektörü adına önemli bir alternatiftir. Bu nedenle, birçok ülke vatandaşlarını ET almaya teşvik etmekte ve sonuç olarak yollarda bulunan ET sayısı her geçen gün artmaktadır. Orta seviyedeki senaryoya göre, 2020'ye kadar ABD'de toplam araçların %35'i ve 2050'ye kadar %62'si hibrid veya elektrikli şekilde olacağı tahmin edilmektedir [70]. 2016'da, açık erişimli dolum noktalarını sayısı 2015'ten bu yana %72 oranında artış göstererek dünya genelinde 320.000'e ulaşmıştır [71]. Bu tahminler ve istatistikler, ET için parlak bir gelecek vaat etmektedir.

Bu projeksiyonlar çevresel ve ekonomik açılardan faydalı olmasının yanında araştırmalar ET'lerin sisteme dahil olmasıyla birlikte elektrik şebekesini olumsuz etkilediğini de ortaya koymaktadır. ET'lerin sisteme bağlantılanması sistemdeki puant yükleri artırması, transformatörlerin ve fiderlerin aşırı yüklenmesi, gerilim çökmeleri ve hattın dengesiz yüklenmesi gibi problemleri de beraberinde getirmektedir [72].

ET sayısı, dolum gücü ve dolum zamanı ET'lerin dağıtım sistemine etkilerini değiştiren temel etkenlerdendir. Bu bölümde, farklı oranlarda ET'lerin dağıtım sistemine etkileri ve farklı dolum stratejileri uygulanarak dağıtım sistemlerindeki puant yük talebinin artışına

engel olunmaktadır. Normal ve hızlı şarj olmak üzere iki farklı dolun modu göz önünde bulundurulmuştur. 1000 konuttan oluşan dağıtım sistemine ET farklı bağlantı oranlarında dağıtım sistemine eklenmiş ve talep cevabı oluşturmak için farklı dolun stratejileri uygulanmıştır.

#### 4.1 Elektrikli Taşıtların Modellenmesi

Elektrikli taşıtların modellenmesi taşıtın özellikleri kullanılarak gerçekleştirilir. Eşitlik (4.1)'de verildiği gibi  $n$  taşıt bataryasının  $t$  anındaki batarya doluluk oranı  $BDO_n(t)$  o andaki enerjisi ( $E_n(t)$ )'nin toplam batarya enerji kapasitesi ( $BEK_n$ )'e oranıdır.

$$BDO_n(t) = \frac{E_n(t)}{EK_n} \quad (4.1)$$

Taşıtın eve ulaştığı anda batarya doluluk oranı ( $BDO_n^{varış}$ ) Eşitlik (4.2)'de verildiği üzere gidiş geliş mesafesine, menzil mesafesine, dolayısıyla enerji kapasitesine bağlıdır.

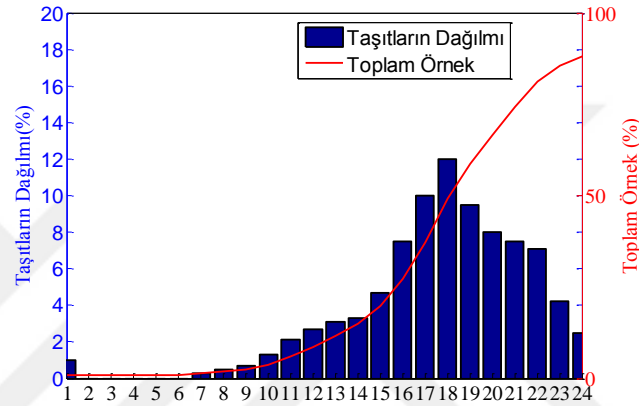
$$BDO_n^{varış} = BDO_n^{mak} - \left( \frac{mesafe_n}{menzil_n} \right) \quad (4.2)$$

Dolum işlemi gerçekleşirken Eşitlik (4.3)'de verildiği üzere batarya doluluk oranı artmaktadır. Dolum işlemi sırasında batarya doluluk oranı, ( $E_n(t)$ ), ( $BEK_n$ ), dolum gücüne ( $P_n^d$ ) bağlıdır. Dolum oranı dakikalık güncellendiği kabul edilerek dakika başına enerji artışı göz önünde bulundurulmuştur.

$$BDO_n(t) = \frac{E_n(t-1) + \left( \frac{P_n^d \times \Delta t}{60} \right)}{BEK_n} \times 100 \quad (4.3)$$

ET yük eğiliminin gerçekçi bir şekilde elde edilebilmesi için 2009 yılı ABD Hanelerin Ulusal Seyahat Araştırması'ndan taşıtların günlük seyahat bilgileri kullanılmıştır [73]. Bu

araştırmada taşıtların seyahat süreleri dağılımı verilmiştir ve taşıtların günlük seyahat mesafesi 63 km olarak hesaplanmıştır [74]. Araçların işten çıkıp eve ulaşma saatleri dağılımı Şekil 4.1’de verilmiştir [72]. Araçların %14’ü gün içerisinde hareket etmezken taşıtların %86’sı için eve ulaşma verileri elde edilmiştir. Taşıtların yoğunlukla 17.00-18.00 saatleri arasında evlerine ulaştığı görülmektedir.



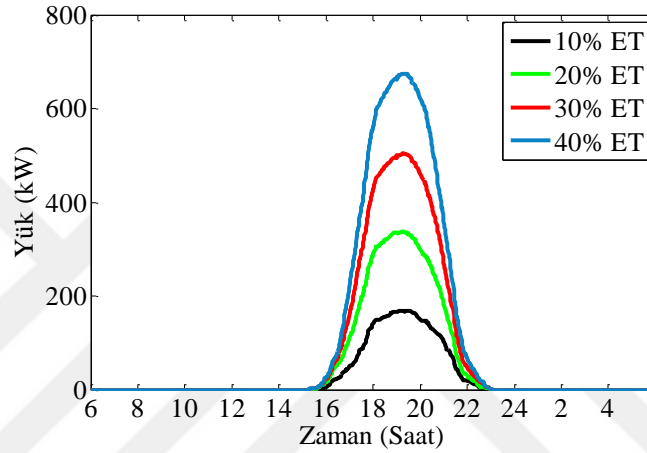
Şekil 4.1 Taşıtların eve ulaşım zamanları dağılımı

## 4.2 ET Dolum Eğilimleri

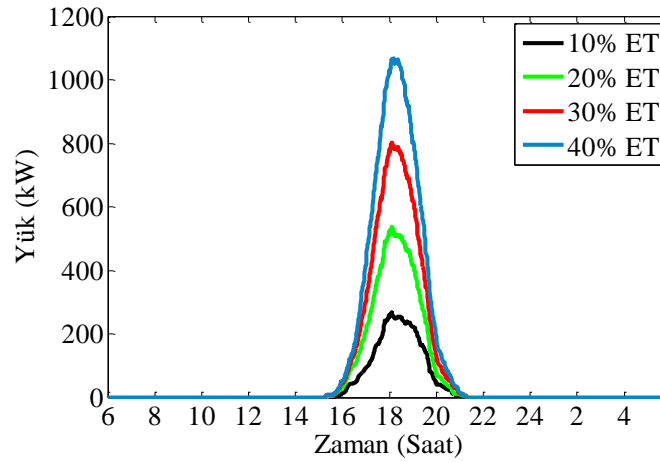
2009 yılında yayınlanan ABD halkının yolculuk eğilimi araştırmasına dayandırılarak ET’lerin eve ulaşma zamanları Gaussian olasılık dağıtım modeli ile 17.30 ortalama ve 1 saat standart sapma ile Gauss olasılık dağılımı kullanarak hesaplanmıştır.

Chevy Volt, ET pazarında en yaygın kullanılan modellerden biri olduğundan çalışmada bu araç göz önünde bulundurulmuştur. Chevy Volt için iki tür dolum opsiyonu mevcuttur: 120V/16 A çıkıştan normal dolum ve 240V/16A çıkıştan hızlı dolum. Hızlı ve normal dolum opsiyonları için dolum eğilimleri Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’te %10, %20, %30 ve %40 ET bağlantı oranları için gösterilmiştir. %40 bağlantı oranı 1000 konutlu bir sistemde 400 ET bağlantılandığını ifade etmektedir. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de herhangi bir dolum stratejisi kullanılmaksızın sisteme bağlantılanan ET yüklerini göstermektedir. Bu durumda bütün ET’ler eve ulaşır ulaşmaz dolum işlemine başlar ve bataryaları dolduğunda dolum işlemi sonlandırılır. ET’lerin birbirine çok yakın zamanlarda eve ulaşıp dolum işlemine başlaması dağıtım sistemi için olası en kötü senaryo olarak değerlendirilebilir. Normal

dolum modunda ET'lerin oluşturduğu puant yük %10, %20, %30 ve %40 bağlantılanma oranları için sırasıyla 168.3 kW, 336.6 kW, 504.9 kW ve 674.9 kW olarak gerçekleşmiştir. Hızlı dolum modunda ise ET'lerin oluşturduğu puant yük %10, %20, %30 ve %40 bağlantılanma oranları için sırasıyla 267.3 kW, 534.6 kW, 801.9 kW ve 1069.2 kW olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4.2 Normal dolum modunda ET yük eğilimleri



Şekil 4.3 Hızlı dolum modunda ET yük eğilimleri

### 4.3 ET Dolum Stratejileri

Birçok ET'nin dolum işlemi işten eve gelme zamanı olan puant saatlere denk geldiği için bu yoğunluğu engellemek ve dolum işlemini puant saatlerin dışına taşımak için dolum

stratejileri belirlenmektedir [75, 76]. Bu stratejilerden bazıları aşağıda verilmiş ve şebekeye yüküne etkileri gösterilmiştir.

***Dolum Stratejisi-0 (DS-0):***, ET'lerin eve ulaşır ulaşmaz dolum işlemine başladığı, dolum işlemine herhangi bir müdahalenin olmadığı senaryoyu ifade etmektedir.

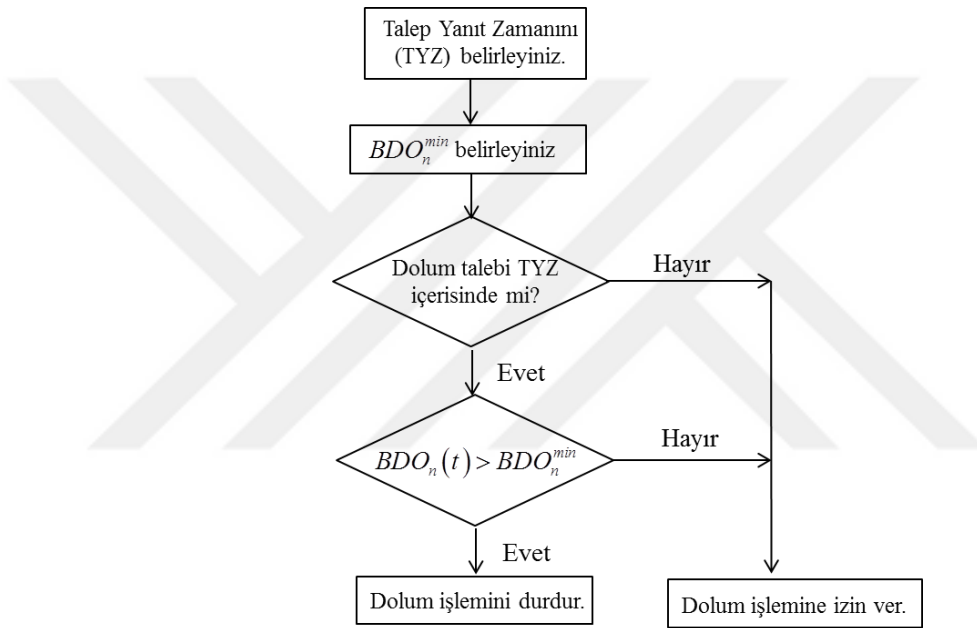
***Dolum Stratejisi-1 (DS-1):*** Bu stratejide taşıtların yük açısından en yoğun saatler olan 17.00-19.00 arasında dolum işlemine müsaade edilmez. 17.00'den önce eve ulaşan araçlar 17.00'ye kadar dolum işlemine devam etmektedir. Eğer bu araçların bataryaların dolum işlemi tamamlanmadı ise dolum işlemine 19.00'dan itibaren bataryaları dolana kadar devam ederler. Konutlarına 17.00-19.00 arasında ulaşan araçlar dolum işlemine başlamak için saat 19.00'ı beklemek zorundadır. Saat 19.00'dan sonra eve ulaşan araçlar herhangi bir kesintiye uğramadan dolum işlemini gerçekleştirebilmektedirler. Bu strateji tüm araçların 19.00'da doluma başlamasıyla bir başka tepe değere yol açabilmektedir.

***Dolum Stratejisi-2 (DS-2):*** Bu stratejide ET bataryalarının dolum işlemini gerçekleştirmek için 17.00'dan sonra gece yarısını beklemektedir. Böylece araç sahipleri yük talebinin en düşük olduğu zaman diliminde araç bataryalarını dolum işlemini gerçekleştirmektedirler.

***Dolum Stratejisi-3 (DS-3):*** ET'lerin puant saatlerde toplu halde sistemden yük çekmeleri şebeke için ciddi bir risk oluşturmaktadır ve önemli problemlere neden olabilmektedir. Dağıtım sistemlerinde bu yük çok daha fazla hissedilmektedir. Taşıtların dolum işleminin puant saatlerin dışına taşınması sistemi rahatlatacaktır. Fakat bu işlem ET'ye ihtiyaç duyulan acil durumlar için kullanıcıyı da mağdur etmemelidir. Bu yüzden ET'lerin dolum işleminin taşıt sahibinin minimum doluluk oranı ihtiyacı göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmelidir. Şekil 4.4'de önerilen Dolum Stratejisi-3 (DS-3) yönteminin akış diyagramı verilmiştir.

Elektrik güç tüketiminin yoğun olduğu saatler Talep Yanıt Zamanı (TYZ) olarak belirlenmiş ve bu saatlerde ET'lerin dolum işlemine izin verilmesi şarta bağlanmıştır. Bu şart için minimum batarya doluluk oranı  $BDO_n^{min}$  belirlenir ve  $BDO_n(t)$  bu değere ulaşıncaya kadar ET bataryasının dolum işlemini gerçekleştirmesine izin verilmektedir. Bu değere

ulaştığında ise dolum işlemi TYZ bitene kadar bekletilir. TYZ dışında ise ET bataryalarının dolum edilmesine herhangi bir sınırlama getirilmemiştir. Bu işlem her bir ET için ayrı ayrı uygulanmakta ve her bir zaman dilimi için tekrarlanmaktadır. Bu çalışmada 17.00-22.00 arası talep yanıt zamanı olarak belirlenirken, ET batarya minimum doluluk oranları ise %40-%75 arısında belirlenmiştir.



Şekil 4.4 Dolum Stratejisi-3 akış diyagramı

**Dolum Stratejisi-4 (DS-4):** Bu strateji hızlı dolum işlemi için uygulanabilir. Puant saatler içerisinde dolum işlemi gerçekleştiren araçlar normal dolum ile dolum işlemine devam etmektedir. Böylelikle taşıtlar dolum işlemi gerçekleştirirken puant saatler içinde tepe yük oranı düşürülebilmektedir. Puant saatler bittiğinde ise taşıtlar hızlı dolum işlemine devam etmektedir.

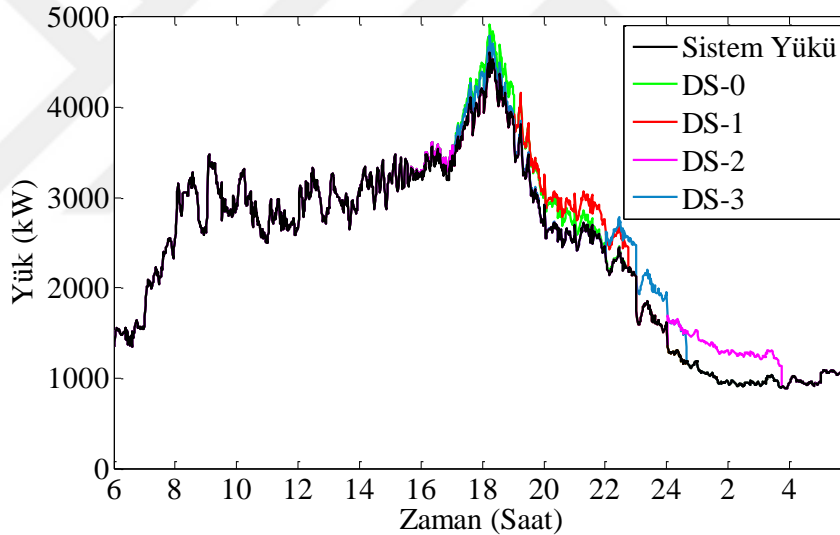
#### 4.4 Benzetim Sonuçları

Yukarıda verilen dolum stratejilerinin dağıtım sistemi yük eğilimine etkisi normal ve hızlı dolum modları için tartışılmıştır.



#### 4.4.1 Normal Dolum Modu

Normal dolum durumunda taşıtlar 120V çıkıştan beslenirler ve 1.7 kW ile dolum işlemi gerçekleşir. Normal dolum modunda dört senaryo göz önünde bulundurulmuştur. Bunlar; herhangi bir strateji uygulanmadan araçların dolum işlemi gerçekleştirilmesi (DS-0), DS-1, DS-2 ve DS-3' tür. ET'lerin sisteme dâhil edilmediği durumda oluşan temel yük eğilimi Şekil 4.2'de verilmiştir. ET'lerin %20 ve %40 sisteme bağlantı oranlarında dolum eğilimleri Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da sırası ile verilmiştir. Bütün şekillerde siyah renk, ET dolum eğilimleri dâhil edilmemiş temel yük eğilimini temsil etmektedir.

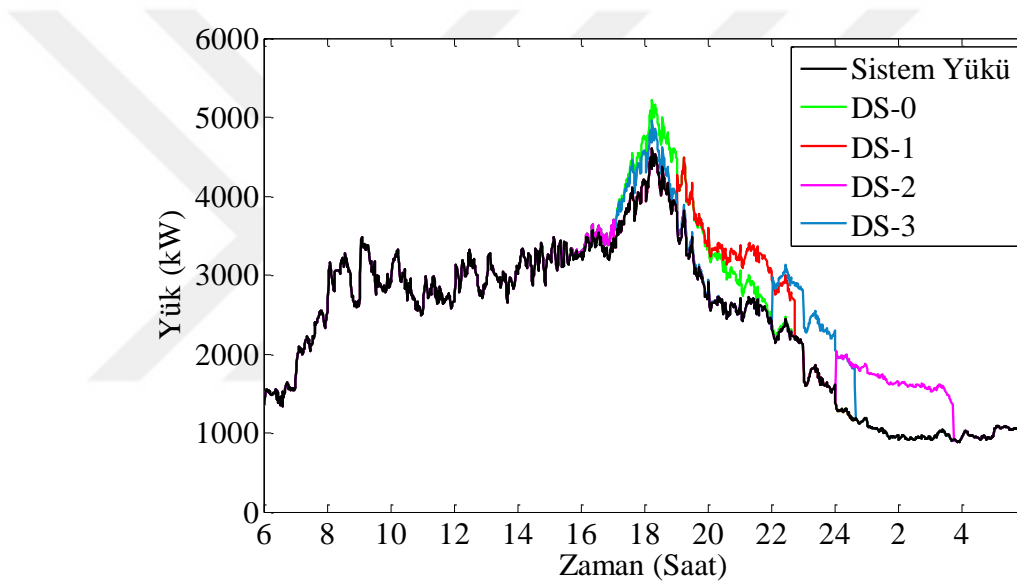


Şekil 4.5 Normal dolum modunda ET'nin 20% oranında sisteme bağlandığı farklı dolum stratejileri için yük eğilimleri

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da görüldüğü gibi sistem puant yük değeri ET sisteme bağlantı sayısı ile orantılı olarak artmaktadır. 1000 konuttan oluşan bir dağıtım sisteminde puant yük 18.13'te 4610 kW ile gerçekleşmektedir. Puant yük değeri %20 ET bağlantı oranında (DS-0) 4916 kW iken, bu değer %40 bağlantı oranı (DS-0) için 5215 kW'a kadar yükselmektedir.

Uygulanan DS-1, DS-2 ve DS-3 puant zamanlarda araç bataryalarının dolum işlemi engellemektedir. DS-1 uygulandığında bütün araçların tekrar dolum işlemine başladığı

19.00'da yeni bir puant değer oluşması muhtemeldir. Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da ET'lerin bağlantı oranlarıyla birlikte puant yük değerlerinin de arttığı görülmektedir. Benzetimi yapılan dolun stratejilerinin hepsi de puant yükte büyük artışların engellenmesinde başarılı olmuştur. %20 bağlantı oranında DS-1 ve DS-2 ile puant yük de artış gerçekleşmez iken DS-3'de taşıtların minimum dolun oranına ulaşana kadar dolun işlemine devam edilmesinden dolayı puant yük 4794 kW olmuştur.



Şekil 4.6 Normal dolun modunda ET'nin 40% oranında sisteme bağlandığı farklı dolun stratejileri için yük eğilimleri

%40 ET bağlantı oranında ve DS-1 uygulandığı durumda normal puant değeri 18.11'de 4610 kW ile oluşurken ikinci bir tepe değeri 19.29'da 4495 kW ile oluşmaktadır. DS-2'nin uygulandığı durumda dolun yükleri gece yarısından sonraya taşındığı için tepe değeri 4610 kW olarak gerçekleşmiştir. DS-3 ile puant yük değeri 4955 kW olarak gerçekleşmiştir.

Tablo 4.1'de normal dolun modunda farklı dolun stratejileri uygulandığı durumlarda sistem puant yüklerdeki artış yüzdelelerini özetlenmektedir. Puant yük artışı normal dolun modunda DS-0 için %20 ET bağlantı oranında %6.22 olurken, bu değeri %40 ET için %9.87 olarak gerçekleşmektedir. Görüldüğü gibi normal dolun modunda verilen bağlantı oranlarında DS-1, DS-2 ile sistemdeki puant yük artışını tamamen engellenmiştir, DS-3 ise

taşıtlar acil dolun oranına ulaşılan kadar dolun işlemi gerçekleştirilmesine rağmen puant yük artışı ciddi oranda sınırlandırmıştır. Puant yük artışı DS-3 ile %20 ET için %3.83, %40 ET için %6.96 olarak sınırlandırılmıştır.

Tablo 4.1 Normal dolun modunda, farklı bağlantı oranları ve dolun stratejileri için sistemin puant yük değerindeki artış yüzdesi

	<b>DS-0</b>	<b>DS-1</b>	<b>DS-2</b>	<b>DS-3</b>
<b>%20 ET</b>	6.22	0.000	0.000	3.83
<b>%40 ET</b>	9.87	0.000	0.000	6.96

Tablo 4.2’de normal dolun modunda farklı dolun stratejilerinin sistem yük faktörüne etkileri özetlenmektedir. Yük faktörü sistem ortalama yükünün puant yüke oranı olarak tanımlanmaktadır. Dolun stratejisi uygulanmadığı durumlarda yük faktörü 0.520, % 20ET için yük faktörü 0.498 ve %40 ET için 0.480 olarak gerçekleşmiştir. Tabloda görüldüğü üzere sistem yük faktörü kontrol stratejilerinin uygulanması ile artan ortalama yükten ve düşen puant değerlerinden dolayı gelişme göstermiştir.

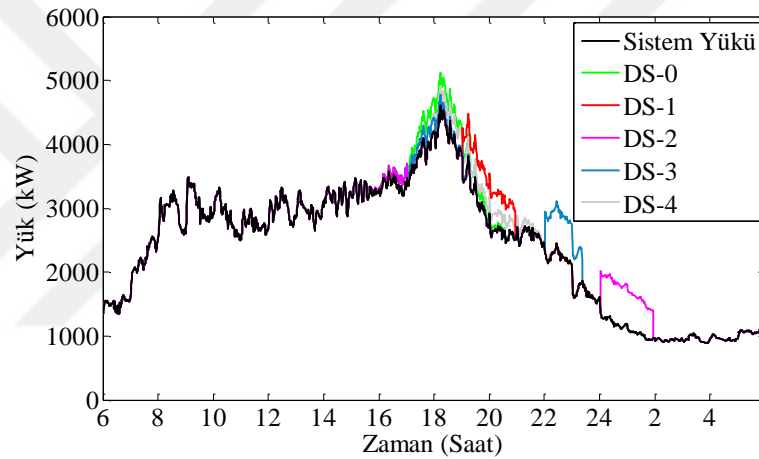
Tablo 4.2 Normal dolun modunda, farklı bağlantı oranları ve dolun stratejileri için sistem yük faktörü

	<b>DS-0</b>	<b>DS-1</b>	<b>DS-2</b>	<b>DS-3</b>
<b>%0 ET</b>	0.520	0.520	0.520	0.520
<b>%20 ET</b>	0.498	0.531	0.531	0.511
<b>%40 ET</b>	0.480	0.543	0.543	0.505

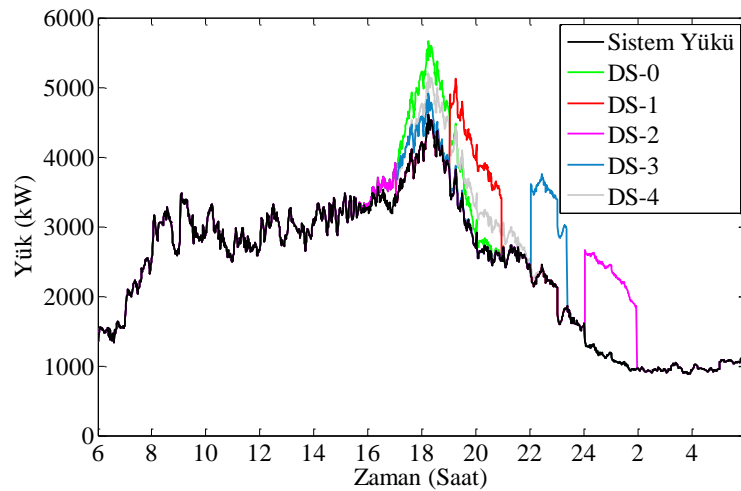
#### 4.4.2 Hızlı Dolun Modu

Bu bölümde ET’ler hızlı dolun modunda dolun işlemini gerçekleştirdiği göz önünde bulundurulmuştur. Araçlar 240V çıkıştan 3.3 kW ile dolun işlemini gerçekleştirmektedir. Hızlı dolun modunda taşıtların batarya dolununu daha hızlı gerçekleştirebilmek için daha fazla güce ihtiyaç duyulmaktadır. Araçlar Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de sırasıyla %20 ve %40 bağlantı oranları için hızlı dolun modunda farklı dolun stratejileri uygulanmıştır. Hızlı dolun modunda, normal dolun modunda uygulanan stratejileri ek olarak DS-4’te

uygulanmıştır. Genel olarak hızlı dolun modunun normal dolun moduna göre dağıtım sistemi yük eğilimine etkisi daha fazladır. Şekil 4.7’de %20 bağlantı oranında DS-0 ile puant yük değeri 5118 kW’a çıkmaktadır, DS-1, DS-2 ve DS-3 yüksek tepe değerlerini %20 bağlantı seviyesinde engelleyebildiği görülmektedir. Fakat ikinci bir tepe değeri oluşma tehdidi hızlı dolun modunda daha fazladır. DS-4 ile 3.3 kW ile dolun işlemi gerçekleşen taşıtlar puant saatler bitene kadar 1.7 kW ile dolun işlemi gerçekleştirmektedir. Bu strateji ile birlikte puant yük 4911 kW ile gerçekleşmektedir.



Şekil 4.7 Hızlı dolun modunda ET’nin 20% oranında sisteme bağlandığı farklı dolun stratejileri için yük eğilimleri



Şekil 4.8 Hızlı dolun modunda ET’nin 40% oranında sisteme bağlandığı farklı dolun stratejileri için yük eğilimleri

Şekil 4.8’de açık bir şekilde gösterildiği gibi şebekeye hiçbir ET’nin dahil olmadığı durumda puant yük 4610 kW olarak 18.11’de oluşmuş iken %40 ET bağlantılandığı DS-0 için tepe değeri %40 bağlantı oranı için 5663 kW’a yükseldiği görülmektedir. DS-1 uygulandığında ET bataryaları 19.00’da tekrar dolun işlemine başladığından ikinci bir tepe değeri 5129 kW ile bu anda gerçekleşmektedir. DS-1 orijinal puant aynı seviyede kalmasını sağlarken ikinci bir puantın oluşmasına sebep olduğu anlamına gelmektedir. DS-2 için dolun yükleri gece yarısından sonraya kaydırıldığı için puant yük değeri aynı kalmaktadır. DS-3 ile minimum dolun ihtiyacı karşılanan ET bataryaları bekleme moduna geçmektedir ve dolun işlemine belirlenen puant saatlerin dışında yani 22.00’dan sonra devam etmektedir. 18.11’de gerçekleşen puant yük değeri 4910 kW olurken ikinci bir puant değerinin oluşması engellenmektedir. DS-4 için ise 17.00-22.00 arasında normal modunda dolun işlemi gerçekleşen taşıtlar için ise tepe değeri 5208 kW olarak gerçekleşmektedir.

Hızlı dolun modu için farklı ET bağlantı seviyelerinde ve farklı dolun stratejilerinin sistem tepe değerine etkisi Tablo 4.3’de verilmiştir. Doğal olarak sisteme bağlantılanmış ET sayısı arttıkça tepe değer de artmaktadır. %20 ET için puant yük artışı %9.92 olurken, bu artış DS-1 ve DS-2 ile tamamen ortadan kaldırılırken, DS-3 ile %3.45’e, DS-4 ile de %6.13’e düşürülmüştür. %40 ET için puant yük artışı %18.59 olurken, bu artış DS-2 ile tamamen ortadan kaldırılmış, DS-1 ile %10.11’e, DS-3 ile %6.18’e, DS-4 ile de %11.49’a düşürülmüştür.

Tablo 4.3 Hızlı dolun modunda, farklı bağlantı oranları ve dolun stratejileri için sistemin puant yük değerindeki artış yüzdesi

	<b>DS-0</b>	<b>DS-1</b>	<b>DS-2</b>	<b>DS-3</b>	<b>DS-4</b>
<b>%20 ET</b>	9.92	0.00	0.00	3.45	6.13
<b>%40 ET</b>	18.59	10.11	0.00	6.18	11.49

Tablo 4.4 hızlı dolun modunda farklı dolun stratejilerinin sistem yük faktörüne etkileri gösterilmektedir. Kontrol stratejileri uygulanmadığı DS-0 durumunda artan puant yükten dolayı sistem yük faktöründe düşüş görülmektedir. Dolun stratejisi uygulanmadığı durumlarda yük faktörü 0.520, %20 ET için yük faktörü 0.479 ve %40 ET için 0.442

olarak gerçekleşmiştir. ET'lerin sisteme bağlanması ile ortalama yükün artması ve kontrol stratejilerinin uygulanması ile puant yükün sınırlandırılması yük faktörünün geliştirilmesini sağlamıştır.

Tablo 4.4 Hızlı dolun modunda, farklı bağlantı oranları ve doum stratejileri için sistem yük faktörü

	<b>DS-0</b>	<b>DS-1</b>	<b>DS-2</b>	<b>DS-3</b>	<b>DS-4</b>
<b>%0 ET</b>	0.520	0.520	0.520	0.520	0.520
<b>%20 ET</b>	0.479	0.531	0.531	0.513	0.490
<b>%40 ET</b>	0.442	0.488	0.543	0.509	0.480

Birçok taşıtın eve ulaşma, elektrik sistemine bağlantılanma ve dolun işlemini başlatma zamanı puant saatler içinde olmaktadır. Taşıtlar eve ulaşır ulaşmaz dolun işleme başladığı durumlar için sistem puant yük değerinde çok ciddi bir artış görülmektedir. ET'lerin sisteme düşük bağlantı oranlarında bu artış sistem için çok büyük bir sorun teşkil etmez iken yüksek bağlantı oranlarında sisteme çok ciddi bir yük getirmektedir. Normal dolun modunda %20 bağlantı seviyesinde puantdaki artış %6.22 seviyesinde gerçekleşirken %40 bağlantı seviyesinde bu oran %9.87'lere ulaşmaktadır. Bu oran hızlı dolun modu için daha yüksektir. Bu değerler hızlı dolun modunda 20% bağlantı seviyesi için %9.92, %40 bağlantı seviyesi için %18.59'dur.

ET'lerin sisteme olan etkilerini azaltmak için bu bölümde farklı dolun stratejileri uygulanmıştır. Bu stratejiler normal ve hızlı dolun modları için test edilmiştir. Normal dolun modunda %20 ve %40 bağlantı seviyelerinde DS-1 ve DS-2 ile tepe değerlerin önlenmesinde etkili olmuştur. DS-3 ile artış bu bağlantı seviyeleri için %3.83 ve %6.96 ile sınırlandırılmıştır. Yük faktörü de bunu kanıtlamaktadır.

Hızlı dolun modunda DS-1 ile %20 bağlantı seviyesinde puant değerin artması engellenirken, 40% bağlantı oranında tepe değeri %10.11 oranında artmıştır. DS-3'te artış yine %3.45 ve %6.18 ile sınırlandırılmıştır. DS-1 ve DS-2'de ET sahiplerinin dolun işlemleri kesintiye uğratılır iken DS-3 ile dolun işlemi kullanıcı açısından mağduriyet yaratmayacak şekilde gerçekleşmektedir. Kullanıcı ET bataryasını minimum doluluk

oranında doldurduktan sonra dolum işlemine puant saatler dışında devam etmektedir. Bu strateji yüksek bağlantı oranlarında puant değerlerini çok sınırlı seviyede tutarak sistem operatörlerine önemli fayda sağlarken, taşıtların minimum doluluk oranlarına sağlayarak kullanıcıların olumsuz etkilenmesini önlemektedir.



## 5. BÖLÜM

### ELEKTRİKLİ TAŞITLARIN DOLMA/BOŞALMA KOORDİNASYONU OPTİMİZASYONU

Yeni nesil güç şebekesi olarak görülen akıllı şebekeler, dağıtılmış enerji kaynakları, akıllı kontrol ve gelişmiş iletişim teknolojilerini içermektedir. Bu tip şebekelerde, kaynakları yaygın olarak dağıtılan bir enerji dağıtım sistemi oluşturmak için iki yönlü güç ve bilgi akışı kullanılmaktadır. ET'lerin gelecekteki akıllı şebekenin önemli bir parçası olması, sisteme olumsuz etkilerinin yanı sıra sistemi desteklemek için kullanılması da beklenmektedir. ET sahiplerinden birçoğunun evlerine 17.00-18.00 saatleri arasında ulaşması ve bu saatlerin konut dağıtım sistemleri için puant yük zamanlarına karşılık gelmesinden dolayı ET dolum işleminin sisteme büyük bir yük getirmektedir. Dolum işleminin şebekeye olumsuz etkilerinin önlenmesi için dolum işleminin koordine edilmesi gerekmektedir. Şebeke ihtiyaçları açısından bunun yetersiz olduğu durumlarda ET'ler T→Ş sistemlerde normal bir yükten farklı olarak şebekeye enerji aktarabilmektedirler. Dolma/boşalma koordinasyonu hem ET sahiplerini hem de sistemi etkilemektedir. Bundan dolayı dolma/boşalma işleminin optimize edilmesi gerekmektedir.

ET'lerin sisteme bütünleşmesi arttıkça, gerilim ve frekans regülasyonu, puant yük azalımı, döner yedek (spinning reserve) ve gerilim desteği gibi yardımcı hizmetleri sağlayabilmektedir. Dolma/boşalma koordinasyonunun dağıtım sisteminde faydalı sonuçlar vermesine rağmen, toplayıcı için bir maliyet oluşturmaktadır. Toplayıcı, ertelediği dolum yükü ve şebekeye aktarılan yük için ET sahiplerine belirli ücret ödemektedir. Aynı zamanda dolma/boşalma koordinasyonu ET sahipleri için de konfor ve ekonomik açıdan



tatmin edici değildir [32]. Ayrıca T→Ş uygulamasıyla batarya ömürleri azalmaktadır. Dolayısıyla, dolma/boşalma koordinasyonu, maliyeti ve ET sahiplerinin rahatsızlığını en aza indirilecek şekilde optimize edilmelidir. Bu çalışmada, optimizasyon, her bir bara geriliminin EN50160 standartlarına yükseltmek ve toplam yükü maksimum yük kapasitesinin altına düşürmek için minimum koordinasyon maliyeti bulmayı amaçlamaktadır. Boşalma ve ertelenen dolum yükünün toplayıcı açısından maliyeti, şebeke ve ET kısıtları dikkate alınarak minimize edilmiştir. Böylece, sistem iyileştirmenin ET sahipleri üzerindeki etkisi en aza indirgenmiştir. Her ET'nin dolma/boşalma durumu sezgisel algoritmalar olan Genetik Algoritma (GA), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) ve Yapay Arı Kolonisi Algoritması (YAK) kullanılarak belirlenmiş ve limitler dahilinde dolma/boşalma koordinasyonunun maliyet minimizasyonunu gerçekleştirmektedir. Gerilimin genliği ve maksimum yük sınırları, sistem sınırlarına ulaşmak için şebeke kısıtlaması olarak uygulanmaktadır.

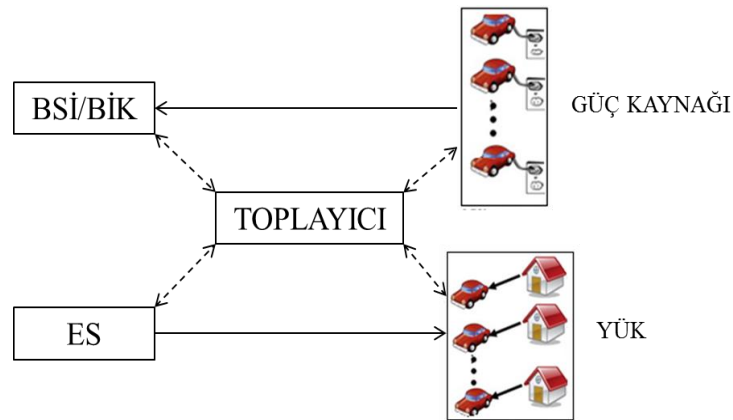
### **5.1 Taşıttan Şebekeye (T→Ş) Yapısı**

T→Ş kavramının temelinde ET'lerin bir toplayıcı tarafından şebekeye bütünleştirilmesi vardır. Böylece ET yükleri hem kontrol edilebilir hem de bir üretim veya depolama cihazı olarak şebekeye destek sağlayabilirler. Fakat şebekenin T→Ş uygulamalarına uygun hale gelmesi için şebekede köklü değişiklikler yapılması gerekmektedir. Akıllı şebeke altyapısının hazırlanması T→Ş uygulamaları için de çok büyük kolaylıklar sağlayacaktır. Fakat öncelikle T→Ş vizyonunun gerçekleştirilmesini sağlayacak kavramsal bir yapı oluşturulması gerekmektedir. Bu yapı şebekenin ihtiyacı ve dolma/boşalma koordinasyonu için kullanılacak ET'lerin durumu göz önünde bulundurularak oluşturulmalıdır. Böylece şebekeye bağlı her bir ET kontrol edilebilir bir yük veya üretim/depolama cihazı olarak etkin bir şekilde kullanılabilir. ET bataryasının doluluk durumu, kullanıcı tercihi, hareket zamanı gibi veriler koordinasyon için ET'nin durumuna karar verilmesinde kullanılır.

T→Ş sistemi 6 ana alt sistemden oluşur. Bu yapıda, Enerji Sağlayıcı (ES), Dağıtım Sistemi (DS) aracılığıyla müşterilere enerji sağlar. Bağımsız Sistem İşletmeni/Bölgesel İletim Kurumu (BSİ/BİK) güç sisteminin çalışmasını ve kontrolünü sağlar. Toplayıcı, ET'lerin

verilerini toplayarak güç kaynağı veya yük olarak şebekede yer almasını yani dolma/boşalma durumunu belirler. Toplayıcılar ET, ES ve BSİ/BİK'lar arasında bir arabirim oluşturmaktadır. Dolma/boşalma teknik altyapısı, iki yönlü elektrik ve veri akışı, akıllı ölçüm ve kontrolü içermektedir.

Toplayıcı, T→Ş konseptini pratik açıdan gerçekleştirilebilir hale getirmenin temel unsurunu teşkil etmektedir. Toplayıcı, ET'lerin bir kaynak ve bir yük olarak toplama işlemini sağlamaktadır. Bu toplama işlemi, yeni bir kurum veya ES tarafından sağlanabilir. Toplayıcı, ET sahipleri, ES, BSİ/BİK arasında bir arabirimdir. Şekil 5.1'de bu kurumlar ve müşteriler arasındaki karşılıklı ilişkiler gösterilmiştir [30, 31]. Bu çerçevede, ET toplama işlemi için bir yük ve bir de üretim/depolama aygıtı olarak iki farklı modül kullanılmaktadır. Toplayıcı modülü yapının ortasındadır ve BSİ/BİK, toplayıcı ve ES'ler ayrı modüller tarafından temsil edilir. Çerçevdeki akışlar, sistemdeki varlıklar arasındaki ilişkileri temsil eder. Akışlar mal, hizmet, bilgi ya da para olabilir. Bunun dışında akışlar kontrol komutlarını, izleme verilerini, fatura bilgilerini ve herhangi bir bilgi akışı içeren çeşitli oyuncular arasında gerekli olabilecek diğer iletişimlerini içerebilir.



Şekil 5.1 Toplayıcı T→Ş sistemindeki rolü

Yük olarak sistemde bulunan ET'lerin enerji tedarigi ES'ler vasıtasıyla gerçekleştirilir. Benzer olarak üretim/depolama kaynağı olarak toplanan ET'ler ise BSİ/BİK'ye enerji sağlamaktadır. Bu yük ve güç kaynak hizmetleri, ET'lerle ve BSİ/BİK ile bağlantı kuran merkezi kuruluş olan toplayıcı aracılığıyla koordine edilir. Buna ek olarak, toplayıcı

ET'lere batarya bakımı ile otopark hizmetler de sağlayabilmektedir. Toplayıcı, bu hizmetleri batarya imalatçıları ve park yeri sahiplerinden edinmek için geniş satın alma gücünü kullanır ve ET'leri şebekeye bütünleştirmeye olanak tanıyan hizmetler topluluğunun bir parçası olarak ET'lere sunmaktadır. Bu hizmetler tanımlanan yapının fiziksel katmanını oluşturmaktadır. Bununla birlikte, bilgisayar, iletişim, kontrol altyapısı tarafından sağlanan, komutların ve kontrol işaretlerinin yönetilmesi, kontrol edilmesi ve çeşitli servislerin sağlanmasını sağlayan bir bilgi katmanı vardır. Bu katmanda, toplayıcıya her bir ET'ye gerekli kontrolleri gerçekleştirmek, hizmetleri sunmak için olanak sağlarken toplama işleminin en uygun şekilde gerçekleşmesi sağlanmaktadır. Toplayıcı ET'lerin toplanması, bataryaların doldurulması ve yardımcı hizmet gereksinimleri için gerekli bilgileri belirlemek için ES'lerle çift yönlü iletişim halindedir. ET'lere işaretler yine şebeke aracılığıyla iletilir. ET'lerin enerji kaynağı olarak toplanması durumunda, toplayıcı, kapasite ve enerji hizmetleri için BSİ/BİK 'nın ihtiyaçlarını iletmek, ET'lerin alt kümesini tanımlayabilmek ve bunlardan her birinin toplama işlemine katkısını ölçmek için yine şebekedeki iletişim ağı kullanılmaktadır. İletişim ve kontrol sisteminin ayrılmaz bir parçası olan bilgisayarlar, ET'lerin ilgili indirim veya geri ödemelerle birlikte toplayıcıdan aldığı hizmet kümesini ve ayrıca park edilmiş ve şebekeye bağlı ET'ler tarafından sağlanan hizmetler kümesini takip etmektedir.

## **5.2 T→Ş Sistemin Üstünlükleri**

Çalışmalar, ET'lerin gerilim ve frekans regülasyonu, döner yedek, reaktif güç desteği, puant azaltımı, vadi dolumu, yük takibi ve enerji dengesi gibi yan hizmetler sunabileceğini göstermiştir. T→Ş sistemleri hizmetlerin genel maliyetleri ve emisyonları azaltabilir, yük faktörlerini artırmak için şebekeye enerji satışını artırabilir. Ayrıca ilerleyen zamanda büyük ölçekli enerji depolama sistemlerinin yerini alabilirler [31].

### **5.2.1 Çevresel Üstünlükler**

Bazı mevcut çalışmalar, ET'lerin konvansiyonel araçlar üzerinde, üretim emisyonları da hesaba katılarak emisyon avantajlarına sahip olduğunu göstermiştir. ABD'de bulunan

Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı ve Kuzeybatı Güç ve Koruma Kurulu tarafından yapılan araştırmalar, ET'lerin konvansiyonel araçların yerini alması durumunda CO<sub>2</sub> emisyonlarının önemli ölçüde düşeceğini tespit etmiştir. T→Ş konsepti eklendiğinde, ET'ler daha fazla çevresel fayda sağlayabilir ve doğrudan sera gazı emisyonlarını azaltabilir. T→Ş teknolojisi ABD'de 12 bölgede analiz edilmektedir. Analizler, sera gazı emisyonlarının %27'lik bir azalmaya ve nitrojen oksitlerin (NO<sub>x</sub>) emisyonlarının % 31'lik bir düşüşe neden olduğunu göstermektedir. ABD'de ET'lerin hibrid araçlarla karşılaştırıldığında kısa sürede CO<sub>2</sub> emisyonlarını %25, uzun vadede ise %50 azalttığını belirtilmiştir [77, 78].

Otomotiv ve petrol şirketleri tarafından ET'lerin batarya üretim tesislerinden kaynaklanan kurşun deşarjları ve pilin boşaltılması nedeniyle çevre üzerinde net bir olumsuz etkiye sahip olacağı iddia edilse de, kurşun yerine daha az zararlı lityum bazlı kimyasallar geleceğin ET batarya teknolojisi olarak görülmektedir.

## **5.2.2 Yardımcı Hizmetler**

Şebekenin güvenilirliğini sağlamak, arz ve talebi dengelemek ve satıcıdan alıcıya güç iletilmesini desteklemek için güç sisteminde yardımcı hizmetler gereklidir. İki yönlü bir T→Ş konsepti şu anda mevcut olanlardan daha kaliteli yardımcı hizmetler sağlayabilir: Hızlı frekans ve gerilim regülasyonu, yük dengeleme ve puant güç yönetimi ve döner yedeklerin etkili kullanılması yardımcı hizmetlerden önemlileridir. Toplayıcıların, yardımcı program için daha fazla ET toplamaları beklenmektedir.

### **5.2.2.1 Frekans Regülasyonu**

Şebeke yönetiminin bir özelliği, frekans ve gerilimi korumak ve dengesizliklerin veya tıkanıklığın verimli bir şekilde kullanılmasını kolaylaştırmak için güç yedekleri sağlamaktır. Dolayısıyla frekansı ENTSO-E'ye (eski UCTE göre 49.99 ve 50.01 Hz arasında) uygun seviyelerde tutmak esastır. Frekans regülasyonunun çeşitli kontrol seviyeleri vardır. Bunlar; birincil, ikincil ve üçüncül rezervler şeklindedir.

Birincil rezervler, frekansı düzenler ve karartmaları önlemek için şebekeyi dengeler. Frekans kontrolü otomatik ve sürekli olarak aktive edilir. Birincil kontrol, ancak birincil rezervler mevcut olduğunda etkinleştirilebilir. Cevap süresi 1 saniyeden küçüktür.

İkincil rezervler, şebekeyi dengelemek için bir gün önceden atanır ve 15 dakikalık bir zaman aralığında hem yukarı hem aşağı doğru, otomatik ve sürekli olarak ayarlanır. Frekans 50 Hz'den düşükse, bataryalar boşaltılabilir (düzenleme yukarı) ve frekans 50 Hz'in üstünde ise, bataryalar doldurulabilir (regülasyon aşağı). Ortalama olarak, yukarı ve aşağı düzenlemeler eşittir. Tepkime süresi birkaç saniyedir. Bu rezervler, nominal ve ölçülen güç enjeksiyonları arasındaki dengesizlikleri ve frekansı düzeltmek için kullanılır.

Üçüncül rezervler, büyük dengesizlikler ve tıkanıklıklar için kullanılır. Birincil ve ikincil rezervlerin aksine, bunlar manuel olarak ve yılda sadece birkaç kez etkinleştirilir. Bu rezervlerin gücünü 15 dakika içinde vermesi gerekir.

### **5.2.2.1 Gerilim Regülasyonu**

Düşük gerilimli bir şebekede kablolar yaygındır ve R rezistansı X reaktansı ile karşılaştırıldığında büyüktür. Bu şebekedeki aktif gücün ayarlanması gerilim genliğini etkiler. Gerilim regülasyonu, EN50160 zorunlu standardı tarafından tanımlanan sınırlar arasındaki gerilimi korur [79]. Bu gerilim kontrol modülü dolum cihazında gömülü olabilir. Şebeke bağlantısındaki gerilim çok düştüğünde araçların dolum işlemi duracaktır. Daha sonraki bir aşamada, şebeke gerilimini artırmak için bir aktif güç biriminin boşaltılması da hesaba katılabilir. T→Ş sistemlerde boşalma işlemi şebekeye aktif güç verilmesi gerilimlerin düzenlenmesi açısından önemli bir etkiye sahiptir.

### **5.2.2.3 Yük Sınırlama ve Yük Kaydırma**

T→Ş, talebin düşük olduğu anlarda boşalma işlemi yaparak yük eğilimini düzleştirir. Şebeke yük dengelemesi açısından, ET'lerin gece geç saatlerde dolum işlemini gerçekleştirmeleri faydalıdır. Kaliforniya şebekesinde ET'lerin bütünleşmesini ele alan bir çalışma, dolum yükünün yeni kaynaklara ihtiyaç duymadan mevcut güç sistemi tarafından değiştirilebileceğini göstermektedir.

#### 5.2.2.4 Yenilenebilir Enerjiyi Destekleme ve Dengeleme

ET'ler rüzgar ve güneş enerjisi tesisleri tarafından üretilen enerjiyi tamponlamak ve depolamak için yenilenebilir enerjiyle kombine edilebilir. Örneğin, puant güneş radyasyonu, birçok pazardaki puant enerji çekilmeden birkaç saat önce ortaya çıkmaktadır. Rüzgâr enerjisi daha karmaşıktır ve rüzgar hızındaki öngörülemeyen değişiklikler, şiddetli dengesizliklere yol açmaktadır. ET'ler aynı zamanda fazla enerjiyi depolayabilir. Bu depolanan enerji, sürüş ihtiyaçları için veya daha sonra şebekeye enerji sağlamak için kullanılabilir. T→Ş, yenilenebilir kaynaklarının daha iyi kullanılabilmesi için şebekenin esnekliğini artırır.

### 5.3 T→Ş Sistemin Sakıncaları

T→Ş sistemlerinin pek çok faydası olmasına rağmen, ET sayısının artması, güç dağıtım sistemi dinamikleri ve performansını, transformatörlerin, kabloların ve besleyicilerin aşırı yüklenmesi ile etkilenebilir. Bu durum, verimliliği düşürür, ilave jeneratörlerin devreye alınmasını gerektirebilir, gerilim sapsmaları ve harmonikleri üretir. Ayrıca, T→Ş geçişinde bazı engeller bulunmaktadır: bataryanın bozulması, yatırım maliyeti, enerji kayıpları, otomotiv ve petrol sektörünün direnci ile müşteri kabulü. En büyük güçlük batarya teknolojisi ve içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla yüksek başlangıç maliyetidir. T→Ş için ET'nin kullanımındaki kısıtlamalar, özellikle toplayıcı ile çok sayıda ET arasında güvenli iletişimlerin uygulanmasıyla ilgili olacaktır. T→Ş teknolojisini etkinleştirmek için güvenilir bir çift yönlü iletişim altyapısı ağı gereklidir.

#### 5.3.1 Bataryanın Aşınması

Bataryanın bozulması, bataryadan çekilen enerjinin miktarına bağlıdır ve bu boşalma derinliği çevrim frekansının bir fonksiyonudur. Yan hizmetler için çift yönlü T→Ş, batarya ömrünü azaltabilir. Batarya bozulması maliyetlerini tahmin etmek zordur, çünkü teknolojiler hala gelişme aşamasındadır. Eşdeğer seri direnci pil ömrünü tahmin etmeye yardımcı olan bir parametredir. Birçok batarya için daha derin boşalma, hücre bozulma

oranını arttırır ve eşdeğer seri direncini daha hızlı bir şekilde arttırır. İç direnç düşük sıcaklıklarda ve batarya doluluk oranının her iki ucunda artma eğilimi gösterir. Bataryayı orta doluluk aralığında kullanmak, bozulmayı yavaşlatmanın iyi bir yoludur. Akıllı kontrol ve dolum süresinin ve enerji akışlarının optimizasyonu, ek bozunma oranının en aza indirgenmesini sağlar. Batarya teknolojisinin iyileştirilmesi ile çevrim sayısı arttıkça, depolanan enerji başına yatırım fiyatı düşecektir.

### 5.3.2 Dağıtım Ekipmanlarına Etkileri

ET dolma/boşalma işleminin dağıtım teçhizatı üzerinde önemli bir etkisi olması muhtemeldir. ET entegrasyon senaryolarına bağlı olarak yerel dağıtım cihazlarını hızla aşırı yükleyebilir. Dağıtım trafosu kayıplarını, gerilim sapsmalarını, harmonik bozulmayı ve tepe talebini artırır. Bu, daha büyük yeraltı kablolarına ve havai hatlara ek yatırımlar ile daha fazla trafo kapasitesi gerektirir. Maliyet, muhtemelen trafo ömrünün düşmesi nedeniyle yeni geliştirilen akıllı şebekelerin güvenilirliğini, güvenliğini, verimliliğini ve ekonomisini önemli ölçüde etkileyebilir. Tipik bir dağıtım transformatörünün ömründeki azalma, kontrollü bir dolum şeması kullanılarak önemli ölçüde azaltılabilir. [80]'de ET'lerin farklı entegrasyon oranları, transformatör yalıtım ömrüne dayanılan deneysel bir model kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar, ET'lerin yüksek oranda entegrasyonunun, özellikle de dolma işleminin kötü koordinasyonunda enerji şebekesi üzerinde büyük etkisi olabileceğini göstermiştir. %50'lik bir ET entegrasyonunda, transformatör ömrü kontrol edilmeyen dolum ile birlikte taban durumuna göre %200-300 oranında azaltılır; kontrollü dolum, kontrolsüz dolumla karşılaştırıldığında ömrü % 100-200 oranında artırmaktadır.

### 5.3.3 Yatırım Maliyetleri

Oak Ridge Ulusal Laboratuvarı, ET'nin bölgesel enerji ağlarına dahil edilme konusundaki kapsamlı bir analizini gerçekleştirdi ve ek bölgelerdeki ET talebini karşılamak için tüm bölgelerin ilave nesil yatırımlara ihtiyacı olacağını açıklamaktadır [19]. T→Ş sisteminin etkin bir şekilde uygulanabilmesi için açık veya özel park yerlerine toplayıcı ile çift yönlü iletişimi sağlayan dolum cihazlarının bulunması gerekmektedir. Aynı zamanda Toplayıcılar T→Ş sistemi içerisinde yer alan ET, ES ve BSİ/BİK'lar ile etkin bir şekilde çift yönlü

haberleşmelidir. Bunun için önemli bir yatırıma ihtiyaç vardır. Akıllı şebekeler alt yapısının oluşturulduğu sistemlerde T→Ş uygulamaları çok daha düşük yatırım maliyeti ile gerçekleştirilebilmektedir.

#### 5.4 Dolma/Boşalma Koordinasyonu

T→Ş teknolojisi kullanılarak sistemin puant yükleri düşürülebileceği gibi sistem gerilim seviyeleri açısından da desteklenebilir. T→Ş teknolojisinin hem sistem hem de kullanıcılar açısından etkin kullanılabilmesi için iyi bir şekilde optimize edilmelidir. Dağıtım sistemlerinde, kablolar yaygındır ve direnç R, reaktans X'e kıyasla oldukça büyüktür. Bu şebekedeki aktif gücün ayarlanması gerilimin genliğini etkilemektedir. Bu optimizasyon probleminde minimum maliyetle ve en az sayıda ET'ye müdahale edilerek bütün baraların gerilim seviyelerinin EN50160 standartlarına uygun hale gelmesi ve toplam yükün sistem maksimum yük kapasite değerinin altına çekilmesi hedeflenmektedir.

*Durum ve kontrol değişkenleri:*

Dağıtım sistemi ve ET durum değişkenleri Eşitlik (5.1)'de gösterilmiştir.

$$x(t) = \left\{ \begin{array}{l} P_{DS}(t), V_m(t), P_{ET}(t), BDO_n(t) \\ n = 1, 2, \dots, N, m = 1, 2, \dots, M \end{array} \right\} \quad (5.1)$$

$P_{DS}(t)$ ,  $t$  anında dağıtım sisteminin toplam yükünü ifade etmektedir. Toplam yük üretim kapasitesi veya dağıtım trafosunun limitlerini aşmaması açısından önemlidir. Eşitlik (5.2) ve Eşitlik (5.3)'te gösterildiği gibi dağıtım sistemi toplam yükü  $P_{DS}(t)$ , hanelerin yüklerini ( $P_H(t)$ ), sistemdeki ET toplam yükünü ( $P_{ET}(t)$ ) ve sistemdeki kayıpları ( $P_K(t)$ ) içermektedir.

$$P_{DS}(t) = P_H(t) + P_{ET}(t) + P_K(t) \quad (5.2)$$

$$P_{ET}(t) = \sum_{n \in N} P_n(t) \quad (5.3)$$



$M$  dağıtım sistemindeki toplam bara sayısını ifade eder ve her bir bara  $m=1,2,\dots,M$  şeklinde gösterilmektedir.  $V_m(t)$ ,  $m$  barasının  $t$  anındaki gerilimini ifade eder.  $N$ , şebekeye  $t$  anında bağlı olan ET sayısını belirtmekte olup her bir ET  $n=1,2,\dots,N$  şeklinde gösterilmektedir.  $P_{ET}(t)$  taşıtların toplam dolma/boşalma güç değerini göstermektedir.  $BDO_n(t)$  ise ET  $n$ 'in  $t$  anındaki batarya doluluk oranını göstermektedir.

Dolma/boşalma koordinasyon gereksinimine, her biri  $t$  anı için  $x(t)$ 'ye göre karar verilir. Sistem değerleri sınırlar dahilinde ise koordinasyon gerekli değildir. Sistem değerleri sınırların dışındaysa, önce dolum koordinasyonu uygulanır. Dolum koordinasyonu, dolum işlemini durdurulacak ET'lerin seçilmesi anlamına gelmektedir. Dolum koordinasyonu ile şebeke sınırlarına dönmezse boşalma koordinasyonu uygulanır. Boşalma koordinasyonu, boşalma işlemi için kullanılmak üzere ET'lerin seçilmesini ifade eder. Her bir ET'nin dolma/boşalma durumu Eşitlik (5.2)'deki gibi kontrol değişkenleri olarak kabul edilir.

$$u(t) = \{u_n(t) | n = 1, 2, \dots, N\} \quad (5.4)$$

$u_n(t)$  ET'lerin  $t$  anı için kontrol eylemini ifade eder.  $u_n(t) = 1$  olması  $n$  taşıtların dolum işlemini gerçekleştirilmesine izin verildiği,  $u_n(t) = -1$  ise  $n$  taşıtların boşalma işlemi için görevlendirildiği,  $u_n(t) = 0$  ise ne dolum işleminin durdurulduğu fakat boşalma işlemi de gerçekleştirmediği anlamına gelmektedir. Henüz park yerlerine ulaşmayan araçlar ise doğal olarak dolma/boşalma opsiyonu olarak göz önünde bulundurulmazlar.

*Şebeke Kısıtları:*

Sistemin maksimum güç limiti Eşitlik (5.5)'te verildiği gibi ( $P_{DS}^{mak}$ ) üretim kapasitesi ya da dağıtım transformatör gücü ile belirlenir.

$$P_{DS}(t) < P_{DS}^{mak} \quad (5.5)$$

Dağıtım sistemindeki her bir bara EN50160 standardını karşılamalıdır. Böylece her bir baranın gerilimi  $V_m(t)$  0.90 p.u. (per unit) ile 1.00 p.u. arasında olmalıdır. Bunlar Eşitlik (5.6)'da verilen gerilimin alt ve üst limitleri olan  $V_m^{min}$  ve  $V_m^{max}$ 'tır.

$$V_m^{min} < V_m(t) < V_m^{max} \quad (5.6)$$

*ET Kısıtları:*

$E_n(t-1)$  ET  $n$ 'in  $(t-1)$  anındaki enerjisini ifade etmektedir.  $\Delta t$  ise  $t$  ve  $(t-1)$  arasındaki süreyi ifade etmektedir. Eşitlik (5.7) ve Eşitlik (5.8)'de verildiği üzere  $E_n^{eksik}(t)$  tam kapasiteye ulaşması için eksik enerji miktarını belirtirken,  $T_{req}(t)$  ise maksimum kapasiteye ulaşması için gerekli dakikayı ifade etmektedir.

$$E_n^{eksik}(t) = E_n^{mak} - \left( E_n(t-1) + \left( \frac{\Delta t \times P_n}{60} \right) \right) \quad (5.7)$$

$$T_n^{gerekli}(t) = \frac{E_n^{eksik} \times 60}{P_n} \quad (5.8)$$

$son_n(t)$ ,  $n$  taşıtının  $t$  anında dolma/boşalma koordinasyonu için müsait olabileceği son zamandır.  $t_n^{har}$  ise bu taşıtın hareket zamanını ifade etmektedir.  $son_n(t)$ 'nin hesaplanması için  $t_n^{har}$ 'den  $T_n^{gerekli}(t)$  çıkarılır.

$$son_n(t) = t_n^{har} - T_n^{gerekli}(t) \quad (5.9)$$

$$u_n(t) = 1, \text{ eğer } t \geq son_n(t) \quad (5.10)$$

Eşitlik (5.10)'da ifade edildiği gibi son müsait olma zamanından sonra ET sadece dolun işlemini gerçekleştirir. Yani taşıtın son müsait olma zamanından sonra dolun işlemi durdurulamaz veya taşıt boşalma işlemi için kullanılamaz. Aksi takdirde ET hareket zamanında maksimum batarya kapasitesine ulaşmamış olur. Bunun engellenmesi için son

müsait olma zamanı için kısıt konulmuştur. Taşıtların hareket zamanı kullanım alışkanlıklarına bakılarak olasılık yöntemleri ile tahmin edilebilir veya taşıt sahibinden veri girişi yapılması istenebilir [81].

Taşıtların müsait olma durumu ayrıca kullanıcı tercihine ve bataryanın doluluk durumunu da bağlıdır. ET'lerin dolma/boşalma işlemi için bataryanın doluluk durumuna göre karar verilmektedir. Eşitlik (5.11)'de  $BDO_n^{min}$  ve  $BDO_n^{mak}$   $n$  taşıtının minimum ve maksimum  $BDO_n$ 'unu ifade etmektedir. Eğer batarya doluluk oranı minimum değerinin altında ise bu taşıt boşalma işlemi için kullanılamaz. Tam tersi olarak eğer maksimum değer üstünde ise dolma işlemini gerçekleştiremez.

$$BDO_n^{min} < BDO_n(t) < BDO_n^{mak} \quad (5.11)$$

*Hedef Fonksiyon:*

Dolma/boşalma işleminin maliyeti hesaplanırken  $f(x)$  minimize edilmesi gereken maliyet fonksiyonu olarak göz önünde bulundurulur. Böylece toplayıcı ve taşıt sahipleri dolma/boşalma koordinasyonundan en az şekilde etkilenmiş olurlar.  $P_n^{boşalma}(t)$  taşıtlardan şebekeye verilen gücü ifade ederken  $\alpha_{boşalma}$  toplayıcının taşıt sahibine ödemek zorunda olduğu kWh başına ücreti ifade etmektedir.  $P_n^{dolma}(t)$  sistem ihtiyaçlarından dolayı ertelenen dolun gücünü ve  $\alpha_{dolma}$  'de bu işlem için toplayıcının kWh başına taşıt sahibine ödemek zorunda olduğu ücreti göstermektedir. Kısıt değerlerin aşılması durumunda ise Eşitlik (5.12), Eşitlik (5.13) ve Eşitlik (5.14)'deki ceza fonksiyonları uygulanır.  $\rho_{ceza}$ ,  $\nu_{ceza}$  ve  $son_{ceza}$  toplam güç, gerilim veya son müsait olma zamanının ne kadar aşıldığını gösteren değerler ve  $c_{ceza}$  de bunlar için ceza katsayısını göstermektedir.

$$f(x, t) = \left( \sum_{n=1}^N P_n^{boşalma}(t) \right) * \alpha_{boşalma} + \left( \sum_{n=1}^N P_n^{dolma}(t) \right) * \alpha_{dolma} + \rho_{ceza}(t) + \nu_{ceza}(t) + son_{ceza}(t) \quad (5.12)$$

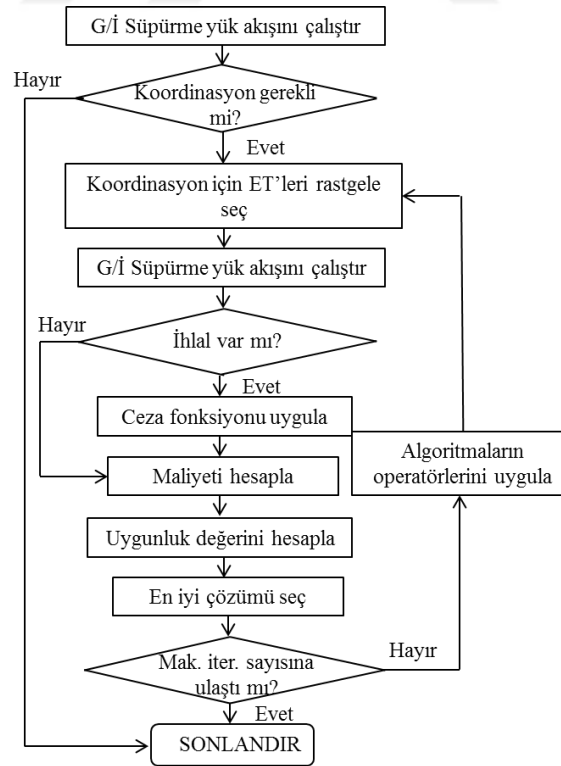
$$\rho_{ceza}(t) = (P_{DS}(t) - P_{DS}^{mak}) * c_{ceza}, \text{ eğer } P_{DS}(t) > P_{DS}^{mak} \quad (5.13)$$

$$v_{ceza}(t) = \sum_{m=1}^M (V^{min} - V_m(t)) * c_{ceza}, \text{ eğer } V_m(t) < V^{min} \quad (5.14)$$

$$son_{ceza}(t) = \sum_{n=1}^N (t - son_n(t)) * c_{ceza}, \text{ eğer } son_n(t) < t \quad (5.15)$$

### 5.5 Dolma/Boşalma Koordinasyonun Sezgisel Algoritmalar ile Optimizasyonu

Güç sistemleri problem çözümünde genel olarak klasik yöntemler yerel optimuma yakınsarken sezgisel algoritmalar geniş bir yelpazede çözüm bulma ve genel optimuma yaklaşma yeteneği nedeniyle daha etkili olmaktadır [59]. Şekil 5.2'de, sezgisel algoritmalar ile dolma/boşalma koordinasyonu optimizasyonu akış şeması verilmiştir [82].



Şekil 5.2 Dolma/boşalma koordinasyonunun sezgisel algoritmalar ile gerçekleştirilmesini gösteren akış diyagramı

Öncelikle, dolma/boşalma koordinasyon gereksinimi, Geri/İleri (G/İ) süpürme güç akışı yöntemi ile sistemdeki maksimum yük ve minimum gerilim limitleri dikkate alınarak belirlenir [83]. Eğer sistem limitleri dışında ise başlangıçta rastgele taşıt seçimi gerçekleştirilerek optimizasyon işlemi başlatılır. Eğer çözümde herhangi bir ihlal meydana gelirse ceza işlemi uygulanır. Çözümlerin uygunluk değerleri dikkate alınarak en iyi çözüm seçilmiştir. Çözüm her iterasyonda algoritma operatörleri kullanılarak güncellenir. Yineleme, maksimum iterasyon sayısına eriştiğinde durdurulur.

GA ve DGA'da potansiyel çözümleri kromozomlar temsil ederken, PSO'da parçacığın besin kaynağına uzaklığı, YAK'da ise besin kaynağının kalitesi temsil eder.  $mi$  potansiyel çözümlerin toplamını ifade ederken,  $i$  de potansiyel çözümün numarasıdır.  $i = 1..mi$ . Her potansiyel çözüm  $D$  boyutlu bir kontrol değişkeni vektörü içerir.  $j$  parametrenin kontrol değişkeni vektörü içerisindeki numarasıdır.  $j = 1..D$ . Algoritmaların genel işleyişi aynı olsa da kullandıkları operatörler çözümü farklılaştırmaktadır. Algoritmada  $i$ 'nci çözümün  $j$ 'nci parametresi rastgele bir şekilde alt ve üst sınırlar göz önünde bulundurularak Eşitlik (5.16)'daki gibi başlatılır.

$$x_{i,j} = x_j^{\min} + rand(0,1)(x_j^{\max} - x_j^{\min}) \quad (5.16)$$

Çözümlerin uygunluk derecesi göz önünde bulundurularak en iyi çözüm Eşitlik (5.17)'deki gibi seçilir.

$$p_i = \frac{fitness_i}{\sum_{i=1}^{mi} fitness_i} \quad (5.17)$$

Algoritmalar, başlıkları altında ayrıntılı olarak açıklanan kendilerine has operatörlerini kullanarak çözüm kalitesini etkiler ve değiştirir.

### 5.5.1 Genetik Algoritma

GA'da yeni popülasyon, önceki popülasyonun kromozomlarının geni kullanılarak oluşturulmuştur [84]. Kromozomların en uygun olanı seçilir ve bir sonraki popülasyona

aktarılır. Öncelikle, çözüm dizisini gösteren kromozomlar kodlanır. Rastgele başlatmadan sonra, çoğaltma, çaprazlama ve mutasyon operatörleri kullanılır. Kromozomlar üreme için daha önceki popülasyondan seçilir. Çaprazlama, Şekil 5.3'de gösterildiği gibi kromozomlar arasındaki gen değişimlerini ifade eder.



Şekil 5.3 Genetik algortmada çaprazlama işlemi

Mutasyon, Şekil 5.4'de gösterildiği gibi bir kromozom genleri arasında rastgele değişir. Bu, çözüm alanında popülasyonda olmayan bireyler oluşturulur. Bireylerin kodlama tiplerine göre farklı mutasyon metotları mevcuttur.



Şekil 5.4 Genetik algortmada mutasyon işlemi

Seçim süreci genetik operatörler tarafından uygulanır ve mevcut popülasyon seçilen popülasyonla güncellenir.

### 5.5.2 Diferansiyel Gelişim Algoritması

DGA da popülasyona dayalı bir optimizasyon algoritmasıdır [85]. Her kromozom yeni bir birey yaratmak için mutasyon, çaprazlama ve seçim operatörlerine maruz kalır. Mutasyonda, verici vektör  $(v_{i,j}(t))$ , iki kromozomun  $(r1, r2)$  ölçek faktörü farkı  $(F)$  ile çarpılarak oluşturulur ve üçüncü kromozoma  $(r3)$  Eşitlik (5.18)'deki gibi eklenir;

$$v_{i,j}(t+1) = x_{r1,j}(t) + F(x_{r2,j}(t) - x_{r3,j}(t)) \quad (5.18)$$

Çaprazlamada, deneme vektörü  $U_i(t)$  çaprazlama oranı ile mevcut vektör  $X_i(t)$  ve verici vektörünün  $V_i(t)$  çaprazlama oranı ile Eşitlik (5.19)'daki gibi karıştırılmasıyla oluşturulmuştur.

$$u_{i,j}(t) = \begin{cases} v_{i,j}(t), & \text{if } rand [0,1] \leq CR \text{ } j = j_{rand}, \\ x_{i,j}(t), & \text{değil ise} \end{cases} \quad (5.19)$$

Seçimde, en yüksek uygunluk derecesine sahip kromozom, karşılaştırma  $X_i(t)$  ve deneme vektörü  $U_i(t)$  ile ilgili olarak Eşitlik (5.20)'de verildiği gibi bir sonraki nesle aktarılır.

$$X_i(t+1) = \begin{cases} U_i(t), & \text{if } f(U_i(t)) \leq f(X_i(t)), \\ X_i(t), & \text{değil ise} \end{cases} \quad (5.20)$$

### 5.5.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu

Parçacıkların besin araması, bir optimizasyon problemi için arama çözümü olarak benzetilir [86]. Parçacıkların uygunluk değeri, yiyeceğe olan uzaklığını ifade eder. Ana operatörler parçacığın hızı ( $hiz_i$ ) ve konumu ( $kon_i$ )'dur.  $i$  parçacığının hızı aşağıdaki gibi güncellenmiştir;

$$hiz_i^{(t+1)} = whiz_i^{(t+1)} + c_1 ran_1 (pbest_i - kon_i^{(t)}) + c_2 ran_2 (gbest - kon_i^{(t)}) \quad (5.21)$$

$pbest = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iD})$  önceki en iyi çözüm ve  $gbest$  hafızadaki en iyi global çözümdür.  $t$  güncel çözümün numarası,  $ran_1, ran_2$  [0, 1] arasında uniform dağılmış değerler,  $w$  atıl ağırlık faktörü,  $c_1, c_2$  hızlandırma sabitleridir. Parçacıkların konumu, önceki konumu ve mevcut hızı aşağıdaki gibi toplamak üzere güncellenir;

$$kon_i^{t+1} = kon_i^t + hiz_i^{t+1} \quad (5.22)$$

### 5.5.4 Yapay Arı Kolonisi Algoritması

Bir arı kolonisi üç grup arıdan oluşur; işçi, gözcü ve kaşif arı [87]. İşçi arı, besin kaynağın önceden bulmuştur ve kaynağın kalitesini gözcü arılarla paylaşır. Gözcü arılar kaynakların nektar kalitesini göz önüne alarak gıda kaynaklarını seçerler. Kaşif arılar yeni yiyecek kaynaklarını keşfetmek için rastgele dağılırlar.

Yeni gıda kaynakları üretmek: YAK'ın yeni çözüm üretme operatörüdür. Yeni gıda kaynaklarına karar vermek için komşuluk ilkesi arı tarafından göz önünde bulundurulur. Kaliteli gıda kaynaklarının komşuları aşağıdaki gibi yeni kaynaklar olarak seçilir;

$$kay_{i,j} = x_{i,j} + \phi_{i,j} (x_{i,j} - x_{k,j}) \quad (5.23)$$

$kay_i$  yeni gıda kaynağını temsil eder. Daha kaliteli kaynakların seçilme olasılığı daha yüksektir.

## 5.6 Benzetim Sonuçları

Sezgisel yöntemler kullanılarak dolma/boşalma koordinasyonu optimizasyonu 1000 konuta hizmet sağlayan 33 baralı sisteme uygulanmıştır. Bu sistemin 12.66 kV gerilim ve 100 MVA taban gücüne sahiptir. Konutlar EK-A'da verildiği gibi 33 baraya yük verileri ile orantılı olarak dağıtılmıştır [88]. Konut yükleri içerisinde ısıtma-soğutma cihazları, aydınlatma, priz, su ısıtıcısı, buzdolabı, çamaşır makinesi, çamaşır kurutucusu, bulaşık makinesi ve ocak yer almaktadır. Bölüm-2'de yük eğiliminin oluşturulması ile alakalı detaylı bilgiler verilmiştir. Bu sistemde puant yük değeri 18.00'de 4760 kW olarak gerçekleşmiştir. Dağıtım trafosunda gerilim değeri 1.00 p.u. olarak belirlenmiştir. Baraların minimum ve maksimum gerilim değeri 0.90 p.u. ve 1.00 p.u. olarak seçilmiştir. Sistemin maksimum yük kapasitesi ise 5000 kW olarak belirlenmiştir. EK-A'da verildiği üzere üç farklı ET modeli 33 baralı sisteme rastgele olarak yerleştirilmiştir. Sistemde kullanılan ET'lerin özellikleri Tablo 5.1'de verilmiştir. Bu veriler piyasada bulunan ET'lerin kataloglarından alınmıştır. ET'ler günlük işe gidiş gelişler için kullanılabilir gibi uzun mesafe yolculukları içinde kullanılabilir. Bu çalışmada günlük işe gidiş geliş yapan araçlar göz önünde bulundurulmuş ve ET'ler buna göre seçilmiştir.

ET'ler iş için konutlarından çoğunlukla 07.00-08.00 arasında ayrılırken, 17.00-18.00 arasında da konutlarına dönüş yapmaktadırlar. Bundan dolayı araçların eve geliş ve dönüş saatleri sırasıyla 07.30 ve 17.30'un 1 saatlik varyantları alınarak hesaplanmıştır. Araçların



günlük yolculuk süreleri ise ortalama yolculuk süresi olan 63 km'nin 6 km'lik varyantı alınarak hesaplanmıştır. Bu veriler ile birlikte ET'lerin eve geldiklerinde batarya doluluk oranı Eşitlik (4.2) ile hesaplanmaktadır.

Tablo 5.1 Sistemdeki ET'lerin özellikleri

	EV1	EV2	EV3
ET'lerin sayıları	131	104	165
BEK (kWh)	16.5	17	24
$P_n$	1.9	3.0	3.3
Menzil (mil)	94.4	87.5	139.6

Bataryanın tamamen dolması veya boşalması ömrünü azalttığından batarya kullanıcı tarafından belirlenen  $BDO_n^{min}$  ve  $BDO_n^{mak}$  değerlerine kadar doldurulur veya boşaltılırlar. Bu değerler herbir araç için verilen değerler arasında rastgele belirlenmiştir.  $BDO_n^{mak} = rand[0.9-0.99]$ ,  $BDO_n^{min} = rand[0.3-0.4]$ .

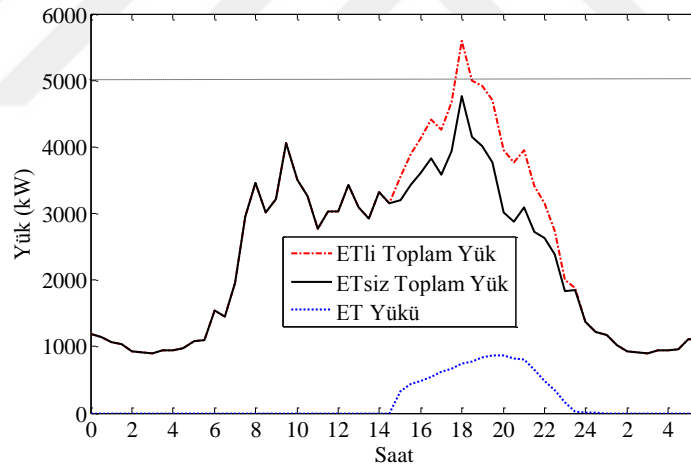
Bu sistemde toplayıcı ertelediği dolun gücü için 1.5 \$/kWh, ET'lerden şebekeye aldığı güç için ise 5 \$/kWh ET sahiplerine ödemek zorunda olduğu kabul edilmiştir.

Yük akışı analizi için G/İ süpürme yöntemi kullanılmaktadır. Hat akımları ve bara gerilim değerleri her bir iterasyon için hesaplanır ve optimum dolma/boşalma koordinasyonunun sağlanması için ET'lerin durumuna karar verilir. Başlangıç olarak bütün baraların değeri 1.00 p.u. olarak seçilir ve baraların gerilim değişimleri her bir iterasyon için hesaplanır. Geri süpürme fazında akımlar bir önceki gerilim değerine göre hesaplanır. İleri süpürme fazında ise bara gerilimleri hatlardaki gerilim düşümleri dikkate alınarak gerilim değerleri güncellenir.

Dağıtım sistemi sınır değerleri aşıldığında dolma/boşalma koordinasyonuna ihtiyaç duyulur. Eğer taşıtların dolma işlemine müdahale edilerek sistem sınır değerleri içerisine döndürülemezse bu kez de boşalma işlemi ve bu işlemin koordinasyonuna ihtiyaç vardır. Dolma/boşalma koordinasyonu işleminin optimizasyonu toplayıcının maliyetlerini ve

kullanıcının bu işlemten etkilenme oranını en aza indirmek için bağlantılı taşıtların dolma/boşalma durumlarına karar verir.

Şekil 5.5'te ET toplam dolum yükleri, ET'li ve ET'siz dağıtım sistemi toplam yük eğilimi verilmiştir. Dolum işlemi araçların konutlarına gelmeye başladığı 14.30'da başlamaktadır ve 24.00 civarında bitmektedir. ET dolum yüklerinin sisteme dahil olması ve kayıplarla birlikte puant yükler 18.00'de 4760 kW'dan 5593 kW'a yükselmiştir. Bu anda toplam ET yükü 748.5 kW olmasına rağmen kayıpların da artması ile puant yükteki artış toplam ET yükünden daha fazla gerçekleşmiştir. 18.30'da sistemdeki toplam yük değeri 4997 kW ile sınır değer olan 5000 kW'ın altında gerçekleşmiştir. Bu andan sonra da sistem toplam yükü sınır değerinin altında olmaya devam etmiştir.

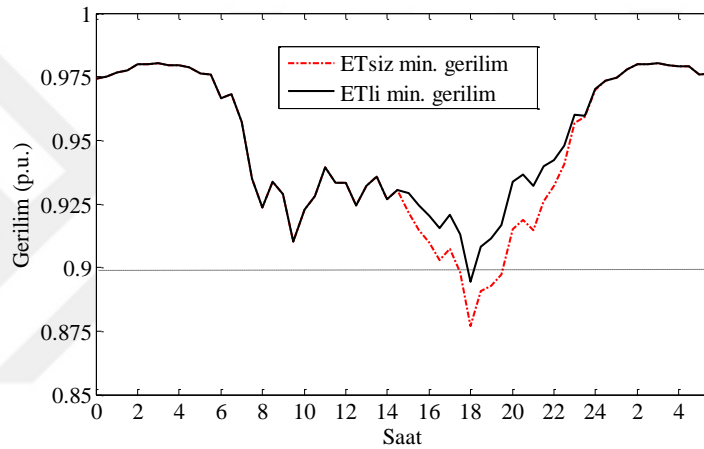


Şekil 5.5 Toplam ET ve sistem gücü

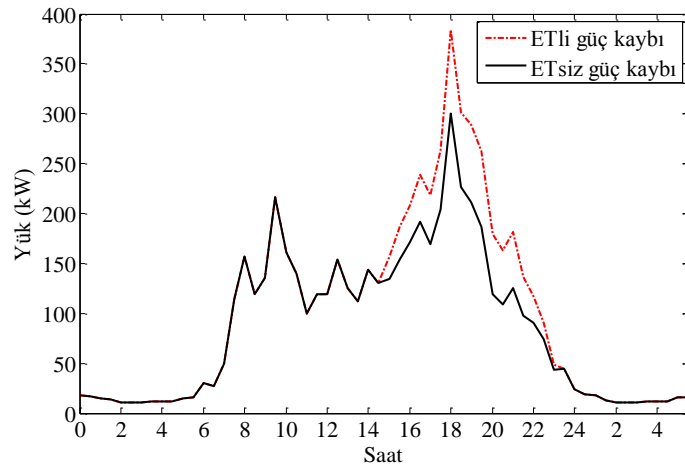
Şekil 5.6'de dağıtım sistemindeki baraların minimum gerilim değerleri verilmiştir. ET'siz dağıtım sisteminde minimum gerilim değeri sadece 18.00'de sınır değer olan 0.90 p.u.'nun altındadır. Bunun anlamı bağlantılı bütün ET'ler dolum işlemlerini durdurulsa dahi sistem kısıt değerler dışında kalmaktadır. Bu durumda boşalma koordinasyonu gerekmektedir. Çünkü dolma koordinasyonu sistem ihtiyaçlarını karşılamak için yeterli olmamıştır. Diğer taraftan sisteme ET'ler kontrolsüz bir şekilde dolum işlemi gerçekleştirdiğinde 17.30-19.30 arasında minimum bara gerilimleri sınır değerinin altına düşmektedir. 18.00'de boşalma

koordinasyonu gerekirken, bu zaman aralığındaki diğer zamanlarda ise dolun koordinasyonu gerekmektedir.

Şekil 5.7'de, ET'in entegrasyonu ile birlikte yüksek düzeyde artan toplam aktif güç kayıpları verilmiştir. Puant zamandaki toplam aktif güç kayıpları 300 kW'dan 383 kW'a yükselmektedir.



Şekil 5.6 Baraların minimum gerilim değerleri



Şekil 5.7 Sistemdeki toplam aktif güç kayıpları

Bu bölümde dolma/boşalma koordinasyonu GA, DGA, PSO ve YAK sezgisel algoritmaları kullanılarak optimize edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bütün algoritmalar için

popülasyon sayısı 20, iterasyon sayısı ise 100 olarak seçilmiştir. Denemeler sonucunda her bir algoritmanın en iyi sonuç veren operatörleri tespit edilmiştir ve benzetim çalışmalarında bu değerler kullanılmıştır;

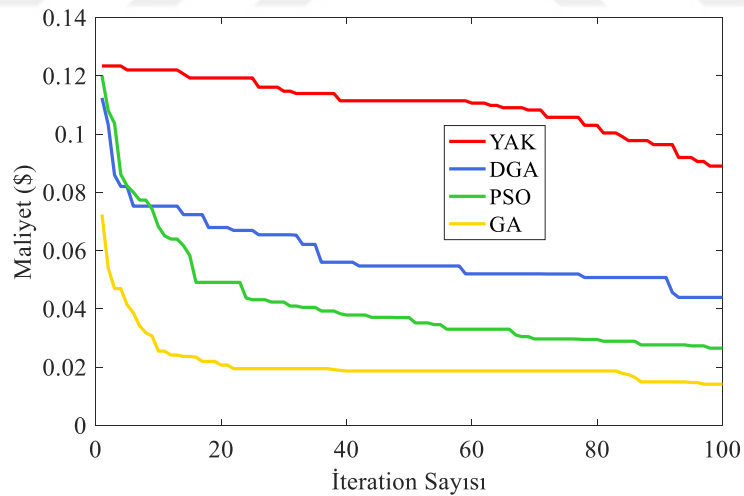
GA: [Çaprazlama, Mutasyon, Seçim] = [Dağılık, Kısıtlı, Rulet],

DGA: [  $F$  ,  $CR$  ] = [0.6, 0.4],

PSO: [  $w$  ,  $c1$  ,  $c2$  ] = [0.5, 1.2, 1.5],

ABC: Limit= [100].

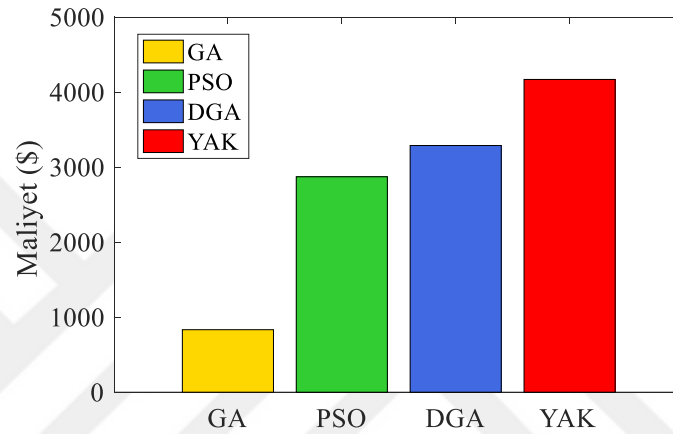
Şekil 5.8’de 17.30’da için gerçekleştirilen yakınsama eğrileri verilmiştir. Bu saatte şebeke yükü ve toplam ET yükü bütün algoritmalar için aynıdır. Koordinasyonu maliyetinde GA 0.014\$ ile en iyi sonucu ulaşmıştır. GA’nın başlangıç değeri de diğer algoritmalara göre daha iyidir. PSO, DGA ve YAK algoritmaları başlangıç değerleri hemen hemen aynı olmasına karşın YAK 0.089\$ ile yüksek başlangıç değerine sahiptir.



Şekil 5.8 17.30 için koordinasyon maliyeti yakınsama eğrileri

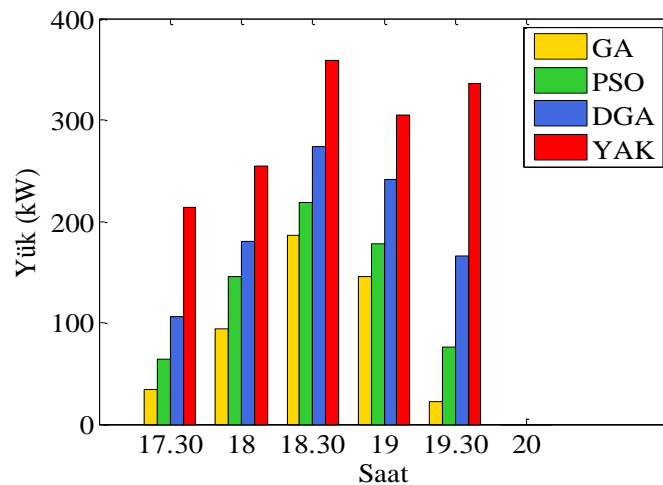
Şekil 5.9’da sezgisel algoritmalar ile gerçekleştirilen dolma/boşalma koordinasyonu optimizasyon işleminin günlük maliyetler verilmiştir. Her bir algoritma 17.30-19.30 arasında dolma/boşalma koordinasyonu optimizasyonu işlemini gerçekleştirmektedir. 20.00’de ise dolma/boşalma koordinasyonu işlemine gerek kalmamıştır. Koordinasyon sürecinin günlük maliyeti GA, PSO, DGA ve YAK’ı kullanarak sırasıyla 833.10\$,

2871.90\$, 3288.30\$, 4169.10\$'dur. Dolma/boşalma koordinasyonunda seçilen ET'ye göre maliyet değişmektedir. En doğru ET'lerin seçilmesi ile bu işlemin toplayıcı için maliyeti düşerken, bu işlemde etkilenen ET sayısı da minimize edilmiş olur. Sonuçlardan görüldüğü üzere en düşük günlük maliyet GA kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.9 Dolma boşalma koordinasyonu günlük toplam maliyeti

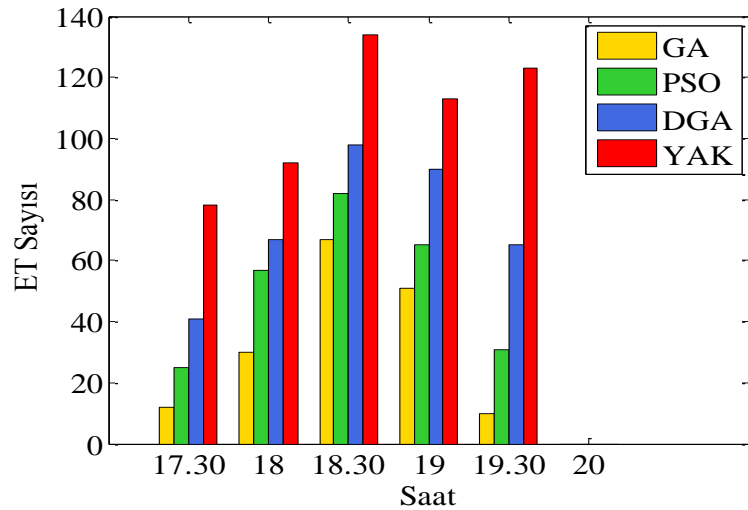
Koordinasyon süreci toplayıcı için bir maliyet yaratırken, aynı zamanda ET sahiplerini boşalma işleminden veya dolma işleminin ertelenmesinden dolayı olumsuz etkilemektedir. Şekil 5.10'da ertelenen dolun yükleri veya taşıttan şebekeye aktarılan yük miktarları gösterilmektedir.



Şekil 5.10 Ertelenen veya şebekeye aktarılan güç miktarı

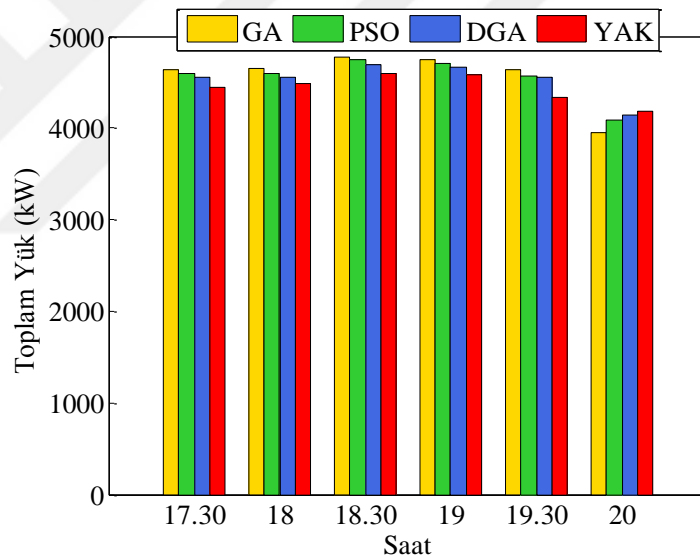
T→Ş ile taşıttan şebekeye yük verme işleminin yapıldığı saat kutu içinde gösterilmektedir. 18.00'de T→Ş boşalma işlemi gerçekleşmektedir ve GA, PSO, DGA ve YAK'ı kullanarak taşıtlardan şebekeye verilen toplam güçler sırasıyla 93.5 kW, 146.1 kW, 180.8 kW, 254.2 kW'tır. GA ile ertelenen dolunm gücü daha az olduğu için bataryaları erken dolan araçların sayısı daha fazladır. Ayrıca, GA en iyi yakınsama performansına sahiptir. Dolayısıyla 19.30'da GA, PSO, DGA ve YAK kullanılarak ertelenen toplam dolunm yükleri sırasıyla 22.6 kW, 76.1 kW, 166.3 kW, 336.1 kW'tır. 20.00'de ertelenen dolunm gücü veya şebekeye aktarılan güç yoktur. Maksimum doluluk oranına ulaşmamış taşıtların tamamı dolunm işlemleri kesintiye uğramadan devam etmektedirler.

Dolma/boşalma koordinasyonu işleminden etkilenen ET sayısı ise Şekil 5.11'de gösterilmiştir. GA, PSO, DGA ve YAK kullanılarak 17.30'da 12, 25, 41 ve 78 adet ET'nin dolunm işlemi ertelenmektedir ve 18.00'de 30, 57, 67, 92' adet ET'den şebekeye enerji aktarılmaktadır. GA koordinasyonu için seçilen asgari ET sayısını ve koordinasyonu maliyetini sunmaktadır. Algoritmalar arasındaki fark 19.30'da açık bir şekilde görülmektedir. 19.30'da sistem asgari limitlerine döndürmek için koordinasyonu işlemi GA ile 10 taşıt ile gerçekleştirilirken, bu işlem YAK ile 123 adet taşıt kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

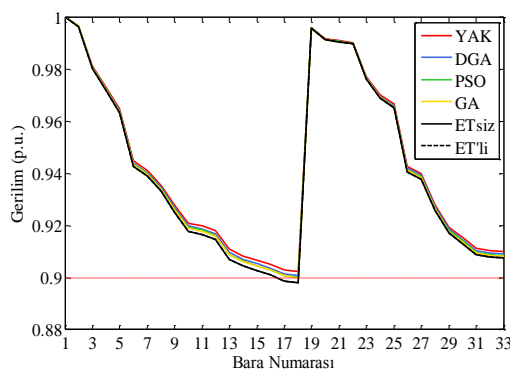


Şekil 5.11 Dolma/boşalma koordinasyonu için kullanılan ET sayısı

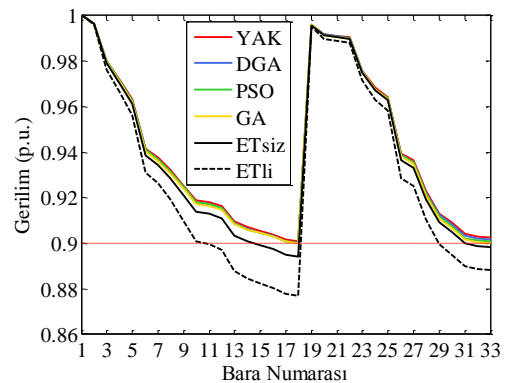
Şekil 5.12'de, dağıtım sisteminin toplam yükleri verilmiştir. GA'nın toplam yükü, sistemin maksimum kapasitesini kullanmaya izin verdiği için, dolma/boşalma koordinasyonu sırasında diğerlerinden yüksektir. 18.00'de dağıtım sisteminin toplam yükü GA, PSO, DGA ve YAK kullanılarak 4652.1 kW, 4595.6 kW, 4558.3 kW, 4479.7 kW olarak gerçekleşmiştir. Bununla birlikte, toplam şebeke yükü 20.00'de GA kullanıldığı durumda diğer algoritmaları kullanıldığı duruma göre daha düşüktür. Bunun sebebi ise GA ile maksimum doluluk oranına ulaşan araç sayısının o anda daha fazla olmasıdır. 20.00'de dağıtım sisteminin toplam yükü GA, PSO, DGA ve YAK kullanılarak 3948.7 kW, 4089.7 kW, 4136.8 kW ve 4184 kW olarak gerçekleşmiştir.



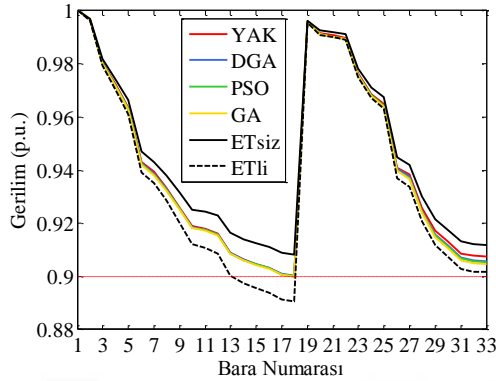
Şekil 5.12 Dağıtım sistemi toplam yükü



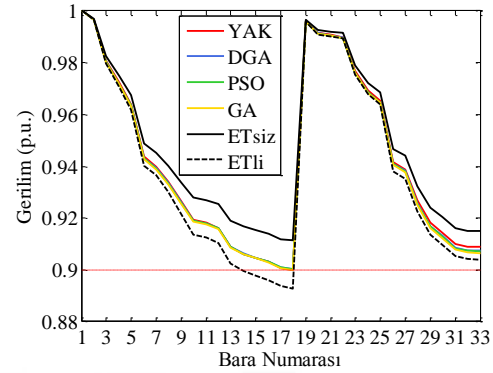
(a)



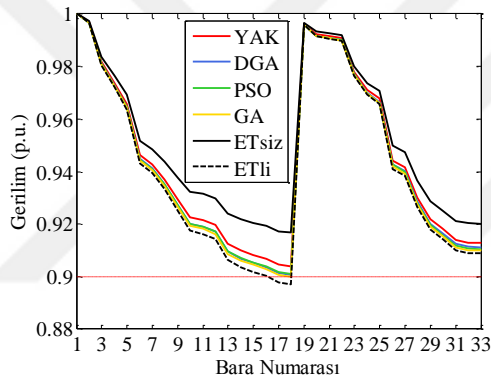
(b)



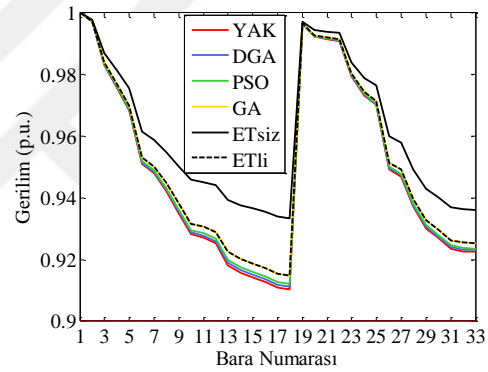
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 5.13 a)17.30 b)18.00 c)18.30 d)19.00 e)19.30 f)20.00 için her bir baranın gerilimi

Her bir baranın gerilim değeri Şekil 5.13 (a, b, c, d, e, f). 'de 17.30, 18.00, 18.30, 19.00, 19.30 ve 20.00 için gösterilmiştir. 5.13 (b)'de görüldüğü gibi sistemde ET'nin olmadığı durumlar için sadece 18.00'de minimum bara gerilim değeri sınır değerinin altına düşmüştür. Bu nedenle 18.00'de T→Ş boşalma işlemi gerçekleşmiştir. 17.30-19.00 arasında ise ET'lerin sisteme dahil olması ile birlikte minimum bara gerilim değeri sınır değerinin altına düşmüştür. Bu nedenle, boşaltma koordinasyonu saat 18.00'de uygulanırken, diğer zamanlarda dolun koordinasyonu uygulanmıştır. 18.00'de minimum gerilim değeri gerilim büyüklüğü 0.87 iken her bir algoritma ile boşaltma koordinasyonu sağlandığında bu değer en az 0.90 p.u. olmaktadır. Şekil. 5.13 (a, c, d, e)'de gösterildiği gibi diğer verilen zamanlarda dolun koordinasyonu ile minimum bara gerilimi 0.90 p.u.'un üstüne çıkmıştır. 20.00'de gerilim ve maksimum güç değerinin limit değerlerin içerisinde olmasında dolayı



dolma/boşalma koordinasyon işlemine gerek kalmamıştır. Taşıtlar dolum işlemine müdahale edilmeksizin maksimum doluluk oranına ulaşmaya devam etmektedir.

Sürekli artmakta olan güç tüketimine puant saatlerde dolum işlemi gerçekleştiren ET'lerin de dahil olması ile birlikte şebeke üzerindeki baskı daha da artmaktadır. Bu, dağıtım şebekesinde aşırı yüklenme, gerilim düşüşleri vb. gibi sorunlara neden olmaktadır. Bu sorunlar, akıllı şebeke altyapısında T→Ş özelliğini kullanarak ET'den dolum işlemi erteleme veya taşıtan şebekeye enerji verme ile giderilebilir. Bununla birlikte, dolma/boşalma işlemi toplayıcı maliyeti ve ET sahiplerinin konforu ve sistem gereksinimleri göz önünde bulundurularak optimize edilmelidir. Bu bölümde, GA, PSO, DGA ve YAK kullanılarak her bir bara gerilimi EN50160 standartlarına yükseltmek ve toplam yükü maksimum şebeke yük kapasitesinin altına düşürmek için optimum dolma/boşalma koordinasyonu ile koordinasyon maliyeti en aza indirgenmiştir. Ayrıca ET'lerin hareket saatinde maksimum doluluk oranının da olmaları sağlanmaktadır. Algoritmalarla yapılan benzetimlerin karşılaştırıldığında, GA, ET sahipleri için maksimum rahatlık ve toplayıcı için minimum maliyet sağlamaktadır. Maliyet en aza indirgenirken, ET sahibini rahatsız etmemek için dolma/boşalma koordinasyonu için seçilen araç sayısını en aza indirilerek, şebeke kapasitesi optimum şekilde kullanılmaktadır. Bu, taşıtların olabildiğince çabuk maksimum doluluk oranına ulaşmasını sağlarken anahtarlanmış ET sayısını en aza indirgemesinden ötürü batarya ömrüne de olumlu katkıları olmaktadır.

## 6. BÖLÜM

### TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

#### 6.1. Tartışma

Elektrik enerjisi sisteminde yük eğiliminin değişmesini sağlayan talep tarafı yüklerinin modellenmesi ve kontrolü son zamanlarda oldukça önem kazanmıştır. Farklı zaman dilimlerindeki güç sistemi analizini gerçekleştirmek ve potansiyel TY işaretinin sisteme etkilerinin incelenmesi için, sadece puant yük zamanlarındaki anlık yük koşullarının değil, çeşitli koşullardaki yükleri doğru bir şekilde gösteren, son kullanıcı yük modellerine ihtiyaç vardır. ET, enerji depolama sistemleri, TY, bu durum için örnek olarak verilebilir. Birinci dereceden modeller, IHİS ve ESI'ların büyük ısı kapasiteleri nedeniyle hassas bir modelleme ortaya koyamayabilirler. Bu çalışmada TY uygulamalarının gerçekçi bir şekilde benzetiminin yapılabilmesi için TY uygulanacak termostatlı kontrollü IHİS ve ESI'nin ikinci derecen fiziksel modelleri kullanılmıştır. Ayrıca, kataloglardan ve genel kullanım verilerinden uyarlanan parametre değerleri ile sistemde bulunan termostatlı yükler 1000 konut için çeşitlendirilmiştir ve bir dağıtım sistemi modeli oluşturulmuştur. Benzetimi gerçekleştirilen yüklerin aktif kontrolü yönteminde fiyat işareti, kontrolü gerçekleştirilen yükü sadece devreye alıp devreden çıkarmak için veya ayar noktasını belirtilen sabit değere ayarlamak için kullanılmamaktadır. Aksine, kullanıcının belirlediği sınır değerler arasında herhangi bir değer sıcaklık ayar değeri olarak ayarlanabilmektedir. Aktif kontrol yöntemi ile kullanıcı, TY katılım oranını kendi tercihlerine göre belirlemektedir. Yüksek katılım oranı, daha fazla finansal tasarruf sağlarken, düşük katılım oranı, daha fazla konfor sağlamaktadır. 1000 konutluk bir dağıtım sistem için sunulan termostatlı yüklerin toplam

yıllık enerji sarfiyatları aktif kontrol uygulanmadığı ve uygulandığı durumlar için sırasıyla 14.590 milyon kWh ve 14.411 milyon kWh'tır. Verilen elektrikli cihazların toplam yıllık enerji bedelleri aktif kontrol öncesinde \$446.780 iken, kontrol mekanizması ile ise \$419.232 'a düşmüştür. Benzetimi yapılan dağıtım sistemi için yıllık toplam tasarruf \$27.548'dir. Bu termostatlı yüklerin toplam enerji maliyetinin %6.1'ine tekabül etmektedir. Akıllı şebeke ve KEYS teknolojisinde iyileştirmelerle teknoloji maliyetlerin düşürülmesi, aktif kontrol mekanizmasının uygulanması ve TY'nin kullanıcının tercihleri doğrultusunda yönetilmesini daha mümkün hale getirecektir.

Sürekli artmakta olan güç tüketimine puant saatlerde dolun işlemi gerçekleştiren ET'lerin de dahil olması ile birlikte şebeke üzerindeki baskı daha da artmaktadır. Bu, dağıtım şebekesinde aşırı yüklenme, gerilim düşümleri vb. gibi sorunlara neden olmaktadır. Bu sorunlar, akıllı şebeke altyapısında T→Ş özelliğini kullanarak ET'den dolun işlemi erteleme veya taşıttan şebekeye enerji aktarımı ile giderilebilir. ET'lerin gelecekteki akıllı şebekenin önemli bir parçası olması, sisteme olumsuz etkilerinin yanı sıra olumlu etkileri olarak sistemi desteklemek için kullanılması da beklenmektedir. ET sahiplerinden birçoğunun evlerine 17.00-18.00 saatleri arasında ulaşması ve bu saatlerin konut dağıtım sistemleri için puant yük zamanlarına karşılık gelmesinden dolayı ET dolun işlemi sisteme büyük bir yük getirmektedir. Dolun işleminin şebekeye olumsuz etkilerinin önlenmesi için dolun işleminin koordine edilmesi gerekmektedir. Şebeke ihtiyaçları açısından dolun koordinasyonunun yetersiz olduğu durumlarda ET'ler T→Ş sistemlerde normal bir yükten farklı olarak şebekeye enerji aktarabilmektedirler. Optimizasyon işlemi gerçekleştirilirken şebekenin durumu ve kısıtları, kullanıcının konforu ve toplayıcının maliyeti göz önünde bulundurulmaktadır. Şebeke gerilim ve toplam yük değerleri şebeke sınırlarını ihlal ettiğinde bazı araçların ya dolun işlemleri dondurulmakta ya da şebekeye enerji vermektedir. Bu işlem için toplayıcı ET sahiplerine belirli ödeme yapmak zorunda kalırken, ET sahiplerinin taşıtlarına müdahale edilerek konfor seviyeleri düşmektedir. Bundan dolayı toplayıcının en az maliyetle bu işlemi gerçekleştireceği ve ET sahibinin en az etkileneceği, şebeke ve ET sınırlarının ihlal edilmediği bir hedef fonksiyon önerilmiştir. Bu gerçekleştirilirken ET'lerin bir dağıtım sistemi içinde benzetimi gerçekleştirilmiş, dolayısıyla sistem kısıtları göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca, ET hareket saatinde

bataryasının tam dolu olması garanti edilmektedir. Hedef fonksiyonun optimize edilmesi için Genetik Algoritma, Diferansiyel Gelişim Algoritması, Parçacık Sürü Algoritması ve Yapay Arı Kolonisi Algoritması kullanılmıştır. Koordinasyon sürecinin günlük maliyeti GA, PSO, DGA ve YAK'ı kullanarak sırasıyla \$833.10, \$2871.90, \$3288.30, \$4169.10'dur. Dolma/boşalma koordinasyonunda ertelenen dolum gücü ve şebekeye aktarılan enerjiye göre maliyet değişmektedir. En doğru ET'lerin seçilmesi ile bu işlemin toplayıcı için maliyeti düşerken, bu işlemde etkilenen ET sayısı da minimize edilmiştir. GA, PSO, DGA ve YAK kullanılarak 17.30'da 12, 25, 41 ve 78 adet ET'nin dolum işlemi ertelenmektedir. Algoritmalar arasındaki fark 19.30'da açık bir şekilde görülmektedir. 19.30 da sistem asgari limitlerine döndürmek için koordinasyon işlemi GA ile 10 taşıt ile gerçekleştirilirken, bu işlem YAK ile 123 adet taşıt kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

## 6.2 Sonuç ve Öneriler

Fiyat stratejileri ve TY programları hem şebeke hem de kullanıcı için önemli kazanımlar sağlamaktadır. Sistemin yoğunluğuna göre elektrik tüketim alışkanlıklarının değiştirilmesi bu yüzden önemlidir. Fakat özellikle dinamik fiyatlandırma stratejilerinde konutlarda güç çeken cihazların insan eliyle kontrolü oldukça zordur. Bunu için tedarikçi işletmelerin akıllı şebekeler konsepti içerisinde şebekeden işaretlerin iletilebileceği bir iletişim altyapısına ve konut içinde kontrolü gerçekleştirecek KEYS'e ihtiyaç vardır. Bu çalışmada termostatlı yükler İHİS ve ESI'nın kontrolü ve ET dolma/boşalma koordinasyonu konut enerji yönetim sistemleri aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Termostatlı yükler aktif kontrol mekanizması ile bir fiyat sinyaline kullanıcı tercihleri doğrultusunda TY oluşturmaktadır. Böylece, kullanıcı açısından konfor tercihleri ihlal edilmeden maliyet düşürülmektedir ve sistemin yoğun olduğu yüksek fiyat anlarında toplam sistem yükü azaltılırken, fiyatın düşük olduğu zaman dilimlerine kaydırılmaktadır. ET'ler ise sistem sınırlarının aşılması durumunda, akıllı şebeke ve konut enerji yönetim sistemleri altyapısında T→Ş özelliğini kullanarak ET'den dolum işlemi erteleme veya taşıtan şebekeye enerji aktarma yolu ile giderilmektedir. Bu işlemin sağlanması için sistemde toplayıcı olarak rol alan yapının maliyetleri minimize edilirken, kullanıcıların da dolma/boşalma koordinasyonundan en az şekilde etkilenmeleri

sağlanmaktadır. Optimizasyon işleminin gerçekleştirilmesi için farklı optimizasyon yöntemleri kullanılmış ve sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır. Algoritmaların tamamı sistem kısıtları ve ET kısıtlarını ihlal etmeksizin toplayıcı maliyetini minimize etmişlerdir. GA dolma/boşalma koordinasyon maliyetinin toplayıcı için en düşük değerde olmasını sağlarken, dolma/boşalma koordinasyonu işlemini en az sayıda ET'nin dolma boşalma işlemine müdahale ederek gerçekleştirmiştir.

Günümüzde daha çok endüstriyel ve ticari müşteriler için uygulanan TY gerekli altyapının oluşturulması ve konut enerji yönetim sistemlerinin sisteme dahil edilmesi ile birlikte konutlarda daha çok uygulanabilecektir. Konutlardaki yükler bir fiyat ya da şebeke güvenlik işaretine göre kontrol edilerek puant saatlerdeki yükler başka bir zamana kaydırılabilecektir. Böylece, şebeke güvenliği sağlanırken elektrik fiyatlarındaki ani değişimlerin de önüne geçilebilecektir. ET sayısının her geçen gün artması şebeke için bir tehdit unsuru gibi görünse de T→Ş yapısı ile birlikte şebeke için bir fırsat olacaktır. TY potansiyelinin değerlendirilebilmesi için teknolojik altyapının geliştirilmesi ve ilgili mevzuatların bu doğrultuda düzenlenmesi gerekmektedir.

Bu tez kapsamında, KEYS kullanılarak aktif kontrolün gerçekleştirildiği ve ET'lerin dolma/boşalma koordinasyonunun optimize edildiği çalışmaları içeren 1 adet SCI-E kapsamında makale ve 3 adet uluslararası bildiri yayınlanmıştır.

## EK-A

Tablo A.1. 33 baralı sistemde konut ve ET'lerin dağılımı

Bara No	Konut Sayısı	ET Sayısı		
		ET1	ET2	ET3
1	0	0	0	0
2	27	0	0	0
3	24	7	3	3
4	32	6	2	6
5	16	0	6	0
6	16	7	0	0
7	54	0	0	0
8	54	0	0	0
9	16	4	4	6
10	16	7	1	5
11	12	2	2	7
12	16	9	5	0
13	16	7	3	3
14	32	21	0	0
15	16	7	3	3
16	16	1	6	7
17	16	7	0	0
18	24	0	7	7
19	24	0	0	14
20	24	0	21	0
21	24	1	2	10
22	24	10	7	3
23	24	6	4	11
24	113	14	9	5
25	113	26	6	3
26	16	7	0	0
27	16	3	5	6
28	16	0	0	0
29	32	3	2	5
30	55	10	6	6
31	41	0	0	0
32	58	0	0	21
33	17	0	0	0

## KAYNAKÇA

1. Zhang, Q., and Li, J., 2012. Demand response in electricity markets: a review, pp. 1003-1011. *9th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, 10-12 May 2012, Florence.
2. U.S. Department of Energy, 2006. Benefits of demand response in electricity markets and recommendations for achieving them: a report to the United State Congress pursuant to section 1252 of the Energy Policy Act of 2005, (Web sayfası: [http://www.oe.energy.gov/DocumentsandMedia/congress\\_1252d.pdf](http://www.oe.energy.gov/DocumentsandMedia/congress_1252d.pdf))
3. Albadi, M. H., El-Saadany, E. F., 2008. A summary of demand response in electricity markets. **Elect. Power Syst. Res.**, **78** (11): 1989-1996.
4. Schweppe, F. C., Caramanis, M. C., Tabors, R. D., Bohn, R. E., 1988. Spot pricing of electricity, Boston: Kluwer Academic Publisher, 166 pp.
5. Paterakisa, N. G., Erdinc, O., Catalão J. P.S., 2017. An overview of Demand Response: Key-elements and international experience. **Renew. Sustain. Energy Rev.**, **69**: 871-891.
6. Pipattanasomporn, M., Kuzlu, M., Rahman, S., Teklu, Y., 2014. Load Profiles of Selected Major Household Appliances and Their Demand Response Opportunities. **IEEE Trans. Smart Grid**, **5** (2): 742-750.
7. Peffer, T., Pritoni, M., Meier, A., Aragon, C., Perry, D., Pritoni, M., 2011. How people use thermostats in homes: A review. **Building and Environment**, **46** (12): 2529-2541.
8. Mayhorn, E. T., Widder, S. H., Parker, S. A., Pratt, R. M., Chassin, F. S., 2015. Evaluation of the demand response performance of large capacity electric water heaters. Pacific Northwest National Laboratory. Richland, WA.
9. Wang, J., Zhang, H., Zhou, Y., Sun, J., Wang, D., 2013. Evaluation of the potential regulation capacity of water heater loads, pp. 103-109, *Int. Conf. on Power Elect. Syst. and App. (PESA)*, 11-13 Dec. 2013, Hong Kong.
10. Heffner, G. C., Goldman, C. A., Moezzi, M. M., 2006. Innovative approaches to verifying demand response of water heater load control. **IEEE Trans. Power Del.**, **21** (1): 388-397.

11. Pourmousavi, S. A., Patrick, S. N., Nehrir, M. H., 2014. Real-time demand response through aggregate electric water heaters for load shifting and balancing wind generation. **IEEE Trans. Smart Grid**, **5** (2): 769-778.
12. Jia, L., Yu, Z., Murphy-Hoye MC, Pratt A, Piccioli EG, Tong L., 2012, Multi-scale stochastic optimization for Home Energy Management. *IEEE 4th Computational Advances in Multi-Sensor Adaptive Processing Workshop*. 13-16 Dec. 2011, San Juan.
13. Du, P., Lu, N., 2011. Appliance Commitment for Household Load Scheduling. **IEEE Trans. Smart Grid** **2**: 411–419.
14. Kuzlu, M., 2014. Score-based intelligent home energy management (HEM) algorithm for demand response applications and impact of HEM operation on customer comfort. **IET Gener. Transm. Distrib.** **9**:627-635.
15. Vivekananthan, C., Mishra, Y., Li, F., 2015. Real-Time Price Based Home Energy Management Scheduler. **IEEE Trans. Power Syst.** **30**: 2149-2159.
16. Pipattanasomporn, M., Kuzlu, M., Rahman, S., 2012. An Algorithm for Intelligent Home Energy Management and Demand Response Analysis, pp. 1-6, *IEEE Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*, 16-20 Jan. 2012, Washington D.C.
17. Yu, Z., Jia, L., Murphy-Hoye, M. C., Pratt, A., Tong, L., 2013. Modeling and Stochastic Control for Home Energy Management. **IEEE Trans. Smart Grid**, **4** (4): 2244-2256.
18. Zhang, D., Li, S., Sun, M., O'Neill, Z., 2016. An Optimal and Learning-Based Demand Response and Home Energy Management System. **IEEE Trans. Smart Grid**, **7** (4): 1790-1801.
19. Cleary, T., Sikes, K., Lin, Z., Sullivan, T., Ward, J., Gross, T., 2010. Plug.in Hybrid Electric Vehicle Market Introduction Study: Final Report, Oak Ridge National Laboratory.
20. Clement-Nyns, K., Haesen, E., Driesen, J., 2010. The impact of charging plug-in hybrid electric vehicles on a residential distribution grid. **IEEE Trans. on Power Syst.**, **25** (1): 371-380.
21. Parks, K., Denholm, P., Markel, T., 2007. Costs and emissions associated with plug-in hybrid electric vehicle charging in the Xcel Energy Colorado Service Territory, Tech. Rep. TP-640-41410, NREL, Batelle, CO.



22. Hadley, S. W., Tsvetkova, A., 2009. Potential impacts of plug-in hybrid electric vehicles on regional power generation. **Electr. J.**, **22** (10): 56-68.
23. Wen, C., Chen, J. C., Teng, J. H., Ting, P., 2012. Decentralized plug-in electric vehicle charging selection algorithm in power systems. **IEEE Trans. Smart Grid**, **3**(4): 1779-1789.
24. Deilami, S., Masoum, A. S., Moses, P. S., Masoum, M. A. S., 2011. Real time coordination of plug-in electric vehicle charging in smart grids to minimize power losses and improve voltage profile. **IEEE Trans. Smart Grid**, **2** (3): 456-467.
25. He, Y., Venkatesh, B., and Guan, L., 2012. Optimal scheduling for charging and discharging of electric vehicles. **IEEE Trans. Smart Grid**, **3** (3):1095-1105.
26. Sortomme, E., Hindi, M. M., Pherson, S. D. J. M., Venkata, S. S., 2011. Coordinated charging of plug-in hybrid electric vehicles to minimize distribution system losses. **IEEE Trans. Smart Grid**, **2** (1): 198-205.
27. Sundstrom, O., Binding, C., 2012. Flexible charging optimization for electric vehicles considering distribution grid constraints. **IEEE Trans. Smart Grid**, **3** (1): 26-37.
28. Taheri, N., Entriken, R., and Ye, Y., 2013. A dynamic algorithm for facilitated charging of plug-in electric vehicles. **IEEE Trans. Smart Grid**, **4** (4): 1772-1779.
29. Wang, S., Han, L., Wang, D., Shahidehpour, M., and Li, Z., 2012. Hierarchical charging management strategy of plug-in hybrid electric vehicles to provide regulation service, pp. 1-6, *IEEE Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe)*, 14-17 Oct. 2012, Berlin.
30. Guille, C., Gross, G., 2009. A conceptual framework for the vehicle-to-grid ( V2G ) implementation. **Energy Policy**, **37** (11): 4379-4390.
31. Yilmaz, M., Krein, P. T., 2013. Review of the impact of vehicle-to-grid technologies on distribution systems and utility interfaces. **IEEE Trans. Power Electron.**, **28** (12): 5673-5689
32. Antúnez, C. S., Franco, J. F., Rider, M. J., Romero, R., 2016. A New Methodology for the Optimal Charging Coordination of Electric Vehicles Considering Vehicle-to-Grid Technology. **IEEE Trans. Sustain. Energy.**, **7** (2): 596-607.

33. Han, S., Han, S., and Sezaki, K., 2011. Estimation of achievable power capacity from plug-in electric vehicles for V2G frequency regulation: Case studies for market participation. **IEEE Trans. Smart Grid**, **2** (4): 632- 641.
34. Kempton, W. and Tomic, J., 2005. Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue. **J. Power Source**, **144** (1): 268-279.
35. Saber, A. Y., Venayagamoorthy, G. K., 2012. Resource scheduling under uncertainty in a smart grid with renewable and plug-in vehicles. **IEEE Syst. J.**, **6** (1): 103-109.
36. Garz as, J. J. E., Armada, A. G., Granados, G. S., 2012. Fair design of plugin electric vehicles aggregator for V2G regulation. **IEEE Trans. Veh.Technol.**, **61** (8): 3406-3419.
37. Singh, M., Thirugnanam, K., Kumar, P., and Kar, I., 2015. Real-time coordination of electric vehicles to support the grid at the distribution substation level. **IEEE Syst J.**, **9** (3): 1000-1010.
38. Liu, H., Hu, Z., Song, Y., and Lin, J., 2013. Decentralized vehicle-to-grid control for primary frequency regulation considering charging demands. **IEEE Trans. Power Syst.**, **28** (3): 3480-3489.
39. White, C. D., Zhang, K. M., 2011. Using vehicle-to-grid technology for frequency regulation and peak-load reduction. **J. Power Sources**, **196** (8): 3972-3980.
40. Wang, Z. and Wang, S., 2013. Grid Power Peak Shaving and Valley Filling Using Vehicle-to-Grid Systems. **IEEE Trans. Power Del.**, **28** (3): 1822-1829.
41. Brenna, M., Foiadelli, F., Longo, M., 2014. The Exploitation of Vehicle-to-Grid Function for Power Quality Improvement in a Smart Grid. **IEEE Intell. Transp. Syst.** **15** (5): 2169-2177.
42. Celli, G., Ghiani, E., Pilo, F., Pisano, G., Soma, G. G., 2012. Particle Swarm Optimization for Minimizing the Burden of Electric Vehicles in Active Distribution Networks, *PES General Meeting*, pp. 1-7. 22-26 July 2012, San Diego, USA.
43. Xu, S., Feng, D., Yan, Z., Zhang, L., Li, N., Jing, L., Wang, J., 2013. Ant-Based Swarm Algorithm for Charging Coordination of Electric Vehicles, **Int. J. Dist. Sensor Network**, **9** (5):1-13.

44. Alonso, M., Amaris, H., Germain, J. G., Galan, J. M., 2014. Optimal Charging Scheduling of Electric Vehicles in Smart Grids by Heuristic Algorithms, **Energies**, **7** (4):2449-2475.
45. Jin, C., Tang, J., Ghosh, P., 2013. Optimizing electric vehicle charging with energy storage in the electricity market. **IEEE Trans Smart Grid**, **4** (1): 311-320.
46. Rahman, I., Vasant, P., Singh, B. S. M., Abdullah-Al-Wadud, M., 2015. Hybrid Swarm Intelligence-Based Optimization for Charging Plug-in Hybrid Electric Vehicle. *Intelligent Information and Database Systems. ACIIDS* , 23-25 March 2015, Bali, Indonesia.
47. Shao, S., Pipattanasomporn, M., and Rahman, S., 2009. Challenges of PHEV penetration to the residential distribution network. *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meeting*, pp. 1–8. 26-30 July 2009 Calgary, Canada.
48. Kersting, W. H., 2007. *Distribution System Modeling and Analysis*, , 2nd ed. New York: CRC, pp. 65
49. Schneider, K. and Fuller, J., 2010. Detailed end-use models for distribution system analysis, pp. 1-7, *IEEE PES General Meeting*, 25-29 July 2010, Providence.
50. Kosterev, D., Meklin, A., Undrill, J., Lesieutre, B., Price, W., Chassin, D., Bravo, P., Yang S., 2008. Load modeling in power system studies: WECC progress update, pp. 1-8, *IEEE PES General Meeting*, 20-24 July 2008, Pittsburgh.
51. Schneider, K. P., Fuller, J. C., Chassin, D. P., 2011. Multi-State Load Models For Distribution System Analysis. **IEEE Trans. Power Syst.**, **26** (4): 2425-2433.
52. Taylor, Z. T., Gowri, K., Katipamula, S., 2008. GridLAB-D Technical Support Document: Residential End-Use Module Version 1 .0. Pacific Northwest National Labrotary, Richland, WA.
53. Doğan A., Alçı M., 2017. Active Control of Electric Water Heater in Smart Grid, *First International Conference on Energy Systems Engineering*, pp.1-6, 2-4 Kasım 2017, Karabük.
54. Fuller, J. C., Vyakaranam, B., Prakash Kumar, N., Leistriz, S. M., Parker, G. B. 2012. Modeling of GE Appliances in GridLAB-D: Peak Demand Reduction, PNNL, WA, Tech. Rep. PNNL-21358.
55. Peterson, F. J., Patton, J.E., Miller, M. E., Gillman, R.A. Warwick, W.M. Sandusky, W.F., 1993. End-Use Load and Consumer Assessment Program: motivation and overview. **Energy and Buildings**, **19** (3): 159-166.

56. Chassin, D. P., Schneider, K., Gerkenmeyer, C., 2008. GridLAB-D: An open-source power systems modeling and simulation environment, pp. 1-5, *IEEE 2008 PES Trans. and Dist. Conf. and Expo.*, 21-24 April 2008, Chicago.
57. Hudson, N., 2015. Size Matters. Housing Market Notes. (Web sayfası: [http://www.savills.co.uk/research\\_articles/141285/188035-0](http://www.savills.co.uk/research_articles/141285/188035-0))
58. YORK Commercial & Industrial HVAC Catalogue. (Web sayfası: [http://www.johnsoncontrols.com/l\\_nl//media/jci/be/netherlands/products/files/be\\_york\\_chillers\\_and\\_heatpumps\\_en\\_2016.pdf](http://www.johnsoncontrols.com/l_nl//media/jci/be/netherlands/products/files/be_york_chillers_and_heatpumps_en_2016.pdf))
59. Dogan, A, Yalcinoz, T, Alci, M, 2016. A Comparison of Heuristic Methods for Optimum Power Flow Considering Valve Point Effect. **Elektronika Ir Elektrotechnika**, **22** (5): 32-37.
60. Bahçeci, S., Doğan, A., Yalçınöz, T., Daldaban, F., 2017. Energy storage system location selection for smart grid applications on distribution networks. **Electrical Engineering**, **99** (1): 357-366.
61. U.S. Energy Information Administration, 2013. 2009 Residential Energy Consumption Survey (RECS), (Web sayfası: <http://www.eia.gov/consumption/residential>), (Erişim tarihi: Temmuz 2017).
62. U.S. Department of Energy, Buildings Energy Data Book, 2012. (Web sayfası: <http://buildingsdatabook.eren.doe.gov>), (Erişim tarihi: Temmuz 2017).
63. Mahmooda, A., Javaid, N., Razzaq, S., 2015. A review of wireless communications for smart grid. **Renew Sust. Energ Rev.**, **41**: 248-260.
64. Chen, C., Nagananda, K. G., Xiong, G., Kishore, S., Snyder, L.V., 2013. A Communication-Based Appliance Scheduling Scheme for Consumer-Premise Energy Management Systems. **IEEE Trans. Smart Grid**, **4** (1): 56-65.
65. Son Y. S., Pulkkinen, P., Moon, K. D. and Kim, C, 2010. Home energy management system based on power line communication, **IEEE Transactions on Consumer Electronics**, **56** (3):1380-1386.
66. Hammerstrom, D. J., et. al., 2007. Pacific Northwest GridWise Testbed Demonstration Projects: Part I. Olympic Peninsula Project, PNNL-17167, PNNL, Richland, WA.
67. Schneider, K. P., Fuller, J. C., Chassin, D. P., 2011. Analysis of Distribution Level Residential Demand Response, pp. 1-6, *IEEE Power Syst. Conf. and Expo. (PSCE)*, 20-23 March 2011, Phoenix.

68. Schneider, K. P., Chassin, D. P., 2011. Analysis of Residential Demand Response and Double-Auction Markets, pp. 1-6, *IEEE Power and Energy Soc. Gen. Meet.*, 24-29 July 2011, Detroit.
69. ComEd Residential Real-Time Pricing to Hourly Pricing Program. (Web sayfası: <https://hourlypricing.comed.com/live-prices/>), (Erişim tarihi: Temmuz 2017).
70. Duvall, M. Knipping, E. and Alexander, M., 2007. Environmental Assessment of Plug-In Hybrid Electric Vehicles. *Elect. Pow. Res. Ins.*, NJ. (Web sayfası: [http://energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/EPRI-NRDC\\_PHEV\\_GHG\\_report.pdf](http://energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/EPRI-NRDC_PHEV_GHG_report.pdf))
71. I. E. A. International and E. Agency, Global EV Outlook 2016 Electric Vehicles Initiative, Iea, 2016.
72. Taylor, J., Maitra, A., Alexander, M., Brooks, D., Duvall, M., 2009. Evaluation of the impact of plug-in electric vehicle loading on distribution system operations, pp. 1-6, *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.* 26–30 July 2009, Calgary.
73. National Household Travel Survey. 2009; (Web sayfası: <http://nhts.ornl.gov/>).
74. Krumm, J., 2012. How People Use Their Vehicles: Statistics from the 2009 National Household Travel Survey, pp.1–12, *SAE 2012 World Congr. Exhib.*, 24-26 April, 2012, Detroit.
75. Dogan, A., Kuzlu, M., Pipattanasomporn, M., Rahman, S., and Yalcinoz, T., 2015. Impact of EV Charging Strategies on Peak Demand Reduction and Load Factor Improvement, pp.3-7. *IEEE Electrical and Electronics Engineering Conference (ELECO)*, 26-28 Nov 2015, Bursa.
76. Dogan, A., Alci, M., 2015, Elektrikli Taşıt Şarj Yüklerinin Şebekeye Etkilerinin Azaltılması Üzerine Bir İnceleme, pp. 1-5, *World Electro Mobility Conference (WELMO'17)*, 4-5 May 2015, İzmir.
77. Tikka, V., Lassila, J., Haakana, J., Partanen, J., 2016. Electric vehicle smart charging aims for CO2 emission reduction?, pp. 1-6, *PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe*, 9-12 Oct 2016. Ljubljana.
78. Stephan, C. H. and Sullivan, J., 2008. Environmental and energy implications of plug-in hybrid electric vehicles, **Environ. Sci. Technol.**, **42** (4): 1185-1190.
79. EN 50160, voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems, 1999.

80. Gong, Q., Mohler, S. M., Marano, V., and Rizzoni, G., 2012. Study of PEV charging on residential distribution transformer life, **IEEE Trans. Smart Grid**, **3** (1): 404-412.
81. Yang, Z., Li, K. , Foley, A., 2015. Computational scheduling methods for integrating plug-in electric vehicles with power systems: A review, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, **51** (28): 396-416.
82. Doğan, A, Bahçeci, S., Daldaban, F., Alçı, M., 2018. Optimization of Charge/Discharge Coordination to Satisfy Network Requirements Using Heuristic Algorithms in Vehicle-to-Grid Concept, **Advances in Electrical and Computer Engineering**. **18** (1):121-130.
83. Bompard, E., Carpaneto, E., Chicco, G., and Napoli R., 2000. Convergence of the backward / forward sweep method for the load-flow analysis of radial distribution systems. **Int. J. of Elect. Power & Energy Syst.**, **22** (7): 521-530.
84. Goldberg, D. E., 1989. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Reading: Addison-Wesley Publishing Company, 62 pp.
85. Price, K. V., 1996. Differential evolution: a fast and simple numerical optimizer, pp. 524–527. *Fuzzy Inf. Process. Soc. Conf. North Am.*, 19-22 June 1996, Berkeley.
86. Kennedy, J., Eberhart, R., 1995. Particle swarm optimization, pp. 1942–1948, *IEEE Int. Conf Neural Networks*, 27 Nov.-1 Dec. 1995, Perth.
87. Karaboga, D., 2005. An idea based on honey bee swarm for numerical optimization. Technical Report TR06, Erciyes University, Eng. Faculty, Computer Engineering Department, Oct. 2005. (Web sayfası: [http://mf.erciyes.edu.tr/abc/pub/tr06\\_2005.pdf](http://mf.erciyes.edu.tr/abc/pub/tr06_2005.pdf)).
88. Ranjan, R., Das, D, 2003. Simple and efficient computer algorithm to solve radial distribution networks. **Electr Power Compon Syst.**, **31**(1): 95-107.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Ahmet DOĞAN  
 Uyuğu: Türkiye (TC)  
 Doğum Tarihi ve Yeri: 30 Ekim 1986, Kayseri  
 Medeni Durumu: Evli  
 Tel: +90 536 853 69 29  
 email: muhadogan86@gmail.com

### EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	ERÜ Fen Bilimleri Enstitüsü	2011
Lisans	Yıldız Teknik Üniversitesi	2009
Lise	N. M. Küçükçalık A. L., Kayseri	2004

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2010- 2017	Erciyes Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2009–2010	Anıt Mühendislik	Elektrik Mühendisi

### YURTDIŞI EĞİTİM/ARAŞTIRMA

Erasmus Bursu,	Trieste Üniversitesi, İtalya	2008 (6 ay)
Tübitak Araştırma Bursu,	Virginia Tech., ABD	2014 (1 yıl)

### YABANCI DİL

İngilizce.

### SCI, SCI-E İNDEKSLERİNE GİREN DERGİLERDE YAYINLANAN MAKALELER

- Doğan, A., Bahçeci, S., Daldaban, F., Alçı, M., 2018. Optimization of Charge/Discharge Coordination to Satisfy Network Requirements Using Heuristic Algorithms in Vehicle-to-Grid Concept, Advances in Electrical and Computer Engineering. 18 (1):121-130.
- Dogan, A., Yalcinoz, T., Alci, M, 2016. A Comparison of Heuristic Methods for Optimum Power Flow Considering Valve Point Effect. Elektronika Ir Elektrotechnika, 22 (5): 32-37.
- Bahçeci, S., Doğan, A., Yalçınöz, T., Daldaban, F., 2017. Energy storage system location selection for smart grid applications on distribution networks. Electrical Engineering, 99 (1): 357-366.

### HAKEMLİ KONGRE / SEMPOZYUMLARIN BİLDİRİ KİTAPLARINDA YER ALAN YAYINLAR

- Doğan A., Alçı M., "Active Control of Electric Water Heater in Smart Grid", First International Conference on Energy Systems Engineering, pp.1-6, First International Conference on Energy Systems Engineering, , 2-4 Kasım 2017, Karabük.
- Khan E.A., Doğan A., Alçı M., "Effects of Temperature, Irradiance and Connection Type on Photovoltaic System Efficiency, pp.1-6, First International Conference on Energy Systems Engineering, , 2-4 Kasım 2017, Karabük.

3. Dogan, A., Alçı, M., Elektrikli Taşıt Şarj Yüklerinin Şebekeye Etkilerinin Azaltılması Üzerine Bir İnceleme, pp. 1-5, World Electro Mobility Conference (WELMO'17), 4-5 May 2017, İzmir.
4. Doğan, A., Bahçeci, S., Yalcinoz, T., Classical and DG Connected Distribution System Load Flow Using F/B Sweep Method for Various Loading Conditions, pp.667-671, 8th Ege Energy Symposium and Exhibition, 11-13 May 2016, Afyon.
5. Doğan, A., Alçı, M., Bir Konutta Fotovoltaik Sistem ve Yük Takipli Enerji Depolama Sistemi Uygulamasının Yük Profiline ve Enerji Tüketim Bedeline Etkisi", ss.106-109, Elektrik - Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı, 1-3 Aralık 2016, Bursa.
6. Dogan, A., Kuzlu, M., Pipattanasomporn, M., Rahman, S., and Yalcinoz, T., 2015. Impact of EV Charging Strategies on Peak Demand Reduction and Load Factor Improvement, pp.3-7. IEEE Electrical and Electronics Engineering Conference (ELECO), 26-28 Nov 2015, Bursa.
7. Doğan, A., Alçı, M., Optimum Güç Akışının Yapay Arı Kolonisi ile Sağlanması, ss. 56-60, Fırat Üniv. Elektrik-Elektronik Bilgisayar Semp, 5-7 Ekim 2011, Elazığ.
8. Doğan, A., Alçı, M., Verimi Artırmak için Güç Sistemlerinde Kullanılan Optimizasyon Metotları ve Uygulama Alanları, ss.92-96, IV. Enerji Verimliliği Ve Kalitesi Sempozyumu, 12-4 May 2011, Kocaeli.