

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**AKILLI ŞEBEKELERDE FOTOVOLTAİK GÜÇ ÜRETİM SİSTEMİNE SAHİP  
KONUTLAR İÇİN AKILLI TALEP YÖNETİM SİSTEMİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Elektrik Yük. Müh. Recep ÇAKMAK**

**HAZİRAN 2018  
TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**AKILLI ŞEBEKELERDE FOTOVOLTAİK GÜÇ ÜRETİM SİSTEMİNE SAHİP  
KONUTLAR İÇİN AKILLI TALEP YÖNETİM SİSTEMİ**

**Elektrik Yüksek Mühendisi Recep ÇAKMAK**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
DOKTOR (ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ)  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 / 05 / 2018**

**Tezin Savunma Tarihi : 11 / 06 / 2018**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ**

**Trabzon 2018**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında  
Recep ÇAKMAK Tarafından Hazırlanan**

**AKILLI ŞEBEKELERDE FOTOVOLTAİK GÜÇ ÜRETİM SİSTEMİNE SAHİP  
KONUTLAR İÇİN AKILLI TALEP YÖNETİM SİSTEMİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 22 /05 /2018 gün ve 1754 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
DOKTORA TEZİ  
olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

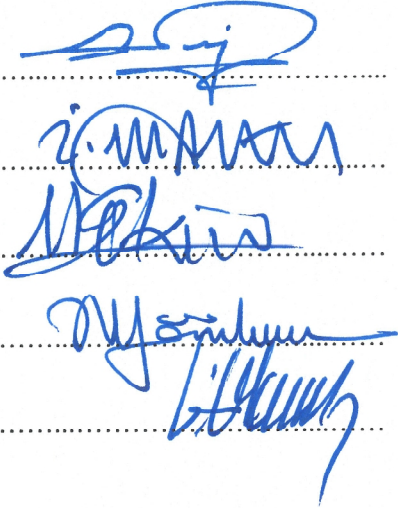
**Başkan : Prof. Dr. Mehmet CEBECİ**

**Üye : Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ**

**Üye : Prof. Dr. Murat EKİNCİ**

**Üye : Doç Dr. Nuran YÖRÜKEREN**

**Üye : Doç Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ**



**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Çağımızın en önemli ihtiyaçlarından biri olan elektriği tüketicilerin kullanımına sunan elektrik şebekelerinin, sürdürülebilir, verimli ve kararlı çalışması için geliştirilme aşamasında olan akıllı elektrik şebekelerinde talep tarafının yönetimi (TTY) önemli bir konudur. Bu çalışmada TTY için yenilikçi ve farklı bir bakış açısıyla çözümler önerilerek, benzetim ve prototip çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Bu tezin içerğine zenginlik katan anket çalışmasının hazırlık ve değerlendirme aşamalarında desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Ekrem CENGİZ'e, Doç. Dr. Salih YILDIZ'a ve Dr. Ersin DİKER'e teşekkür ederim. Tezin test ve ölçüm prototipinin gerçekleştirilmesindeki katkılarından dolayı Teknisyen Yüksel SALMAN'a ve tasarladığım ölçme devrelerinin yapımındaki özverili katkılarından dolayı Elektrik Öğretmeni Ayhan DÜNDAR'a teşekkür ederim. Bu doktora tezi, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından EEEAG-115E943 numaralı "Şebeke Bağlantılı FV Güneş Enerji Sistemine Sahip Konutlarda Akıllı Güç Tüketimi ve Enerji Yönetimi" projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamındaki finansal desteklerinden dolayı ve Yurt İçi Doktora Bursu desteğinden ötürü TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Akademisyen, alışlagelmiş olanı irdeleyen ve daha iyisini yenilikçi bir bakış açısıyla geliştirmek için çaba sarfeden bilim insanıdır. Doktora eğitimini tamamlamak, bir akademisyenin hayatında önemli bir aşamadır ve bir son değil, bir başlangıçtır. Bu başlangıç noktasına ulaşmamda, bilgi ve tecrübesiyle çalışmalarına yön veren değerli Hocam, Sayın Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ'a çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca destekleriyle ve dualarıyla yanımda olan muhterem anneme ve babama şükranlarımı sunarım. Tez çalışmalarımı gerçekleştirmek için Trabzon'a yaptığım seyahatler sırasında yalnız bıraktığım, doktora tezi çalışmalarım sırasında ve her zaman bana destek olan hayat arkadaşım eşime çok teşekkür ederim. Ayrıca, bu çalışma sırasında bana sabırla katlanan ve enerji veren, evimizin neşesi, biricik kızıma teşekkür ederim. Bu tezi kızım Zeynep Nurcan'ın şahsında Türkiye'nin aydınlık geleceğine ithaf ediyorum. Bilime katkı, insanlığa faydalar getirmesi temennisiyle...

Recep ÇAKMAK  
Trabzon 2018

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “AKILLI ŞEBEKELERDE FOTOVOLTAİK GÜÇ ÜRETİM SİSTEMİNE SAHİP KONUTLAR İÇİN AKILLI TALEP YÖNETİM SİSTEMİ” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdığimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 11/06/2018

Recep ÇAKMAK

# İÇİNDEKİLER

|  | <u>Sayfa No:</u> |
|--|------------------|
| ÖNSÖZ .....  | III              |
| TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....  | IV               |
| İÇİNDEKİLER.....   | V                |
| ÖZET .....   | VIII             |
| SUMMARY .....  | IX               |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....  | X                |
| TABLolar DİZİNİ.....   | XIV              |
| KISALTMALAR DİZİNİ .....   | XVII             |
| 1. GENEL BİLGİLER.....   | 1                |
| 1.1. Giriş.....  | 1                |
| 1.2. Literatür Araştırması .....   | 5                |
| 1.3. Tezin Amacı, Konusu ve Özgünlüğü .....  | 15               |
| 1.4. Akıllı Şebekeler.....   | 16               |
| 1.5. Akıllı Şebekelerde Talep Tarafının Yönetimi .....   | 21               |
| 1.6. Sezgisel Algoritmalar ve Eniyileme.....   | 24               |
| 1.6.1. Literatürde Sıklıkla Rastlanan Sezgisel Algoritmalar .....  | 27               |
| 1.6.2. Guguk Kuşu Arama (GKA) Algoritması .....  | 28               |
| 1.6.3. Birlikte Yaşayan Organizmalar Arama (BYOA) Algoritması .....  | 30               |
| 1.7. Veri Toplama Aracı Olarak Anketler .....  | 34               |
| 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....  | 35               |
| 2.1. Konutlarda Kullanılan Yüklerin Niteliksel ve Niceliksel Özellikleri .....                                     | 35               |
| 2.2. Bir Konut Bölgesinin Tüketim Eğrilerinin İncelenmesi .....  | 42               |
| 2.3. Dağıtım Hattındaki Kayıpları Azaltmak için Önerilen Talep Yönetimi Yaklaşımı.....                             | 46               |
| 2.3.1. Dağıtım Hattında Yüke Bağlı Oluşan Kayıplar .....   | 47               |
| 2.3.2. Dağıtım Hattında Dengeli Tüketim Oluşturmayı Hedefleyen Verimlilik Odaklı Akıllı Talep Yönetim Sistemi..... | 51               |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 2.3.3. | Dengeyi Kolla Felsefesi .....  | 56  |
| 2.3.4. | Kaydır-Kullan Yöntemi.....   | 56  |
| 2.3.5. | Durdur-Kullan Yöntemi .....  | 59  |
| 2.4.   | Sezgisel Optimizasyon Tabanlı Akıllı Talep Yönetim Sistemi.....                  | 60  |
| 2.5.   | Net Tüketim Eğrisine Göre Belirlenen Yeni Bir Dinamik Fiyatlandırma Sistemi..... | 62  |
| 2.6.   | Yeni Bir Faturalandırma Yaklaşımı: Cihaz Seviyesinde Faturalandırma .....        | 64  |
| 2.6.1. | Cihaz Seviyesinde Faturalandırma Stratejisi-1 .....                              | 66  |
| 2.6.2. | Cihaz Seviyesinde Faturalandırma Stratejisi-2 .....                              | 69  |
| 2.6.3. | Cihaz Seviyesinde Faturalandırma Stratejisi-3 .....                              | 69  |
| 2.7.   | Test ve Ölçüm Prototipinin Tasarımı ve Bileşenleri .....                         | 70  |
| 2.7.1. | Üretim Birimi ve Bileşenleri .....   | 74  |
| 2.7.2. | Benzetilmiş Konut Yükleri ve Bileşenleri.....                                    | 76  |
| 2.7.3. | Üretim ve Tüketim Birimlerine Ait Ölçüm Devreleri.....                           | 77  |
| 2.7.4. | Tasarlanan Ölçüm Kartlarının Test Edilmesi.....                                  | 84  |
| 2.7.5. | Yükleri Kontrol Eden Anahtarlama Biriminin Devre Şeması.....                     | 86  |
| 2.8.   | Mobil Uygulama Arayüzü ve Çalışma Yapısının Tasarımı .....                       | 87  |
| 2.8.1. | Giriş Ekranı .....   | 88  |
| 2.8.2. | Cihaz Listesi Ekranı .....   | 88  |
| 2.8.3. | Talep Gönderme ve Talep Takip Ekranı .....                                       | 89  |
| 2.8.4. | Bilgilendirme ve Raporlama Ekranı.....   | 90  |
| 2.9.   | Anket Hazırlanması ve Uygulanması.....   | 91  |
| 2.9.1. | Ankette Sorulan Sorular .....  | 91  |
| 2.9.2. | Araştırmanın Kapsamı ve Kısıtları.....   | 94  |
| 2.9.3. | Bilgi ve Verilerin Analizi .....   | 95  |
| 2.10.  | Önerilen Sistemi Test Etmek için Oluşturulan Senaryolar .....                    | 95  |
| 3.     | BULGULAR .....   | 97  |
| 3.1.   | Ölçüm Kartlarının Testlerinden Elde Edilen Bulgular.....                         | 97  |
| 3.1.1. | Farklı Akım Değerleri için Akım Ölçüm Kartının Test Bulguları.....               | 97  |
| 3.1.2. | Akım Ölçüm Kartının Uzun Süreli Test Sonuçları .....                             | 98  |
| 3.1.3. | Farklı Gerilim Değerleri için Gerilim Ölçüm Kartının Test Bulguları .....        | 99  |
| 3.2.   | Ölçüm Kartlarından Elde Edilen Bulgular .....                                    | 100 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 3.2.1. | Ölçüm Kartlarından Yapılan Ölçümlere Ait Osiloskop Görüntüleri .....   | 100 |
| 3.2.2. | Fotovoltaik Sistemden Şebekeye Aktarılan Güç Bulguları.....  | 102 |
| 3.3.   | Benzetim Çalışmasından Elde Edilen Bulgular .....  | 103 |
| 3.3.1. | CiSeFAT Bulguları.....   | 104 |
| 3.3.2. | Benzetim Ortamında Uygulanan Senaryolar için ATYS Bulguları .....  | 109 |
| 3.4.   | Test ve Ölçüm Prototipinde Uygulanan Senaryolarda ATYS Bulguları .....   | 124 |
| 3.5.   | Anketlerden Edilen Bulgular .....  | 126 |
| 3.5.1. | Ankete Katılan Tüketicilerin Demografik Özellikleri.....   | 126 |
| 3.5.2. | Ankete Katılan Tüketicilerin Beklediği Tasarruf Oranı .....  | 129 |
| 3.5.3. | Ankete Katılan Tüketicilerin Akıllı Şebeke, Talep Tarafının Yönetimi ve ATYS ile Ötelenebilir Yüklerinin Kontrolüne İlişkin Bakış Açılarını Ölçen Sorulara Verdikleri Yanıtların Frekans Tabloları ..... | 129 |
| 3.5.4. | Ankete Katılan Tüketicilerin ATYS ile Kullanmak İstedikleri Cihazlara İlişkin Frekans Tabloları .....  | 133 |
| 3.5.5. | Ankete Katılan Tüketicilerin Yüksek Güçlü Cihazlarını Kullandıkları Zaman Dilimlerine İlişkin Frekans Tabloları .....  | 134 |
| 4.     | İRDELEME .....   | 135 |
| 5.     | SONUÇLAR .....   | 137 |
| 6.     | ÖNERİLER .....   | 139 |
| 7.     | KAYNAKLAR.....   | 140 |
| 8.     | EKLER .....  | 151 |

## ÖZGEÇMİŞ



Doktora Tezi

ÖZET

AKILLI ŞEBEKELERDE FOTOVOLTAİK GÜÇ ÜRETİM SİSTEMİNE SAHİP KONUTLAR  
İÇİN AKILLI TALEP YÖNETİM SİSTEMİ

Recep ÇAKMAK

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ  
2018, 150 Sayfa, 2 Ek Sayfa

Düşen maliyetler ve devlet teşvikleri nedeniyle fotovoltaik (FV) güç santrallerinin son yıllarda hızla artması, üretim birimi içermeyen tüketim birimlerinin yer aldığı dağıtım şebekelerine göre tasarlanan mevcut elektrik şebekesinin değişim ve dönüşümüne yol açmaktadır. Oysa akıllı elektrik şebekelerinde hem üretim hem de tüketim birimleri birlikte tesis edilirler ve bunlar dağıtım hattı boyunca birbirlerine bağlanırlar. Geleceğin şebekesi olarak ifade edilen, çift yönlü veri ve enerji akışına olanak sağlayan, gelişmiş iletişim ve veri işleme teknolojilerine sahip olan akıllı şebeke sistemlerinde, FV güç üretim sistemlerinin bağlantı noktalarında üretilen güçle tüketilen gücün eşleşmesinden kaynaklanan sorunların ve tepe tüketimlerin oluşturduğu sorunların çözümü için talep tarafının yönetimi (TTY) uygun maliyetli bir yöntemdir.

Bu tezde, FV sistemlerle şebeke bağlantılı üretim yapan konutların bulunduğu bir akıllı şebeke için, sezgisel eniyileme algoritmaları tabanlı, verimlilik odaklı, ölçeklenebilir bir akıllı talep yönetim sistemi (ATYS) ile birlikte yeni bir fiyatlandırma ve faturalandırma sistemi önerilmiştir. Önerilen sistem, tüketici istekleri ve konforunu göz önünde bulundurarak, dağıtım şebekelerindeki tepe tüketim değerinin ortalama tüketim değerine olan oranını azaltmayı ve güneş enerjisinden üretilen gücün fazla olduğu zamanlardaki tüketimi, üretime göre ayarlamayı amaçlamaktadır. Böylece, dağıtım hatlarındaki kayıpların azaltılması ve gerilim dalgalanmalarının önlenmesi amaçlanmaktadır. Önerilen sistemi test etmek ve önerilen sistemin uygulanabilirliğini göstermek için mobil uygulama destekli bir test ve ölçüm düzeneği geliştirilmiştir. Ayrıca, önerilen sisteme tüketicilerin bakışını ölçmek ve yapılan çalışmaları daha gerçekçi verilerle test etmek için tüketicilere bir anket çalışması da uygulanmıştır. Yapılan benzetim ve test çalışmalarının sonuçları, önerilen ATYS'nin avantajlarını vurgulamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı şebekeler, Dağıtım şebekeleri, Fotovoltaik sistemler, Talep tarafının yönetimi, Eniyileme, Sezgisel algoritmalar, Verimlilik

PhD. Thesis

SUMMARY

SMART DEMAND MANAGEMENT SYSTEM FOR PV POWERED RESIDENTIAL AREAS  
IN SMART GRIDS

Recep ÇAKMAK

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Electrical and Electronics Engineering Graduate Program  
Supervisor: Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ  
2018, 150 Pages, 2 Appendix Page

The rapid increase in photovoltaic (PV) power plants over recent years, due to falling costs and government incentives, leads to the change and transformation of the existing electricity distribution grids, in which no generating unit included in the network along with loads. In smart electrical grids, however, both generating and dissipating units are installed side by side and they are connected to each other along the distribution network. The operational characteristics of smart grids require advanced communication and data processing technologies that allow bidirectional data and power flow, which is expected as the electricity grid of the future. Both generation and demand are controlled for a more efficient and operatable smart grid management. Demand side management (DSM) is a cost-effective method to solve the problems caused by peak power consumptions and the matching issues between the consumed and generated powers at the connection points of the PV power generation systems.

In this thesis, metaheuristic optimization algorithm-based, efficiency-oriented a scalable novel smart demand management system (SDMS) and a novel pricing and billing system have been proposed for the residences which are powered by grid connected PV systems. The proposed system aims to reduce losses by decreasing the ratio of the peak consumption to the average consumption and to prevent voltage fluctuations in the distribution networks. Therefore, a management system is developed and applied for power consumption by considering the PV power capacity and consumer comfort. A mobile application has been included for testing and measurement of the proposed SDMS to demonstrate its applicability. In order to measure the consumer's attitude to the proposed system and to test the proposed SDMS by realistic data a public survey has been designed and applied to target consumer groups, as well. The results of simulation and test studies are highlighted the advantages of the proposed system.

**Key Words:** Smart grids, Distribution networks, Photovoltaic systems, Demand side management, Optimization, Heuristic algorithms, Efficiency

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No:

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Şekil 1.1.  | Akıllı şebekelerin genel bileşenleri ve akıllı şebekelerde kullanılabilir bazı hesapsal yöntemler ..... | 18 |
| Şekil 1.2.  | Geleneksel elektrik şebekesinin temel yapısı ve bileşenleri.....  | 20 |
| Şekil 1.3.  | 21.yy'da oluşmaya başlayan ve dağıtık üretim birimlerinden oluşan akıllı şebeke .....                   | 20 |
| Şekil 1.4.  | TTY'nin amaçları ve araçları.....   | 22 |
| Şekil 1.5.  | Bir eniyileme probleminde yerel ve küresel en iyi noktalar.....   | 25 |
| Şekil 1.6.  | Eniyileme problemlerinin sınıflandırılması .....  | 26 |
| Şekil 1.7.  | GKA algoritmasının işleyişini gösteren akış diyagramı.....  | 30 |
| Şekil 1.8.  | BYOA algoritmasının işleyişini gösteren akış diyagramı .....  | 32 |
| Şekil 2.1.  | Konutlarda kullanılan yüklerin sınıflandırılması.....   | 36 |
| Şekil 2.2.  | 70°C programında bulaşık makinesinin güç tüketim eğrisi .....   | 37 |
| Şekil 2.3.  | 65°C programında bulaşık makinesinin güç tüketim eğrisi.....  | 38 |
| Şekil 2.4.  | 60°C 800 devir ön yıkamalı programında çamaşır makinesinin güç tüketim eğrisi .....                     | 39 |
| Şekil 2.5.  | 40°C 800 devir programında çamaşır makinesinin güç tüketim eğrisi .....                                 | 40 |
| Şekil 2.6.  | Çamaşır kurutma makinesinin güç tüketim eğrisi .....  | 41 |
| Şekil 2.7.  | Elektrikli aracın şarj edilmesi sırasındaki güç tüketim eğrisi.....                                     | 42 |
| Şekil 2.8.  | Bir konut bölgesinin Şubat 2017-Nisan 2018 dönemindeki aylık ortalama güç tüketimi eğrisi .....         | 43 |
| Şekil 2.9.  | Konut bölgesini besleyen bir transformatörün bir haftalık ortalama güç tüketim eğrisi .....             | 44 |
| Şekil 2.10. | Ocak ayının pazar ve pazartesi günlerine ait ortalama güç tüketim eğrileri.....                         | 45 |
| Şekil 2.11. | Ocak ayının pazartesi günlerinin güç tüketim eğrileri ve ortalaması .....                               | 46 |
| Şekil 2.12. | Değişken güç çekilen bir dağıtım hattı .....  | 47 |
| Şekil 2.13. | Bir dağıtım hattından akan temsili güç ve hatta oluşan temsili kayıp güç eğrileri.....                  | 48 |
| Şekil 2.14. | Tepe tüketimlerin düşürülmesiyle kayıp güçteki azalma .....   | 51 |
| Şekil 2.15. | Şebeke bağlantılı FV sistem içeren konutların yük tüketim eğrileri .....                                | 52 |
| Şekil 2.16. | Temsili dört tüketicinin temsili toplam üretim, tüketim ve net tüketim eğrileri.....                    | 52 |

|  |    |
|--|----|
| Şekil 2.17. Üreten-tüketicilerin bulunduğu bir tüketim bölgesinde ATYS ile tüketim yönetimi.....           | 53 |
| Şekil 2.18. Önerilen ATYS'nin bir dağıtım hattında uygulanma mimarisi.....                                 | 54 |
| Şekil 2.19. Önerilen ATYS'nin genel yapısı .....   | 54 |
| Şekil 2.20. Bir tüketim bölgesinde olduğu varsayılan temsili net tüketim eğrisi.....                       | 55 |
| Şekil 2.21. Kaydır-kullan yöntemiyle yüklerin ötelenmesi .....   | 57 |
| Şekil 2.22. Kaydır-kullan yöntemiyle tüketimlerin FV üretimin fazla olduğu zamanlara kaydırılması.....     | 58 |
| Şekil 2.23. Kaydır-kullan yönteminin algoritmasına ait akış diyagramı .....                                | 59 |
| Şekil 2.24. Durdur-kullan yönteminin algoritmasına ait akış diyagramı.....                                 | 60 |
| Şekil 2.25. Net tüketim eğrisine göre dinamik olarak değişen fiyat oluşturma yaklaşımı algoritması.....    | 62 |
| Şekil 2.26. Dört tüketicinin bulunduğu bir tüketim bölgesindeki temsili net tüketim....                    | 63 |
| Şekil 2.27. Önerilen fiyat yaklaşımıyla Şekil 2.26'daki net tüketim eğrisine göre oluşan fiyat eğrisi..... | 64 |
| Şekil 2.28. CiSeFAT stratejisinin uygulanma biçimini açıklayan diyagram.....                               | 65 |
| Şekil 2.29. CiSeFAT'ın bir konutta uygulanma biçimi .....  | 65 |
| Şekil 2.30. Örnek CiSeFAT hesaplamasında varsayılan elektrik birim fiyatları.....                          | 67 |
| Şekil 2.31. Örnek CiSeFAT hesaplamasında varsayılan güç tüketim eğrisi .....                               | 67 |
| Şekil 2.32. Test ve ölçüm prototipinin blok diyagramı .....  | 71 |
| Şekil 2.33. Benzetilmiş konut yükünün blok diyagramı.....  | 71 |
| Şekil 2.34. Test ve ölçüm prototipinin gerçekleşmiş hali .....   | 72 |
| Şekil 2.35. Test ve ölçüm prototipinin birinci kısmı ve bileşenleri .....                                  | 72 |
| Şekil 2.36. Test ve ölçüm prototipinin ikinci kısmı ve bileşenleri .....                                   | 73 |
| Şekil 2.37. Tüketicilerin FV güç üretim sistemlerini temsil eden FV paneller .....                         | 74 |
| Şekil 2.38. Temsili konutlardaki FV gücün şebekeye aktarılmasını sağlayan mikro evirici .....              | 75 |
| Şekil 2.39. Temsili konut yükleri ve bileşenleri .....   | 77 |
| Şekil 2.40 (a) LV25-P gerilim algılayıcısı (b) LA25-NP akım algılayıcısı.....                              | 78 |
| Şekil 2.41. Tasarlanan 5A'lık akım ölçüm kartının devre şeması .....                                       | 78 |
| Şekil 2.42. 5A'lık akım ölçüm kartının tasarım görüntüleri ve baskı devre şemaları ....                    | 79 |
| Şekil 2.43. 5A'lık akım ölçüm kartının gerçekleştirilmiş hali.....   | 80 |
| Şekil 2.44. Tasarlanan birleşik akım (5A) ve gerilim ölçüm kartının devre şeması.....                      | 80 |
| Şekil 2.45. Birleşik akım (5A) ve gerilim ölçüm kartının tasarım görüntüleri ve baskı devre şemaları ..... | 81 |

|  |     |
|--|-----|
| Şekil 2.46. Birleşik akım (5A) ve gerilim ölçüm kartının gerçekleştirilmiş hali.....   | 82  |
| Şekil 2.47. Tasarlanan birleşik akım (12A) ve gerilim ölçüm kartının devre şeması .....  | 82  |
| Şekil 2.48. Birleşik akım (12A) ve gerilim ölçüm kartının tasarım görüntüleri ve baskı devre şemaları .....  | 83  |
| Şekil 2.49. Birleşik akım (12A) ve gerilim ölçüm kartının gerçekleştirilmiş hali.....  | 84  |
| Şekil 2.50. Akım algılayıcı devrenin test edilmesi için kurulan düzeneğe ait blok diyagramı .....  | 84  |
| Şekil 2.51. Gerilim algılayıcı devrenin test edilmesi için kurulan düzeneğe ait blok diyagramı .....   | 85  |
| Şekil 2.52. Akım ve gerilim algılayıcıları test etmek için kurulan düzenek.....  | 86  |
| Şekil 2.53. Test ve ölçüm prototipindeki 4'lü grup katı hal rölelerinin devre şeması ....  | 87  |
| Şekil 2.54. Mobil uygulama arayüzünün giriş ekranı .....   | 88  |
| Şekil 2.55. Mobil uygulama arayüzünün cihaz listesi ekranı .....   | 89  |
| Şekil 2.56 Mobil uygulama arayüzünün talep gönderme ekranı .....   | 90  |
| Şekil 2.57. (a) Bilgilendirme/raporlama ekranı (b) bilgilendirme uyarısı ekran görüntüsü .....   | 91  |
| Şekil 3.1. Akım ölçüm kartının (5A) farklı akımlar için ölçüm hataları .....   | 97  |
| Şekil 3.2. Akım ölçüm kartı ile ve güç analizörü ile ölçülen akımların 30dk. boyunca değişimi.....   | 98  |
| Şekil 3.3. Gerilim ölçüm kartının ve güç analizörünün ölçtüğü gerilimlerin birbiriyle ilişkisi.....  | 99  |
| Şekil 3.4. Güç analizörünün ölçtüğü gerilim referans kabul edilerek devreye uygulanan gerilime göre gerilim ölçüm kartındaki hatanın değişimi..... | 100 |
| Şekil 3.5. LED lambalara ve motorlara ait akımların ve bağlı oldukları bara geriliminin dalga şekilleri .....                                      | 101 |
| Şekil 3.6. Mikro eviricinin bağlandığı bara gerilimi ve eviricinin şebekeye aktardığı akımın dalga şekilleri .....                                 | 102 |
| Şekil 3.7. Şebeke bağlantılı mikro eviricinin parçalı bulutlu bir günde şebekeye aktardığı gücün değişimi.....                                     | 103 |
| Şekil 3.8. Şebeke bağlantılı mikro eviricinin açık bir günde şebekeye aktardığı gücün değişimi.....  | 103 |
| Şekil 3.9. CiSeFAT benzetimindeki Senaryo 1'de esas alınan fiyat eğrisi .....  | 104 |
| Şekil 3.10. CiSeFAT benzetimindeki Senaryo 1'de tüketicilerin tüketim eğrileri .....   | 105 |
| Şekil 3.11. CiSeFAT benzetimindeki Senaryo 2'de tüketicilerin tüketim eğrileri .....   | 107 |
| Şekil 3.12. Ötelenebilirlik katsayısına göre fatura miktarlarının karşılaştırılması .....  | 108 |
| Şekil 3.13. Senaryo 1'de GKA ve BYO algoritmalarının performansları .....  | 111 |

|  |     |
|--|-----|
| Şekil 3.14. Senaryo 1’de ATYS ile ve ATYS olmadan oluşan toplam güç tüketim eğrileri.....                        | 111 |
| Şekil 3.15. Senaryo 2’de GKA ve BYO algoritmalarının performansları .....  | 113 |
| Şekil 3.16. Senaryo 2’de ATYS ile ve ATYS olmadan oluşan güç tüketim eğrileri....                                | 114 |
| Şekil 3.17. Senaryo 7 için ATYS ile ve ATYS olmadan oluşan toplam güç tüketim eğrileri.....                      | 119 |
| Şekil 3.18. Senaryo 7 için öngörülen ve gerçek tüketimlere ait yük dağılımı .....                                | 121 |
| Şekil 3.19. Senaryo 8 için ATYS ile ve ATYS olmadan oluşan toplam güç tüketim eğrileri.....                      | 122 |
| Şekil 3.20. Senaryo 8 için öngörülen ve gerçek tüketimlere ait yük dağılımı .....                                | 124 |
| Şekil 3.21. Senaryo 7 için benzetim ortamında ve test prototipinde elde edilen optimal güç tüketim eğrileri..... | 125 |
| Şekil 3.22. Senaryo 8 için benzetim ortamında ve test prototipinde elde edilen optimal güç tüketim eğrileri..... | 125 |

## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa No:

|             |  |
|-------------|--|
| Tablo 1.1.  | Türkiye’de 2016, 2017 yıllarındaki ve 2023 hedeflerindeki güneş enerjisinden elektrik üretimi yapan santrallerin toplam kurulu güçleri.....2 |
| Tablo 1.2.  | Akıllı şebekelerin bazı temel karakteristikleri .....19  |
| Tablo 1.3.  | Bugünün elektrik şebekeleri ve geleceğin akıllı elektrik şebekelerinin karşılaştırılması .....21   |
| Tablo 1.4.  | Yaygın olarak kullanılan fiyat tarife çeşitleri ve özellikleri .....23   |
| Tablo 1.5.  | TTY ile tepe tüketimlerin azaltılmasının sağladığı yararlar .....24  |
| Tablo 1.6.  | Literatürde sıklıkla karşılaşılan sezgisel algoritmalar ve parametre sayıları.....27   |
| Tablo 2.1.  | Güç tüketim eğrileri incelenen bazı ötelenebilir cihazlar ve çalışma programları.....36  |
| Tablo 2.2.  | 70°C programında bulaşık makinesinin güç tüketim eğrisinin analizi.....37  |
| Tablo 2.3.  | 65°C programında bulaşık makinesinin güç tüketim eğrisinin analizi.....38  |
| Tablo 2.4.  | 60°C 800 devir ön yıkamalı programında çalışan çamaşır makinesinin güç tüketim eğrisinin analizi .....39                                     |
| Tablo 2.5.  | 40°C 800 devir programında çamaşır makinesinin güç tüketim eğrisinin analizi .....40   |
| Tablo 2.6.  | Çamaşır kurutma makinesinin güç tüketim eğrisinin analizi.....41   |
| Tablo 2.7.  | Elektrikli aracın şarj edilmesi sırasındaki güç tüketim eğrisinin analizi .42  |
| Tablo 2.8.  | Konut bölgesini besleyen bir transformatörün analiz edilen tüketim değerleri .....43   |
| Tablo 2.9.  | Konut bölgesini besleyen bir transformatörün bir haftalık ortalama güç tüketim eğrisinin analizleri.....44                                   |
| Tablo 2.10. | Pazar ve pazartesi günlerine ait ortalama güç tüketim eğrilerinin analizleri.....45  |
| Tablo 2.11. | Ocak ayının pazartesi günlerindeki güç tüketim eğrilerinin analizleri ....46   |
| Tablo 2.12. | Bir elektrik şebekesinde oluşan kayıplar ve meydana geldiği yerler.....47  |
| Tablo 2.13. | CiSeFAT stratejilerinin karşılaştırılması .....70  |
| Tablo 2.14. | Test ve ölçüm prototipinin birinci kısmındaki bileşenler ve kullanım amaçları.....73   |
| Tablo 2.15. | Test ve ölçüm prototipinin ikinci kısmındaki bileşenler ve kullanım amaçları.....74  |
| Tablo 2.16. | Plurawatt marka, DC Panel P72 315W <sub>p</sub> model panelin teknik bilgileri ..75  |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Tablo 2.17. | AE Conversion INV350-60 mikro eviricinin teknik bilgileri.....   | 76  |
| Tablo 2.18. | Akım ve gerilim algılayıcılarının test edilmesinde kullanılan cihazlar ve doğrulukları .....                       | 85  |
| Tablo 2.19. | Anketteki demografik sorular ve ATYS ile beklenen tasarruf oranı sorusu .....                                      | 92  |
| Tablo 2.20. | Tüketicilerin ATYS'nin yönlendirmeleriyle kullanmak istediği cihazların tespiti için hazırlanan anket sorusu ..... | 94  |
| Tablo 2.21. | Ötelenabilir yüklerin çalıştırılma zamanlarına yönelik veri toplama sorusu .....                                   | 94  |
| Tablo 2.22. | Önerilen Sistemi Test Etmek için Oluşturulan Senaryolar .....  | 96  |
| Tablo 3.1.  | Senaryo 1 için CiSeFAT stratejileriyle tüketicilerin faturalarındaki azalma miktarları .....                       | 106 |
| Tablo 3.2.  | Senaryo 2 için CiSeFAT stratejileriyle tüketicilerin faturalarındaki azalma miktarları .....                       | 108 |
| Tablo 3.3.  | Benzetimlerde kullanılan yüklerin eşdeğer güçleri ve çalışma süreleri.   | 109 |
| Tablo 3.4.  | Senaryo 1'e ait veriler ve varsayımlar .....   | 110 |
| Tablo 3.5.  | Senaryo 1 verileri ve ATYS ile elde edilen sonuçlar.....   | 110 |
| Tablo 3.6.  | Senaryo 1'de ATYS ile elde edilen bulgular ve iyileşmeler.....   | 112 |
| Tablo 3.7.  | Senaryo 2'ye ait veriler ve varsayımlar .....  | 112 |
| Tablo 3.8.  | Senaryo 2 verileri ve ATYS ile elde edilen sonuçlar.....   | 113 |
| Tablo 3.9.  | Senaryo 2'de ATYS ile elde edilen bulgular ve iyileşmeler.....   | 114 |
| Tablo 3.10. | Senaryo 3'e ait veriler ve varsayımlar .....   | 114 |
| Tablo 3.11. | ATYS ile Senaryo 3'te elde edilen bulgular ve iyileşme miktarı .....   | 115 |
| Tablo 3.12. | Senaryo 4'e ait veriler ve varsayımlar .....   | 115 |
| Tablo 3.13. | Senaryo 4'te ATYS ile elde edilen bulgular ve iyileşme miktarı .....   | 115 |
| Tablo 3.14. | Senaryo 5'e ait veriler ve varsayımlar .....   | 116 |
| Tablo 3.15. | Senaryo 5'te ATYS ile elde edilen bulgular ve iyileşme miktarı .....   | 116 |
| Tablo 3.16. | Senaryo 6'ya ait veriler ve varsayımlar .....  | 117 |
| Tablo 3.17. | Senaryo 6'da ATYS ile elde edilen bulgular ve iyileşme miktarı .....   | 117 |
| Tablo 3.18. | Senaryo 7'ye ait veriler ve varsayımlar .....  | 118 |
| Tablo 3.19. | Senaryo 7'de elde edilen sonuçların analizi-1 .....  | 119 |
| Tablo 3.20. | Senaryo 7'de elde edilen sonuçların analizi-2 .....  | 120 |
| Tablo 3.21. | Senaryo 8'e ait veriler ve varsayımlar .....   | 121 |
| Tablo 3.22. | Senaryo 8'de elde edilen sonuçların analizi-1 .....  | 122 |
| Tablo 3.23. | Senaryo 8'de elde edilen sonuçların analizi-2 .....  | 123 |



|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| Tablo 3.24. | Ankete katılan tüketicilerin cinsiyete göre dağılımları .....   | 126 |
| Tablo 3.25  | Ankete katılan tüketicilerin yaş gruplarına göre dağılımları .....  | 126 |
| Tablo 3.26. | Ankete katılan tüketicilerin aylık gelirlerine göre dağılımları.....  | 127 |
| Tablo 3.27. | Ankete katılan tüketicilerin öğrenim durumuna göre dağılımları.....   | 127 |
| Tablo 3.28. | Ankete katılan tüketicilerin meslek gruplarına göre dağılımları .....   | 128 |
| Tablo 3.29. | Ankete katılan tüketicilerin ortalama elektrik fatura miktarlarının dağılımları .....   | 128 |
| Tablo 3.30. | Ankete katılan tüketicilerin ATYS ile bekledikleri tasarruf oranlarının dağılımları .....   | 129 |
| Tablo 3.31. | Tüketicilerin akıllı şebeke, talep tarafı yönetimi ve ATYS ile ötelenebilir yüklerinin kontrolüne ilişkin bakış açılarını ölçen sorulara (1-7) ilişkin frekans tablosu .....  | 130 |
| Tablo 3.32. | Tüketicilerin akıllı şebeke, talep tarafı yönetimi ve ATYS ile ötelenebilir yüklerinin kontrolüne ilişkin bakış açılarını ölçen sorulara (8-13) ilişkin frekans tablosu ..... | 132 |
| Tablo 3.33. | Ankete katılan tüketicilerin ATYS ile kullanmak istedikleri cihazlara ait frekanslar.....   | 133 |
| Tablo 3.34. | Ankete katılan tüketicilerin yüksek güçlü cihazlarını kullandıkları zaman dilimlerinin frekansları .....  | 134 |

## KISALTMALAR DİZİNİ

|         |  |
|---------|--|
| AA      | : Alternatif Akım  |
| AAEY    | : Akıllı Ev Enerji Yönetimi  |
| AEŞ     | : Akıllı Elektrik Şebekeleri   |
| AŞ      | : Akıllı Şebekeler   |
| BV      | : Büyük Veri   |
| BYOA    | : Birlikte Yaşayan Organizmalar Araştırma  |
| CiSeFAT | : Cihaz Seviyesinde Faturalandırma   |
| DAQ     | : Data Acquisition (Veri Toplama)  |
| DA      | : Doğru Akım   |
| DÜ      | : Dağıtık Üretim   |
| DY      | : Dağıtık Yönetim  |
| EEYS    | : Ev Enerji Yönetim Sistemi  |
| FV      | : Fotovoltaik  |
| GKA     | : Guguk Kuşu Arama   |
| IEA     | : International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)   |
| Nİ      | : Nesnelerin İntereti  |
| OECD    | : The Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü) |
| OMYH    | : Ortalama Mutlak Yüzde Hata   |
| TTY     | : Talep Tarafının Yönetimi   |
| TC      | : Talep Cevabı   |
| TYP     | : Talep Yönetim Programları  |
| TOO     | : Tepenin Ortalamaya Oranı   |
| YEK     | : Yenilenebilir Enerji Kaynakları  |
| TZF     | : Tek zamanlı fiyatlandırma  |
| KTTF    | : Kritik tepe tüketimlere yönelik fiyatlandırma  |
| ÇZF     | : Çok zamanlı fiyatlandırma  |
| GZF     | : Gerçek zamanlı fiyatlandırma   |
| YTF     | : Yüksek tüketime yönelik fiyatlandırma  |
| FG      | : Farksal Gelişim  |
| ÇT      | : Çiçek Tozlaşma   |

|      |                                 |
|------|---------------------------------|
| GA   | : Genetik Algoritma             |
| PSO  | : Parçacık Sürü Optimizasyonu   |
| AB   | : Ateşböceği                    |
| KK   | : Karınca Koloni                |
| YAK  | : Yapay Arı Kolonisi            |
| YA   | : Yarasa Algoritması            |
| YerA | : Yerçekimsel Arama             |
| YBT  | : Yapay Bağışıklık Tanıma       |
| YRA  | : Yayılmacı Rekabetçi Algoritma |



## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Elektrik enerjisine olan talep, nüfusun, şehirleşmenin ve elektrikle çalışan cihazların kullanımının artmasıyla her geçen gün artmaktadır. Bu durum, yeni elektrik santrallerinin devreye alınmasını ve mevcut şebeke altyapısının yenilenmesini gerekli kılmaktadır. Yeni elektrik santrallerinin devreye alınması ve şebeke altyapısının yenilenmesi ciddi yatırım maliyetlerini gerektirmekle birlikte, mevcut elektrik sisteminde meydana gelebilecek herhangi bir arıza nedeniyle elektrik şebekesinde oluşabilecek çökme sonrasında, bir saat dahi elektriksiz kalınması da ciddi maliyetlere ve ekonomik zararlara yol açmaktadır. Yani, hem elektrik üretmek için finansal kaynağa ihtiyaç vardır, hem de mevcut sistemin herhangi bir nedenle kesintiye uğraması durumunda ortaya çıkacak olan finansal kayıplar söz konusudur. Bu nedenle, mevcut elektrik altyapısının yenilenmesi ve yeni elektrik santrallerinin devreye alınması gerekliliklerinin yanında, mevcut sistemin ve yenilenen şebekenin güvenilirliğinin ve sürdürülebilirliğinin sağlanması da gereklidir.

Tükenebilir olan ve her yörede bulunmayan fosil kaynakların elektrik üretimi sırasında dünya atmosferine ve çevreye verdiği zararlar nedeniyle, temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi konusu gündeme gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi önemli bir yere sahip olup, hem dünya genelinde hem de OECD ülkelerinde, 2012 ile 2040 yılları arasındaki zaman diliminde, elektrik üretiminde kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları arasında en fazla artışın güneş enerjisinden elektrik üretiminde olacağı öngörülmektedir [1].

Güneş enerjisinden elektrik üretiminde kullanılan fotovoltaik (FV) metaryellerin son on yılda yüzde elliye aşan oranlarda düşen maliyetleriyle birlikte artan devlet teşvikleri, FV sistemlerle güneş enerjisinden elektrik üretimini büyük bir hızla arttırmıştır [2]. FV metaryellerin boyutlandırılabilir ve mekanik hareket içermeyen yapıları nedeniyle, FV üreteçler konutların ve diğer yapıların çatılarında dahi elektrik üretebilme olanağına sahiptirler. Bu durum dünya genelinde yaygınlaşmakta olup, tüketiciler sadece tüketici olma konumundan uzaklaşarak, üreten-tüketici (prosumer) konumuna gelmektedir. Türkiye’de 5346 sayılı ve 6093 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanunları ve bu kanunlar kapsamında, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimini teşvik etmek

için çıkarılan yönetmelikler, son iki yılda etkisini göstermiştir. Türkiye’de kurulu FV güç kapasitesi 2016 yılına göre %310 artarak, 2017 yılı sonu itibariyle 3420,7 MW’a ulaşmıştır [3]. 2014 yılında hazırlanan Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı’na [4] göre, güneş enerjisinde Türkiye’nin 2023 yılı için kurulu güç hedefi 5000 MW olarak belirlenmiştir. 28 Şubat 2018 sonu itibariyle, Türkiye’deki lisanslı ve lisanssız güneş enerjisi santrallerinin toplam kurulu güç miktarı 3942 MW’a ulaşmıştır [5]. Bu durum, 2023 hedefi olan 5000 MW’a çok daha erken ulaşılacağını göstermektedir. Tablo 1.1’de Türkiye’de 2016, 2017 yıllarındaki ve 2023 hedeflerindeki toplam kurulu güç miktarları ve güneş enerjisinden elektrik üretimi yapan santrallerin toplam kurulu güçleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir [3, 4].

Tablo 1.1. Türkiye’de 2016, 2017 yıllarındaki ve 2023 hedeflerindeki güneş enerjisinden elektrik üretimi yapan santrallerin toplam kurulu güçleri

|  | 2016    | 2017   | 2023 Hedefi | Artış oranı (2016-2023) |
|--|---------|--------|-------------|-------------------------|
| <b>Güneş Enerjisi (Lisanslı + Lisanssız) Kurulu Güç (MW)</b> | 832,5   | 3420,7 | 5000        | %500                    |
| <b>Toplam Kurulu Güç (MW)</b>                                | 78497,4 | 85200  | 125000      | %59                     |
| <b>Güneş Enerjisinin Toplam Kurulu Güç İçindeki Payı</b>     | %1,06   | %4,01  | %4          | %277                    |

Güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklardan elde edilen güç, değişken ve önceden yüzde yüz doğrulukla öngörülemez bir niteliktedir. Bu nedenle, elektrik şebekesinin kararlı ve verimli çalışması için yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilerek şebekeye aktarılan gücün miktarına göre, tüketim ile üretim arasında bir dengenin oluşturulması şarttır. Bununla birlikte, geleneksel elektrik şebekesi, tüketim noktalarından uzakta üretilen çok büyük güçlerin, uzun iletim hatlarıyla dağıtım noktalarına taşınıp, dağıtım noktalarından da tüketicilere aktarılması esasına göre çalışmaktadır. Bu şebeke yapısı, merkezden çevreye doğru yayılan, edilgen bir yapıdadır. Bu tip şebekelerde üretilen güç, gerilimin yüksek olduğu şebeke bağlantı noktasından, gerilimin düşük olduğu şebeke bağlantı noktasına doğru akmaktadır. Fakat, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üreterek şebekenin çeşitli noktalarından sisteme bağlanan dağıtık santrallerin ve özellikle

alçak gerilim düzeyinden sisteme bağlanan küçük güçlü yenilenebilir enerji santrallerinin artması, tek yönlü güç akışına göre planlanmış olan mevcut elektrik şebekesinde güç kalitesi problemlerine neden olabilmektedir. Dağıtık güç üretim birimlerinin elektrik şebekesine ilavesiyle, geleneksel elektrik şebekesi çok farklı bir yapıya dönüşerek girift bir hal almaya başlamaktadır. Oluşan bu yeni elektrik şebekesinin güvenli, kararlı ve sürdürülebilir şekilde çalışmasını sağlamak için yenilikçi fikirlere ve etkin çözümlere ihtiyaç vardır.

Geleneksel elektrik şebekesinde elektrik üretimi, elektrik tüketimini takip edecek şekilde yapılmaktadır. Dağıtık üretim sistemlerinin şebekeyle bütünleşik hale gelmesiyle, tüketimin üretime göre düzenlenmesi gerekecektir. Çünkü, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üreten santrallerin ürettiği güç değişkendir. Bu değişkenlik nedeniyle oluşan güç fazlalıklarının şebekede problemlere yol açmaması için, güneş enerjisinden yapılan üretimlerin kısılarak çözülmesine yönelik çalışmalar [6, 7] mevcut olsa da bu yaklaşımların uygulanması, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilecek güç miktarının azalması anlamına gelmektedir. Bu durum yenilenebilir enerji kaynaklarından en üst düzeyde yararlanmayı engelleyecektir.

Modern dünyada şehirlerde yaşayan insanların sayısı, kırsalda yaşayanlardan daha fazladır ve modern dünyanın bireyleri, kitle kültürü içinde yaşamaktadır. Bunun sonucunda bireyler, şekilleri farklı fakat birbirine benzeyen, aynı tipte insanlar haline gelmiştir [8]. Konutlarda yaşayan tüketiciler üzerine yapılan bir araştırmanın [9] sonuçları, yaşam tarzı ile elektrik tüketimi arasında bir ilişkinin olduğunu ortaya koymuştur. İtalya'nın Roma şehrinde mobil cihazların sinyalleri kullanılarak yapılan bir başka araştırmanın sonuçlarına göre, şehirdeki insanlar belirli bir rutine göre yaşamakta ve bu rutin yaşayış şehrin bölgelerine göre değişiklik göstermektedir [10]. Bireylerin bu sosyolojik durumu, elektrik şebekesinde yer alan tüketicilerin toplam tüketimlerinde gün içerisinde ve yıl içerisinde tepe tüketim periyotları oluşmasına yol açmaktadır.

Toplam elektrik tüketiminde konutların payı, dünyada %30, Türkiye'de ise %26 civarındadır [11, 12]. Konutlar elektrik şebekelerinde alçak gerilim seviyesinde bulunan dağıtım şebekelerinde yer almaktadır. Konutların bulunduğu bir dağıtım sisteminde, uzun dağıtım hatları ve kablo dirençleri nedeniyle tepe tüketimlerin meydana getireceği kayıplar daha fazla olacaktır. Bu durum, kabloların aşırı ısınmalarıyla dağıtım kayıplarının artmasına yol açarken, kabloların erken yaşlanmasına da yol açacaktır. Konutlarda kullanılan cihazlar arasında bulaşık ve çamaşır makineleri gibi cihazlar, uzun süreli yüksek

güç tüketen cihazlardır ve konutların elektrik tüketiminde önemli bir paya sahiptirler [13]. Bununla birlikte, bu cihazların çalıştırılma zamanları, tüketici istek ve konforuna göre bir miktar ötelenebilme olanağına sahiptir.

Çevre kirliliğinin azaltılmasına yönelik hedefler, artan elektrik fiyatları, teknolojiye hızlı ilerlemeler, bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler, 21.yy'daki elektrik sisteminde ciddi değişikliklere yol açmaktadır. Düşen maliyetler ve devlet teşvikleri nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim yapan santrallerin sayısının son yıllarda hızla artması, tek yönlü güç akışına göre tasarlanan mevcut elektrik şebekesinin değişimine ve dönüşümüne neden olmaktadır. Şebeke bağlantılı çalışan FV sistemlerin bağlantı noktalarında, üretilen enerji ile tüketilen enerjinin dinamik eşleşmesinden kaynaklanan sorunlar ve tepe tüketimlerin oluşturduğu sorunlar, elektrik şebekelerinde çözülmesi gereken önemli problemlerdir.

Geleceğin elektrik şebekesi olarak ifade edilen, çift yönlü veri ve enerji akışına olanak sağlayan, gelişmiş iletişim ve veri işleme teknolojilerine sahip olan akıllı şebeke sistemlerinde talep tarafının yönetimi (TTY), yukarıda ifade edilen sorunların çözümü için uygun maliyetli bir yöntemdir [14]. Bununla birlikte, iklim değişikliği konusundaki kötü gidişi değiştirmek için sera gazı salınımının en kısa sürede azaltılması gerekmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın (International Energy Agency-IEA) 2016 raporuna [15] göre, karbon salınımının 2030 yılına kadar hedeflenen seviyeye getirilebilmesi için kullanılan araçlar arasında en büyük pay, yenilenebilir enerji kaynaklarına ve talep tarafının yönetimine düşmektedir.

Elektrik şebekelerinin yapısında yukarıda ifade edilen değişimlerin meydana gelmesi ve geleceğin elektrik şebekesi olarak görülen akıllı şebeke kavramı, tüketim miktarının üretim miktarına göre ayarlanması yaklaşımını öne çıkarmaktadır. Talep tarafının yönetimi ve akıllı teknolojiler, değişen ve gelişen bu yeni elektrik sisteminin en önemli temel özelliklerini oluşturacaktır.

Bu tez kapsamında, FV sistemlerle şebeke bağlantılı üretim yapan konutların bulunduğu bir akıllı şebeke için sezgisel eniyileme algoritmalarını kullanan, verimlilik odaklı, ölçeklenebilir bir akıllı talep yönetim sistemi (ATYS) ile birlikte yeni bir faturalandırma ve faturalandırma sistemi önerilmiştir. Önerilen sistem, tüketicilerin isteklerini mobil uygulama üzerinden alarak işleyebilme özelliğine sahiptir. Önerilen sistem, tüketici istekleri ve konforunu göz önünde bulundurarak, dağıtım şebekelerindeki tepe tüketim değerinin ortalama tüketim değerine olan oranını azaltmayı ve güneş

enerjisinden üretilen gücün fazla olduğu zamanlardaki tüketimi, üretime göre ayarlayarak daha dengeli bir güç tüketim eğrisi oluşturmayı hedeflemektedir. Böylece, dağıtım hattında oluşacak olan kayıplar azaltılacak, hattın aşırı ısınması önelenerek hattın daha uzun ömürlü olması sağlanacaktır. Bununla birlikte, konutlarda yer alan şebeke bağlantılı FV sistemlerin şebekeye olan etkileri de azaltılmış olacaktır. Bunun sonucu olarak daha fazla FV sistem elektrik şebekesine eklenebilecektir.

Sonuç olarak, önerilen ATYS ve faturalandırma sistemi tüketicilerin elektrik faturasını azaltırken, güç dağıtımındaki kayıpları da azaltacaktır. Bu güç kayıplarının azalmasıyla ve FV sistemlerin öncelikli yerel güç kaynağı olarak kullanılmasının artmasıyla, fosil yakıtı dayalı kaynakların kullanımı azalacak ve daha temiz bir çevrenin oluşmasına katkı sağlanacaktır.

## **1.2. Literatür Araştırması**

Elektrik şebekelerindeki üretim kapasitesinin %20'si tepe tüketimleri karşılamak için kullanılmaktadır [16]. Tepe tüketim yapılan zamanlar için ilave güç santrallerinin yapılması veya devreye alınması yerine; dinamik enerji fiyatı uygulamaları ve teşviklerle talep tarafının yönetimi (TTY) sistemlerinin geliştirilmesi daha ekonomik olacaktır [17, 18]. Özellikle son yıllarda hızla artan enerji talebi, fosil yakıtların çevreye verdiği zararlar ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi maliyetlerinin düşmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimini hızla arttırmıştır. Önümüzdeki on yıl içinde de özellikle rüzgâr ve güneş enerjisinden elektrik üretimi dünya genelinde büyük oranda artacaktır [15, 19]. Verilen teşvikler ve fotovoltaiik (FV) üreteçlerin boyutlandırılabilir yapısı nedeniyle artık küçük tüketiciler de birer üretici konumuna gelmektedirler. Üretim birimlerine sahip bu tüketiciler, üreten-tüketici (prosumer) olarak isimlendirilmektedirler. Kesintili ve değişken karakteristiğe sahip olan yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye bağlantısı, tek yönlü güç akışına göre tasarlanan mevcut elektrik şebekesinde çok sayıda probleme yol açabilmektedir [20-24]. Tek yönlü güç akışına göre tasarlanan elektrik şebekesine yenilenebilir enerji kaynaklarından üretim yapan santrallerin bağlanmasıyla ve en son tüketicilerin bile üreten-tüketici konumuna gelmesiyle, mevcut şebekede dağıtık üretim [25] birimleri oluşmaktadır. Bu durum, özellikle dağıtım şebekelerinde gerilim düzensizliklerine ve kayıpların artmasına yol açabilmektedir [26].



Ayrıca yakın gelecekte fosil yakıtla çalışan taşıtların yerini alması beklenen elektrikli araçların şarj edilmesi sırasında talep ettiği güç, dağıtım şebekeleri üzerinde büyük bir yük oluşturabilecektir. Eğer önlem alınmazsa, elektrikli araçların mevcut şebekede güç kalitesi üzerine önemli olumsuz etkileri olacaktır [27-30]. Güneş vd. [29], elektrikli araçların kullanımının tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de artacağı öngörüsüyle, elektrikli araçların dağıtım şebekesine olan etkilerini olasılıksal modelleme yaklaşımı ve yükler arasındaki ilişkiler dahilinde çeşitli senaryolar için analiz etmişlerdir. Analizlerinde ortaya çıkan sonuçlar, elektrikli araçların şebekeye ciddi etkilerinin olabileceğini göstermiştir. Bu nedenle elektrik dağıtım şebekesinin güvenilirliğini korumak ve şebekede güç kalitesini sağlamak için elektrikli araçların göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Elektrik şebekelerinde yaşanan bu değişiklikler ve gelişmeler, mevcut şebekenin daha çevreci, daha güvenilir, daha akıllı denetim mekanizmalarına sahip, iki yönlü bilgi ve güç akışına olanak sağlayan bir yapıda olması gerekliliklerini de beraberinde getirmektedir. Elektrik şebekesindeki kontrol, yönetim, koruma ve kararlılık sorunlarına çözüm olarak, akıllı elektrik şebekeleri (AES) kavramı ortaya çıkmıştır. Akıllı elektrik şebekeleri veya kısaca akıllı şebekeler (AŞ), verimli, sürdürülebilir, kendi kendini onaran, akıllı denetim mekanizmalarına sahip, çevreci, güvenilir bir şebeke vaat etmektedirler [16, 31, 32]. Akıllı şebeke çalışmaları konusunda 2005 yılında Amin ve Wollenberg tarafından yazılan ve akıllı şebeke çalışmalarına yönelik anahtar makalelerden biri olan “Akıllı Şebekelere Doğru” isimli makalede [31], yeni nesil bilgi işlem ve iletişim teknolojilerinin elektrik şebekelerinde var olan merkezi koruma ve merkezi denetim sistemlerinin ötesinde, şebekenin her birimine, transformatör merkezlerine ve güç üretim sistemlerine yerleştirilecek akıllı cihazlar yoluyla elektrik şebekesinin tamamamen dağıtık bir yapıya geçmesine olanak sağlayacağı belirtilmiş, bu şekilde oluşan bu dağıtık sistemin gerçek bir akıllı şebekeyi oluşturacağı ifade edilmiştir. Önerdikleri dağıtık denetim yapısına sahip akıllı şebeke altyapısı, bağımsız işlemcilerden oluşan, akıllı cihazların elektrik şebekesinin bileşenlerine tümleşik olarak eklenmesiyle oluşacaktır. Bağımsız işlemcilere sahip bu akıllı cihazlar, sistemdeki diğer akıllı cihazlarla haberleşme halindedir. Fakat bu akıllı cihazların her biri yerel düzeyde bağlı olduğu sistemi kontrol edebilir niteliktedir. Her bileşenin işlemcisi bağlı olduğu bileşendeki sensörlerden veri alarak kendi durumundan haberdar olmakta ve trafo merkezi içindeki diğer birimlerle iletişim kurabilmektedir. Böylece bir sistem seviyesinde, bir trafo merkezi veya enerji santralindeki her akıllı cihaz kendi durumunu bilir ve komşu akıllı cihazlar yoluyla güç sisteminin diğer bölümleriyle iletişim

kurabilir. Herhangi bir sistemin devre dışı olması durumunda, dağıtık şekilde bulunan bu akıllı cihazlar devrede olan sistemdeki diğer bileşenlerle koordineli olarak çalışır ve sistemin sürekliliğinin devam etmesini sağlar.

Tepe tüketimlerin kontrol edilmesinde, dağıtım şebekesinde gerilimin kontrol edilmesinde ve yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye bağlantısıyla ortaya çıkacak olan problemlerin çözümünde TTY sistemlerinin etkili bir araç olarak kullanılabileceğine yönelik çok sayıda çalışma bulunmaktadır [33-37]. TTY sistemleri akıllı şebekelerin en önemli araçlarından biridir [38] ve akıllı şebeke çalışmalarında tüketim tarafına yönelik çalışmalara bir eğilim vardır [39].

TTY konusunda literatürdeki ilk ve anahtar çalışmalardan biri olan ve 1985 yılında Clark W. Gellings tarafından yazılan makalede [17] TTY kavramı, tüketicinin elektrik tüketimini, elektrik tedarikçisinin arzu ettiği yük tüketim eğrisini elde edecek şekilde etkilemek için planlama, uygulama ve izleme etkinlikleri olarak tanımlanmıştır. Gellings, önerdiği altı farklı yük şekillendirme stratejisiyle TTY konusuna önemli bir katkı yaparak, tüketime göre üretim yerine, üretime göre tüketim felsefesinin gelişmesine öncülük etmiştir.

TTY kapsamında geliştirilen talep cevabı (TC) programları, tüketicilerin yüklerinin yönetiminde kullanılan argümanlara ve amaçlara göre çeşitli sınıflandırmalara tabi tutulabilir. Vardakas ve arkadaşları tarafından yapılan detaylı literatür inceleme makalesinde TC programları, tüketiciyi etkileme biçimine göre, fiyat tabanlı veya teşvik tabanlı, yük yönetiminde esas alınan karar değişkenine göre, görev tabanlı veya enerji yönetimi tabanlı, yüklerin kontrolü bakımından, merkezi veya dağıtık kontrollü olmak üzere sınıflandırılmıştır [40].

Akıllı şebekelerin en önemli araştırma ve uygulama konularından olan talep tarafının yönetimine cevap verecek şekilde tasarlanan akıllı ev enerji yönetimi (AEEY) uygulamaları [41-50], bireysel tüketicilerin faturalarının azaltılmasına, tepe tüketim periyotlarındaki tüketimin düşürülmesine ve talep tarafı yük yönetimine olanak sağlamaktadırlar. Özellikle konutlar için geliştirilen enerji yönetimi ve talep tarafının yönetimi uygulamalarının özel bir önemi vardır. Çünkü, elektrik tüketiminde konutların toplam elektrik tüketimi içindeki payı dünyada %30, Türkiye’de ise %26 civarındadır [11, 12]. Şehirleşme ve tekdüze yaşamın getirdiği aynışlaşma, insanların aynı zamanlarda benzer davranışları sergilemesine yol açmaktadır. Bunun sonucunda tepe tüketim periyotları oluşmaktadır. Konutların bulunduğu bölgelerdeki dağıtım şebekeleri, yer yer uzun hatlara

ve indüktansına göre direnci daha yüksek olan kablolardan oluşan uzun dağıtım hatlarına sahiptir. Konutların güç tüketimleri aynı zaman aralıklarına yoğunlaşınca, günün belirli zamanlarında yüksek güç tüketilen bölgeler oluşmaktadır. Eğer yüklerin kontrolü sağlanmazsa, eşzamanlı tüketimler nedeniyle kayıplar artar ve bu tepe güç tüketimlerinin neden olduğu kayıplar, toplam kayıpların %49,7'sini oluşturabilir [51].

TTY konusunda literatürde çok sayıda yöntem, teori ve benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiş olup, uygulanan elektrik tarifesinin durumuna göre fatura maliyetlerinin ortalama %23, puant tüketimin ise %29,6 azaltılabileceği ifade edilmiştir [41]. Elektrik fiyatı tüketicilerin tüketim alışkanlıklarını değiştirmek ve yönetmek için en önemli parametredir. Bu bağlamda yüksek fiyatların uygulanmasıyla, tüketimler ötelenebilir [52].

TTY için elektrik fiyat tarifeleri (çok zamanlı tarife, dinamik tarife, kritik tepe tüketimlere yönelik fiyatlandırma gibi) kullanılarak çeşitli talep yönetimi çalışmaları yapılmıştır [40, 43, 44, 53-55]. Elektrik fiyat tarifeleri TTY uygulamalarında önemli bir parametre olmakla birlikte, talebin yönetilmesinde tek başına etkili bir faktör değildir ve dolaylı bir TTY uygulamasıdır. Tüketici ile dağıtım şebekesi arasında sağlanan anlaşma temelli Doğrudan Yük Kontrolü (DYK), akıllı şebekede talep ile üretim arasındaki dengenin sağlanması için ve tepe tüketim periyotlarındaki güç tüketimini talebin az olduğu periyotlara kaydırmak için bir seçenektir. Ancak, DYK tabanlı TTY uygulamalarında öne çıkan sorun, tüketicilerin bunu özel hayatlarına müdahaleymiş gibi algılamalarıdır. Bu sorunun, tüketicilerin tüm yüklerinin dağıtım şebekesi tarafından kontrol edilmesi yerine, tüketicilerin kullanım zamanı ötelenebilir ve güç tüketimi yoğun olan yüklerinin kontrol edilmesi ile çözülebileceği ifade edilmiştir [56]. Lui vd. [57], talep yönetim sistemlerinin akıllı şebekelere entegrasyonunda yapılması gerekenleri ve geliştirilmesi gereken altyapıları açıklayarak bunları seviyelendirmiş; çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, kurutma makinesi gibi yüklerin tepe tüketim periyotlarından kaydırılması durumunda elde edilecek ekonomik yararları ifade etmişlerdir.

Li vd. [49], gün öncesi planlama yapan bir enerji yönetimi uygulaması önermişler ve simülasyonla 1000 adet konut için uygulamışlardır. Elde edilen sonuçlar, önerdikleri gün enerji yönetimi uygulamasıyla tepe tüketim periyodunda gerçekleşen tüketimin %27,6 azaltılabileceğini göstermişlerdir. Ancak, tüketicilerin talep ve istekleri göz önünde bulundurulmamış, tüketicinin istediği zaman kullanabileceği (ötelenebilir) yükler (TV, müzik seti gibi) de kontrol altına alınmış, tüketim eğrisinin az olduğu zamanlarda bataryalar şarj edilerek düzgün dağılımlı bir tüketim eğrisi elde edilmiştir. Castillo-Cagigal

vd. [42], şebeke bağlantılı fotovoltaik panellere sahip bir konut için öz tüketimi arttıran ve puant tarife zamanındaki kontrol edilebilir yükleri fotovoltaik panellerin üretim yaptığı zamana kaydıran bir enerji yönetim sistemi gerçekleştirmişlerdir. Dünyanın önde gelen evirici üreticilerinden SMA, “*Sunny Home Manager*” adını verdiği enerji yönetimi sistemlerini ticari olarak gerçekleştirmekte ve %57’ye varan fatura tasarrufu ve %65’e varan öz tüketim değerleri sunmaktadır [58]. Laicane vd. [47], dört kişilik bir ailenin sadece çamaşır makinesi ve bulaşık makinesinin TTY ile planlanması durumunda, tepe tüketim miktarında azalma sağlanabileceğini göstermişlerdir. Caprino vd. [59], beş daireden oluşan bir tüketim bölgesinde tek bir dairenin ötelenebilir ve kontrol edilebilir tüketimlerinin planlanmasıyla tepe tüketimlerin %8 ile %41 arasında değişen oranlarda azaltılabileceğini, beş dairenin tümü için ise tepe tüketimlerin %46’ya varan oranlarda azaltılabileceğini saptamışlardır. Shaw vd. [60], alçak gerilim şebekesinde oluşan kayıpların elektrik şebekesindeki toplam kayıpların %44’ünü oluşturduğunu ifade etmiş, alçak gerilimdeki bu kayıpların % 63’nün ise tüketim profiline bağlı kayıplar olduğunu belirtmişlerdir. Tüketim profiline bağlı kayıpların azaltılabilmesi için tüketim profilinin değiştirilmesi durumlarında elde edilecek faydalar farklı senaryolar dahilinde incelenmiş ve analiz edilmiştir. Yaptıkları çalışmada ötelenebilir yüklerin ötelenme süresi artıkça daha düzgün bir planlama elde edileceği için kayıpların azaldığı, tam dengeli bir tüketim eğrisinin oluşmasında ise tüketim profiline bağlı kayıpların en aza ineceği ortaya konmuştur. Bununla birlikte, İngiltere’deki dağıtım şebekesinde oluşan tepe tüketimlerin %10’unun 4 saat ötelenmesi durumunda, kayıpların yılda 4GWh azaltılabileceği belirlenmiştir.

Konutlarda kullanılan yüklerin tüketim eğrileri üzerine olan etkileri birçok çalışmada incelenmiş ve konutlarda kullanılan çalışma zamanı ötelenebilir yüklerin TTY kapsamındaki potansiyeli ve tepe tüketimleri azaltmadaki olumlu katkıları belirlenmiştir [61-63]. Bilton vd. [61], İngiltere’de 636 tüketiciyi besleyen bir trafodaki tüketicilerin akıllı cihaz olarak değerlendirdikleri çamaşır makinesi, çamaşır kurutma makinesi ve bulaşık makinelerinin TTY kapsamında yönetilmesi durumunda, tepe tüketimlerde meydana gelebilecek azalma miktarlarını çeşitli durumlar için analiz etmişlerdir. Sonuçlar, TTY’ye toplam tüketicilerin %50’sinin katıldığı durumda tepe tüketimlerin %12,8 azaltılabileceğini, %10’nun katıldığı durumda ise %8,8 azaltılabileceğini göstermiştir. Bir başka çalışmada Nistor vd. [62], İngiltere’deki konutların %20’sindeki çamaşır, bulaşık ve çamaşır kurutma makinelerinde TTY ile yönetilebilen akıllı teknolojilerle donatılmış akıllı

cihazların olması durumunda, güç sisteminde dengeli çalışmayı temin etmek için gereken kısa vadeli işletme rezervi potansiyelinin %54'e varan bir kısmının sağlanabileceğini belirlemişlerdir. Türkiye'nin de içinde olduğu 12 Avrupa ülkesi için yapılan bir çalışmada [63], çamaşır ve bulaşık makinelerinin ötelenmesiyle elde edilebilecek potansiyel faydalar tespit edilmiştir.

Pipattanasomporn vd. [46], şebekeden gelen limit tüketim değeri sinyallerine göre, tüketim değerinin limit değerleri aşmayacak şekilde, tüketici talepleri ve önceliklerini göz önünde bulunduran akıllı ev enerji yönetim sistemi önermişlerdir. Siano vd. [55], akıllı evler için şebekeden gelen fiyat sinyali, tüketici istekleri, şebeke ile yapılan anlaşma, şebekeden gelen istekler gibi parametreleri göz önünde bulunduran bir karar verici ve enerji yönetim sistemi önermişlerdir. Önerdikleri sistemi çeşitli senaryolar için benzetim ortamında test etmişlerdir. Öztürk vd. [43], fotovoltaik panellerle şebeke bağlantılı üretim yapan tüketicinin önceki kullanım değerlerine bağlı olarak güç talebinin ve fotovoltaik sistemden üretilen gücün kestirimi ile desteklenmiş, tüketici talepleri ve fiyat tarifesine göre yük planlaması yapan bir talep tarafı yönetim sistemi önermişlerdir. Önerilen sistem, tüketicinin yalnızca ötelenebilir yüklerinin (çamaşır, bulaşık, çamaşır kurutma makineleri) planlanması ve işletilmesi üzerine gerçekleştirilmiştir. Conejo vd. [44], konutlardaki elektrik yüklerinin dağıtım şebekesi ile gerçekleştirilen iki yönlü iletişim temelinde, anlık fiyat uygulanarak düzenlenmesini önermiştir. Tascikaroglu vd. [50], yenilenebilir enerji kaynağına ve depolama birimine sahip tek bir konut için geliştirdikleri akıllı enerji yönetim sisteminde, yenilenebilir enerji kaynaklarından gelen gücün tahmin edilmesinin enerji yönetim sisteminin performansını arttırdığını göstermişlerdir. Enerji yönetiminde dağıtım şebekesinin uyguladığı fiyat tarifesi ve yenilenebilir enerji kaynağından gelen üretim göz önünde bulundurulmuştur. Fakat geliştirdikleri akıllı enerji yönetim sistemi, şebekeden gelen fiyat sinyaline göre tek bir evdeki cihazları yönetmektedir.

Logenthiran vd. [64], ticari, endüstriyel ve konut tipi tüketiciler için yük kaydırma tekniği temelinde, sezgisel algoritmalar aracılığıyla, tüketici yüklerinin gün öncesi planlanmasına dayalı talep tarafı yönetim sistemi önermişlerdir. Önerdikleri sistemde sezgisel algoritmanın hedef fonksiyonu olarak, gün öncesi tahmin edilen yük eğrisi ile arzu edilen yük eğrisinin farkının karesinin çarpımına göre tersi kullanılmıştır. Böylece, gün öncesi planlama ve çizelgeleme yoluyla işletme maliyetlerinin ve tepe tüketimlerin azaltılabileceği gösterilmiştir. Ayrıca çok sayıda tüketicinin ve bu tüketicilere ait çeşitli

yüklerin bulunması durumundaki eniyileme probleminin çözümünde, sezgisel algoritmaların avantajlarını ve uygulanabilirliğini göstermişlerdir.

Literatürde planlama ve çizelgeleme işlemleri için çeşitli algoritmalar önerilmektedir. Lineer programlama ve dinamik programlama algoritmaları planlama ve çizelgeleme işlemleri için literatürde sıklıkla kullanılan yöntemlerdendir. Fakat bu algoritmalar tüm olasılıkları deneyerek bir sonuç çıkarmaya odaklı olduğundan, sezgisel algoritmalar bu konuda daha elverişli, efektif ve verimlidir [64]. Detaylı bir literatür incelemesi makalesinde akıllı binalardaki enerji yönetimi ve yük planlama problemlerinin çözümünde kullanılan eniyileme (optimizasyon) algoritmaları arasında trend olan ve en fazla kullanılan algoritmaların genetik algoritmalar ve parçacık sürü optimizasyonu algoritmaları olduğu tespit edilmiştir [65]. Çakmak ve Altaş [66], TTY kapsamında gerçekleştirilen yük planlama ve çizelgeleme probleminde Guguk Kuşu Arama (GKA) algoritmasının genetik algoritmadan (GA) daha iyi sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. Çakmak ve Altaş'ın yaptıkları bir diğer çalışma [67] ise, Birlikte Yaşayan Organizmalar Araştırma (BYOA) algoritmasının GKA algoritmasından daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir.

Qian vd. [68], tepe tüketim periyodundaki talebin ortalama talebe olan oranını azaltmak için tüketicinin fiyata vereceği tepkinin kestirimi ve benzetilmiş ısı işlem algoritması tabanlı, gerçek zamanlı fiyatlandırma sistemi önermişlerdir. Gelazanskas ve Gamage [14], bir tüketim bölgesini yapay sinir ağları ile modelleyip, zaman, hava durumu, şebeke tarafından arzu edilen yük miktarı ve anlık güç miktarını kullanarak optimizasyon tabanlı bir fiyatlandırma sistemi önermişleridir.

Ramchun vd. [69], merkezi fiyatlandırma tabanlı talep tarafı yönetimi uygulamalarında tüm tüketicilerin ev enerji yönetim birimleri yoluyla fiyata aynı anda tepki verebileceklerini, bunun sonucunda da fiyat yoluyla tepe tüketimleri azaltmak yerine daha büyük tepe (pik) tüketimlerin ortaya çıkabileceğini belirtilmişlerdir. Bu sorunu çözmek için dağıtılmış talep tarafı yönetim sistemi önermişlerdir. Önerilen dağıtılmış talep tarafı yönetim sistemiyle tepe tüketimlerin %17 oranında azaltılabileceği gösterilmiştir.

TTY kapsamında önerilen talep cevabı programlarının türü ne olursa olsun, tüketicilerin TTY'ye dâhil olması, TTY'nin adil olmasına ve tüketici konforunu en az derecede etkilemesine bağlıdır. Tüketicilerin TTY sistemlerine katılımı ne kadar fazla olursa, TTY ile elde edilebilecek faydalar da o kadar fazla olacaktır. Literatürde çok sayıda TTY'ye yönelik çalışma mevcut olmasına rağmen, pek azı [70-77] bu uygulamaların tüketicilere adil çözümler sunacak şekilde dizayn edilmesini ele almışlardır.

Bakr ve Cranefield [70] ve Baharlouei vd. [71], literatürdeki merkezi fiyatlandırma temelli talep tarafı yönetim sistemlerinin hem adil bir fiyatlandırma sunmadığını, hem de tepe tüketimi azaltma amacına yeterince hizmet edemediklerini belirtmişlerdir. Merkezi talep tarafı yönetimi ve merkezi fiyatlandırma yerine, tüketim bölgelerine özgü, dağıtık fiyatlandırma tabanlı talep tarafı yönetim sistemi önermişlerdir. Vuppala vd. [72], literatürde var olan fiyatlandırma şekillerini incelemiş ve fiyatlandırma biçimleri için adil olma indeksi tanımlamışlardır. Baharlouei vd. [71], tüketicilere adil bir şekilde yansıtacak olan yeni bir fiyatlandırma sistemi önermişler ve adil olma indeksi tanımlamışlardır. Bakr ve Cranefield [70], Baharlouei vd. [71] tarafından önerilen faturalandırma sistemini geliştirerek oyun teorisi tabanlı bir uygulama gerçekleştirmişlerdir. Fakat bunu tüketicilerin toplam tüketimini ele alarak gerçekleştirmişlerdir. Baharlouei ve Hashemi, [73] numaralı çalışmada daha önce önerdikleri fiyatlandırma sisteminin [71] geliştirilmiş halini önermişlerdir. Li vd. [74], çoklu talep toplama mekanizmasına sahip bir sistemde, verimliliği ve fiyatlandırmadaki adil olma indeksini arttırmak için yeni bir talep cevabı programı önermişlerdir. Yaagoubi ve Mouftah [75], adil faturalandırmayı göz önünde bulundurarak oyun teorisi tabanlı bir talep cevabı programı önermişlerdir. Rasheed vd. [76], tüketicilerin enerji tüketim seviyelerini göz önünde bulunduran ve talep cevabı programlarına uygulanabilen bir fiyatlandırma stratejisi geliştirmişlerdir. Assaf vd. [77], adil planlama yapabilen, oyun teorisi tabanlı otomatik enerji planlama sistemi önermişlerdir.

Talep tarafının yönetiminde yukarıda açıklanan “adil olma” konusunun yanında, merkezi fiyatlandırma ve merkezi talep tarafı yönetimi sistemlerinin, TTY ile elde edilecek olumlu etkiler yerine ters etkiye sebep olabileceği literatürde belirtilmiştir. Şöyle ki; her evde bulunan ev enerji yönetim sistemleri TTY kapsamında uygulanan merkezi fiyatlara aynı anda tepki verebilir. Bu durum, fiyatların düşük tutulduğu zaman dilimlerinde yeni tepe tüketimlerin oluşmasına yol açarak, TTY’nin tamamen olumsuz sonuçlar doğurmasına neden olabilir [69, 70]. Merkezi ve dağıtık TTY yöntemlerinin karşılaştırması üzerinde yapılan çalışmalar [78-82], dağıtık TTY yöntemlerinin merkezi TTY yöntemlerinden olan üstünlüklerini ortaya koymuştur ve gelişen akıllı şebeke çalışmalarında dağıtık TTY yöntemlerinin uygulanabilirliğini göstermiştir.

Yukarıda literatür özeti verilen Talep tarafının yönetimi (TTY) sistemlerine ve ev enerji yönetim sistemlerine (EEYS) yönelik test ve ölçüm düzeneği oluşturma çalışmaları da literatüre girmeye başlamıştır. Supriya vd. [83], Zig Bee modüller aracılığıyla

haberleşerek bir konuttaki yükleri yöneten ev enerji yönetim sisteminin prototipini gerçekleştirmişlerdir. Konuttaki yüklerin benzetimi akkor flemanlı lamba kullanılarak yapılmıştır. Hu ve Li [84], makine öğrenme algoritması temelinde, şebekeden gelen fiyat sinyali ve tüketici tercihlerine göre bir konuttaki ötelenebilir (çamaşır makinesi vb.) ve kontrol edilebilir yüklerin (ısıtma-soğutma) yönetimini sağlayan ev enerji yönetim sisteminin prototipini gerçekleştirmişlerdir. Konuttaki yüklerin benzetimini akkor flemanlı lamba türü yükleri kullanarak yapmışlardır. Nalajala vd. [85], ev enerji yönetim sisteminin uygulamasını akkor flemanlı lamba türü yüklerle benzetim yaparak gerçekleştirmişlerdir. Leng ve Polmai [86], akkor flemanlı lamba türünden oluşan yük grupları ve FV güç üretim emulâtöründen oluşan prototip üzerinde yük kontrolü ve üretim kontrolü uygulamasını gerçekleştirmişlerdir.

Akıllı şebekelere ve TTY'ye tüketicilerin bakış açısını ölçmek ve TTY'ye katılıma etki eden faktörleri belirlemek için literatürde çeşitli anket çalışmaları yapılmıştır [87-89]. Bu anket çalışmalarının sonuçlarına göre, tüketicilerin TTY'ye katılımını arttırmak ve yeni çözümler geliştirmek için stratejiler geliştirilmektedir. Bu bakımdan herhangi bir TTY çalışmasının geliştirilme aşamasında, tüketicilere yönelik anket çalışmasıyla tüketici eğilimlerinin, isteklerinin ve çekincelerinin belirlenmesi önem arz etmektedir.

İletişim ve bilgi teknolojilerindeki ilerlemeler [90], nesnelerin interneti (Nİ)[91-93], büyük veri analizi [94] ve yapay zekâ [95] gibi teknolojik gelişmeler, akıllı şebeke çalışmalarının ve TTY'nin uygulamalarının gerçekleştirilmesine olanak sağlayacaktır. İletişim ve bilgi teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte nesnelerin internetinin uygulanabilirliği neticesinde, TTY uygulamaları için tüketicilerin kullanımına yönelik mobil uygulamalar [96, 97] da geliştirilmeye başlanmıştır.

Yukarıda detayları verilen literatür incelendiğinde aşağıdaki tespitlere ve değerlendirmelere ulaşılmıştır:

- Talep yönetimine yönelik literatürdeki çalışmalara bakıldığında, bu çalışmaların çoğunda talebin fiyat sinyalleri kullanılarak kaydırılması veya şekillendirilmesi söz konusudur. Literatürde rastlanılan çalışmaların çoğu, tepe tüketimlerin yaşandığı zamanlardaki tüketimlerin karşılanabilmesi için pahalı santrallerin devreye alınmasını önlemek amacıyla talep yönetimini bir çözüm olarak görmektedir. Hâlbuki, tüm santraller günün tüm saatlerinde ucuz fiyatta elektrik üretse dahi, dağıtım şirketleri tepe tüketimleri kontrol altında tutamazsa yine zararda olacaktır. Çünkü, uzun süreli tepe tüketimler dağıtım şebekesinin yaşlanmasına ve kayıplarının artmasına neden olacaktır. Dolayısıyla,



TTY kapsamında geliştirilen talep yönetimi yaklaşımlarında amaç, sadece tepe tüketimleri azaltmak ve ötelemek değil, toplam tüketim eğrisini dengeli yapmak olmalıdır.

- Her konutta olduğu varsayılan ev enerji yönetim (EEY) sistemlerine merkezi olarak uygulanan, değişken elektrik fiyatına bağlı talep tarafının yönetimi sistemleri tek bir konut için faturayı azaltan bir şekilde yük yönetimi ve planlaması yapabilmektedir. Fakat bir tüketim bölgesi düşünüldüğünde, böyle bir talep tarafı yönetimi, tüm tüketicilerin ev enerji yönetim birimleri aracılığıyla fiyata aynı tepkiyi vermelerine yol açabilmektedir. Bunun sonucunda değişken fiyat yoluyla tepe tüketimleri azaltmak yerine, daha büyük tepe (pik) tüketimlerin ortaya çıkmasıyla şebekede ciddi sorunlar ortaya çıkabilir.

- Merkezi fiyatlandırma temelli talep tarafının yönetimi (TTY) hem adil bir fiyatlandırma sunamamakta hem de tepe tüketimleri azaltma amacına yeterince hizmet edememektedir. Bu nedenle dağıtık TTY ve adil faturalandırma, hem TTY ile elde edilebilecek faydaları hem de tüketicilerin TTY'ne katılımını arttıracaktır.

- TTY sistemleri geliştirilirken amaç olarak tepe tüketimlerin azaltılmasının yanında, artan dağıtık üretim santralleri ve üreten-tüketicilerin olduğu tüketim bölgeleri de düşünülerek, esnek ve dengeli bir tüketim eğrisi elde etmeye odaklanan TTY sistemleri geliştirilmelidir.

- TTY kapsamında fiyatlandırma ve talep yönetimi yapılırken, TTY sistemine dahil olan kullanıcıların istekleri, günün şartları, FV sistemden üretilebilecek gücün kestirimi ve şebekenin durumlarının bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir.

- Geliştirilecek olan TTY yaklaşımları “Akıllı Şebeke” yaklaşımına uygun, ölçeklenebilir ve değişen şartlara göre geliştirilebilir olmalıdır.

- Merkezi fiyatlandırma sinyaline göre bireysel olarak her bir konuttaki yüklerin yönetimini sağlayan EEY sistemlerine yönelik deneysel çalışmalar bulunmakla birlikte, bir tüketim bölgesindeki konutların ötelenebilir/kontrol edilebilir yüklerinin dağıtık talep tarafı yönetim sisteminde yönetilmesinin incelenmesine yönelik ölçeklendirilebilir test ve ölçüm yapmaya olanak sunan laboratuvar prototipine ihtiyaç vardır.

- Tüketicilerin tüketim isteklerinin sisteme gerçek zamanlı olarak girilmesini sağlayacak ve girilen bilgilere göre eniyileştirme ve planlama işlerini güncelleyebilecek, tüketiciyi bilgilendiren, elektrik şebekesiyle interaktif olarak iletişim halinde olan, kullanıcı dostu bir mobil uygulamanın geliştirilmesi gereklidir.

- Akıllı şebekelerde uygulanmak üzere geliştirilen veya geliştirilmesi düşünülen TTY sistemlerine tüketicilerin yaklaşımlarının belirlenmesi ve TTY uygulamalarının gerçekçi verilerle test edilebilmesi için bir anket çalışmasına ihtiyaç vardır.

### 1.3. Tezin Amacı, Konusu ve Özgünlüğü

Bu tez kapsamında, yukarıda detaylı şekilde incelenen literatür araştırması neticesinde ulaşılan tespitlerden ve değerlendirmelerden yola çıkarak; güneş enerjisinden FV sistemlerle şebeke bağlantılı elektrik üretimi yapan konutların bulunduğu bir tüketim bölgesi için bir akıllı talep yönetim sistemi (ATYS) önerilmiştir. Önerilen ATYS, tüketicilerin talep ve isteklerini dikkate alarak, dağıtım şebekesindeki tepe tüketimleri azaltmak ve dağıtım şebekesinde dengeli bir yük tüketim profili oluşturmak için tüketicilerin ötelenebilir yüklerini optimum şekilde yönetmeyi amaçlamaktadır.

Ayrıca önerilen ATYS'nin gerçek zamanlı uygulamalar yapılarak test edilebilmesini sağlayan mobil uygulama destekli bir laboratuvar prototipinin oluşturulması da bu tezin amaçları arasındadır. Bu tez çalışması, aşağıdaki özgün değerleri içermektedir:

- ✓ Akıllı şebeke kavramının gereklerine uygun biçimde, FV sistemlerden üretilecek olan gücün kestirim bilgisine ve öngörülen güç tüketim bilgilerine göre, dağıtım hattında hedeflenen dengeli tüketim eğrisini oluşturmak üzere, en verimli ve en yeni sezgisel algoritmaları kullanarak, dengeyi kolla-kullan, kaydır-kullan ve durdur-kullan yöntemleriyle tüketicilerin taleplerini, tüketicilerin konforunu en az seviyede etkileyecek şekilde yöneten bir ATYS sisteminin geliştirilmesi,
- ✓ Tüketicilerle iletişim kurarak tüketicilerin şebeke ile interaktif hale gelmesini sağlayan, tüketicinin ötelenebilir yüklerine ait isteklerini ATYS sistemine aktaran, tüketiciyi bilgilendirme ve yönlendirme kabiliyetine sahip bir mobil uygulamanın geliştirilmesi,
- ✓ Akıllı yük planlama biriminin, salt tüketici talepleri ile değil, fotovoltaik sistemlerden üretilecek gücün kestirimi, geçmiş zamanlara ait günlük güç tüketim eğrileri, dağıtım şebekesinde diğer dağıtım bölgelerine ait güç tüketim eğrileri, genel şebeke tarafından istenen tüketim eğrileri gibi unsurları da dikkate alacak şekilde, bütüncül bir yaklaşımla tüketim planlaması yapabilmesi,

- ✓ Mevcut literatürden farklı olarak, tüketicinin genel tüketimine yönelik bir faturalandırmanın yanında, tüketicilerin ötelenebilir yükleri için CiSeFAT (Cihaz Seviyesinde Faturalandırma) isimli ayrı bir faturalandırma önermesi ve bu ikisinin bir arada kullanılması,
- ✓ Üreten-tüketicilerin bulunduğu bir konut bölgesinde, üretimin fazla olduğu zaman dilimlerinde elektrik birim fiyatlarının düşük olmasını sağlayarak tüketimin bu zaman dilimlerine kaymasını teşvik etmeyi amaçlayan, net tüketim eğrisine göre dinamik olarak değişen bir fiyatlandırma sisteminin önerilmesi,
- ✓ Çok sayıda talep geldiğinde ve planlama zaman aralığı düşük olduğunda, planlama işlemini hızlı yapabilmek ve eniyi çözüme yakın çözümleri elde edebilmek için en yeni sezgisel algoritmalarından BYOA ve GKA algoritmalarının kullanılması,
- ✓ Bir tüketim bölgesindeki konutların ötelenebilir/kontrol edilebilir yüklerinin dağıtık (adem-i merkezi) talep tarafı yönetim sistemiyle ve bu projede önerilen fiyatlandırma tekniği ile yönetilmesinin incelenmesine yönelik, ölçeklendirilebilir bir ölçüm ve test prototipinin gerçekleştirilmesi,
- ✓ Önerilen ve geliştirilen TTY sitemlerine tüketicilerin bakış açılarının ne olduğu belirlenerek, tüketicilerin bu sistemlere en üst düzeyde katılımlarının sağlanması gerekmektedir. Yapılan literatür araştırmasında akıllı şebekeler ve TTY ile ilgili Türkiye’de uygulanmış bir anket çalışmasına rastlanamamıştır. Bu bakımdan bu doktora tezinin literatürdeki bu boşluğu doldurarak bir ilk olma özelliği taşıması, bu tezin özgün değerleri arasındadır.

#### **1.4. Akıllı Şebekeler**

Elektrik şebekeleri ortaya çıktığı 1900’lü yıllardan bugüne, gelişerek, değişerek ve genişleyerek ulaşmıştır. Bugünün dünyasında, fosil yakıtların tükenebilir olması ve fosil yakıtla çalışan elektrik santrallerinin çevreye verdiği olumsuz etkiler, tüm dünyada azaltılmaya çalışılan sera gazı emisyonları ve enerji bağımsızlığı konuları, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi konusunu ön plana çıkarmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminde kullanılan teknolojilerin gelişmesi ve maliyetlerinin düşmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üreten çok sayıda santralin mevcut elektrik şebekesine eklenmesine yol açmıştır. Bu durum, tek yönlü güç akışına göre tasarlanan mevcut elektrik şebekelerinde birçok risk faktörünü de beraberinde getirmiştir.

Petrol kriziyle ortaya çıkan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim ve enerji tasarrufu hassasiyetleri, nükleer santral kazaları ve sera gazı salınımlarının azaltılmasının gerekliliğinin yadsınamaz oluşu, elektrik üretiminin çevreye ve topluma olan etkilerinin sorgulanmasına yol açmıştır. Bugün, elektrik şebekelerinde sürdürülebilirlik, karbonsuzlaştırma ve sistem güvenliği en önemli konuların başında gelmektedir.

Dağıtık üretim santrallerinin artmasıyla ve bu santrallerin orta ve alçak gerilimden sisteme bağlanmasıyla oluşan çift yönlü güç akışı yapısı, elektrik şebekelerinde meydana gelen kesintilerin ekonomik maliyetleri ve güvenlik sorunları, iletişim, bilgi-işlem ve yapay zekâ konularındaki gelişen teknolojinin elektrik şebekesinin her biriminde etkin olarak kullanılması yoluyla güvenli ve sürdürülebilir bir elektrik şebekesi oluşturma çalışmaları, akıllı şebeke kavramını ortaya çıkarmıştır.

Yeni nesil bilgi-işlem ve iletişim teknolojileri, elektrik şebekelerinde var olan merkezi koruma ve merkezi denetim sistemlerinin ötesinde, şebekenin her birimine, transformator merkezlerine ve güç üretim sistemlerine yerleştirilen bağımsız işlem yapma kabiliyetine sahip akıllı cihazlar yoluyla tamamen dağıtık bir yapıya geçilmesine olanak sağlayacaktır. Böylece oluşan bu dağıtık sistem, gerçek bir akıllı şebekeyi oluşturacaktır [31].

Akıllı şebekelerle ilgili literatürde birçok tanım bulunmakla birlikte, Uluslararası Elektrik Komisyonu (International Electrotechnical Commission (IEC)) akıllı şebekeyi şöyle ifade etmektedir [98]: Üretim teknolojisi ve boyutu ne olursa olsun her türlü güç üretim birimlerinin şebekeye bağlantısına olanak sağlamak, tüketicilerin sistemin işleyişini optimize etmede rol oynamalarına izin vermek, tüketicilere daha fazla bilgi ve tedarik seçeneği sağlamak, tüm elektrik tedarik sisteminin çevresel etkisini önemli ölçüde azaltmak, güvenilirlik ve arz güvenliği artırılmış seviyelerde elektrik sunmak için, akıllı izleme, kontrol, iletişim ve kendi kendini iyileştirme teknolojilerini birlikte kullanarak yenilikçi ürünler ve hizmetler sunan şebeke, akıllı şebekedir. Akıllı elektrik şebekesinin (bundan sonra akıllı şebeke olarak isimlendirilecektir) genel bileşenlerini ve akıllı şebekelerde kullanılabilecek bazı hesapsal yöntemler ve bilgi-işlem teknolojilerini gösteren çizim Şekil 1.1'de verilmiştir.



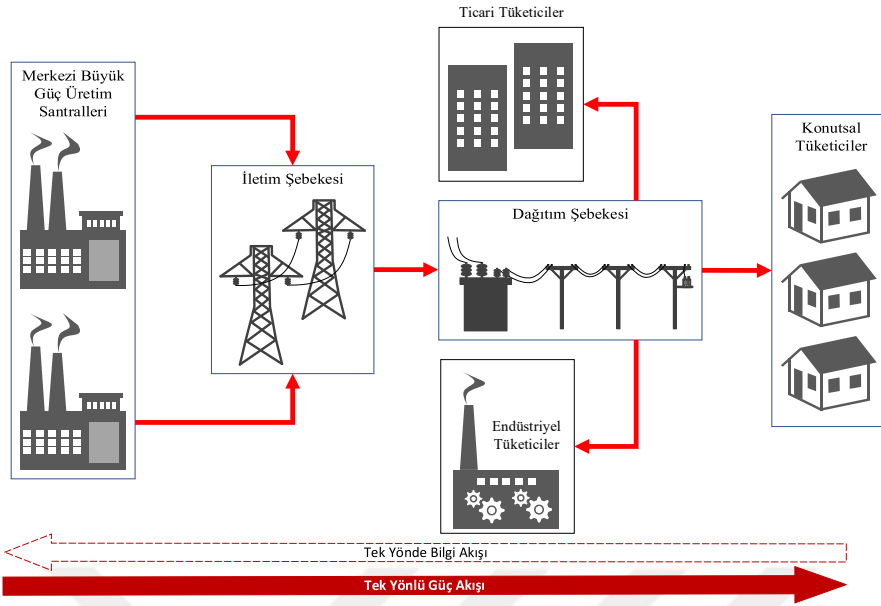
Şekil 1.1. Akıllı şebekelerin genel bileşenleri ve akıllı şebekelerde kullanılabilecek bazı hesapsal yöntemler

Akıllı şebekelerin bazı temel karakteristikleri [99, 100] Tablo 1.2’de ifade edilmiştir.

Tablo 1.2. Akıllı şebekelerin bazı temel karakteristikleri

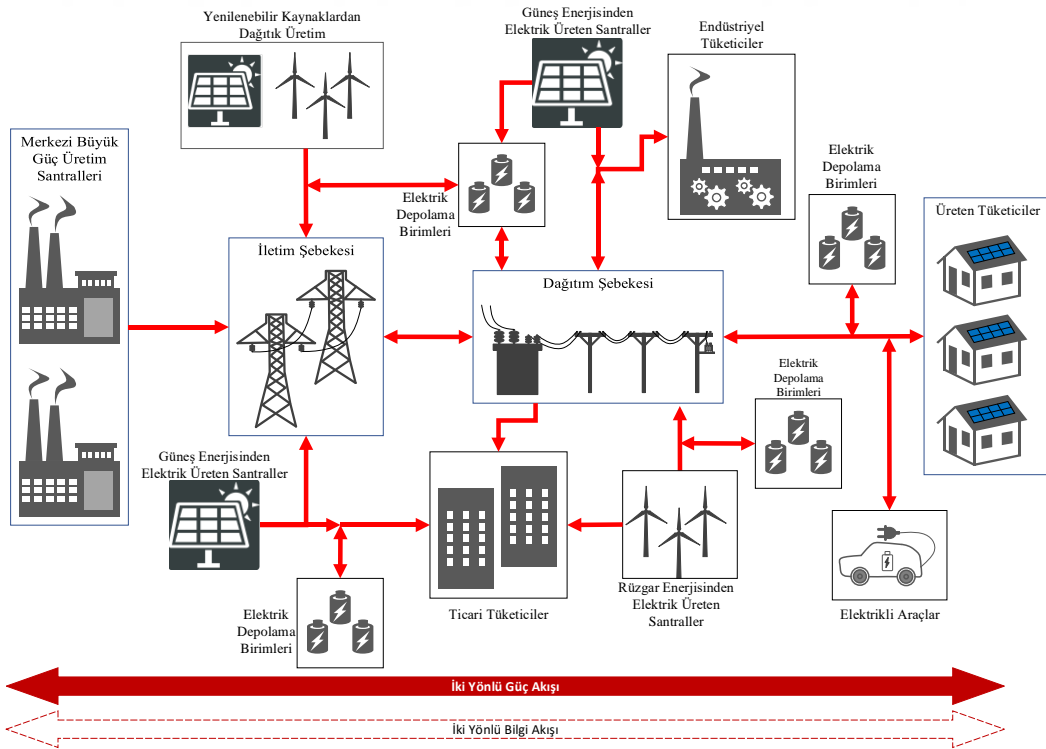
| <b>Karakteristik</b>   | <b>Açıklama</b>  |
|--|--|
| Gürlüklük (Dayanıklılık)                                     | Fiziksel ve siber saldırılara karşı korunaklı bir yapıya sahip olmalıdır.  |
| Çevre Duyarlılığı  | Elektrik üretiminde kullanılan kaynaklar, çevreye en az zarar veren kaynaklardan oluşmalıdır ve şebekenin tamamında verimlilik öncelenmelidir. |
| Kendi kendini iyileştirme                                    | Şebeke herhangi bir olumsuz durumu analiz ederek, kısa sürede tespit edip tepki verebilmelidir ve arızayı düzeltebilmelidir.                   |
| Tüketici ile etkileşimli iş birliği                          | Tüketiciyi ve davranışını, şebekenin tasarım ve işletimine dahil etme yeteneğine sahip olmalıdır.  |
| Tüketicilere kaliteli güç temini                             | Tüketicilerin ve endüstrinin ihtiyaç duyduğu kaliteli gücü sağlayabilecek yapıda olmalıdır.  |
| Dağıtık üretim ve depolama birimlerinin eklentisine uygunluk | Üretimde çeşitliliği sağlamak ve yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme dahil olma oranlarını arttırmasına olanak sağlamalıdır.            |
| Eniyilenmiş ve Eniyilenebilir İşletme                        | Bilgi işlem teknolojilerinin ve aktif ölçme teknolojilerinin kullanılmasıyla, işletme ve bakım maliyetlerini en aza indirmelidir.              |

Şekil 1.2’de bugünkü geleneksel elektrik şebekesinin temel yapısı ve bileşenleri görülmektedir.



Şekil 1.2. Geleneksel elektrik şebekesinin temel yapısı ve bileşenleri

21.yy'da oluşmaya başlayan ve akıllı şebeke olarak ifade edilen elektrik şebekesinin yapısı Şekil 1.3'te yer almaktadır.



Şekil 1.3. 21.yy'da oluşmaya başlayan ve dağıtık üretim birimlerinden oluşan akıllı şebeke

Bugünün şebekesiyle geleceğin akıllı şebekelerinin karşılaştırılması [32] Tablo 1.3'te yer almaktadır.

Tablo 1.3. Bugünün elektrik şebekeleri ve geleceğin akıllı elektrik şebekelerinin karşılaştırılması

|                            | <b>Bugünün Elektrik Şebekeleri</b>   | <b>Geleceğin Akıllı Şebekeleri</b>   |
|----------------------------|--|--|
| <b>Üretim</b>              | Üretim, merkezi büyük güç santrallerinde yapılarak tüketim noktalarına iletilir.           | Daha çok yenilenebilir kaynaklardan küçük ölçekli dağıtık üretim sistemleriyle tüketime yakınında yapılır.                     |
| <b>İletim ve Yedek Güç</b> | Yedek güç birimleri telefon aracılığıyla sistem operatörü tarafından talep edilir.         | Yedek güç isteği, akıllı sistemler yoluyla isteklerin otomatik olarak yönlendirildiği geniş bant bağlantısı üzerinden yapılır. |
| <b>Dağıtım</b>             | Tüketime göre üretim yapılan ve tek yönlü güç akışına göre çalışan dağıtım sistemi vardır. | Üretime göre talebin ayarlandığı, iki yönlü güç akışının olduğu dağıtım sistemi vardır.  |
| <b>Sayaç Sistemleri</b>    | Geleneksel sayaçlar ile tek yönlü bilgi akışı vardır.                                      | İki yönlü bilgi akışına olanak sağlayan akıllı sayaçlar vardır.  |
| <b>Tüketiciler</b>         | Cihazların ve ısıtıcıların kontrolü tüketiciler tarafından yapılır.                        | Akıllı cihazların ve ısıtıcıların kontrolü, tüketici isteklerine göre, otomatik olarak, akıllı sistemlerle yapılır             |
| <b>Genel Sistem</b>        | Üretimden tüketime doğru sürekli bilgi akışı yoktur.                                       | Üretimden tüketime ve tüketimden üretime doğru sürekli bilgi akışı var   |

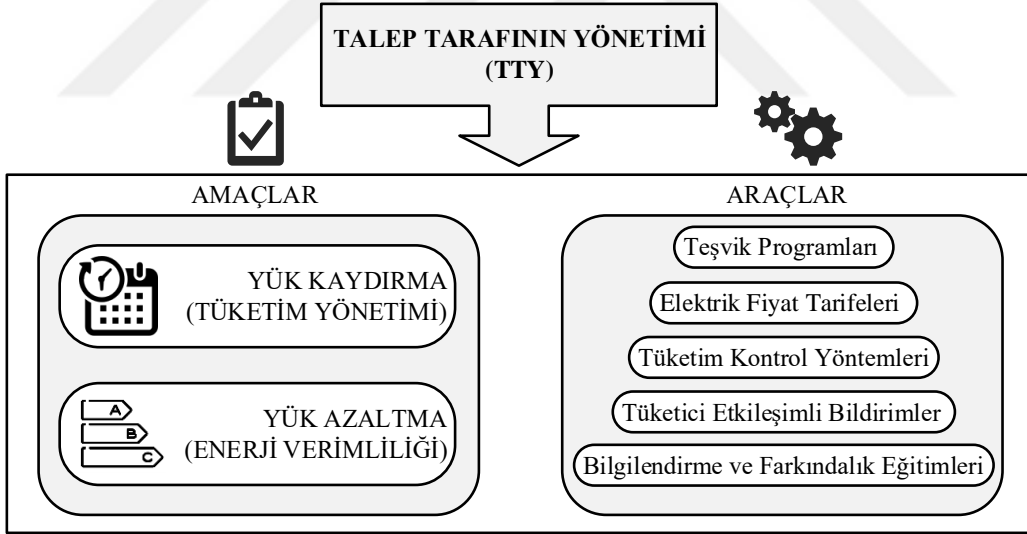
### 1.5. Akıllı Şebekelerde Talep Tarafının Yönetimi

Akıllı şebekelerin gelişimi, iletişim ve bilgi işlem teknolojilerinin gelişimine paralel olarak devam etmektedir ve bu yönde devam edecektir. Gelişen akıllı şebeke teknolojileri, elektrik tüketicilerinin (müşterilerin) tüketimleri hakkında bilgi sahibi olmalarına olanak sağlamanın yanısıra, tüketimlerinin miktarlarını ve zamanlarını ayarlamalarına da imkân verecektir. Akıllı şebekelerde tüketicilerin aktif olarak sistemin içinde var olmasına imkân sağlayan, tüketicilerin faturalarında tasarruf yapmalarına olanak sağlayan ve elektrik şebekesinin daha verimli işletilmesinde yardım eden bu yapı, talep tarafının yönetimi (TTY) olarak adlandırılmaktadır. TTY'nin nihai amacı, elektrik şebekesinin verimli



işletilmesini sağlayabilmek için elektrik tüketicilerinin akıllı şebekede dinamik ve aktif olarak yer bulmasını sağlayan teknolojileri kullanarak, elektrik tüketicilerinin tüketim biçimlerini değiştirmek ve yönetmektir. TTY'nin amaçlarından birisi müşterilerin tüketimlerinin daha verimli olmasını sağlamak, diğeri ise tüketicilerin tüketim zamanlarının ötelenmesini sağlamaktır. Bu iki amaç kısaca enerji verimliliği ve yük kaydırma olarak da ifade edilebilir [38]. Enerji verimliliği ile tüketim miktarlarının düşürülmesi amaçlanırken, yük kaydırma ile tepe tüketim dönemlerindeki ötelenebilir tüketimlerin, tüketimin daha düşük olduğu dönemlere kaydırılması amaçlanmaktadır. Yük kaydırma ile, tepe tüketim dönemlerinde oluşan talebi karşılamak için devreye giren ve temel yük santrallerine göre daha pahalıya elektrik üreterek satan elektrik santrallerine olan ihtiyacı en aza düşürmek mümkün olabilmektedir. Bunun yanısıra, TTY ile yük kaydırma daha dengeli tüketim eğrilerinin oluşturulmasına olanak sağlamaktadır.

TTY'nin amaçları ve bu amaçları gerçekleştirmek için kullanılacak araçları Şekil 1.4'te görülmektedir.



Şekil 1.4. TTY'nin amaçları ve araçları

Elektrik tedarikçileri, fiyat tarifelerini değişik amaçlarla oluştururlar. Üretim maliyetlerini düşürecek şekilde bir fiyat tarifesini oluşturmak asıl hedef olmakla birlikte başka birçok amaç elektrik fiyat tarifelerinin belirlenmesinde rol oynar. Özellikle tüketici tarafındaki elektrik talebinin yönetilmesinde, elektrik fiyat tarifeleri önemli unsurların başında gelir. Nitekim IEA'nın raporuna göre, Türkiye'nin de içinde bulunduğu 22 ülkenin

elektrik fiyatları ve tüketim miktarları arasındaki ilişki, elektrik fiyatlarının tüketim miktarlarını belirlemede önemli bir parametre olduğunu ortaya koymaktadır. Elektrik fiyat tariflerinde uygulanacak olan optimum elektrik fiyatlarıyla elektrik talebinin düzenlenmesi mümkün olacaktır [52].

Yaygın olarak kullanılan fiyat tarife çeşitleri ve özellikleri aşağıdaki tabloda yer almaktadır [18, 38].

Tablo 1.4. Yaygın olarak kullanılan fiyat tarife çeşitleri ve özellikleri

| Tarife Çeşidi   | Özellikleri  |
|---|--|
| <b>Tek zamanlı fiyatlandırma (TZF)</b><br><b>(Flat rate)</b>                                      | Günün her zamanı için tek bir fiyat uygulanır.   |
| <b>Kritik tepe tüketimlere yönelik fiyatlandırma (KTTF)</b><br><b>(Critical Peak Pricing-CPP)</b> | Kritik tepe tüketimlerin olduğu zaman dilimleri için oldukça yüksek fiyatlar uygulanır       |
| <b>Çok zamanlı fiyatlandırma (ÇZF)</b><br><b>(Time of Use-ToU)</b>                                | Gün içerisindeki belirli zaman dilimleri için önceden belirlenmiş farklı fiyatlar uygulanır. |
| <b>Gerçek zamanlı fiyatlandırma (GZF)</b><br><b>(Real time pricing)</b>                           | Tüm zaman dilimleri için gerçek zamanlı olarak değişen fiyatlar uygulanır.                   |
| <b>Yüksek tüketime yönelik fiyatlandırma (YTF)</b><br><b>(Inverted block pricing-IBP)</b>         | Yüksek tüketim yapan müşteriler için yüksek fiyatlar uygulanır.                              |

TTY ile tüketicilerin tüketim alışkanlıkları, iki temel yaklaşım yoluyla değiştirilmek istenmektedir. Bunlardan birincisi fiyat tabanlı yaklaşımlar olup, diğeri ise doğrudan yük kontrolüne dayalı teşvik tabanlı yaklaşımlardır [14]. Fiyat tabanlı TTY ile, tüketicilerin evlerinde bulunan ev enerji yönetim sistemleri aracılığıyla, dolaylı bir tüketim yönetimi söz konusudur. Teşvik tabanlı yaklaşımlarda ise, tüketicilerin durdurulabilir ve uzaktan yönetilebilir yüklerinin teşvikler yoluyla şebeke tarafından kontrol edilmesi söz konusudur. TTY kapsamında tüketicilerin yükleri TTY'nin amaçlarını gerçekleştirmek üzere çeşitli şekillerde kontrol edilebilir. Bu kontrol yöntemleri doğrudan, dolaylı, piyasa tabanlı (alımsatımsal işleme dayalı) ve özerk kontrol yöntemleri şeklinde gruplandırılabilir [101]. Tüketim kontrol yöntemleri hakkındaki detaylı bilgiler, [101-104] kaynaklarından edinilebilir.

Aşağıdaki tabloda TTY ile tepe tüketimlerin azaltılmasının sağlayacağı yararlar özetlenmiştir [34, 105].

Tablo 1.5. TTY ile tepe tüketimlerin azaltılmasının sağladığı yararlar

| <b>Oluşacak Olan Faydalar</b> |  |
|-------------------------------|--|
| <b>Elektrik Şebekelerine</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Güç kalitesinde artış</li> <li>• Verimlilikte artış</li> <li>• İşletme giderlerinde ve üretim maliyetlerinde azalma</li> <li>• Elektrik şebekesine daha fazla yenilenebilir enerji kaynaklı üretim yapan santrallerin bağlanabilmesi</li> <li>• Güç sağlama güvenliğinde artış</li> </ul> |
| <b>Tüketicilere</b>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektrik faturalarında düşüş</li> <li>• Şebekede aktif rol alma</li> <li>• Tüketim ve üretimi izleme,</li> <li>• Daha düşük maliyetle elektrik satın alma</li> <li>• Alınan hizmetin kalitesinde artış</li> <li>• Kaliteli ve sürekli elektrik gücüne ulaşma imkânı</li> </ul>            |
| <b>İnsanlığa (Topluma)</b>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• İklim değişikliğine neden olan elektrik güç santrallerinin azalmasıyla daha iyi bir çevre ve daha yaşanılabilir bir dünya</li> <li>• Çevre kirliliğinde azalma, yaşam standartlarında artış</li> <li>• Kaynak tasarrufu</li> <li>• Daha iyi bir elektrik hizmetinin sağlanması</li> </ul> |

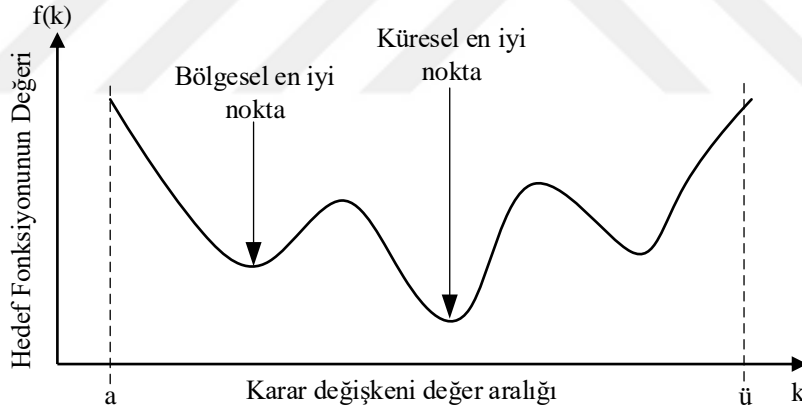
## 1.6. Sezgisel Algoritmalar ve Eniyileme

İsmi Latinceye “*Alkhorizmi*”, Fransızcaya “*Algorithme*” şeklinde geçen Müslüman ve Türk bilim adamlarından Muhammed bin Musa El-Harezmi (doğum:780-ölüm:850), Cebir ve Algoritma biliminin kurucusudur. Harezmi, matematikteki çarpma işlemlerinin sistematik bir şekilde yapılması için çarpma işlemini bir algoritma şeklinde ifade ederek, bugünkü bilgisayarların teorik ve uygulamalı çalışmalarının temeli olan algoritma bilimine adını vermiştir [106, 107]. Algoritma, bir problemin çözümünde izlenecek olan hesaplama

işlemlerinin adım adım ve sistematik olarak ifade edilmesiyle oluşur. Birçok algoritma tekrarlamalı (iteratif) bir yapıya sahiptir.

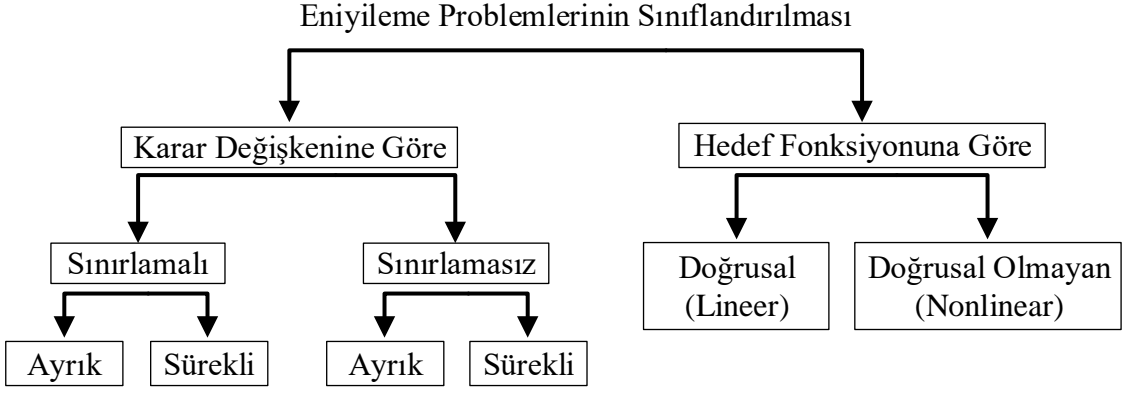
Eniyileme (optimizasyon), birtakım sınırlamalar altında, hedeflenen amaçları en üst düzeye çıkaracak şekilde, çeşitli seçenekler arasından en uygun olan bilinmeyen değişkenlerin bulunması problemi olarak tanımlanabilir. Eniyileme işleminin uygulanacağı probleme göre, karar değişkenlerinin (tasarım parametrelerinin) ve bu karar değişkenlerine göre en büyük veya en küçük yapılacak olan bir hedef fonksiyonunun belirlenmesi gerekmektedir. Eniyilemenin tanımında belirtilen sınırlamalar ise, problemin çözümü için belirlenen karar değişkenlerinin alabileceği değer aralıklarını ifade etmektedir.

Karar değişkeninin değer aralığının alt sınırı  $a$ , üst sınırı  $ü$  olmak üzere, tek değişkenli bir  $f(k)$  hedef fonksiyonunda, küresel ve yerel (bölgesel) en iyi noktaların konumları Şekil 1.5'te gösterilmektedir. Bir eniyileme probleminin çözümünden beklenen, yerel en iyi noktalardan sıyrılarak, küresel en iyi hedef fonksiyonu değerini verecek karar değişkenlerinin bulunmasıdır.



Şekil 1.5. Bir eniyileme probleminde yerel ve küresel en iyi noktalar

Eniyileme problemleri, karar değişkenlerinin sınırlamalı olup olmamasına, amaç fonksiyonunun doğrusal veya eğrisel olmasına, karar değişkeni uzayının ayrık veya sürekli olmasına göre, Şekil 1.6'da gösterildiği gibi değişik sınıflandırmalara tabi tutulabilir [108].



Şekil 1.6. Eniyileme problemlerinin sınıflandırılması

Eniyileme problemlerinin çözümünde çeşitli algoritmalar kullanılır. Eniyileme problemlerinin çözümünde kullanılan geleneksel (klasik) algoritmaların çoğu deterministik (belirlenimci) bir yapıdadır. Bu deterministik yapıdaki algoritmaların çoğu eğim (gradyant) bilgisine ihtiyaç duyduğundan, eniyileme probleminin çözümünde türev alma işlemine ihtiyaç vardır. Türev operatörü kullanan algoritmalar arasında en iyi bilinen Newton-Raphson algoritması, tek tepeli ve sürekli yapıdaki hedef fonksiyonuna sahip olan, matematiksel ifadesi tam olarak elde edilmiş problemlerin çözümünde oldukça iyi sonuç verir. Fakat hedef fonksiyonu süreksizlik içeriyorsa, türev tabanlı algoritmalar bu tip problemlerin çözümünde etkisiz kalırlar. Gerçek dünyadaki problemlerin çoğunun matematiksel ifadeleri kesin ve eksiksiz olarak elde edilememektedir. Bir problemin tam matematiksel eşitliği elde edilse bile, eğer sistem polinomal değilse (NP; Nonpolynomially Bounded), çözülmesi zor sistemlerdir ve bu sistemlerin çözümlerini kısa sürede bulan yöntemler mevcut değildir. Bu nedenle NP problemler için yaklaşık çözüm algoritmaları geliştirilmiştir [109]. Bu yaklaşık çözüm veren algoritmalar yaklaşıklamalı algoritmalar olarak isimlendirilirler [110].

Yaklaşıklamalı algoritmalar sezgisel yapıdadır ve rastgele araştırma tekniği kullanan algoritmalarlardır. Burada sezgi kavramı, bir problemin çözümüne ait seçenekler arasından en iyi çözümü verecek olan değere yakın seçeneklerin, deneme yanılma yöntemini akıllıca kullanarak, kestirme bir şekilde (makul hesaplama maliyetiyle) bulunmasını ifade etmektedir. Sezgisel algoritmalar kesin çözümü vermeyi garanti etmezler, fakat kesin çözüm yakınındaki bir çözümü garanti ederler. Sezgisel algoritmalar, çözülmesi çok zor ve karmaşık problemler için kesin çözüm civarındaki makul çözümleri kabul edilebilir bir hesaplama süresi içinde veren algoritmalarlardır. Araştırmacılar tarafından literatüre

kazandırılmış birçok sezgisel algoritma mevcuttur [111] ve bunların birçoğu tabiattan ilham alınarak geliştirilmiştir [112].

### 1.6.1. Literatürde Sıklıkla Rastlanan Sezgisel Algoritmalar

Literatürde geliştirilmiş birçok sezgisel algoritma bulunmakla birlikte, literatürde sıklıkla karşılaşılan sezgisel algoritmalar ve ayarlanması gereken parametre sayıları Tablo 1.6'da verilmiştir.

Tablo 1.6. Literatürde sıklıkla karşılaşılan sezgisel algoritmalar ve parametre sayıları

| <i>Sezgisel Algoritma Adı</i>                                       | <b>Parametre Sayısı</b> |
|---|-------------------------|
| <i>Birlikte Yaşayan Organizmalar Arama (BYOA) Algoritması</i> [113] | 1                       |
| <i>Guguk Kuşu Arama (GKA) Algoritması</i> [114]                     | 2                       |
| <i>Farksal Gelişim (FG) Algoritması</i> [115]                       | 3                       |
| <i>Çiçek Tozlaşma (ÇT) Algoritması</i> [116]                        | 3                       |
| <i>Genetik Algoritma (GA)</i> [117]                                 | 4                       |
| <i>Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) Algoritması</i> [118]          | 4                       |
| <i>Ateşböceği (AB) Algoritması</i> [119]                            | 4                       |
| <i>Karınca Koloni (KK) Algoritması</i> [120]                        | 4                       |
| <i>Yapay Arı Kolonisi (YAK) Algoritması</i> [121]                   | 4                       |
| <i>Yarasa Algoritması (YA)</i> [122]                                | 5                       |
| <i>Yerçekimsel Arama (YA) Algoritması</i> [123]                     | 5                       |
| <i>Yapay Bağışıklık Tanıma (YBT) Algoritması</i> [124]              | 6                       |
| <i>Yayılmacı Rekabetçi Algoritma (YRA)</i> [125]                    | 7                       |

Tablo 1.6'dan da görüleceği üzere, literatürde sıklıkla kullanılan sezgisel algoritmalar arasında BYOA ve GKA algoritmaları dışındaki sezgisel algoritmalar ikiden fazla ayar parametresine ihtiyaç duymaktadır. Eğer bir sezgisel algoritma bir veya daha fazla ayar parametresine ihtiyaç duyuyorsa, algoritmanın gürbüz, verimli, hızlı ve doğru çalışması için bu ayar parametrelerinin de doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu durum, eniyileme problemlerinin çözümünde kullanılan bu sezgisel algoritmaların

parametrelerinin ayarlanmasını da ayrı bir eniyileme problemi olarak karşımıza çıkarmaktadır. Tablo 1.6’da verilen verilen sezgisel algoritmalar arasında BYOA ve GKA algoritmaları daha az ayarlanacak parametreye sahip olduğundan, bu algoritmaların diğer sezgisel algoritmalara göre üstünlükleri vardır. Bununla birlikte, literatürdeki çeşitli problemlerde kullanılan sezgisel algoritmaların karşılaştırmalı sonuçları GKA ve BYOA algoritmalarının diğer sezgisel algoritmalara göre daha verimli çalıştığını ve daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır [66, 113, 126-132]. GKA ve BYOA algoritmalarının diğer sezgisel algoritmalara olan üstünlükleri nedeniyle, bu tezde önerilen sezgisel algoritma tabanlı ATYS’de GKA ve BYOA algoritmaları kullanılmıştır. GKA ve BYOA algoritmalarının yapısı ve işleyişleri aşağıda açıklanmaktadır.

### 1.6.2. Guguk Kuşu Arama (GKA) Algoritması

Guguk kuşu türlerinin bazıları kendi yumurtaları üzerinde kuluçkaya yatmak yerine, kuluçka asalaklığı yaparlar. Dişi guguk kuşu, yumurtasını hedefindeki konak yuvanın sahibinin olmadığı bir zamanda, konak yuvanın esas yumurtalarından birini yuvadan dışarı atarak, konak yuvadaki yumurtalara benzeyen renk ve şekilde konak yuvaya yumurtlarlar. Konak yuvanın sahibi yuvaya döndüğünde, yuvasındaki yumurtaların üzerinde kuluçkaya yatarak bekler. Eğer konak yuvanın sahibi guguk kuşunun yumurtasını fark ederse, ya farklı olan yumurtayı yuvadan atar ya da yuvasını değiştirerek başka bir yere yuva yapar. Bu durum gerçekleşmediyse, guguk kuşunun yumurtladığı asalak yumurta konak yuvadaki diğer yumurtalardan önce çatlar ve guguk kuşu yavrusu yumurtadan çıkar. Guguk kuşu yavrusu yuvadan çıkar çıkmaz, içgüdüsel yetileriyle yuvadaki diğer yumurtaları yuvadan dışarı atar. Konak yuvanın sahibi yumurtadan çıkan kuşu kendi yavrusuymuş gibi besleyerek büyütür. Böylece, bu türdeki guguk kuşları kuluçka asalaklığı yoluyla çoğalmış olurlar [133].

Guguk kuşu arama (GKA) algoritması, bazı guguk kuşlarının yukarıda açıklanan üreme davranışlarından esinlenerek geliştirilmiş, rastgele araştırma izlemi olarak Lévy uçuşunu kullanan, en yeni sezgisel algoritmalarından biridir [114]. Lévy uçuşu [134, 135] bazı hayvanların yiyecek arama izlemlerinden biridir. Öyle ki; yiyecek arayan hayvanlar önce küçük bir alanda bir süre arama yaptıktan sonra daha uzak bir noktaya uçarak, uçtuğu yeni nokta civarında arama yaparlar. Böylece enerjilerinin tamamını yerel arama bölgelerinde tüketmezler ve verimli bir şekilde birçok alanda arama yaparlar. Lévy

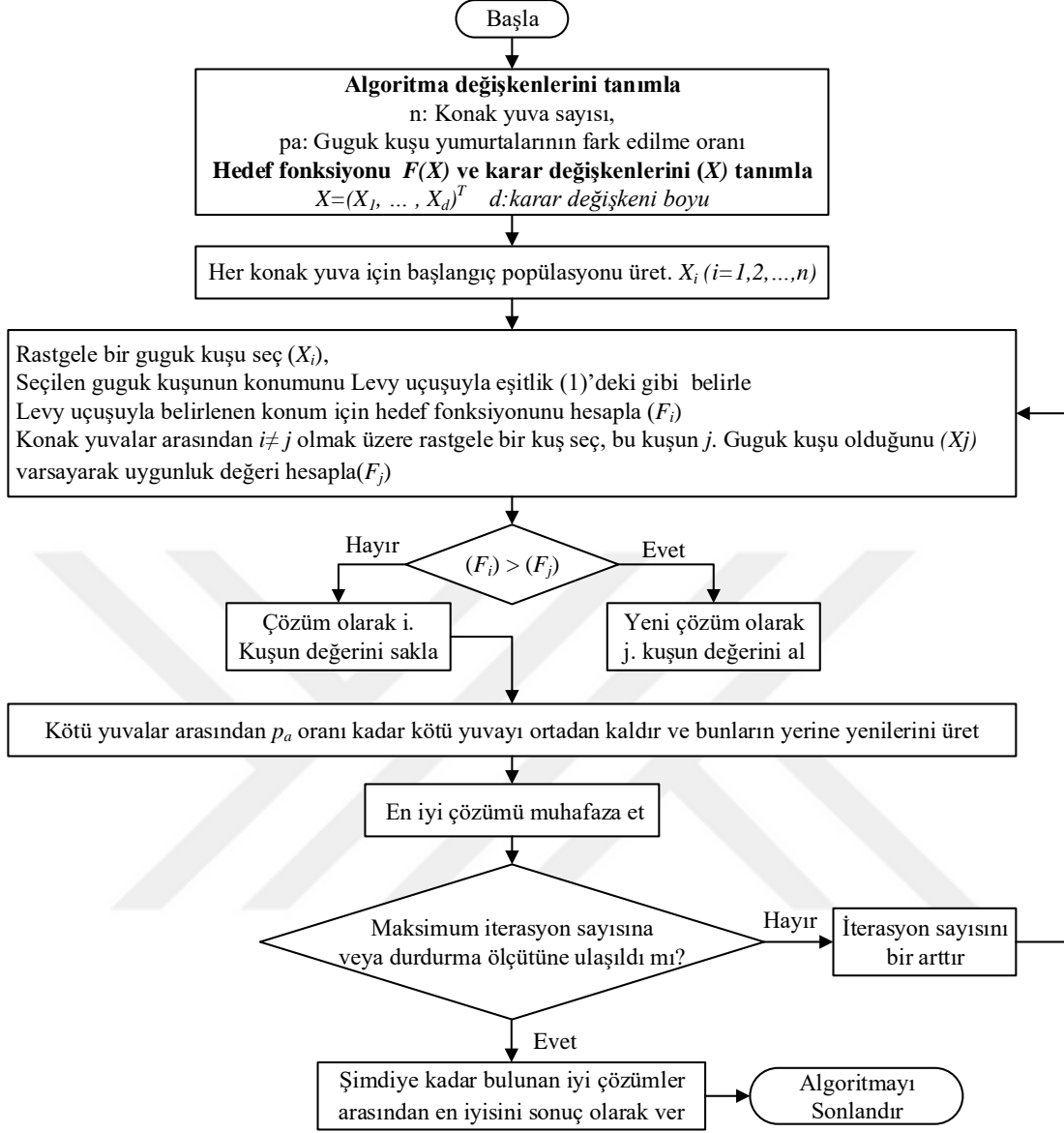
uçuşunun guguk kuşu arama (GKA) algortimasında kullanılması, bu algoritmanın yerel en iyi noktalara takılmasını önleyerek küresel en iyi çözüm civarındaki çözümlerin elde edilmesine olanak sağlamaktadır. GKA algoritması literatürdeki diğer sezgisel algoritmalara göre birçok çalışmada daha iyi sonuç vermiştir [66, 114, 126-128, 131, 132]. Bunun yanısıra, sadece iki ayar değişkenine ihtiyaç duyması, GKA algoritmasını diğer sezgisel algoritmalar arasından öne çıkarmaktadır.

Lévy uçuşu fonksiyonu kullanan GKA algoritmasında,  $i$ . karar değişkininin  $(y+1)$ . yinelemedeki (iterasyondaki) değeri eşitlik (1)'deki gibi bulunur.

$$X_i^{y+1} = X_i^y + f(Lévy) \quad (1)$$

GKA algoritmasının işleyişini gösteren akış diyagramı Şekil 1.7'de yer almaktadır.





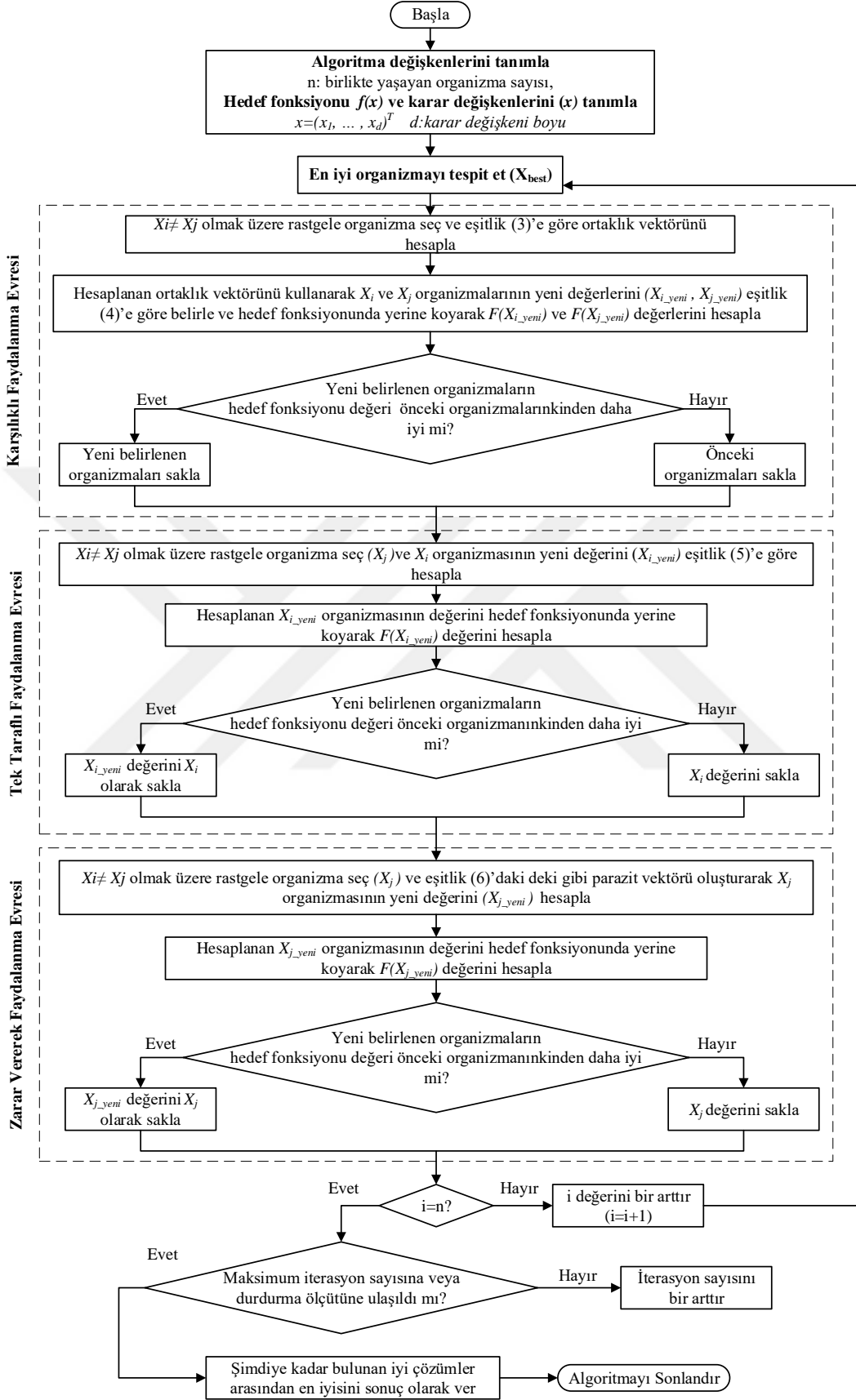
Şekil 1.7. GKA algoritmasının işleyişini gösteren akış diyagramı

### 1.6.3. Birlikte Yaşayan Organizmalar Arama (BYOA) Algoritması

Birlikte yaşayan organizmalar arama algoritması (BYOA) [113], bir ekosistemde yaşamlarını sürdürebilmek ve çoğalabilmek için birlikte yaşama izlemlerini benimseyen organizmaların davranışlarından esinlenerek Cheng ve Prayogo tarafından geliştirilen sezgisel bir algoritmadır. BYOA algoritması yeni geliştirilen bir algoritma olmasına rağmen, basit ama güçlü yapısıyla diğer sezgisel algoritmalarından daha iyi sonuçlar üretebilmektedir ve daha verimli çalışma yapısına sahiptir [113, 129, 130]. BYOA algoritmasını diğer sezgisel algoritmalarından üstün kılan bir başka özellik ise, BYOA

algoritmasının popülasyon sayısı haricinde herhangi bir ayar parametresine ihtiyaç duymamasıdır.

Bir ekosistemde birlikte yaşayan değişik türdeki canlılar arasında iki tarafın da fayda sağladığı (mutualism), bir tarafın fayda sağladığı fakat karşı tarafın bundan olumlu ya da olumsuz etkilenmediği (commensalism) ve bir tarafın karşı tarafa zarar vererek yarar sağladığı (parasitizm) ortak yaşam olmak üzere üç farklı birlikte yaşama izlemi görülebilmektedir. BYOA algoritması bu üç birlikte yaşama izleminin matematiksel olarak benzetimini yapmak suretiyle eniyileme problemlerini çözmeye çalışmaktadır. *Karşılıklı Faydalanma (Mutualism)*, *Tek Taraflı Faydalanma (Commensalism)* ve *Zarar Vererek Faydalanma (Parasitism)* olarak isimlendirebileceğimiz bu üç farklı birlikte yaşama izleminin BYOA algoritmasındaki benzetimleri yoluyla, en iyi çözümlere ulaşmak için hesaplamalar yapılmaktadır. BYOA algoritmasının işleyişini gösteren akış diyagramı Şekil 1.8'de yer almaktadır.



Şekil 1.8. BYOA algoritmasının işleyişini gösteren akış diyagramı

BYOA algoritmasının *Karşılıklı Faydalanma* evresinde rastgele üretilen başlangıç çözümlerinden yola çıkılarak eşitlik (2) ve (3)'te ifade edilen *yarar faktörü* ve *ortaklık vektörü* hesaplanıp, eşitlik (4)'te ifade edilen yeni çözümler elde edilir.  $\text{rastg}(a,b)$  fonksiyonu,  $[a,b]$  aralığında rastgele sayı üreten bir fonksiyon ve  $\text{yuvarla}(d)$ ,  $d$  değişkenini en yakın tam sayıya yuvarlayan bir fonksiyon olmak üzere,

$$\text{yarar\_faktörü} = \text{yuvarla}(1 + (\text{rastg}(0,1))) \quad (2)$$

$$\text{Ortaklık\_vektörü} = \frac{X_i + X_j}{2} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} X_{i\_yeni} &= X_i + \text{rastg}(0,1) \times (X_{en\_iyi} - (\text{Ortaklık\_vektörü} \times \text{yarar\_faktörü})) \\ X_{j\_yeni} &= X_j + \text{rastg}(0,1) \times (X_{en\_iyi} - (\text{Ortaklık\_vektörü} \times \text{yarar\_faktörü})) \end{aligned} \quad (4)$$

*Karşılıklı Faydalanma* evresinin ardından *Tek Taraflı Faydalanma* evresine geçilir. Bu evrede ise eşitlik (5)'te ifade edildiği gibi bir çözüm elde edilir.

$$X_{i\_yeni} = X_i + (\text{rastg}(-1,1) \times (X_{en\_iyi} - X_j)) \quad (5)$$

*Tek Taraflı Faydalanma* evresinden sonra *Zarar Vererek Faydalanma* evresinde eşitlik (6)'da verilen işlem uygulanarak, olası yerel en iyi çözümlere takılmanın önüne geçilir.

$$X_{j\_yeni} = (X_i \times X_i) + X_j \quad (6)$$

### 1.7. Veri Toplama Aracı Olarak Anketler

Anketler belirli bir konuda kişilere yöneltilen sorulardan elde edilen cevaplara dayalı olarak veri toplama tekniği olup, günümüzde birçok alanda farklı şekillerde kullanılmaktadır. Yüzyüze, telefonla ve posta yoluyla görüşmeye dayanan geleneksel anket türleri olmakla birlikte, bilgisayar destekli olarak internet üzerinden veri toplamaya dayanan anket türleri de mevcuttur [136].

Anket hazırlamada en önemli aşamalardan birisi soruların hazırlanması ve anketin yapılacağı hedef kitlenin belirlenmesidir. Sorulan soruların ölçülmek istenenleri tam olarak karşılaması ve anlaşılır olması gerekmektedir. Çok çeşitli anket soru tipleri olmakla beraber, sorulan sorulara verilecek olan cevapların ölçeklendirilmesi de önemli bir konudur. Ölçekte esas alınan kıstasa göre birçok ölçek tipi vardır [137].

Anket sorularının ve ölçeğinin belirlenmesinden sonra, anket ön test işlemine tabi tutularak soruların anlaşılabilirliği ve gözden kaçan noktaların düzeltilmesi gerçekleştirilir. Ardından, anketin uygulanma biçimine göre anket uygulanarak veriler elde edilir ve istatistiksel yöntemler kullanılarak elde edilen veriler analiz edilir.

## **2. YAPILAN ÇALIŞMALAR**

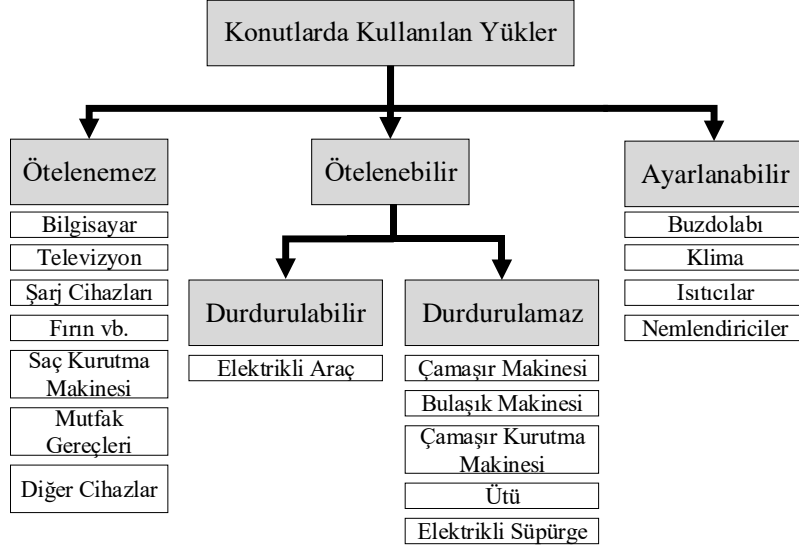
Bu bölümde Akıllı Talep Yönetim Sistemi (ATYS), bu sistemin test edilmesini sağlayan test ve ölçüm prototipi, önerilen fiyatlandırma sistemi, önerilen faturalandırma sistemi, tasarlanan mobil uygulama ve anket çalışmasının detayları açıklanmaktadır.

ATYS'nin açıklanmasından önce konutlarda kullanılan yükler sınıflandırılmıştır ve ötelenebilir yüklerin bazı çalışma durumlarındaki tüketim eğrileri verilmiştir. Daha sonra konutların bulunduğu bir tüketim bölgesinin yıllık, aylık, haftalık ve günlük güç tüketim eğrileri verilerek bu eğriler yorumlanmıştır. Ardından dağıtım hatlarındaki yüke bağlı kayıplar açıklanarak, dağıtım hatlarındaki kayıpları azaltmayı ve yenilenebilir enerji kaynaklarının dağıtım hatlarına olan etkisini azaltmayı hedefleyen ATYS'nin detayları verilmiştir.

ATYS ile yük planlama probleminin sezgisel algoritmalar kullanılarak çözülmesi açıklandıktan sonra, ATYS'nin test edildiği, mobil uygulama ile kontrol edilebilen test ve ölçüm prototipi açıklanarak bu prototipin bileşenleri verilmiştir. Daha sonra mobil uygulamanın ana bileşenleri ve mobil uygulama destekli ATYS'nin nasıl çalıştığı açıklanmıştır. Ardından, önerilen ATYS'nin gerçekçi verilerle test edilmesi için veri toplamak ve tüketicilerin önerilen sisteme bakışlarını ölçmek için hazırlanan anket çalışmasının detayları verilmiştir. Son olarak, anket çalışmasından elde edilen bulgulara göre ATYS'yi test etmek için oluşturulan senaryolar verilerek bu bölüm sonlandırılmıştır.

### **2.1. Konutlarda Kullanılan Yüklerin Niteliksel ve Niceliksel Özellikleri**

Bu bölümde konutlarda kullanılan yükler nitelik ve nicelik olarak incelenmiştir. Literatürdeki konu ile ilgili çalışmalar [138, 139] göz önünde bulundurularak konutlarda kullanılan yükler sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmada, detayları ilerleyen bölümlerde verilecek olan anket çalışmasının sonuçları da etkili olmuştur.



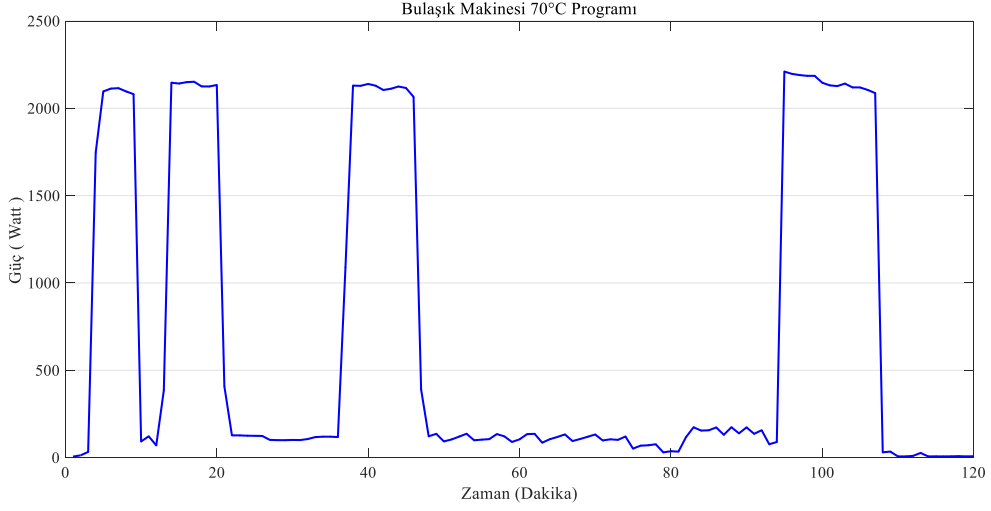
Şekil 2.1. Konutlarda kullanılan yüklerin sınıflandırılması

Konutlarda kullanılan bazı ötelenebilir cihazların (yüklerin) Tablo 2.1’de verilen değişik çalışma programlarındaki güç tüketim eğrileri aşağıdaki şekillerde yer almaktadır.

Tablo 2.1. Güç tüketim eğrileri incelenen bazı ötelenebilir cihazlar ve çalışma programları

| Ötelenebilir Cihaz Adı,<br>Marka ve Modeli             | Program   |                |
|--|---|----------------|
|  | <b>Bulaşık Makinesi (A++)</b><br>(Siemens, SN26M283TR)  | 70°C           |
| <b>Çamaşır Makinesi (A+++)</b><br>(Siemens, M10Q482TR) | 60°C 800 devir ön yıkamalı  | 40°C 800 devir |
| <b>Çamaşır Kurutma Makinesi</b>                        | Türkiye’de kullanımı şu an için yaygın olmadığından örnek veri [140] numaralı kaynağın veri tabanından alınmıştır.  |                |
| <b>Elektrikli Araç</b>                                 | Türkiye’de kullanımı şu an için yaygın olmadığından örnek veri, [140] numaralı kaynağın veri tabanından alınmıştır. |                |

Şekil 2.2’de 70°C programında çalışan bulaşık makinesine ait güç tüketim eğrisi yer almaktadır. Bu güç tüketim eğrisinin analizleri Tablo 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. 70°C programında bulaşık makinesinin güç tüketim eğrisi

Şekil 2.2'den görüleceği üzere, bulaşık makinesinin 70°C programı 120 dakika sürmüştür ve bu süre içerisinde uzun süreli tepe tüketimler yaşanmıştır. Bu güç tüketim eğrisinde ortalama güç değeri 693,37 Watt olarak hesaplanmıştır. Tepe güç tüketimi ise 2218,7 Watt olarak ölçülmüştür. Tablo 2.2'den de görüleceği üzere tepe tüketimin ortalama tüketime oranı (TTO) 3,19 olarak hesaplanmıştır. Bu TTO değeri, 70°C programındaki 120 dakikalık periyot içinde, bulaşık makinesinin ortalama tüketimine göre yaklaşık 3 kat daha yüksek tüketimlere sahip olduğunu göstermektedir.

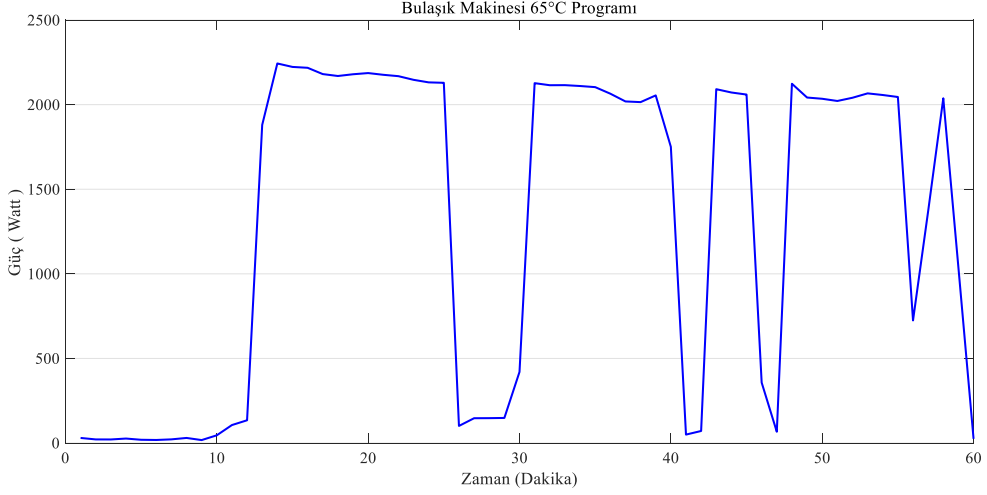
Tablo 2.2. 70°C programında bulaşık makinesinin güç tüketim eğrisinin analizi

| Tepe Güç Değeri | Ortalama Güç Değeri | Tepenin Ortalamaya Oranı (TOO) |
|-----------------|---------------------|--------------------------------|
| 2218,7 Watt     | 693,37 Watt         | 3,19                           |

Şekil 2.3'te 65°C programında çalışan bulaşık makinesinin güç tüketim eğrisi yer almaktadır. Bu güç tüketim eğrisinin analizleri Tablo 2.3'te verilmiştir.

Şekil 2.3'ten görüleceği üzere, bulaşık makinesinin 65°C programı 60 dakika sürmüştür ve bu süre içerisinde uzun süreli tepe tüketimler yaşanmıştır. Bulaşık makinesinin 65°C programında tükettiği ortalama güç değeri 1454 Watt olarak hesaplanmıştır. Bulaşık makinesinin 65°C programındaki tepe güç tüketimi ise 2491,7 Watt olarak ölçülmüştür.





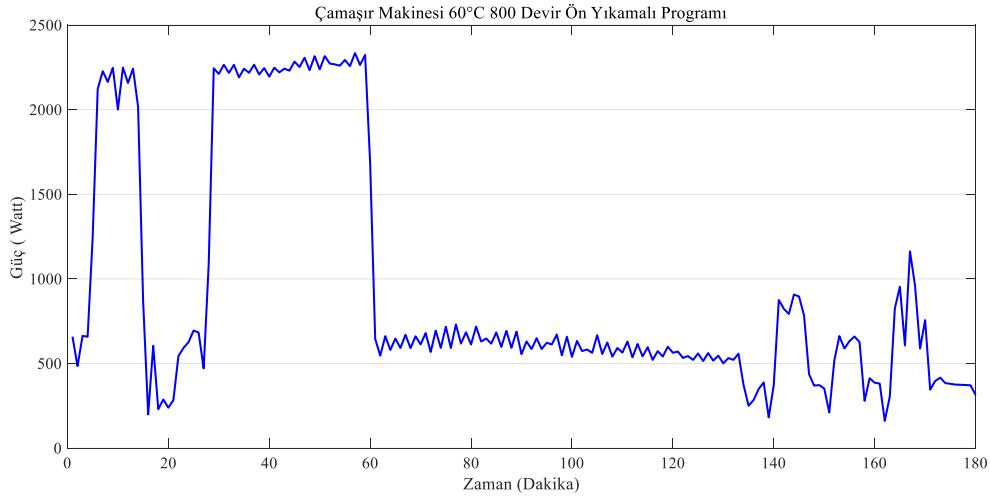
Şekil 2.3. 65°C programında bulaşık makinesinin güç tüketim eğrisi

Tablo 2.3'ten de görüleceği üzere tepe tüketimin ortalama tüketime oranı (TTO) 1,71 olarak hesaplanmıştır. Bu TTO değeri, 65°C programındaki 60 dakikalık periyot içinde, bulaşık makinesinin ortalama tüketime göre yaklaşık 1,71 kat daha yüksek tüketimlere sahip olduğunu göstermektedir. 65°C programında çalışan bulaşık makinesinin TTO değeri 70°C programına göre düşük çıkmış olsa da 65°C programında ortalama tüketim değeri, 70°C programına göre daha yüksek olduğundan, 65°C programında çalışan bulaşık makinesi, çalışma periyodu boyunca ortalama tüketim değeri civarında yüksek bir güç tüketmektedir.

Tablo 2.3. 65°C programında bulaşık makinesinin güç tüketim eğrisinin analizi

| Tepe Güç Değeri | Ortalama Güç Değeri | Tepenin Ortalamaya Oranı (TOO) |
|-----------------|---------------------|--------------------------------|
| 2491,7 Watt     | 1454 Watt           | 1,71                           |

Şekil 2.4'te 60°C 800 devir ön yıkamalı programında çalışan çamaşır makinesine ait güç tüketim eğrisi yer almaktadır. Bu güç tüketim eğrisinin analizleri Tablo 2.4'te verilmiştir. Şekil 2.4'ten görüleceği üzere, çamaşır makinesinin 60°C 800 devir ön yıkamalı programı 180 dakika sürmüştür ve bu süre içerisinde uzun süreli tepe tüketimler yaşanmıştır. Çamaşır makinesinin 60°C 800 devir ön yıkamalı programında tükettiği ortalama güç değeri 945,6 Watt olarak hesaplanmıştır. Çamaşır makinesinin 60°C 800 devir ön yıkamalı programındaki tepe güç tüketimi ise 2334,5 Watt olarak ölçülmüştür.



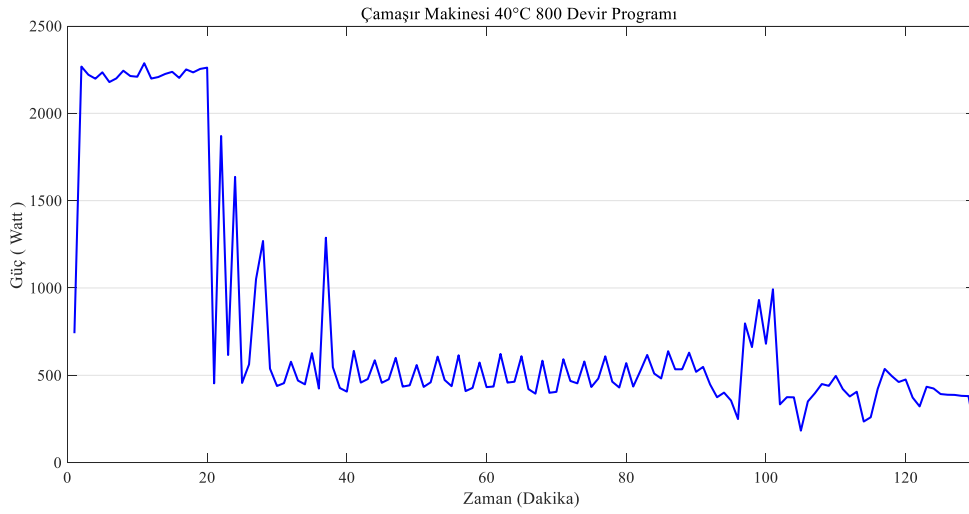
Şekil 2.4. 60°C 800 devir ön yıkamalı programında çamaşır makinesinin güç tüketim eğrisi

Tablo 2.4'ten de görüleceği üzere, 60°C 800 devir ön yıkamalı programında çamaşır makinesinin güç tüketim eğrisinde TTO değeri 2,46 olarak hesaplanmıştır. Bu TTO değeri, 60°C 800 devir ön yıkamalı programında çalışan çamaşır makinesinin, ortalama tüketimine göre yaklaşık 2,5 kat daha yüksek tüketimlere sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 2.4. 60°C 800 devir ön yıkamalı programında çalışan çamaşır makinesinin güç tüketim eğrisinin analizi

| Tepe Güç Değeri | Ortalama Güç Değeri | Tepenin Ortalamaya Oranı (TTO) |
|-----------------|---------------------|--------------------------------|
| 2334,5 Watt     | 945,6 Watt          | 2,46                           |

Şekil 2.5'te 40°C 800 devir programında çalışan çamaşır makinesine ait güç tüketim eğrisi yer almaktadır. Bu güç tüketim eğrisinin analizleri Tablo 2.5'te verilmiştir. Şekil 2.5'ten görüleceği üzere, çamaşır makinesinin 40°C 800 devir programı 130 dakika sürmüştür ve bu süre içerisinde uzun süreli tepe tüketimler yaşanmıştır. Çamaşır makinesinin 40°C 800 devir programında tükettiği ortalama güç değeri 773,01 Watt olarak hesaplanmıştır. Tepe güç tüketimi ise 2287,1 Watt olarak ölçülmüştür.



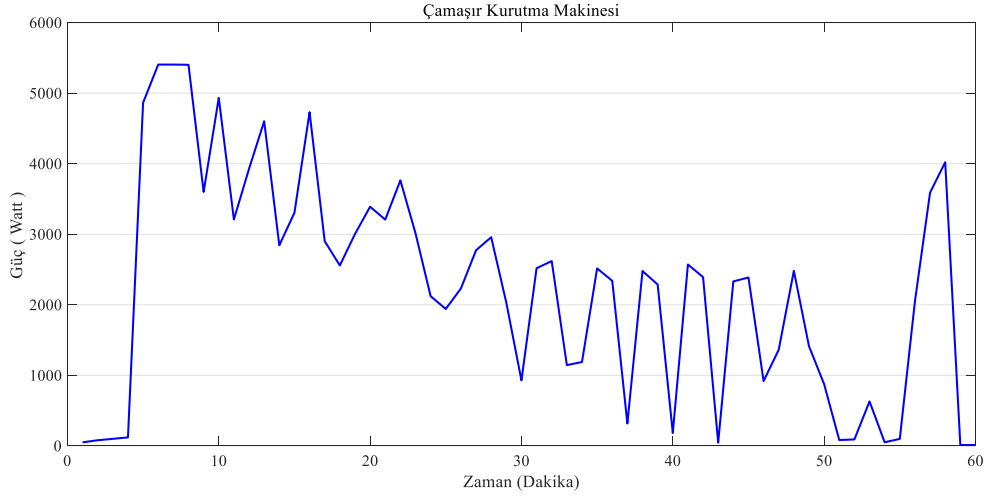
Şekil 2.5. 40°C 800 devir programında çamaşır makinesinin güç tüketim eğrisi

Tablo 2.5'ten de görüleceği üzere, 40°C 800 devir programında çamaşır makinesinin güç tüketim eğrisinin TTO değeri 2,95 olarak hesaplanmıştır. Bu TTO değeri, 40°C 800 devir programında çalışan çamaşır makinesinin ortalama tüketimine göre yaklaşık 3 kat daha yüksek tüketimlere sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 2.5. 40°C 800 devir programında çamaşır makinesinin güç tüketim eğrisinin analizi

| Tepe Güç Değeri | Ortalama Güç Değeri | Tepenin Ortalamaya Oranı (TTO) |
|-----------------|---------------------|--------------------------------|
| 2287,1 Watt     | 773,01 Watt         | 2,95                           |

Şekil 2.6'da çamaşır kurutma makinesine ait güç tüketim eğrisi yer almaktadır. Bu güç tüketim eğrisinin analizleri Tablo 2.6'da verilmiştir. Şekil 2.6'dan görüleceği üzere, çamaşır kurutma makinesinin 60 dakika süren çalışma süresi içerisinde uzun süreli tepe tüketimler gerçekleşmiştir. Çamaşır kurutma makinesinin çalışma periyodunda tükettiği ortalama güç değeri 2240,5 Watt olarak hesaplanmıştır. Çamaşır kurutma makinesinin tepe güç tüketimi ise 5406 Watt olarak ölçülmüştür.



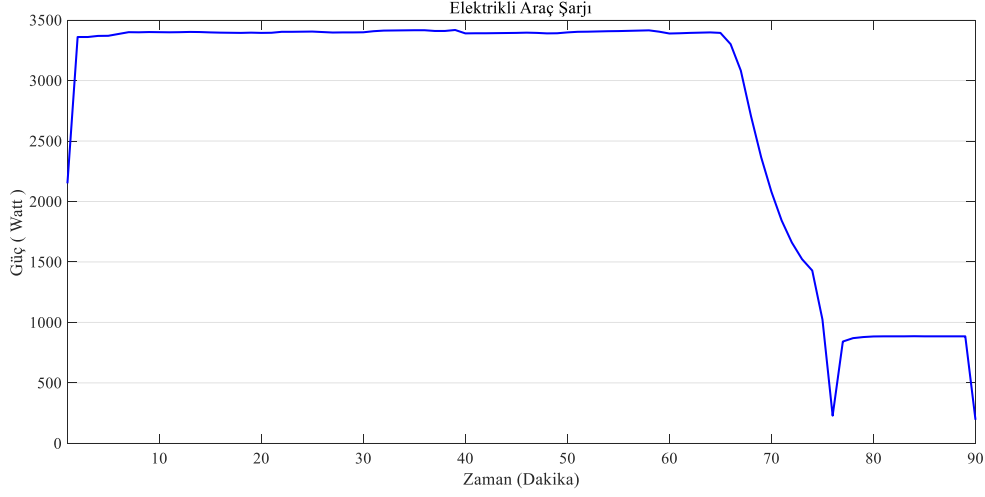
Şekil 2.6. Çamaşır kurutma makinesinin güç tüketim eğrisi

Tablo 2.6'dan görüleceği üzere, çamaşır kurutma makinesinin güç tüketim eğrisinin TTO değeri 2,41 olarak hesaplanmıştır. Bu TTO değeri, çamaşır kurutma makinesinin çalıştığı 60 dakikalık süre içindeki ortalama tüketim değeri olan 2240,5 Watt güç tüketiminden 2,41 kat daha yüksek tepe tüketimlere sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 2.6. Çamaşır kurutma makinesinin güç tüketim eğrisinin analizi

| Tepe Güç Değeri | Ortalama Güç Değeri | Tepenin Ortalamaya Oranı (TTO) |
|-----------------|---------------------|--------------------------------|
| 5406 Watt       | 2240,5 Watt         | 2,41                           |

Şekil 2.7'de bir elektrikli aracın şarj edilmesi sırasında tükettiği gücün zamana göre değişimi verilmiştir. Bu güç tüketim eğrisinin analizleri Tablo 2.7'de yer almaktadır. Şekil 2.7'ye bakıldığında, elektrikli aracın çok uzun bir süre tepe tüketim değerine yakın değerde güç tükettiği rahatlıkla görülebilir. 90 dakika süren şarj boyunca tüketilen gücün ortalama değeri 2805,8 Watt olarak hesaplanmıştır. 90 dakikalık şarj süresinde elektrikli aracın tepe güç tüketimi 3418 Watt olarak ölçülmüştür.



Şekil 2.7. Elektrikli aracın şarj edilmesi sırasındaki güç tüketim eğrisi

Tablo 2.7'ye bakıldığında elektrikli aracın güç tüketim eğrisinin TTO değeri 1,21 olarak hesaplanmıştır. Bu TTO değeri, elektrikli aracın şarj olduğu 90 dakikalık süre içinde tükettiği gücün, ortalama tüketim değeri olan 2805,8 Watt güç tüketimi civarında gerçekleştiğini göstermektedir. Görüleceği üzere, elektrikli araçlar şarj süreleri boyunca bağlı olduğu hattan yüksek miktarda gücü uzun süreli olarak talep etmektedirler. Elektrikli aracın şarj olduğu zaman diliminde eş zamanlı olarak çalışan başka yüklerin olması durumunda, elektrikli aracın bağlı olduğu dağıtım hattı uzun süre aşırı yüklenecektir.

Tablo 2.7. Elektrikli aracın şarj edilmesi sırasındaki güç tüketim eğrisinin analizi

| Tepe Güç Değeri | Ortalama Güç Değeri | Tepenin Ortalamaya Oranı (TOO) |
|-----------------|---------------------|--------------------------------|
| 3418 Watt       | 2805,8 Watt         | 1,21                           |

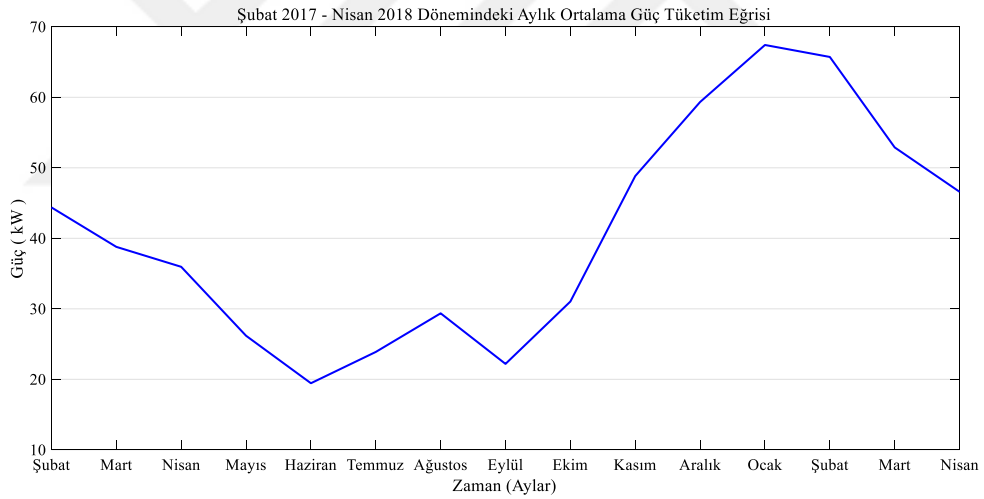
## 2.2. Bir Konut Bölgesinin Tüketim Eğrilerinin İncelenmesi

Bu bölümde Trabzon merkez ilçede yer alan bir siteyi besleyen 400 kVA'lık transformatöre ait 1 yıllık otomatik sayaç okuma sistemi verileri [147] analiz edilmiştir. Bu analizin amacı, konut bölgesine ait güç tüketim eğrilerinin gün içerisindeki zaman dilimlerinde nasıl bir davranış gösterdiğini ortaya koymak, bu eğrilerin mevsimsel ve dönemsel değişikliklerini göstermektir. Bu bağlamda, istenilen amacı yerine getirmek için Tablo 2.8'de verilen durumlara ait güç tüketim verileri analiz edilmiştir.

Tablo 2.8. Konut bölgesini besleyen bir transformatörün analiz edilen tüketim değerleri

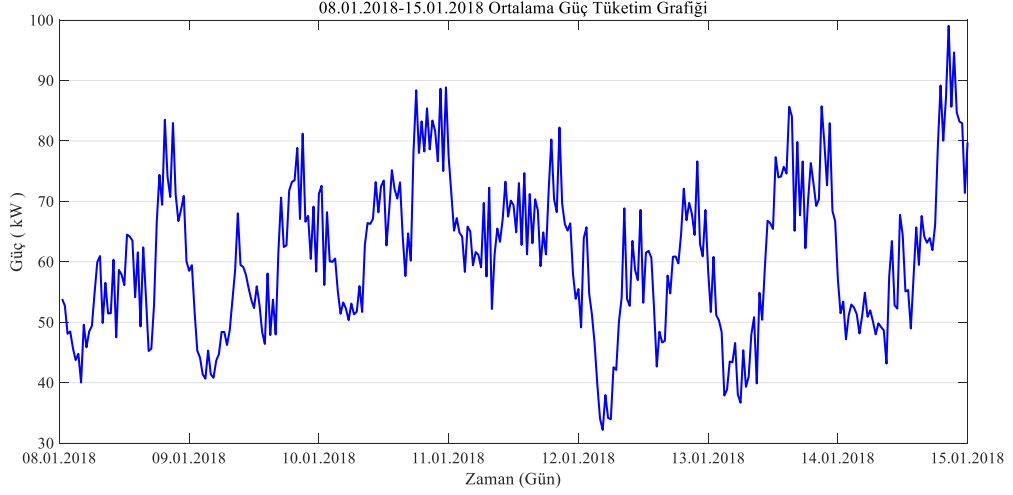
| Tüketim Eğrisini Oluşturan Veri | Verinin Ait Olduğu Dönem |
|---------------------------------|--------------------------|
| 1 Yıllık Aylık Ortalama Tüketim | Ocak-Nisan               |
| 1 Haftalık Güç Tüketim Eğrisi   | Ocak Ayı                 |
| 1 Aydaki Haftanın İlk Günleri   | Mayıs Ayı                |

Şekil 2.8’de Şubat 2017-Nisan 2018 dönemindeki aylık ortalama güç değerlerinin değişimi yer almaktadır. Şekilden görüleceği üzere, yaz aylarında tüketimler en az seviyelerde iken, ocak ayındaki tüketimler tepe değerlere ulaşmıştır. Bunun nedeni olarak, bu konutlarda yaşayan insanların yaz tatiliyle birlikte köylerine veya tatil beldelerine gitmiş olabileceği söylenebilir.



Şekil 2.8. Bir konut bölgesinin Şubat 2017-Nisan 2018 dönemindeki aylık ortalama güç tüketimi eğrisi

Şekil 2.9’da ise aynı konut bölgesini besleyen transformatörün 08.01.2018-15.01.2018 tarihleri arasındaki bir haftalık ortalama güç tüketim eğrisi yer almaktadır. Ortalama güç tüketim eğrisi, transformatörün üç fazının güç değerlerinin ortalaması alınarak elde edilmiştir. Toplam güç değeri, grafikte yer alan değerlerin üç katıdır. Şekil 2.9 dikkatle incelendiğinde, tepe tüketimlerin benzer zaman dilimlerinde gerçekleştiği rahatlıkla görülmektedir.



Şekil 2.9. Konut bölgesini besleyen bir transformatörün bir haftalık ortalama güç tüketim eğrisi

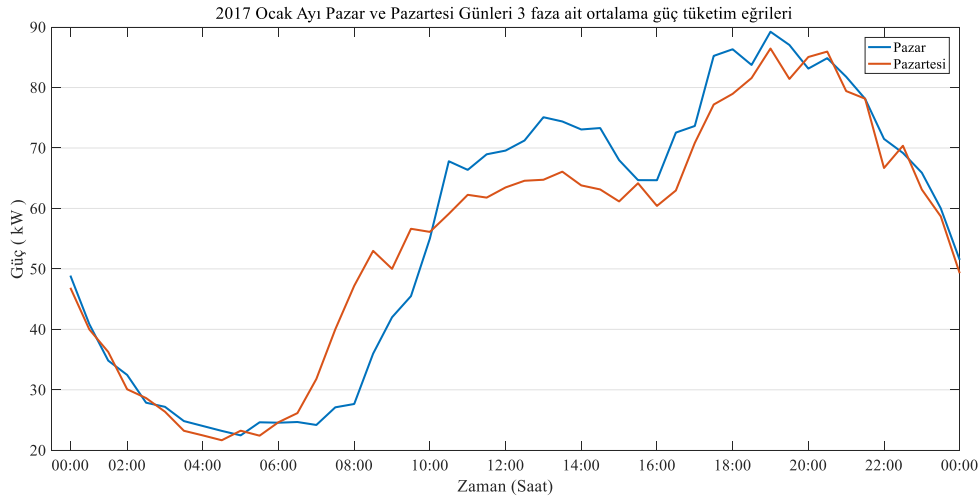
Tablo 2.9’da Şekil 2.9’da verilen güç tüketim eğrisinin analizleri yer almaktadır. Buna göre 08.01.2018-15.01.2018 tarihleri arasında bu transformatörün bir fazından çekilen ortalama güç değeri 61,06 kW, tepe güç değeri 99,03 kW ve TOO değeri 1,62 bulunmuştur.

Tablo 2.9. Konut bölgesini besleyen bir transformatörün bir haftalık ortalama güç tüketim eğrisinin analizleri

| Tepe Güç Değeri | Ortalama Güç Değeri | Tepenin Ortalamaya Oranı (TOO) |
|-----------------|---------------------|--------------------------------|
| 99,03 kW        | 61,06 kW            | 1,62                           |

Şekil 2.10’da aynı konut bölgesini besleyen transformatörün ocak ayındaki pazar ve pazartesi günlerinin ortalama güç tüketim eğrileri verilmiştir. Ortalama güç tüketim eğrisi, transformatörün üç fazının güç değerlerinin ortalaması alınarak elde edilmiştir.

Şekil 2.10 incelendiğinde, pazar ve pazartesi günlerindeki tepe tüketimlerinin aynı zaman dilimlerinde meydana geldiği görülmektedir. Pazar günlerinde meydana gelen global tepe tüketim değerlerinin pazartesi günlerine göre daha fazla olduğu, fakat bu global tepe tüketimlerin olduğu zaman dilimlerinin benzer zaman dilimleri olduğu görülmektedir.



Şekil 2.10. Ocak ayınının pazar ve pazartesi günlerine ait ortalama güç tüketim eğrileri

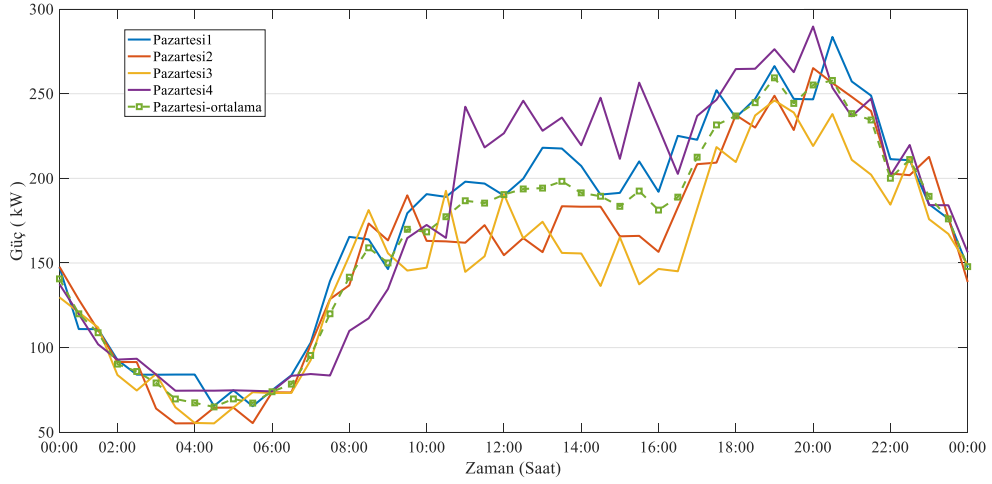
Tablo 2.10’da Şekil 2.10’da verilen güç tüketim eğrisinin analizleri yer almaktadır. Buna göre pazartesi günleri transformatörün bir transformatörün fazından çekilen ortalama güç değeri 54,95 kW iken, pazar günleri 56,2 kW’ır. Pazartesi günleri transformatörün bir transformatörün fazından çekilen tepe güç değeri 86,45 kW iken, pazar günleri bu tepe güç değeri 89,2 kW olarak tespit edilmiştir. TOO değerleri ise birbirine çok yakın olarak 1,5 bulunmuştur. Bu analiz, tepe tüketim ve ortalama tüketimlerin hafta içi ve hafta sonuna göre değişmiş olsa da hafta sonu ve hafta içinden bağımsız olarak, tepe tüketim ile ortalama tüketim arasında 1,5 kat farkın oluştuğunu göstermektedir.

Tablo 2.10. Pazar ve pazartesi günlerine ait ortalama güç tüketim eğrilerinin analizleri

| Tepe Güç Değeri |         | Ortalama Güç Değeri |        | Tepenin Ortalamaya Oranı (TOO) |       |
|-----------------|---------|---------------------|--------|--------------------------------|-------|
| Pazartesi       | Pazar   | Pazartesi           | Pazar  | Pazartesi                      | Pazar |
| 86,45 kW        | 89,2 kW | 54,95kW             | 56,2kW | 1,5734                         | 1,587 |

Şekil 2.11’de yukarıda analiz edilen konut bölgesini besleyen transformatörün 2017 ocak ayındaki her haftanın pazartesi günlerine ait güç tüketim eğrileri ve 4 farklı pazartesi gününün ortalama güç tüketim eğrileri verilmiştir. Güç tüketim eğrisi, transformatörün üç fazının güç değerlerinin ortalaması alınarak elde edilmiştir.





Şekil 2.11. Ocak ayının pazartesi günlerinin güç tüketim eğrileri ve ortalaması

Tablo 2.11’de Şekil 2.11’de verilen güç tüketim eğrisinin analizleri yer almaktadır. Buna göre her haftanın tepe tüketim değerleri ve ortalama tüketim değerleri farklı olsa da her haftanın kendine ait TOO değerlerinin neredeyse aynı olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, günlük olarak haftanın aynı günlerinde, tüketimlerin yoğunluklarının aynı zaman dilimlerine denk geldiğini göstermektedir.

Tablo 2.11. Ocak ayının pazartesi günlerindeki güç tüketim eğrilerinin analizleri

|  | 1. Hafta | 2.Hafta | 3.Hafta | 4. Hafta | Ortalama |
|--|----------|---------|---------|----------|----------|
| <b>Tepe Güç Değeri (kW)</b>            | 94,51    | 88,38   | 82      | 96,56    | 86,45    |
| <b>Ortalama Güç Değeri (kW)</b>        | 57,73    | 52,99   | 50,17   | 58,89    | 54,95    |
| <b>Tepe'nin Ortalamaya Oranı (TOO)</b> | 1,6371   | 1,6677  | 1,6346  | 1,6396   | 1,6447   |

### 2.3. Dağıtım Hattındaki Kayıpları Azaltmak için Önerilen Talep Yönetimi Yaklaşımı

Elektrik şebekelerinin mevcut yapısında en fazla teknik kaybın gerçekleştiği bölge dağıtım bölgeleridir. Çünkü dağıtım bölgelerinde, tüketicilerin konumları gereği uzun dağıtım hatları oluşmaktadır ve dağıtım şebekesindeki düşük gerilim nedeniyle akımlar iletim şebekesine göre daha fazladır. Bu nedenle bir dağıtım şebekesinde bakır kayıpları iletim şebekesine göre çok daha fazladır. Tablo 2.12’de bir elektrik şebekesinde meydana

gelen kayıpların şebekede meydana geldiği yerler ve bu kayıpların miktarları verilmiştir [141].

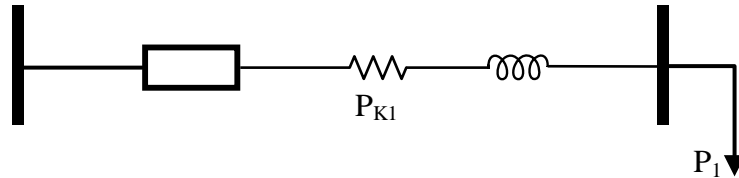
Tablo 2.12. Bir elektrik şebekesinde oluşan kayıplar ve meydana geldiği yerler

| Meydana Geldiği Yerler                             | Kayıp Miktarı (kWh) | Toplam kayıptaki oranı (%) |
|--|---------------------|----------------------------|
| İletim Hatları                                     | 4.077.761,75        | 9,66                       |
| Güç Transformatörleri                              | 1.966.082,61        | 4,66                       |
| Dağıtım Hatları                                    | 2.935.771,32        | 6,96                       |
| Alçak Gerilim Transformatörleri ve Dağıtım Hatları | 33.222.060          | 78,72                      |
| Toplam   | 42.201.675,68       | 100                        |

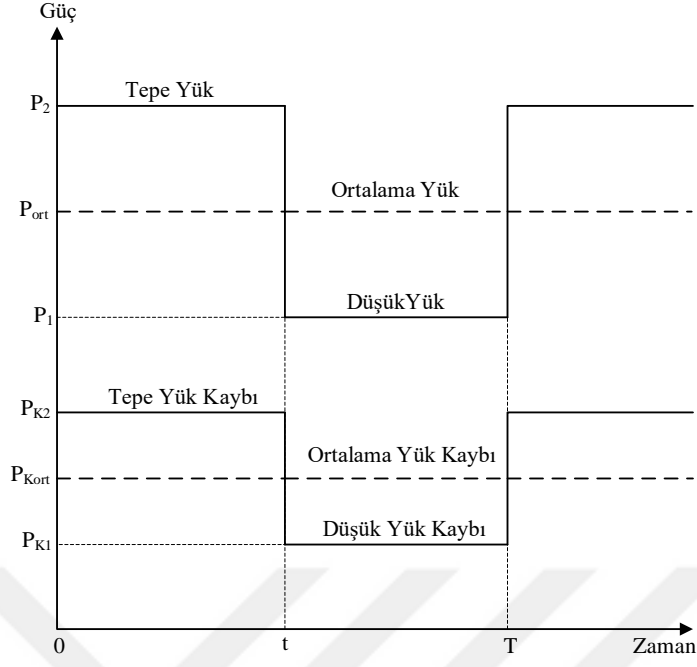
### 2.3.1. Dağıtım Hattında Yüke Bağlı Oluşan Kayıplar

Bir elektrik şebekesinde bulunan yüklerin çektiği akım artınca, şebekedeki kayıplar bu yük akımının karesiyle orantılı olarak değişir. Bu kayıplar şebekenin verimini düşüren, dağıtım hatlarında (kablo ve iletkenlerde) ve transformatörlerde omik kayıp (ısı kaybı) olarak isimlendirilen kayıplardır.

Şekil 2.12’de gösterilen bir dağıtım hattından Şekil 2.13’teki gibi bir aktif güç akışı olmuş olsun.



Şekil 2.12. Değişken güç çekilen bir dağıtım hattı



Şekil 2.13. Bir dağıtım hattından akan temsili güç ve hatta oluşan temsili kayıp güç eğrileri

Yukarıdaki şekilde verilen güç eğrisine göre, dağıtım hattında tepe yük periyodunda ve düşük yük periyodunda oluşan kayıplar aşağıdaki gibi hesaplanabilir [142]:

Düşük tüketim bölgesindeki  $P_1$  gücü nedeniyle oluşan kayıplar  $P_{K1}$ , tepe tüketim bölgesindeki  $P_2$  gücü nedeniyle oluşan kayıplar  $P_{K2}$ , ortalama  $T$  periyodu boyunca çekilen  $P_{ort}$  ortalama gücünün oluşturacağı kayıplar  $P_{Kort}$ , maksimum kayıp  $P_{max}$ , yük faktörü  $F_Y$  olmak üzere,

$$F_Y = \frac{P_{ort}}{P_{max}} = \frac{P_{ort}}{P_2} = \frac{P_{ort}}{P_{tepe}} \quad (7)$$

$$P_{ort} = \frac{(P_2 \times t) + (P_1 \times (T - t))}{T} \quad (8)$$

$$F_Y = \frac{(P_2 \times t) + (P_1 \times (T - t))}{P_2 \times T} = \frac{t}{T} + \left( \frac{P_1}{P_2} \times \frac{(T - t)}{T} \right) \quad (9)$$

Kayıp faktörü  $F_K$ , eşitlik (10)'daki gibi ifade edilebilir.

$$F_K = \frac{P_{Kort}}{P_{K \max}} = \frac{P_{Kort}}{P_{K2}} = \frac{P_{Kort}}{P_{Ktepe}} \quad (10)$$

Eşitlik (10) da ifade edilen  $P_{Kort}$ , eşitlik (11)'deki hesaplanır.

$$P_{Kort} = \frac{(P_{K2} \times t) + (P_{K1} \times (T - t))}{T} \quad (11)$$

Eşitlik (11)'deki ifade eşitlik (10)'da yerine yazılırsa, kayıp faktörü Eşitlik (12)'deki gibi bir ifade elde edilir.

$$F_K = \frac{(P_{K2} \times t) + (P_{K1} \times (T - t))}{P_{K2} \times T} \quad (12)$$

Bilindiği gibi bakır kayıpları yük akımının karesiyle orantılıdır. Bu durumda  $P_1$  ve  $P_2$  yükleri nedeniyle oluşacak kayıplar,  $k$  bir sabit olmak üzere, eşitlik (13) ve eşitlik (14)'teki gibi ifade edilir.

$$P_{K1} = k \times P_1^2 \quad (13)$$

$$P_{K2} = k \times P_2^2 \quad (14)$$

Eşitlik (13) ve (14), eşitlik (12)'deki kayıp faktörü ifadesinde tekrar yazılırsa, eşitlik (15) elde edilir.

$$F_K = \frac{((k \times P_2^2) \times t) + ((k \times P_1^2) \times (T - t))}{(k \times P_2^2) \times T} \quad (15)$$

Eşitlik (15) sadeleştirilirse, kayıp faktörü eşitlik (16)'daki gibi olur.

$$F_K = \frac{t}{T} + \left( \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^2 \times \frac{(T-t)}{T} \right) \quad (16)$$

Düşük yük gücünün değerine ( $P_1 = 0$  veya  $P_1 \neq 0$ ) ve tepe yük gücünün olduğu süreye ( $t \rightarrow 0$  veya  $t \rightarrow T$ ) göre, kayıp faktörü ile yük faktörü arasındaki ilişki eşitlik (17)'deki gibi olur.

$$F_Y^2 \leq F_K \leq F_Y \quad (17)$$

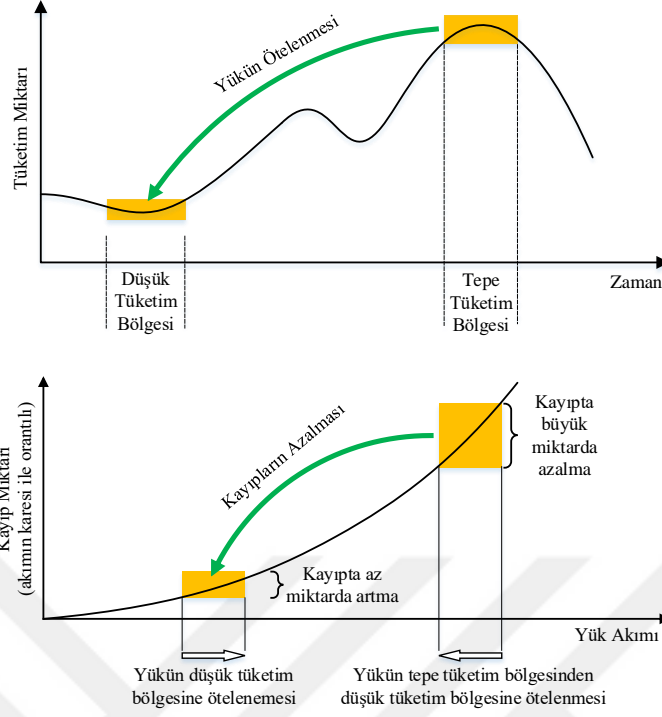
Gerilimin sabit kabul edilmesi halinde tüketiciye verilen aktif gücün ani değeri, akımın aktif bileşeniyle doğru orantılı olur. Bu durumda,  $F_Y$ , eşitlik (18)'deki gibi ifade edilebilir.

$$F_Y = \frac{I_{ortalama}}{I_{Tepe}} \quad (18)$$

Buradan, tek fazlı bir sistemde hat akımının aktif bileşeninin,  $R$  direncine sahip bir hatta oluşturacağı kayıp  $W_K$ , eşitlik (19)'daki gibi yazılabilir,

$$W_K = I_{hat}^2 \times R \times T \times F_K \times 10^{-3} (kWh) \quad (19)$$

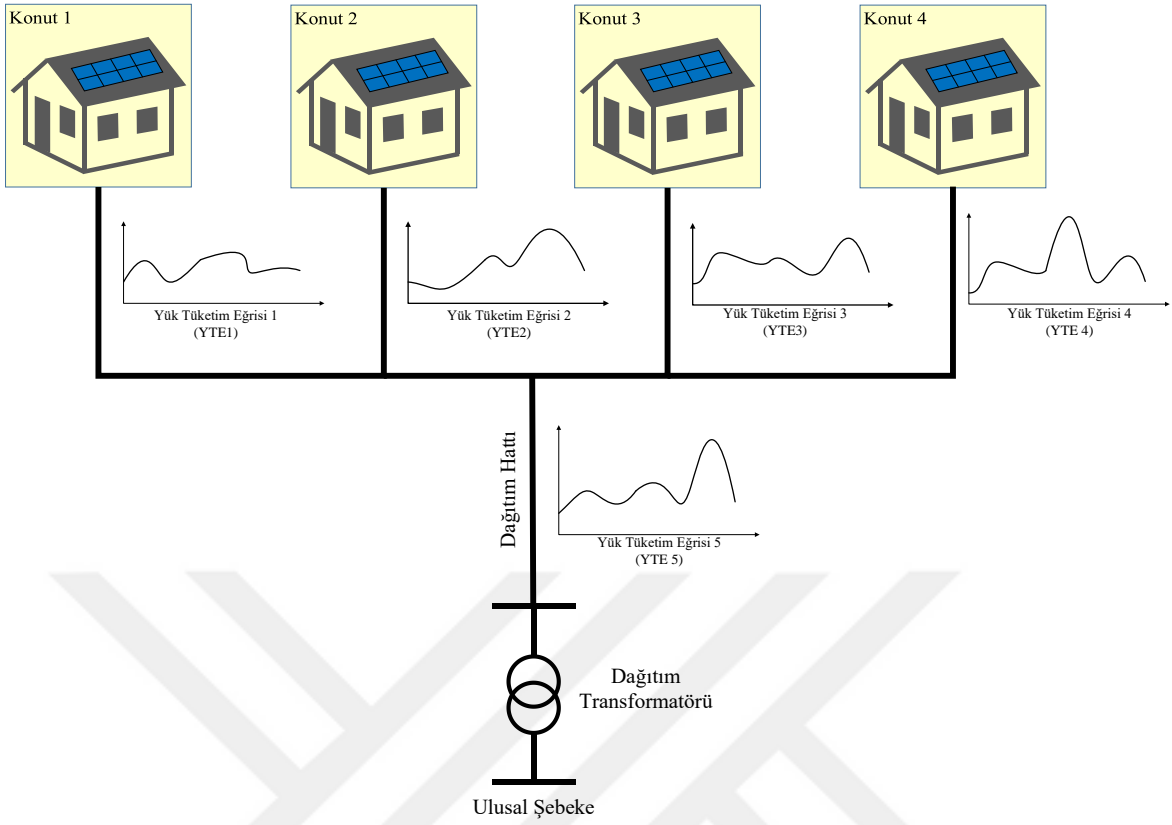
Yukarıdaki eşitliklerden görüleceği üzere, tepe yük gücünün ortalama güce oranı ne kadar düşük olursa, oluşan kayıplar da o kadar az olacaktır. Kayıplar akımın karesiyle orantılıdır. Bu nedenle, tepe tüketim bölgesindeki yükün düşük tüketim bölgesine ötelenmesi durumunda, tepe tüketim bölgesindeki büyük miktardaki kayıp yerine, düşük tüketim bölgesindeki daha düşük bir kayıp oluşur. Bu durum, Şekil 2.14'te grafiksel olarak izah edilmiştir.



Şekil 2.14. Tepe tüketimlerin düşürülmesiyle kayıp güçteki azalma

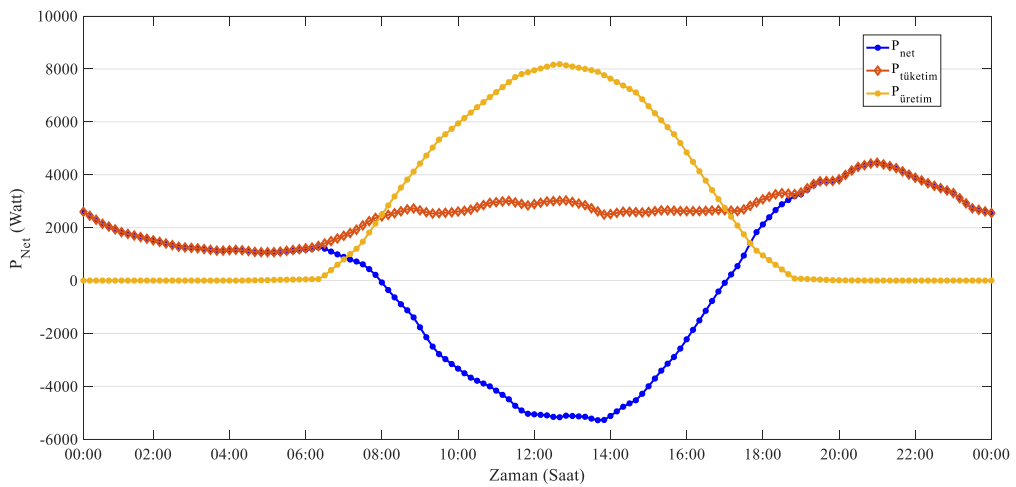
### 2.3.2. Dağıtım Hattında Dengeli Tüketim Oluşturmayı Hedefleyen Verimlilik Odaklı Akıllı Talep Yönetim Sistemi

Bu tez kapsamında, çatısında bulunan FV paneller aracılığıyla şebekeye güç aktaran konutların bulunduğu bir tüketim bölgesinde dengeli bir tüketim eğrisi elde etmek ve güneş enerjisinden yapılan elektrik üretiminin fazla olduğu vakitlerdeki güç tüketimini arttırmak için Akıllı Talep Yönetim Sistemi (ATYS) önerilmektedir. Bir dağıtım hattından beslenen ve beslendiği dağıtım hattına güç aktaran konutların (üreten-tüketici) bulunduğu bir tüketim bölgesinde, her konutun yük tüketim eğrilerinin toplanması sonucunda, o tüketim bölgesini besleyen dağıtım hattına ait toplam yük tüketim eğrisi oluşur. Bu durum Şekil 2.15'te gösterilmektedir.



Şekil 2.15. Şebeke bağlantılı FV sistem içeren konutların yük tüketim eğrileri

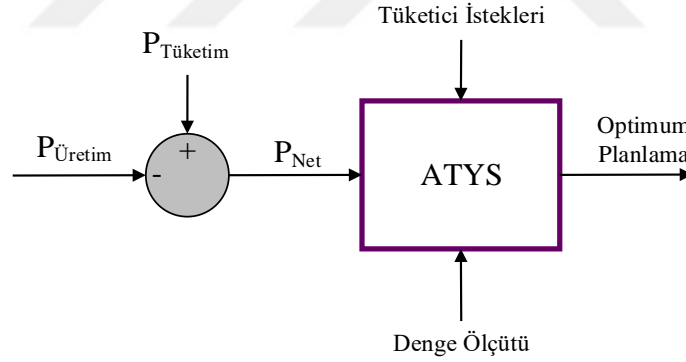
Önerilen ATYS sistemi, her bir konutun ötelenebilir yüklerinin, dengeli bir toplam tüketim eğrisi oluşturacak şekilde yönetilmesini amaçlamaktadır. Temsili dört tüketicinin toplam üretim, toplam tüketim ve net tüketim eğrileri Şekil 2.16'da verilmiştir.



Şekil 2.16. Temsili dört tüketicinin temsili toplam üretim, tüketim ve net tüketim eğrileri

Önerilen ATYS ile, net tüketim eğrisinin dengeli olmasını sağlayacak şekilde tüketicilerin yüklerinin yönetilmesi ve fiyat eğrilerinin oluşturulması amaçlanmaktadır. ATYS, tüketim bölgesine ait güç tüketim öngörüsü ve güç üretimi kestiriminin farkı olan net güç tüketim eğrisini kullanarak, tüketici isteklerini dengeli bir biçimde yayacak şekilde optimum planlama yapmayı amaçlamaktadır. ATYS'nin bu amacı, Şekil 2.17'de blok diyagramı ile izah edilmiştir. Tüketicilerin TTY'ye mümkün olan en fazla oranda katılımı ve tüketicilerin mümkün olan en fazla sayıdaki ötelenebilir yüklerini ATYS ile kullanması durumunda;

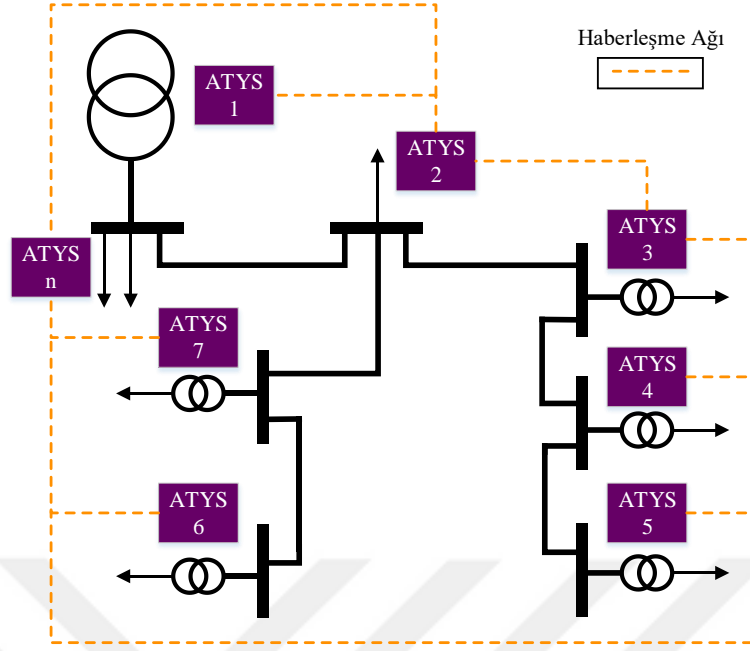
- Dağıtım hattında uzun süreli aşırı yüksek tüketimlerin oluşması engellenerek, dağıtım hattında meydana gelen kayıpların azaltılması ve kabloların daha az ısınması sağlanacaktır. Böylece, dağıtım hattı daha uzun ömürlü olacaktır.
- Güneş enerjisinden yapılan elektrik üretiminin yüksek olduğu vakitlerde, tüketimin üretime yakın olacak şekilde yönetilmesiyle, fazla üretimin dağıtım hattında oluşturacağı problemlerin önüne geçilecektir.



Şekil 2.17. Üreten-tüketicilerin bulunduğu bir tüketim bölgesinde ATYS ile tüketim yönetimi

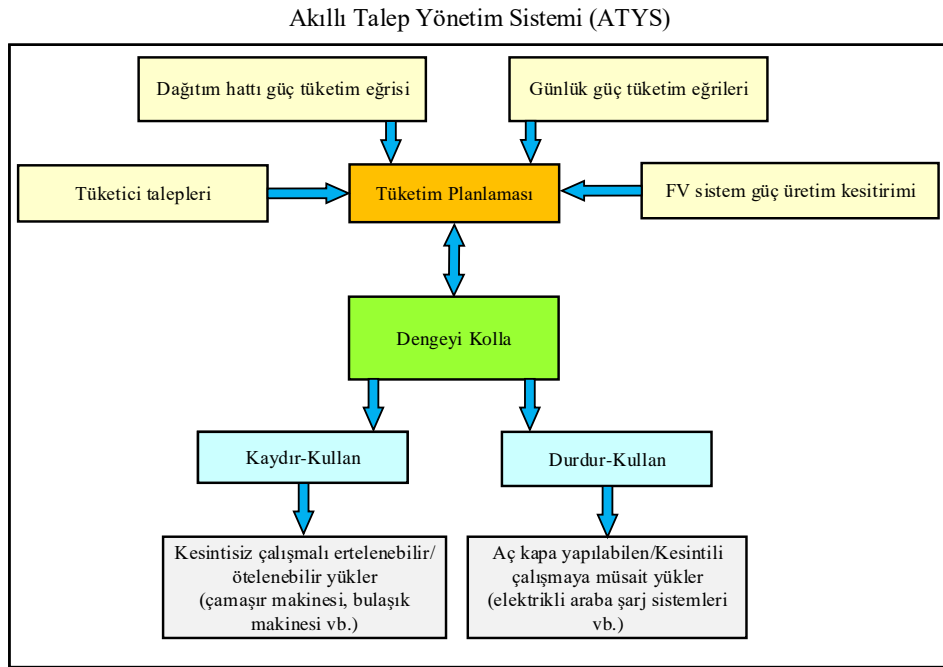
Önerilen ATYS, akıllı şebeke kavramında ifade edildiği gibi, her bir ünitenin birbiriyle haberleşme halinde olduğu, fakat her birimin kendi başına çalıştığı dağıtık bir yapıdadır. Bir dağıtım şebekesinde, önerilen ATYS'nin nasıl yerleştirileceğini gösteren mimari Şekil 2.18'de verilmiştir.





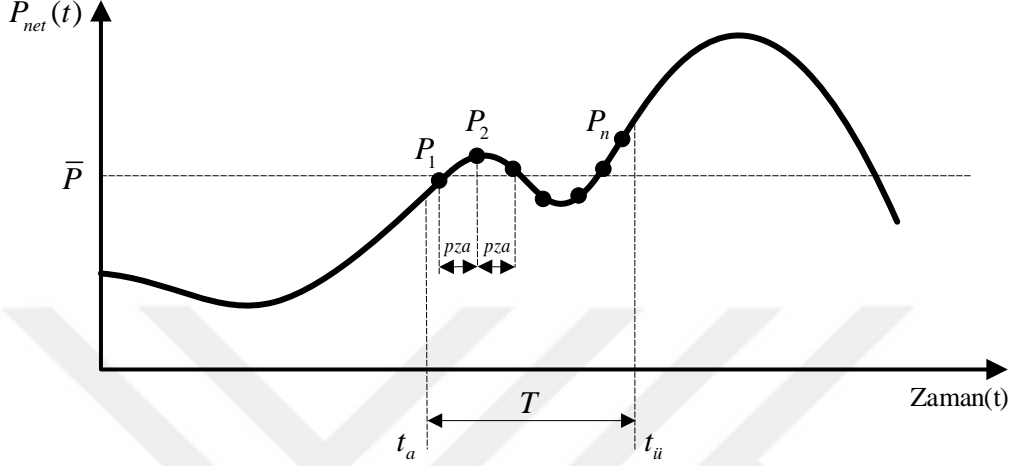
Şekil 2.18. Önerilen ATYS'nin bir dağıtım hattında uygulanma mimarisi

ATYS, dengeli tüketimi sağlayacak olan “*dengeyi kolla*” isimli üst hedefi gerçekleştirmek üzere; “*kaydır-kullan*” ve “*durdur-kullan*” isimli yöntemleri kullanmaktadır. Önerilen ATYS'nin genel yapısı Şekil 2.19’da gösterilmiştir.



Şekil 2.19. Önerilen ATYS'nin genel yapısı

ATYS aracılığıyla “Dengeyi Kolla” ismi verilen üst amacı gerçekleştirmek için, Eşitlik (20)’de verilen bir “denge ölçütü” (*dö*) tanımlanmıştır. Şekil 2.20’de verilen eğrinin bir tüketim bölgesinde oluşan net tüketim eğrisini temsil ettiğini varsayalım,



Şekil 2.20. Bir tüketim bölgesinde oluşturduğu varsayılan temsili net tüketim eğrisi

$pza$ : ATYS’nin planlama zaman aralığı,

$n$ : Denge ölçütünün hesaplanacağı periyot ( $T$ ) için her  $pza$ ’da okunan  $P$ (güç) örnek sayısı,

$P$ :  $T$  periyodu boyunca  $P_{net}$  eğrisinden alınan örnekler,

$\bar{P}$ :  $T$  periyodu boyunca  $P_{net}$  eğrisinden alınan örneklerin ortalaması,

$t_a$ : Tüketicinin ötelenebilir yükünün en erken başlama saati,

$t_u$ : Tüketicinin ötelenebilir yükünün en geç başlama saati,

olmak üzere, tanımlanan *denge ölçütü* (*dö*), eşitlik (20)’de verilmiştir.

$$dö = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \quad (20)$$

ATYS için geliştirilen denge ölçütünün eşitliğinden de anlaşılacağı üzere, Şekil 2.20’de gösterilen  $T$  periyodundaki güç değerleri,  $T$  periyodundaki ortalama değere ne kadar yakın olursa, denge ölçütünün değeri de o kadar küçük olacaktır. Böylece, eşitlik (16)’da verilen kayıp faktörü ( $F_K$ ) değeri de küçüleceğinden, dağıtım hattında meydana gelen kayıplar daha az olacaktır. ATYS için geliştirilen denge ölçütü kullanılarak, net yük

eğrisini ( $P_{net}$ ) mümkün olduğunca dengeli yapacak şekilde, tüketicilerin ötelenebilir yüklerinin planlanması amaçlanmaktadır. ATYS kısaca şu şekilde uygulanır:

Tüketici bir gün öncesinden bir gün sonrasını veya herhangi bir zaman aralığında çalıştırmayı düşündüğü ötelenebilir yüklerini planlar ve mobil uygulama aracılığıyla sisteme girer. ATYS, tüketici isteklerini göz önünde bulundurarak en iyi denge ölçütünü elde edecek şekilde bir tüketim planı oluşturur. ATYS'nin oluşturduğu tüketim planı tüketiciye bildirilir ve tüketici bu plana uymayı taahhüt eder.

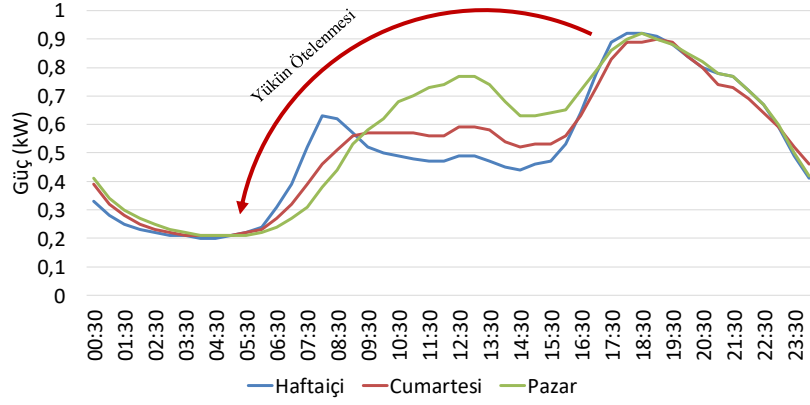
### 2.3.3. Dengeyi Kolla Felsefesi

“*Dengeyi kolla*” felsefesi, konutların güç tüketim profilini, normal ortalama tüketim değerlerinde tutarak, uzun süreli tüketim artışına izin vermeden, optimum güç tüketimi sağlamayı amaçlayan, böylece iletim ve dağıtım kayıplarının azaltılmasını önceleyen bir tüketim yönetimi olarak tanımlanabilir. “*Dengeyi kolla*” felsefesiyle yapılacak güç tüketimi yönetimi sonucunda, bir dağıtım sisteminde bulunan tüketicilerin toplam tüketim miktarları, uzun süreli aşırı yüklenmelere maruz bırakılmayacak şekilde yönetilerek kablolarda meydana gelebilecek aşırı yüklenmelerin önüne geçilecektir. Böylece hem güç kayıpları azaltılmış olacak hem de kabloların kullanılma ömürleri uzayacaktır.

“*Dengeyi kolla*” felsefesinde hedeflenenleri gerçekleştirmek için çeşitli matematiksel çözüm yöntemleri ve eniyileme teknikleri kullanılabilir. Burada yapılması gereken, kullanılan hesapsal çözüm yönteminde eniyilenecek hedef fonksiyonu olarak Eşitlik (20)'de verilen denge ölçütünün kullanılmasıdır. Seçilen hesapsal yöntem, denge ölçütünün yerel en iyi noktalarındaki minimum değerlerin ötesindeki küresel en iyi minimum değerini bulabilecek kapasitede ve yeterlilikte olmalıdır.

### 2.3.4. Kaydır-Kullan Yöntemi

Bu yöntem, tepe güç tüketimi periyodunda çalışan ötelenebilir yüklerin düşük tüketim periyotlarına ve/veya FV sistemden üretilen gücün fazla olduğu zaman aralığında devreye alınmasını sağlayacak olan güç tüketim yönetimini amaçlamaktadır. Bu yöntemin uygulanışı, yenilenebilir enerji kaynağı ile üretim yapmayan bir konuta ait tüketim eğrisi üzerinde Şekil 2.21'de gösterilmiştir.

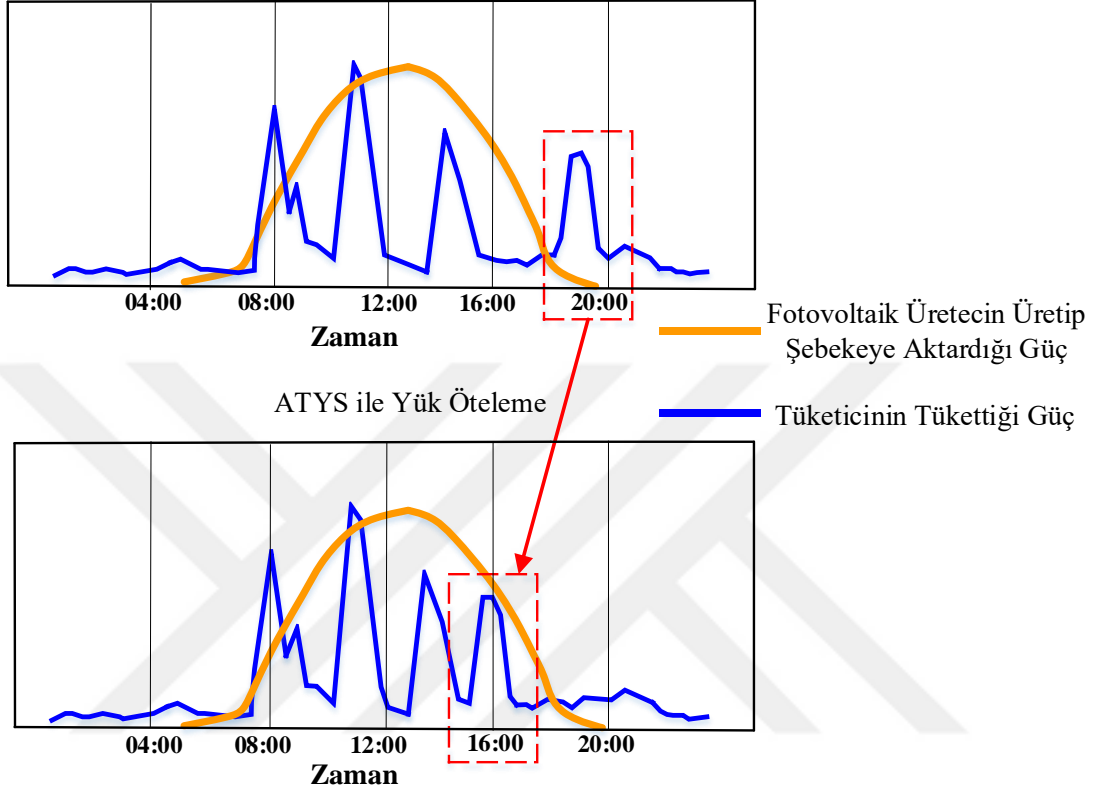


Şekil 2.21. Kaydır-kullan yöntemiyle yüklerin ötelenmesi

Kaydır-kullan yöntemiyle tüketim, yüksek talebin olduğu zaman diliminden düşük talebin olduğu zaman dilimine kaydırılmaktadır. Elektrik şebekelerinde uygulanan fiyat tarifelerinde yüksek tarifeli zaman dilimi, yük tüketiminin maksimum(azami) olduğu zaman diliminde, düşük tarifeli zaman dilimi de güç tüketiminin minimum (en düşük) olduğu zaman dilimlerinde oluşmaktadır. Kaydır-kullan yöntemiyle maksimum tüketimin bir kısmı düşük tüketimin olduğu zaman dilimine kaydırılarak, dağıtım şebekesindeki aşırı yüklenmeler azaltılabilir. Böylece, dağıtım hattında aşırı yüklenmeler nedeniyle oluşan ısınmalar ve kayıplar azaltılabilir. Kaydır-kullan yöntemiyle dağıtım kayıpları azaltılarak elektrik dağıtım şebekesinin ömrünü uzatılırken, tüketicilerin faturaları da azaltılabilir.

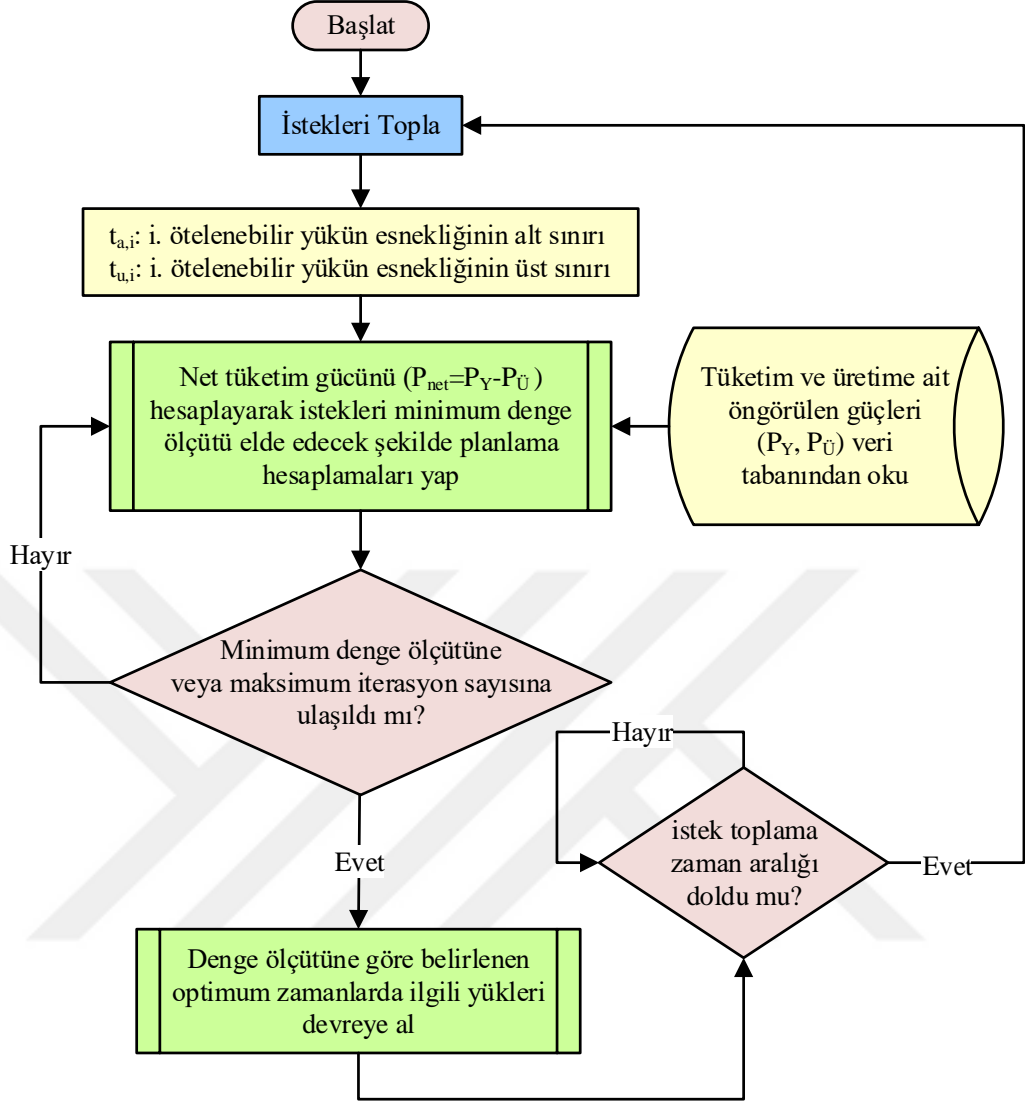
Kaydır-kullan yönteminin FV güç üretim birimiyle şebekeye güç aktaran konutlarda kullanılması halinde oluşan durum Şekil 2.22'de resmedilmiştir. Burada kaydır-kullan yöntemiyle güç tüketimi yoğunluğu, FV sistemin fazla güç ürettiği zaman dilimine kaydırılarak, üretimin fazla olduğu zamandaki tüketim miktarının artması sağlanır. Böylece, dağıtım şebekesini besleyen fosil kaynaklardan üretilen elektrik enerjisinin tüketimi azaltılmaktadır. Bunun sonucunda, tüketim mümkün olduğunca FV sistemlerden sağlanarak fosil yakıtların çevresel etkileri azaltılabilir. Bununla birlikte tüketim, üretimin hemen yakınında olduğu için uzaktaki elektrik santrallerinden iletilen güç miktarında azalma sağlanacaktır. Böylece iletim hatlarındaki yüklenme azaltılacağından, şebekedeki kayıplar da azaltılacaktır. Ayrıca, radyal dağıtım şebekelerinde, FV gücün yüksek olduğu zaman dilimlerinde, tüketimin az olması durumunda oluşacak gerilim yükselmeleri de önlenecektir. FV sistemlerdeki üretimin fazla olduğu zamanlar için elektrik tarifesi düşük tutularak, tüketicilerin tüketimlerini bu zaman dilimlerine kaydırması sağlanabilir. Bunun

sonucunda, dağıtım şebekesi ve yaşadığımız çevre için yukarıda ifade edilen kazanımlar elde edilirken, tüketicilere de daha düşük elektrik faturası yansımış olacaktır.



Şekil 2.22. Kaydır-kullan yöntemiyle tüketimlerin FV üretimin fazla olduğu zamanlara kaydırılması

“Kaydır-kullan” yönteminin uygulanmasını açıklayan algoritmanın akış diyagramı Şekil 2.23’te verilmiştir. Buna göre, ATYS ile tüketici istekleri, istek toplama zaman aralığı boyunca toplanarak bir talep yoğunluk vektörü oluşturulur. Daha sonra, veri tabanından ATYS’nin tüketim planlaması yaptığı tüketim bölgesine ait üretim ve tüketim öngörülürü(kestirimleri) okunarak net tüketim öngörü vektörü  $[P_{net}]$  elde edilir. Tüketicilerin istekleri,  $[P_{net}]$  vektörü üzerine, tüketicinin bildirdiği alt ( $t_a$ ) ve ( $t_u$ ) üst sınırların izin verdiği aralıktaki tüm ihtimaller dikkate alınarak eklenir. Böylece her bir adımda bir denge ölçütü hesaplanır. Tüketici isteklerinin  $[P_{net}]$  vektörü üzerine dağılımı, minimum denge ölçütünü verdiğinde veya maksimum iterasyon sayısına ulaşıldığında elde edilen planlamanın dengeli bir planlama olduğu kabul edilir ve tüketicilerin istekleri, planlanan optimum (eniyi) zamanlarda devreye alınır.

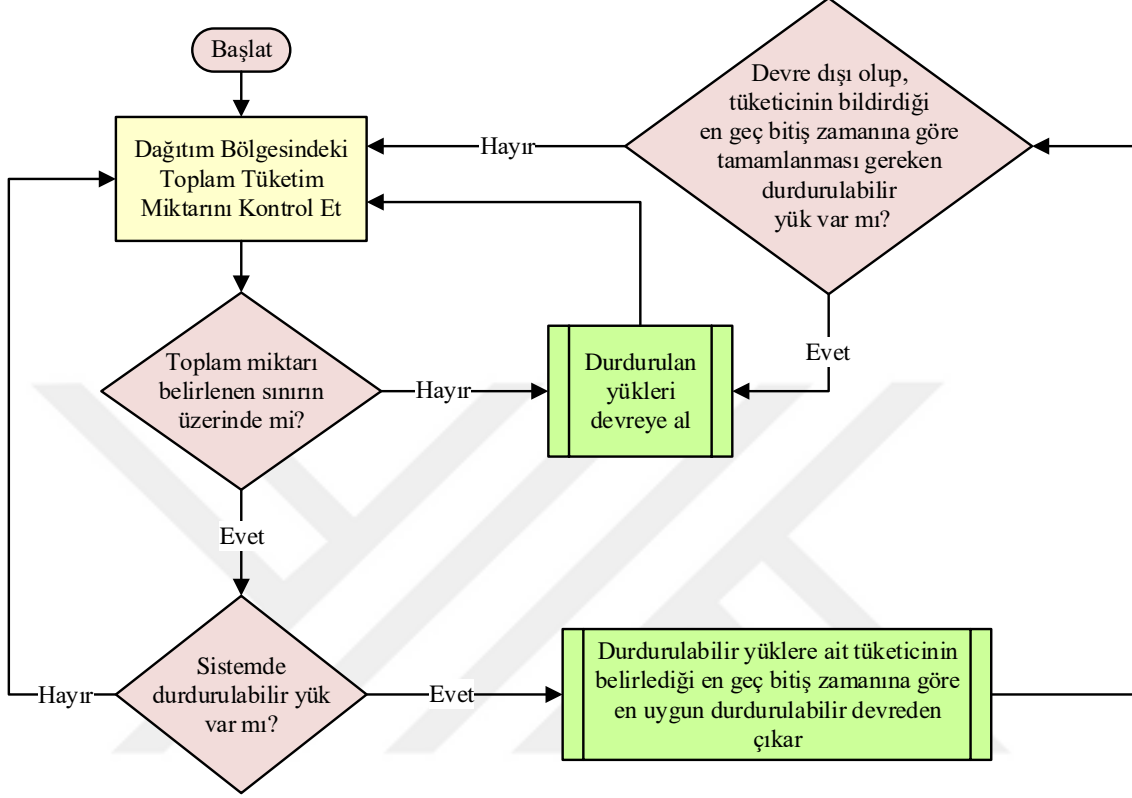


Şekil 2.23. Kaydır-kullan yönteminin algoritmasına ait akış diyagramı

### 2.3.5. Durdur-Kullan Yöntemi

Durdur-Kullan yöntemi, FV sistemden sağlanan gücün düşük olduğu periyotlarda ya da referans gücün aşıldığı durumlarda uygun yükleri beklemeye alıp, yeterli FV güç varken ya da güç tüketimi referans gücün altındayken beklemeye alınan yüklerin tekrar çalıştırılmalarını sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntem, kullanımı süreklilik göstermeyen, gerektiğinde beklemeye alınabilen türdeki yükler için uygulanabilecek bir yöntem olup, yük tüketim dengesinin sağlanmasında dengeyi kolla felsefesine destek verebilecek özelliktedir.

Durdur-Kullan yönteminin uygulanmasını açıklayan algoritmanın akış diyagramı Şekil 2.24'te verilmiştir.



Şekil 2.24. Durdur-kullan yönteminin algoritmasına ait akış diyagramı

#### 2.4. Sezgisel Optimizasyon Tabanlı Akıllı Talep Yönetim Sistemi

Bu bölümde, dengeyi kolla felsefesinde ifade edilen denge ölçütünü en küçükleyecek bir planlama probleminin çözümü için sezgisel algoritmaları kullanan ATYS açıklanacaktır. Literatür araştırmasında detayları verildiği gibi, eniyileme problemlerinin çözümünde birçok sezgisel algoritma geliştirilmiş olmakla birlikte, bu algoritmaların birbirlerine göre üstünlükleri bulunmaktadır. Bu çalışmada, literatürde diğer sezgisel algoritmalarından daha iyi ve daha verimli olduğu belirtilen, diğer sezgisel algoritmalara göre ayar parametresi daha az olan sezgisel algoritmalarından BYOA ve GKA algoritmaları tercih edilmiştir.

Sezgisel algoritmanın amaç fonksiyonu olarak eşitlik (20)'deki “denge ölçütü” fonksiyonu kullanılmıştır.

$i$ , tüketicilerin ötelenebilir yüklerini temsil eden indis,

$x_i$ ,  $i$ . ötelenebilir yüke ait başlangıç zamanı,

$t_a^i$ ,  $i$ . ötelenebilir yüke ait tüketicinin istediği minimum başlangıç zamanı

$t_u^i$ ,  $i$ . ötelenebilir yüke ait tüketicinin istediği başlangıç zamanının üst sınırı,

$P_Y(t)$ , ATYS'nin sorumlu olduğu tüketim bölgesinin öngörülen tüketimi,

$P_U(t)$ , ATYS'nin sorumlu olduğu tüketim bölgesi için kestirilen üretim miktarı,

$P_{Net}(t) = P_Y(t) - P_U(t)$ ,

$T = (t_u^i - t_a^i) + t_c^i$ ,

$\bar{P}$ ,  $T$  periyodu için  $P_{Net}$ 'in ortalaması

$t_c^i$ ,  $i$ . ötelenebilir yükün çalışma süresi

$n$ , ATYS'ye istek toplama zaman aralığında gelen ötelenebilir yük istek sayısı,

$P_i(t)$ ,  $i$ . ötelenebilir yükün güç tüketimi,

olmak üzere, sezgisel algoritmanın çözeceği problem, eşitlik (21)'de yazılan hedef fonksiyonunu ( $f(t)$ ) minimum yapan  $x_i$  değerlerinin  $t_a$  ve  $t_u$  değerlerinin sınırları içinde aranmasıdır.

Bu amaçla  $P_{Net}$  eğrisi üzerindeki  $t_a$  ve  $t_u$  değerlerinin sınırları içinde, planlama zaman aralığı ( $pza$ ) kadar hesaplama yapılır. Yani,  $t$  değeri,  $x_i$  den başlayarak  $t_u^i + t_c^i$  değerine kadar arttırılarak hedef fonksiyonunun değeri hesaplanır.

$$f(t) = \min \sum_{i=1}^n \left( \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=x_i}^{t_u^i+t_c^i} ((P_{Net}(t) + P_i(t)) - \bar{P})^2} \right), \{x_i | x_i \leq t_u^i \wedge x_i \geq t_a^i\} \quad (21)$$

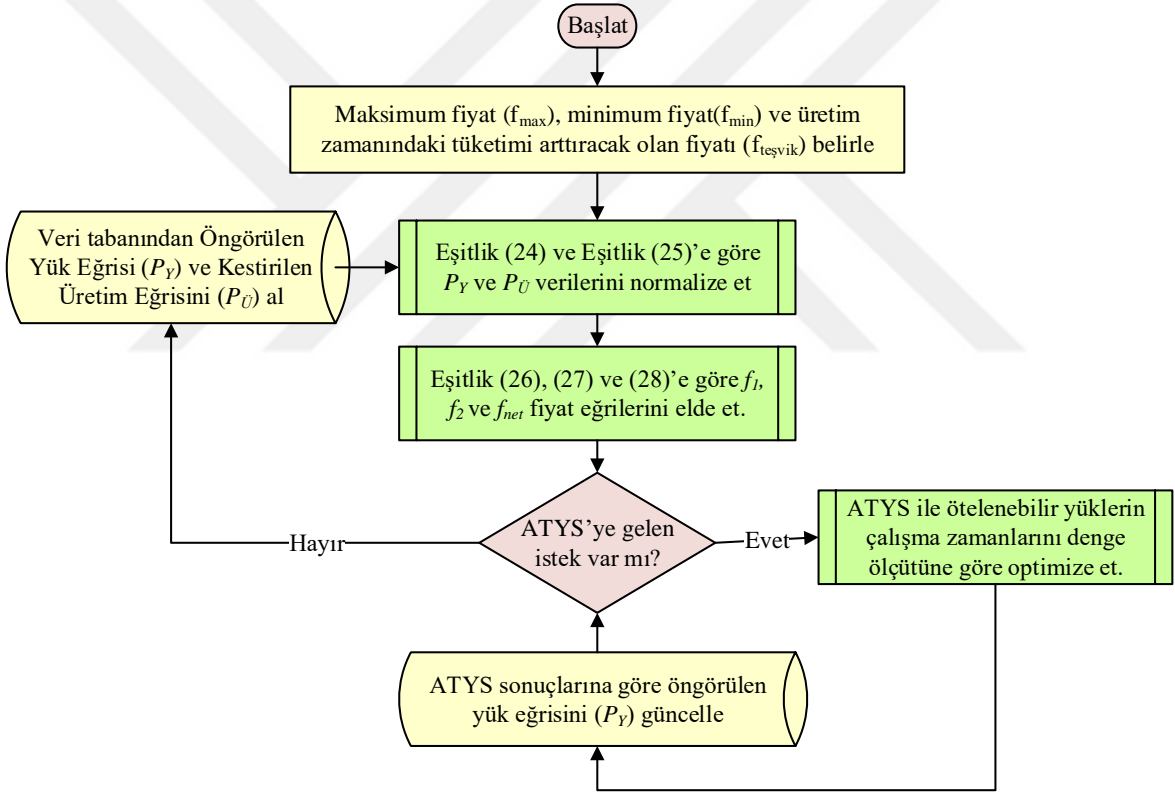
Hedef fonksiyonunun değeri, belirlenen minimum değere ulaşıncaya kadar veya maksimum iterasyon sayısına ulaşılanaya kadar, sezgisel algoritmalar en iyi çözümü bulmak için hesaplama yapar. Tüketicilerin ötelenebilir yüklerinin başlatılma zamanları ( $x_i$ ), BYOA algoritmasında organizmalar tarafından temsil edilirken, GKA algoritmasında ise yuvalara bırakılan guguk kuşu yumurtaları tarafından temsil edilmektedir.



## 2.5. Net Tüketim Eğrisine Göre Belirlenen Yeni Bir Dinamik Fiyatlandırma Sistemi

Bu bölümde üreten-tüketicilerin bulunduğu bir konut bölgesinde, net tüketim eğrisi  $P_{Net}(t)$ 'e göre dinamik olarak değişen elektrik birim fiyatlarının oluşturulması önerilmiştir. Böyle bir fiyatlandırma stratejisinde amaç, net tüketim eğrisinin negatif olan bölgelerinde elektrik birim fiyatlarının düşük olmasını sağlayarak, tüketimin bu bölgelere kaymasını teşvik etmektir.

Net tüketim eğrisine göre dinamik olarak değişen fiyat oluşturma yaklaşımının algoritması Şekil 2.25'te verilmiştir.



Şekil 2.25. Net tüketim eğrisine göre dinamik olarak değişen fiyat oluşturma yaklaşımı algoritması

$$P_Y = [P_Y^1 P_Y^2 P_Y^3 P_Y^4 \dots P_Y^n] \quad (22)$$

$$P_U = [P_U^1 P_U^2 P_U^3 P_U^4 \dots P_U^n] \quad (23)$$

$$normalizeP_Y = \left[ \frac{P_Y^i - \min P_Y}{\max P_Y - \min P_Y} \right] \quad (24)$$

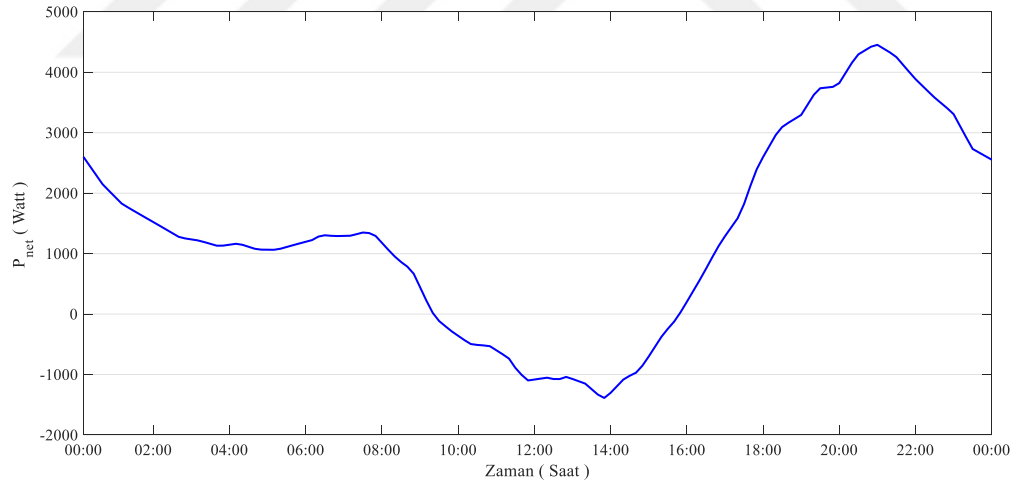
$$normalizeP_{\dot{U}} = \left[ \frac{P_{\dot{U}}^i - \min P_{\dot{U}}}{\max P_{\dot{U}} - \min P_{\dot{U}}} \right] \quad (25)$$

$$f_1 = \left[ ((f \max - f \min) \times normalizeP_Y) + f \min \right] \quad (26)$$

$$f_2 = [f \text{ teşvik} \times normalizeP_{\dot{U}}] \quad (27)$$

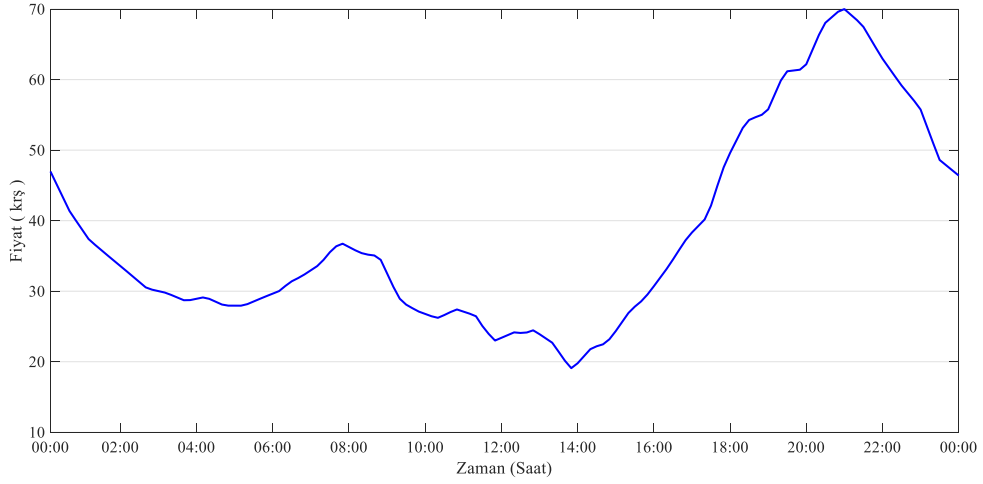
$$f_{\text{net}} = f_1 - f_2 \quad (28)$$

Dört tüketicinin bulunduğu bir tüketim bölgesindeki net tüketim eğrisi Şekil 2.26'daki gibi olsun.



Şekil 2.26. Dört tüketicinin bulunduğu bir tüketim bölgesindeki temsili net tüketim

$f \max = 70 \text{ kuruş} / kW_s$  ,  $f \min = 28 \text{ kuruş} / kW_s$  ,  $f \text{ teşvik} = (f \max - f \min)$  olmak üzere, önerilen fiyat eğrisi Şekil 2.27'deki gibi elde edilir.



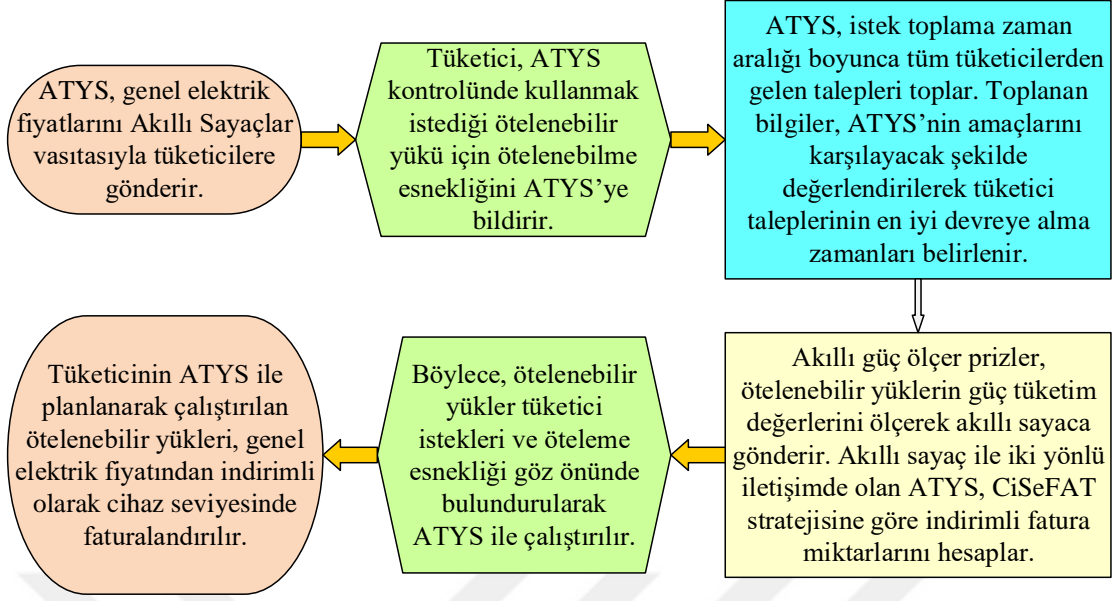
Şekil 2.27. Önerilen fiyat yaklaşımıyla Şekil 2.26'daki net tüketim eğrisine göre oluşan fiyat eğrisi

## 2.6. Yeni Bir Faturalandırma Yaklaşımı: Cihaz Seviyesinde Faturalandırma

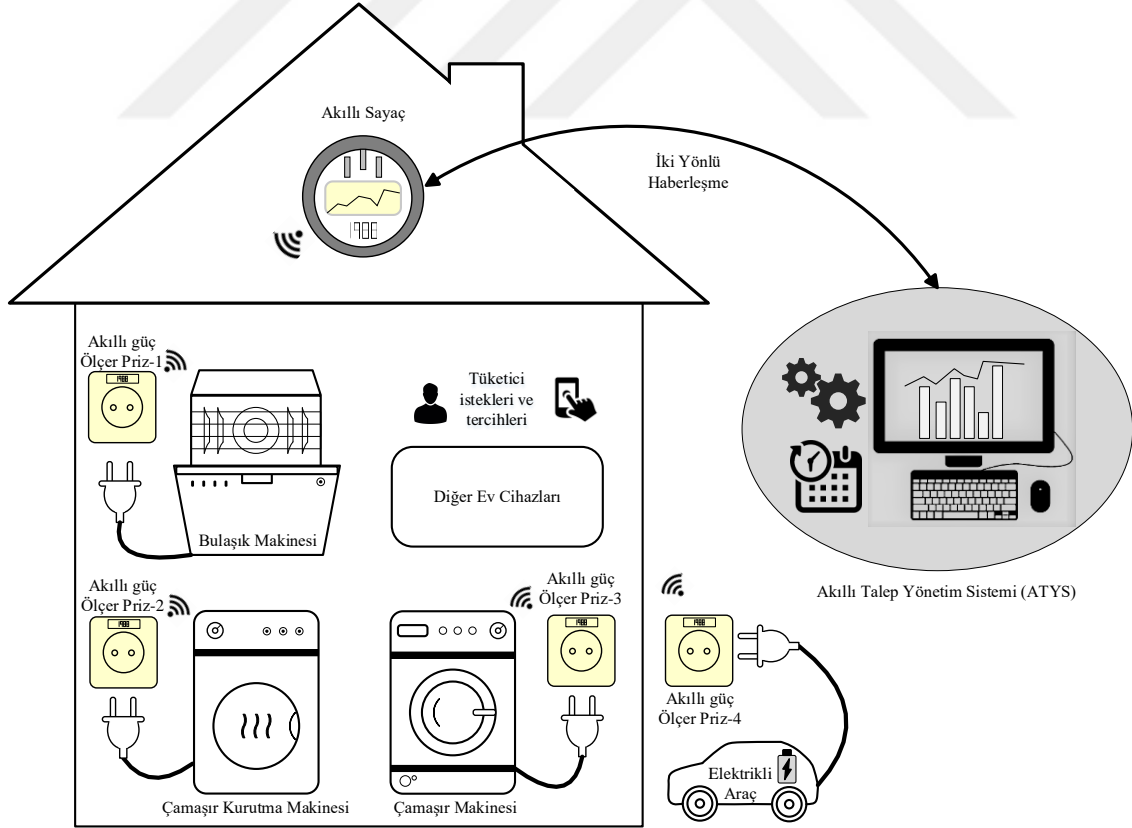
Talep tarafının yönetimi (TTY) akıllı şebekelerde önemli bir unsur olmakla birlikte, etkili TTY uygulamaları, tüketicilerin TTY'ye katılımına ve yüklerin kontrol edilme şekline bağlıdır. Eğer adil ve tüketicilerin lehine olan bir TTY yoksa, tüketicilerin TTY'ye katılım oranı düşük kalacaktır ve bu durum TTY'nin şebeke üzerindeki olumlu etkilerini azaltacaktır. Literatürde TTY üzerine birçok yöntem önerilmiş olmasına rağmen, literatür araştırması bölümünde de ifade edildiği üzere, TTY'nin adil ve tüketici konforunu en az düzeyde etkileyecek şekilde olması üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlı kalmıştır.

Bu bölümde tüketicilerin ötelenebilir yüklerinin (cihazlarının) ayrı bir şekilde faturalandırılması önerilmektedir. Bu faturalandırma sistemi "Cihaz Seviyesinde Faturalandırma (CiSeFAT)" stratejisi olarak isimlendirilmiştir. Bu kapsamda üç farklı faturalandırma stratejisi tasarlanmıştır.

Özgün ve yeni bir yaklaşım olan CiSeFAT ile tüketiciler ötelenebilir cihazları için esnek çalışma aralığını bildirerek o cihazların devreye alınma zamanının belirlenmesini şebeke operatörüne (Akıllı Talep Yönetim Sistemi'ne) bırakmaktadır. Bunun karşılığı olarak, bu yüklerin (cihazların) faturalandırmasının genel faturalandırmadan farklı olması önerilmektedir. Bu amaçla her bir ötelenebilir yükün bağlı olduğu prizde enerji ölçer olduğu ve bu enerji ölçerlerin akıllı şebekeyle iletişim halinde olduğu varsayılmaktadır. CiSeFAT stratejisinin nasıl uygulanacağı Şekil 2.28'de açıklanmıştır.



Şekil 2.28. CiSeFAT stratejisinin uygulanma biçimini açıklayan diyagram



Şekil 2.29. CiSeFAT'ın bir konutta uygulanma biçimi

### 2.6.1. Cihaz Seviyesinde Faturalandırma Stratejisi-1

CiSeFAT-1 yaklaşımında, eğer tüketici ötelenebilir yüklerinin kontrolünü ötelenebilme esnekliğiyle birlikte Akıllı Talep Yönetim Sistemi'ne devrederse, tüketici geçerli elektrik fiyat tarifesi ( $f(t)$ ) üzerinden bir indirim alacaktır. Alacağı bu indirim miktarı  $im(t)$  olarak isimlendirilmektedir ve  $i$ . ötelenebilir yük için eşitlik (29) ile hesaplanmaktadır.

$$im^i(t) = ik_1^i(t) \times ök^i \times f(t) \quad (29)$$

Eşitlik (29)'daki  $ik_1^i(t)$  CiSeFAT-1 için belirlenen *indirim katsayısıdır* ve  $i$ . ötelenebilir yük için eşitlik (30) ile hesaplanmaktadır.

$$ik_1^i = \frac{G_{ör}^i(t)}{G_T(t)} \quad (30)$$

Eşitlik (30)'da ifade edilen  $G_{ör}^i(t)$   $i$ . ötelenebilir yükün  $t$  anındaki güç tüketimini ifade etmektedir.  $G_T(t)$  ifadesi ise,  $t$  anında tüketicinin toplam tükettiği gücü temsil etmektedir.

CiSeFAT -1'in amacı, tüketiciyi ötelenebilir yükün devrede olduğu zaman aralığında başka yüklerini devreye almaması yönünde etkilemektir. Çünkü eşitlik (30)'dan da görüleceği üzere, tüketicinin ötelenebilir yüklerinin çalıştırıldığı zaman aralığında diğer yüklerine ait güç tüketiminin az olması indirim katsayısını arttıracaktır.

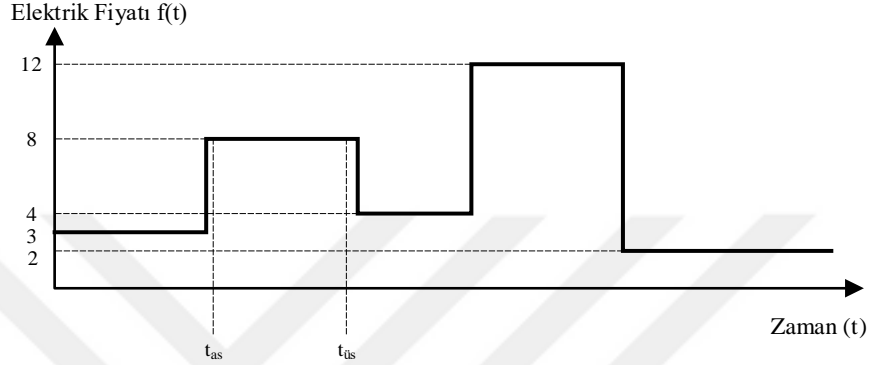
$ök$  , *ötelenebilirlik katsayısı* olup,  $i$ . ötelenebilir yük için Eşitlik (31) ile hesaplanmaktadır.

$$ök^i = \frac{\frac{t_{as}^i - t_{üs}^i}{pza}}{100} \quad (31)$$

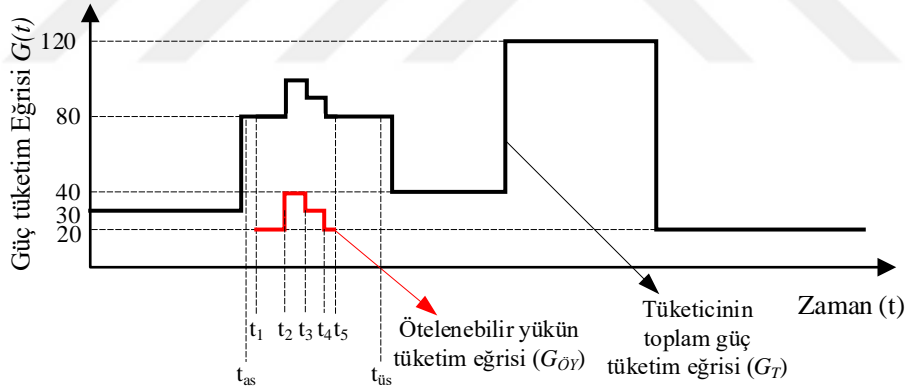
$t_{as}^i$  ve  $t_{üs}^i$  ,  $i$ . ötelenebilir yük için tüketicinin verdiği ötelenebilme esnekliğinin alt ve üst sınırlarını ifade etmektedir. Tüketici ötelenebilir yükü için esneklik sınırlarını arttırırsa,

*ötelenebilirlik katsayısı* da artacaktır ve tüketicinin alacağı *indirim katsayısı* da artmış olacaktır. Eşitlik (31)'de yer alan  $p_{za}$ , planlama zaman aralığını ifade etmektedir. ATYS sistemi planlamasını 10dk. zaman aralıklarında yapıyorsa,  $p_{za}$  10dk. olarak alınır. Aşağıdaki örnekte ile CiSeFAT ile yapılan faturalandırma sistemi açıklanmaktadır.

Örnek:



Şekil 2.30. Örnek CiSeFAT hesaplamasında varsayılan elektrik birim fiyatları



Şekil 2.31. Örnek CiSeFAT hesaplamasında varsayılan güç tüketim eğrisi

Örnek uygulama için ötelenebilir yükün çalışma süresinin;  $t_5 - t_1 = 120$  dakika olduğunu,

Ötelenebilir yük için tüketicinin verdiği ötelenebilir aralığının;  $t_{as} - t_{üs} = 240$  dakika olduğunu,

$t_1 = 300$ .dk.,  $t_2 = 340$ .dk.,  $t_3 = 370$ .dk.,  $t_4 = 400$ .dk.,  $t_5 = 420$ . dakikalara tekabül ettiğini ve ATYS'nin planlama zaman aralığının 10 dakika olduğunu varsayalım.

Bu durumda tüketicinin bu ötelenebilir yükü için ötelenebilirlik katsayısı aşağıdaki gibi olur:

$$\dot{o}k = \frac{\frac{t_{as} - t_{üs}}{100}}{\frac{pza}{100}} = \frac{240}{100} = 0,24 \quad (32)$$

Tüketicinin verdiği  $t_{as}-t_{üs}$  zaman aralığındaki esneklik içerisinde, tüketicinin ötelenebilir yükünün ATYS ile optimum  $t_1$  zamanında çalıştırılması planlanmış olsun. Şekil 2.30 ve Şekil 2.31'deki verilere göre tüketicinin ötelenebilir yüküne yansıtacak olan indirimli fatura miktarı ( $ifm$ ), eşitlik (33)'teki gibi ifade edilebilir. Bu işlemin sonunda  $ifm$  eşitlik (34)'teki gibi hesaplanmış olacaktır.

$$ifm = \sum_{t=t_1}^{t_s} \left( f(t) - \left( f(t) \times \frac{G_{öY}(t)}{G_T(t)} \times \dot{o}k \right) \right) \times G_{öY}(t) \times t \quad (33)$$

$$\begin{aligned} ifm = & \left( \left( 8 - \left( 8 \times \frac{1}{4} \times 0,24 \right) \right) \times 1 \times 40 \right) + \left( \left( 8 - \left( 8 \times \frac{2}{5} \times 0,24 \right) \right) \times 2 \times 20 \right) + \dots \\ & \dots + \left( \left( 8 - \left( 8 \times \frac{1}{4} \times 0,24 \right) \right) \times 1 \times 10 \right) \end{aligned} \quad (34)$$

$ifm = 897,856$  birim olur.

Tüketici, ötelenebilir yükünü ATYS olmadan aynı  $t_1$  zamanında çalıştırmış olsaydı, indirimsiz fatura miktarı;

$$normal\_fatura = (8 \times 1 \times 40) + (8 \times 2 \times 20) + (8 \times 1,5 \times 20) + (8 \times 1 \times 10) = 960 \quad \text{birim}$$

olacaktı. Sonuçlardan görüldüğü üzere, eğer tüketici ötelenebilir yükünü dört saatlik ötelenebilme esnekliğinde ATYS ile çalıştırırsa, Şekil 2.30 ve Şekil 2.31'de verilen fiyat ve güç tüketim eğrilerine göre %6,47 daha az fatura ödemiş olur.

### 2.6.2. Cihaz Seviyesinde Faturalandırma Stratejisi-2

CiSeFAT-2'nin genel eşitlikleri CiSeFAT-1 ile aynı olup, farklı olan şey indirim katsayısıdır. CiSeFAT-2'de  $i$ . ötelenebilir yük için hesaplanan indirim miktarı ( $im_2^i$ ), eşitlik (35)'te, indirim katsayısı ( $ik_2^i$ ) ise eşitlik (36)'da verilmiştir.

$$im_2^i(t) = ik_2^i(t) \times ök^i \times f(t) \quad (35)$$

$$ik_2^i = \frac{G_{ör}^i(t)}{G_{kurulu}} \quad (36)$$

Eşitlik (35)'te yer alan  $ök$  ifadesi eşitlik (32)'de ifade edilmiştir. Eşitlik (36)'da verilen  $G_{kurulu}$ , tüketicinin kurulu gücünü (sözleşme gücünü) temsil etmektedir.

CiSeFAT-2'nin amacı, tüketicinin yüksek güçlü uygulamalarını (ATYS) ile kullanmasını teşvik etmektir. Çünkü eşitlik (36)'dan da görüleceği üzere, tüketici yüksek güçlü ötelenebilir yüklerini ATYS ile kullanırsa indirim katsayısı artacaktır.

### 2.6.3. Cihaz Seviyesinde Faturalandırma Stratejisi-3

CiSeFAT-3'nin genel eşitlikleri CiSeFAT-1 ile aynı olup, farklı olan şey indirim katsayısının hesaplanma biçimidir. CiSeFAT-3'te  $i$ . ötelenebilir yük için hesaplanan indirim miktarı ( $im_3^i$ ) eşitlik (37)'de indirim katsayısı ( $ik_3^i$ ) ise eşitlik (38)'de verilmiştir.

$$im_3^i(t) = ik_3^i(t) \times ök^i \times f(t) \quad (37)$$

$$ik_3^i = \frac{G_{ör}^i(t)}{G_{OATTM}} \quad (38)$$

Eşitlik (37)'de yer alan  $ök$  ifadesi eşitlik (32)'de ifade edilmiştir. Eşitlik (38)'de verilen  $G_{OATTM}$ , tüketicinin aylık ortalama tepe tüketim miktarını temsil etmektedir.



CiSeFAT-3'ün amacı, tüketicinin tepe tüketimlerini azaltmasını teşvik etmektir. Çünkü eşitlik (38)'den de anlaşılacağı gibi, tüketicinin aylık ortalama tepe tüketimlerinin azalması indirim katsayısını arttıracaktır.

Aşağıdaki tabloda, CiSeFAT stratejileri amaçları bakımından karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 2.13. CiSeFAT stratejilerinin karşılaştırılması

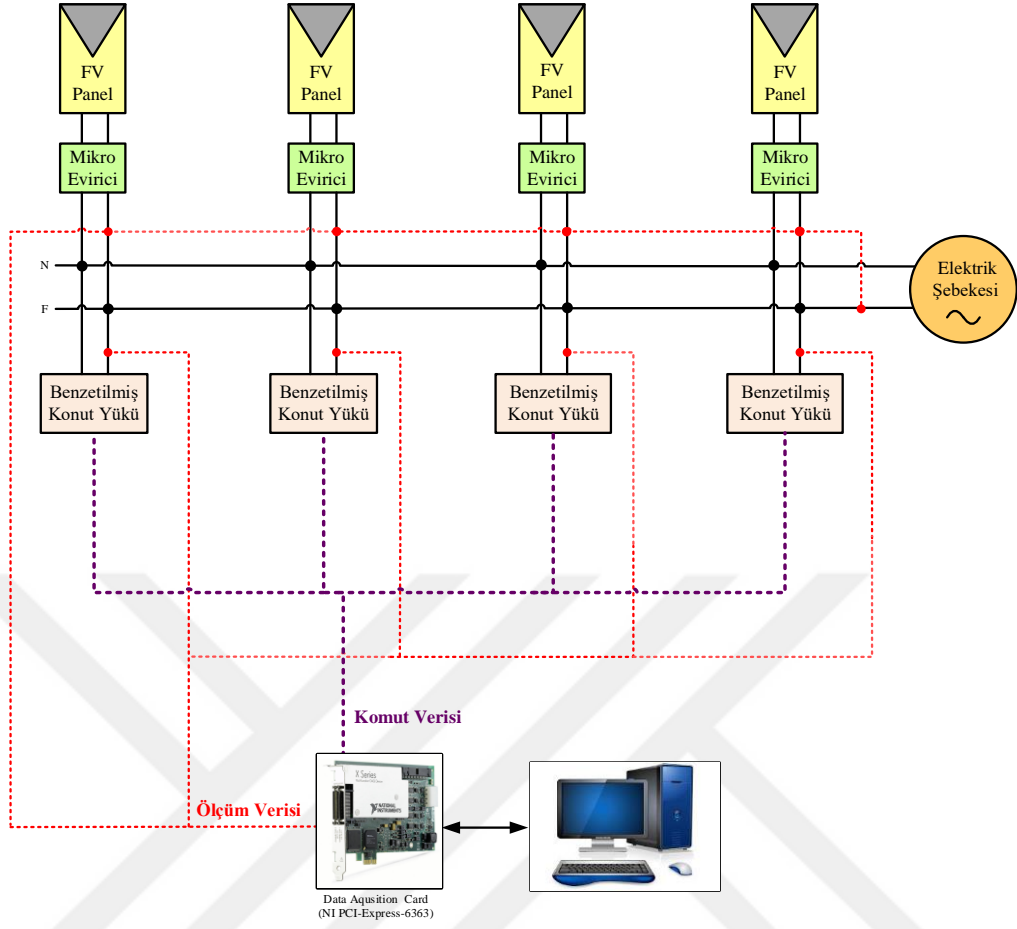
| <b>CiSeFAT Tipi</b> | <b>Amaç</b>   |
|---------------------|---|
| <b>CiSeFAT-1</b>    | Tüketicileri ötelenebilir yüklerinin çalıştığı zamanlardaki tüketimlerini azaltma yönünde teşvik etmek. |
| <b>CiSeFAT-2</b>    | Tüketicileri yüksek güçlü ötelenebilir yüklerini ATYS ile kullanmaları yönünde teşvik etmek.            |
| <b>CiSeFAT-3</b>    | Tüketicileri tepe tüketimlerini azaltmaları yönünde teşvik etmek.                                       |

## 2.7. Test ve Ölçüm Prototipinin Tasarımı ve Bileşenleri

Bu tezde önerilen ATYS'yi test etmek için, dağıtık üretim birimleri, tüketim birimleri ve ölçüm birimlerinden oluşan bir test ve ölçüm prototipi tasarlanmıştır. Tasarlanan prototipin blok diyagramları Şekil 2.32 ve Şekil 2.33'te yer almaktadır.

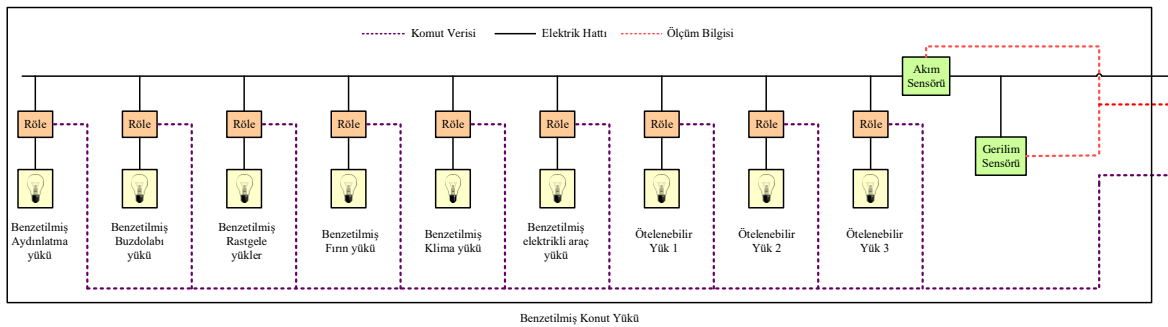
Test ve ölçüm prototipinde dört adet konut tüketicisi ve bu tüketicilerin şebeke bağlantılı olarak çalışan üretim birimleri (FV panel ve eviricileri) modellenmiştir. Her bir benzetilmiş konut yükünün ve üretim biriminin akım-gerilim bilgileri, veri toplama kartına aktarılmaktadır.

Veri toplama kartı olarak NI marka, PCI-Express 6363 model veri toplama kartı kullanılmıştır. Bu veri toplama kartının analog girişlerine akım-gerilim ölçme devrelerinden alınan gerilim sinyali uygulanmaktadır. Veri toplama kartının dijital çıkışları aracılığıyla, benzetilmiş konut yüklerinde bulunan yükler anahtarlanmaktadır. Benzetilmiş konut yükünün ayrıntılı blok diyagramı Şekil 2.33'te yer almaktadır.



Şekil 2.32. Test ve ölçüm prototipinin blok diyagramı

Aşağıdaki şekilde benzetilmiş konut yüklerinden birinin ayrıntılı blok diyagramı görülmektedir. Benzetilmiş konut yükü içinde benzetilmiş yük olarak kullanılabilen 16 adet yük bulunmaktadır. Bu yükler röle aracılığıyla veri toplama kartı üzerinden kontrol edilebilmektedir. Benzetilmiş konut yükünün akım ve gerilimi ölçülerek, veri toplama kartına aktarılmaktadır.



Şekil 2.33. Benzetilmiş konut yükünün blok diyagramı

Yukarıda blok diyagramları verilen test ve ölçüm prototipinin gerçekleştirilmiş halinin fotoğrafı Şekil 2.34'te yer almaktadır.



Şekil 2.34. Test ve ölçüm prototipinin gerçekleştirilmiş hali

Şekil 2.34'te görülen gerçekleştirilmiş test ve ölçüm prototipi, iki ana kısımdan oluşmaktadır. Test ve ölçüm prototipinin 1. kısmının detayları Şekil 2.35'te, açıklamaları ise Tablo 2.14'te verilmiştir.

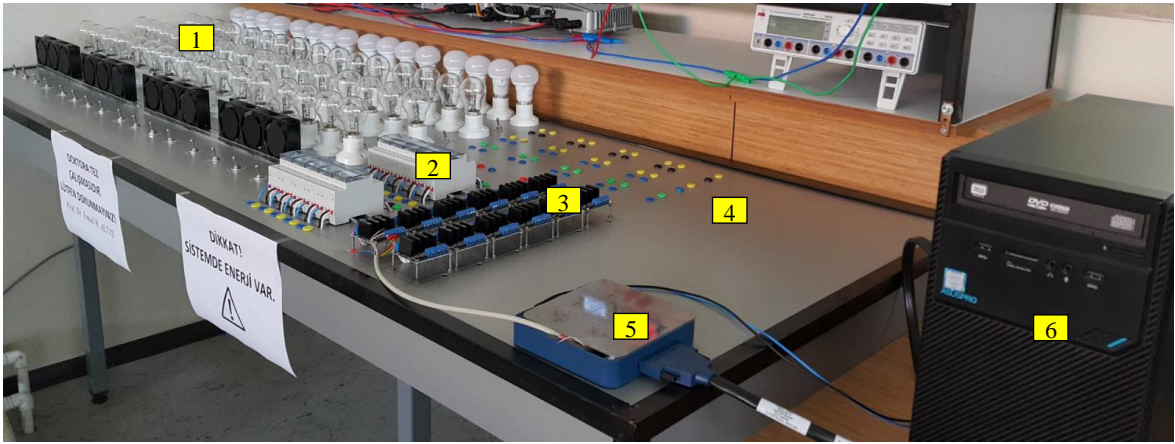


Şekil 2.35. Test ve ölçüm prototipinin birinci kısmı ve bileşenleri

Tablo 2.14. Test ve ölçüm prototipinin birinci kısmındaki bileşenler ve kullanım amaçları

| Bileşen No | Açıklama                         | Kullanım Amacı                                     |
|------------|----------------------------------|--|
| 1          | Doğru akım (DA) Voltmetre        | FV panellerin geriliminin ölçümü                   |
| 2          | Doğru akım (DA) Ampermetre       | FV panellerin akımının ölçümü                      |
| 3          | Alternatif akım (AA) Voltmetre   | Evirici geriliminin ve şebeke geriliminin ölçümü   |
| 4          | AA Ampermetre                    | Evirici akımının ve yük akımlarının ölçümü         |
| 5          | Üretim Sayacı                    | FV panellerle üretilen enerjinin ölçümü            |
| 6          | Güç Analizörü                    | Tüketim ve üretim birimlerinin güçlerinin analizi  |
| 7          | Tüketim Sayacı                   | Tüketim birimlerinin harcadığı enerjinin ölçümü    |
| 8          | Şebeke Barası                    | Üretim ve tüketim birimlerinin şebekeye bağlantısı |
| 9          | FV Panel çıkışları               | FV panellerin eviriciye bağlantısı                 |
| 10         | Şebeke bağlantılı evirici çıkışı | Şebeke bağlantılı eviricinin şebeke bağlantısı     |
| 11         | Şebeke bağlantılı evirici        | FV panelin ürettiği DA gücü AA güce evirmek        |
| 12         | DA güç kaynağı                   | Akım-gerilim algılayıcı devreler için güç kaynağı  |

Test ve ölçüm prototipinin 2. kısmının detayları Şekil 2.36’da açıklamaları ise Tablo 2.15’te ifade edilmiştir.



Şekil 2.36. Test ve ölçüm prototipinin ikinci kısmı ve bileşenleri

Tablo 2.15. Test ve ölçüm prototipinin ikinci kısmındaki bileşenler ve kullanım amaçları

| Bileşen | Açıklama                        | Kullanım Amacı                                       |
|---------|---------------------------------|--|
| 1       | Benzetilmiş konut yükleri       | Temsili konut yüklerini oluşturmak                   |
| 2       | Programlanabilir zaman saati    | Gün batımı ve doğumuna göre yük anahtarlanması       |
| 3       | Katı hal (solid state) röleleri | Yüklerin DAQ kart üzerinden anahtarlanması           |
| 4       | Bağlantı baraları               | Üretim ve tüketim birimlerinin bağlantısı            |
| 5       | Veri toplama (DAQ) kartı        | Bilgisayar ile test prototipi arasında veri aktarımı |
| 6       | Bilgisayar                      | Tasarlanan ATYS'nin çalıştırılması ve veri toplama   |

### 2.7.1. Üretim Birimi ve Bileşenleri

Test ve ölçüm prototipinde tüketicilerin konutlarının çatılarındaki FV güç üretim sistemlerini temsilen 4 adet FV panel kullanılmıştır. Kullanılan FV panellerin çatıdaki görüntüsü Şekil 2.37'de görülmektedir. Bu FV panellere ait teknik bilgiler ise Tablo 2.16'da yer almaktadır.



Şekil 2.37. Tüketicilerin FV güç üretim sistemlerini temsil eden FV paneller

Bu 4 FV panelin her biri test ve ölçüm prototipindeki bir konutun FV gücünü temsil etmektedir. Bu çalışmada her konutun kurulu gücünün 5kW olduğu varsayılmıştır. Bu

durumda bu panellerden her biri 1/16 oranında ölçeklenmiş şekilde bir konutun FV gücünü temsil etmiş olacaktır.

Tablo 2.16. Plurawatt marka, DC Panel P72 315W<sub>p</sub> model panelin teknik bilgileri

|   |                |
|---|----------------|
| <b>P<sub>max</sub></b>  | 317,35 W       |
| <b>V<sub>MPP</sub></b>  | 29,79 V        |
| <b>I<sub>MPP</sub></b>  | 6,12 A         |
| <b>V<sub>oc</sub></b>   | 37,23 V        |
| <b>I<sub>sc</sub></b>   | 8,68 A         |
| <b>Boyutlar</b>   | 987x1652x55 mm |
| <b>Ağırlık</b>  | 18,5 kg        |
| Ölçüm değerleri +/-%3 @STC 1000W/m <sup>2</sup> , 25C, AM:1.5 |                |

Her konuta ait temsili FV güç ünitelerinden üretilen gücün şebekeye aktarılması için, şebeke bağlantılı (on-grid) çalışan 4 adet mikro evirici (micro inverter) bulunmaktadır. Mikro eviriciye ait teknik bilgiler Tablo 2.17’de, mikro eviriciye ait fotoğraf ise Şekil 2.38’de verilmiştir.



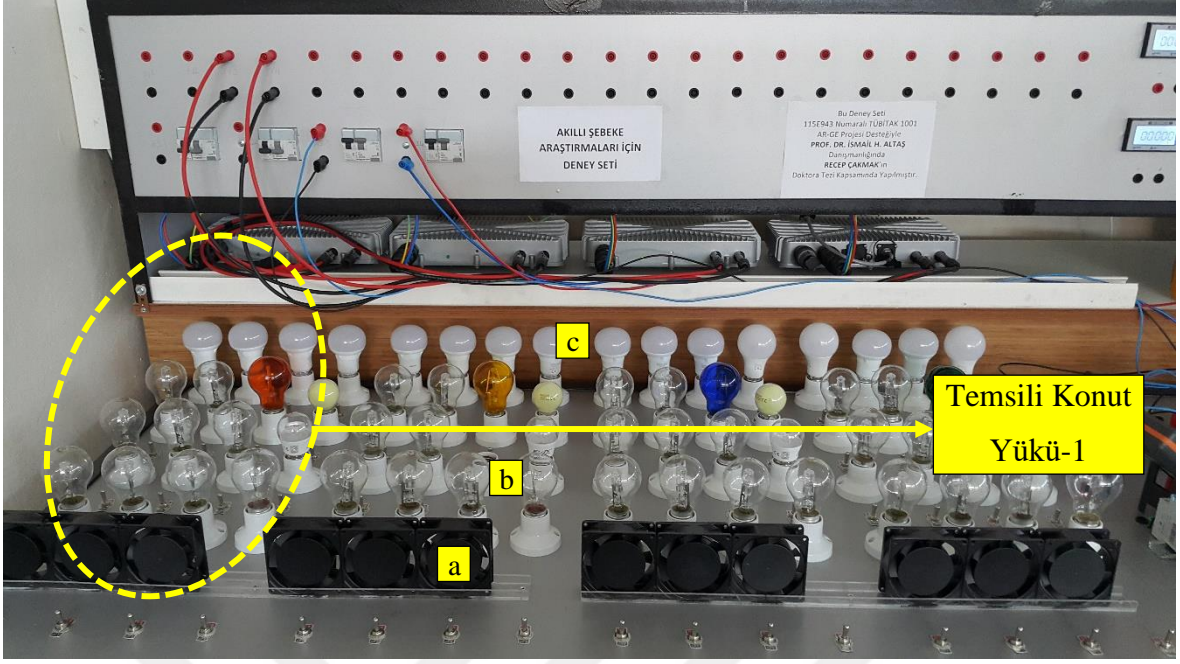
Şekil 2.38. Temsili konutlardaki FV gücün şebekeye aktarılmasını sağlayan mikro evirici

Tablo 2.17. AE Conversion INV350-60 mikro eviricinin teknik bilgileri

| <b>Giriş</b>                            |           |
|---|-----------|
| Maksimum FV Güç                         | 350 W     |
| Maksimum Gerilim (DA)                   | 60 V      |
| Maksimum /Minimum Çalışma Gerilimi (DA) | 18 V/60 V |
| MGNT Aralığı (DA)                       | 20 V-50 V |
| Maksimum Akım (DA)                      | 11 A      |
| <b>Çıkış</b>                            |           |
| Maksimum Güç                            | 330 W     |
| Nominal Akım (AA)                       | 1,4 A     |
| Güç Faktörü                             | >0,99     |
| <b>Verim</b>                            |           |
| Maksimum Evirici Verimi                 | %93,5     |
| Nominal MGNT Verimi                     | %99,8     |

### 2.7.2. Benzetilmiş Konut Yükleri ve Bileşenleri

Benzetilmiş konut yükleri dört adet konut tüketicisinin temsili yüklerini temsil eden 16 adet yükten oluşmaktadır. Bu temsili yükler Şekil 2.39'da görülmektedir. Temsili yük grubundaki yükler, temsil ettikleri gerçek güç değerlerinin 1/32 oranında ölçeklenmesiyle oluşturulmuştur. Bu temsili yükler motor, LED lamba ve Halojen lamba olmak üzere üç farklı türdedir. Halojen lambalar aktif güç harcayan yüklerin, motorlar reaktif güç çeken motorlu konut yüklerinin, LED lambalar ise harmonikli konut yüklerinin temsilinde kullanılabilir.



Şekil 2.39. Temsili konut yükleri ve bileşenleri

Şekil 2.39'daki temsili konut yükü bileşenlerinden,

a: Motor içeren yükleri temsil etmektedir.

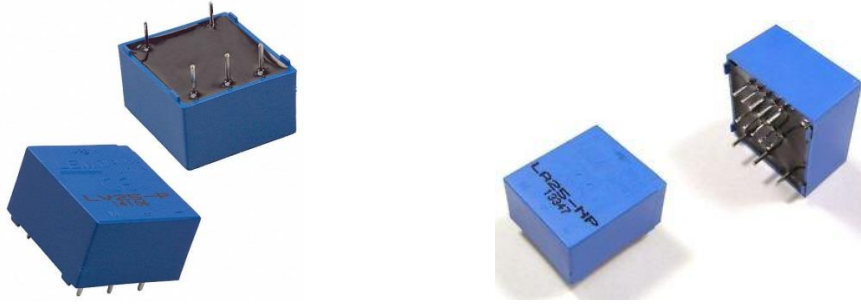
b: Modellenecek olan diğer yükleri temsil etmektedir.

c: Harmonik içeren yükleri temsil etmektedir.

### 2.7.3. Üretim ve Tüketim Birimlerine Ait Ölçüm Devreleri

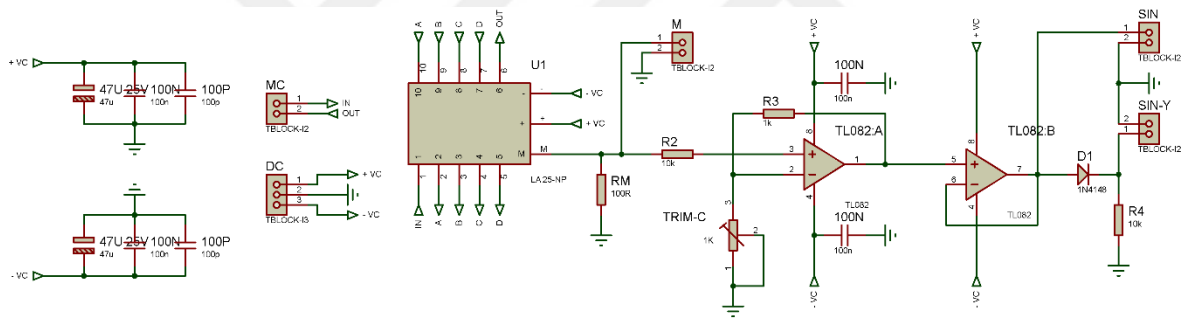
Test ve ölçüm prototipindeki üretim ve tüketim birimlerinin akım ve gerilimlerini ölçmek için LEM marka LA-25NP model akım algılayıcıları ve LEM marka LV25-P model gerilim algılayıcıları kullanılarak akım ölçüm kartları ve gerilim ölçüm kartları tasarlanmıştır. Bu ölçüm kartlarında kullanılan akım ve gerilim algılayıcıları Şekil 2.40 (a) ve (b)'de görülmektedir.



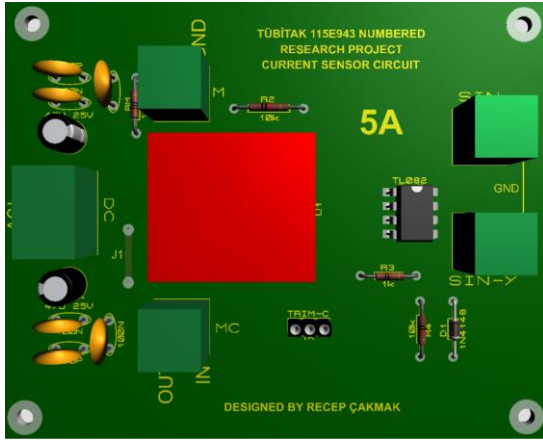


Şekil 2.40 (a) LV25-P gerilim algılayıcısı (b) LA25-NP akım algılayıcısı

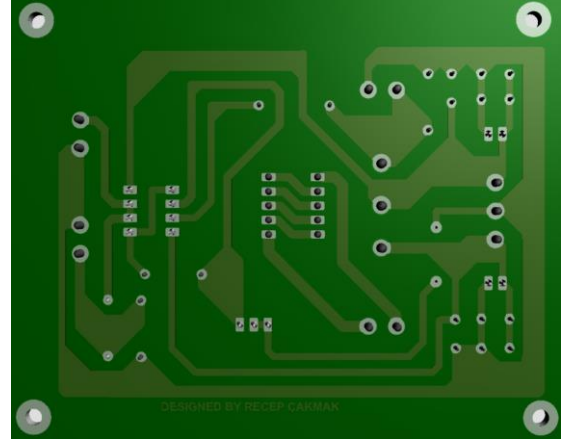
Tüketim birimlerinin ve üretim birimlerinin akımlarının ölçümü için LA25-NP akım algılayıcısı içeren 5A'lık akım ölçüm kartları tasarlanmıştır. 5A'lık akım ölçüm kartına ait devre şeması Şekil 2.41'de yer almaktadır. Bu kartların devre tasarım programında oluşturulmuş üç boyutlu görüntüleri ile baskı devre şemaları Şekil 2.42'de verilmiştir.



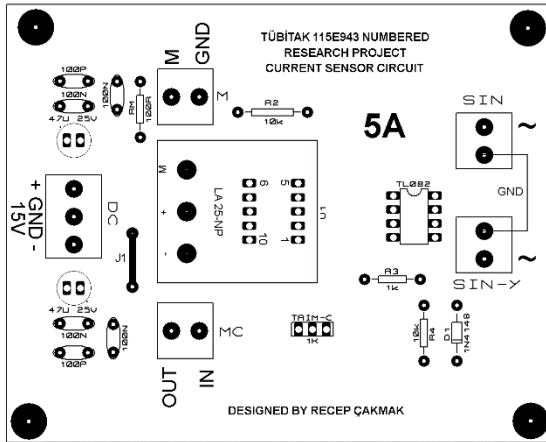
Şekil 2.41. Tasarlanan 5A'lık akım ölçüm kartının devre şeması



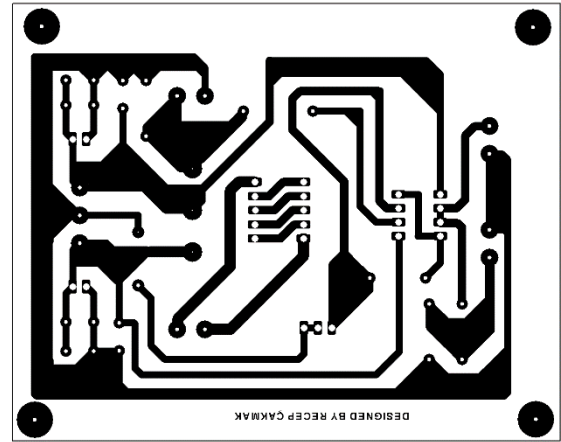
(a)



(b)



(c)

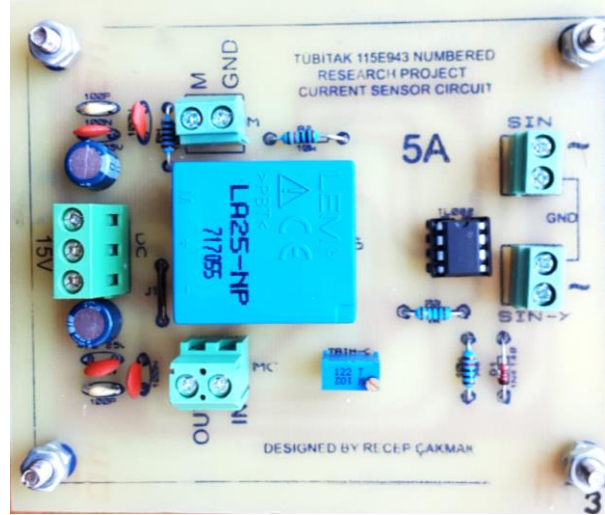


(d)

Şekil 2.42. 5A'lık akım ölçüm kartının tasarım görüntüleri ve baskı devre şemaları

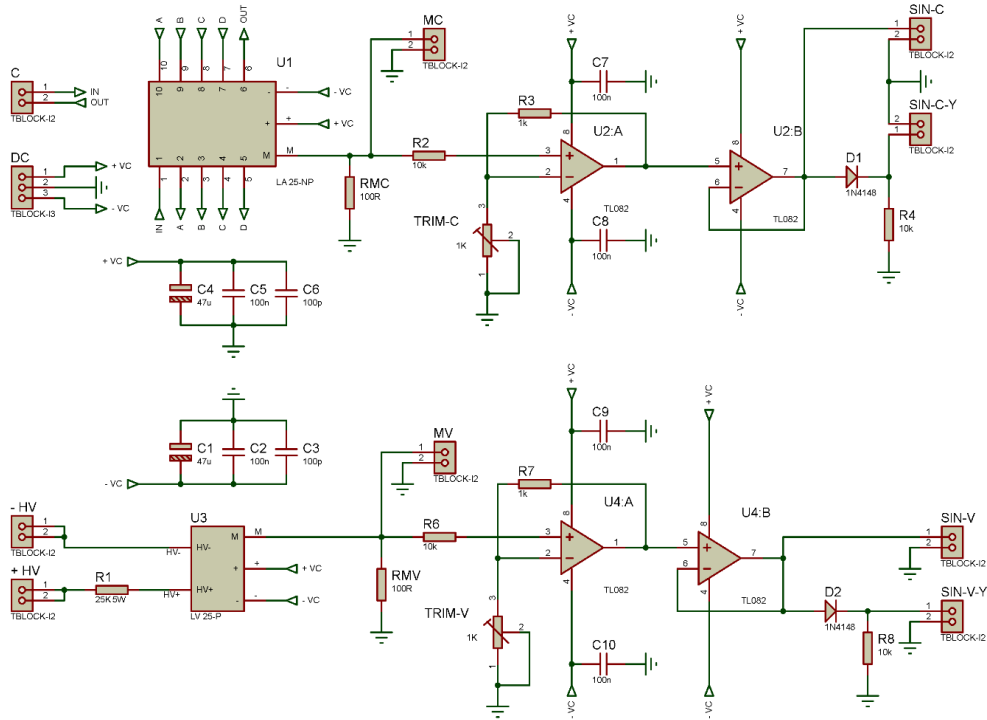
Şekil 2.42'de görülen (a) ve (b) şekilleri 5A'lık akım ölçüm kartının tasarım programındaki üç boyutlu tasarım görüntüsüdür. (c) ve (d) şekilleri ise, 5A'lık akım ölçüm kartının devre plakentinin alt ve üst tabakalarına ait baskı devre şemalarıdır.

5A'lık akım ölçüm kartının yukarıda verilen tasarımlara uygun olarak gerçekleştirilmiş halinin görüntüsü Şekil 2.43'te verilmiştir.

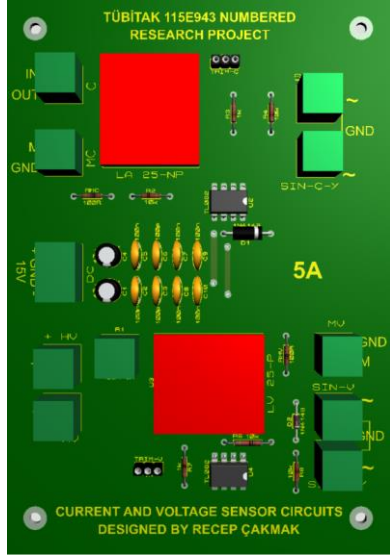


Şekil 2.43. 5A'lık akım ölçüm kartının gerçekleştirilmiş hali

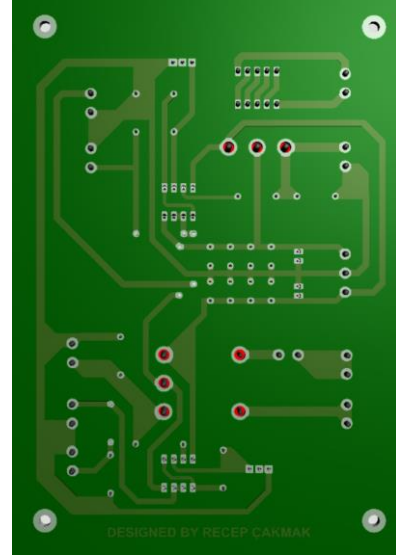
Üretim birimindeki toplam akımı ve üretim biriminin bağlı olduğu baranın gerilimini ölçmek için tasarlanan, akım ve gerilim algılayıcılarının birlikte kullanıldığı birleşik akım (5A) ve gerilim ölçüm kartının devre şeması Şekil 2.44'te yer almaktadır. Bu kartların tasarım programında oluşturulmuş üç boyutlu görüntüleri ile baskı devre şemaları Şekil 2.45'te verilmiştir.



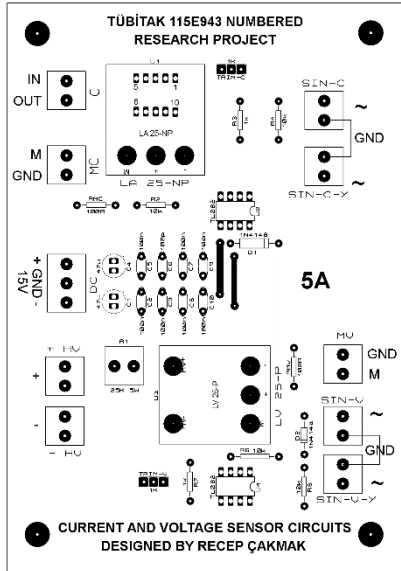
Şekil 2.44. Tasarlanan birleşik akım (5A) ve gerilim ölçüm kartının devre şeması



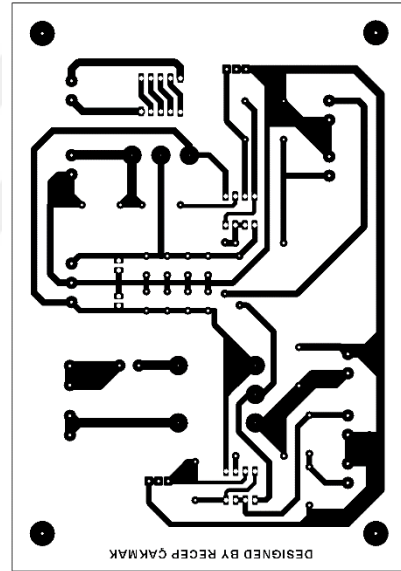
(a)



(b)



(c)

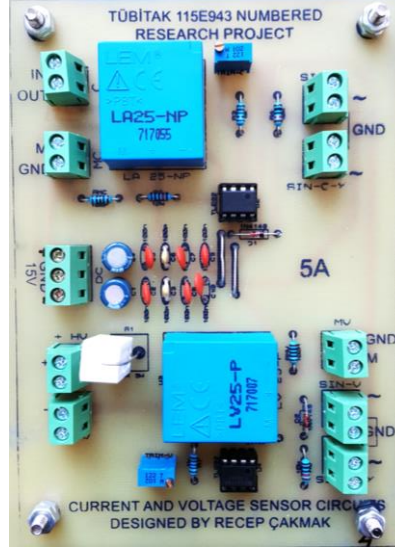


(d)

Şekil 2.45. Birleşik akım (5A) ve gerilim ölçüm kartının tasarım görüntüleri ve baskı devre şemaları

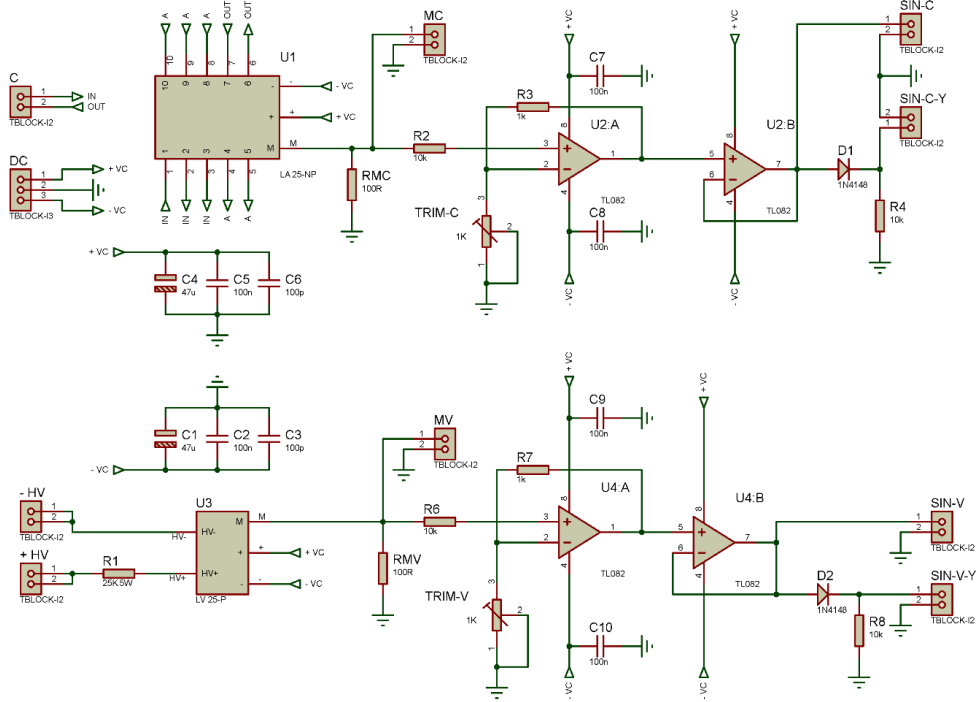
Şekil 2.45'te verilen (a) ve (b) şekilleri birleşik akım (5A) ve gerilim ölçüm kartının tasarım programındaki üç boyutlu tasarım görüntüsüdür. Şekil 2.45'te yer alan (c) ve (d) şekilleri ise, birleşik akım (5A) ve gerilim ölçüm kartının devre plaketinin alt ve üst tabakalarına ait baskı devre şemalarıdır.

Birleşik akım (5A) ve gerilim ölçüm kartının yukarıda verilen tasarımlara uygun olarak gerçekleştirilmiş halinin görüntüsü Şekil 2.46'da verilmiştir.

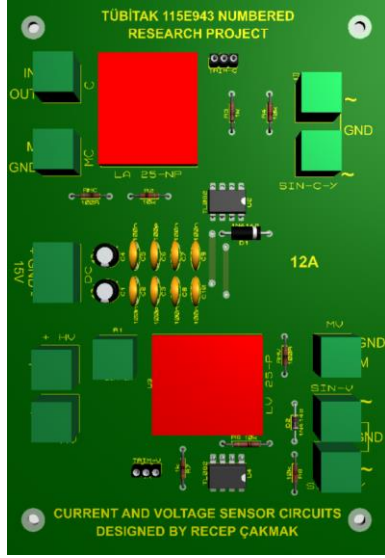


Şekil 2.46. Birleşik akım (5A) ve gerilim ölçüm kartının gerçekleştirilmiş hali

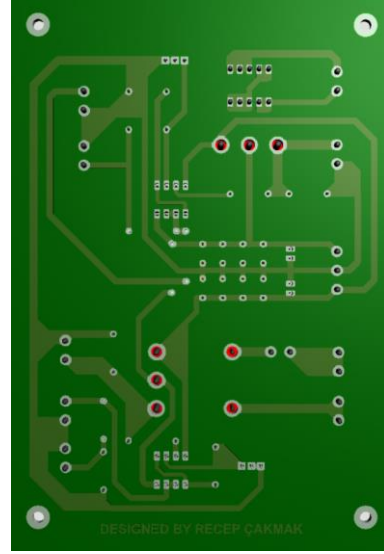
Tüketim birimlerinin ve üretim birimlerinin bağlandığı ortak bağlantı barasının akım ve gerilimini ölçmek için tasarlanan birleşik akım (12A) ve gerilim ölçüm kartının devre şeması Şekil 2.47’de verilmiştir. Bu kartların tasarım programında oluşturulmuş üç boyutlu görüntüleri ile baskı devre şemaları Şekil 2.48’de yer almaktadır.



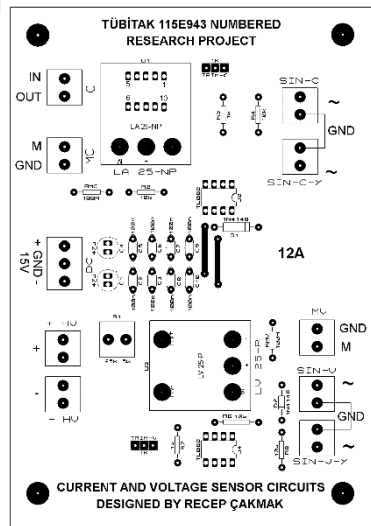
Şekil 2.47. Tasarlanan birleşik akım (12A) ve gerilim ölçüm kartının devre şeması



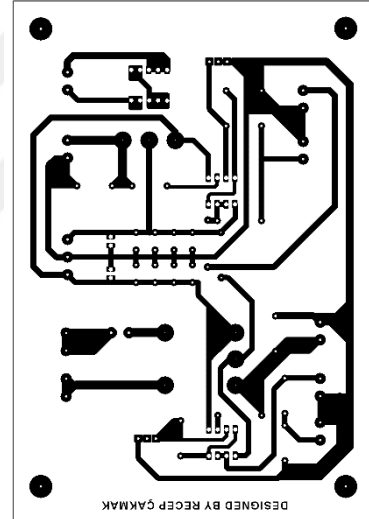
(a)



(b)



(c)

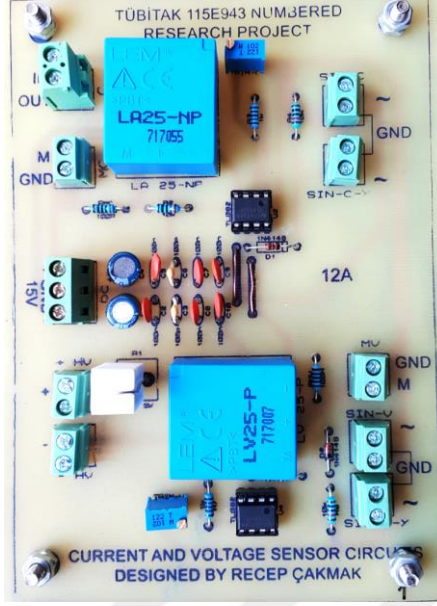


(d)

Şekil 2.48. Birleşik akım (12A) ve gerilim ölçüm kartının tasarım görüntüleri ve baskı devre şemaları

Şekil 2.48'de görülen (a) ve (b) şekilleri birleşik akım (12A) ve gerilim ölçüm kartının tasarım programındaki üç boyutlu tasarım görüntüsüdür. Şekil 2.48'deki (c) ve (d) şekilleri ise, birleşik akım (12A) ve gerilim ölçüm kartının devre plaketinin alt ve üst tabakalarına ait baskı devre şemalarıdır.

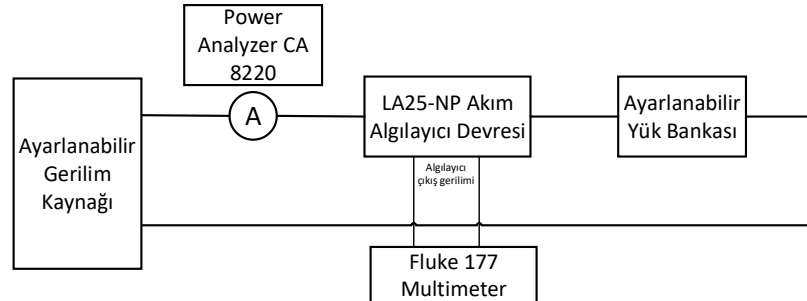
Birleşik akım (12A) ve gerilim ölçüm kartının yukarıda verilen tasarımlara uygun olarak gerçekleştirilmiş halinin görüntüsü Şekil 2.49'da verilmiştir.



Şekil 2.49. Birleşik akım (12A) ve gerilim ölçüm kartının gerçekleştirilmiş hali

#### 2.7.4. Tasarlanan Ölçüm Kartlarının Test Edilmesi

Yukarıda açıklandığı gibi tasarlanarak gerçekleştirilen akım ve gerilim ölçüm kartlarının doğruluğu, doğru ölçtüğü bilinen ölçüm cihazları kullanılarak test edilmiştir. Test devrelerinin blok diyagramları Şekil 2.50 ve Şekil 2.51’de, kullanılan cihazların bilgileri ise Tablo 2.18’de yer almaktadır. Tasarlanan ölçüm kartlarının testi için kurulan düzenek Şekil 2.52’de verilmiştir.



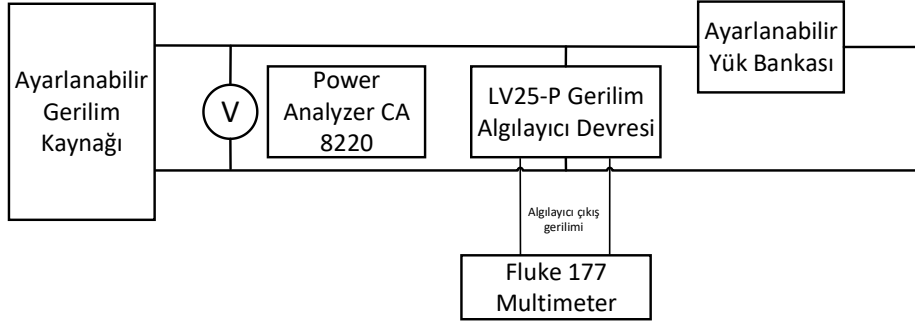
Şekil 2.50. Akım algılayıcı devrenin test edilmesi için kurulan düzeneğe ait blok diyagramı

Akım algılayıcı devresinin test edilmesi için Şekil 2.50'deki devre düzeneği kurulmuş ve sabit gerilim altında yük değerlerinin değiştirilmesiyle ölçümler alınmıştır. Daha sonra sabit gerilim ve sabit yük değerlerinde 30 dk. boyunca 5dk'lık aralıklarla ölçümler alınarak uzun süreli test işlemi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2.18. Akım ve gerilim algılayıcılarının test edilmesinde kullanılan cihazlar ve doğrulukları

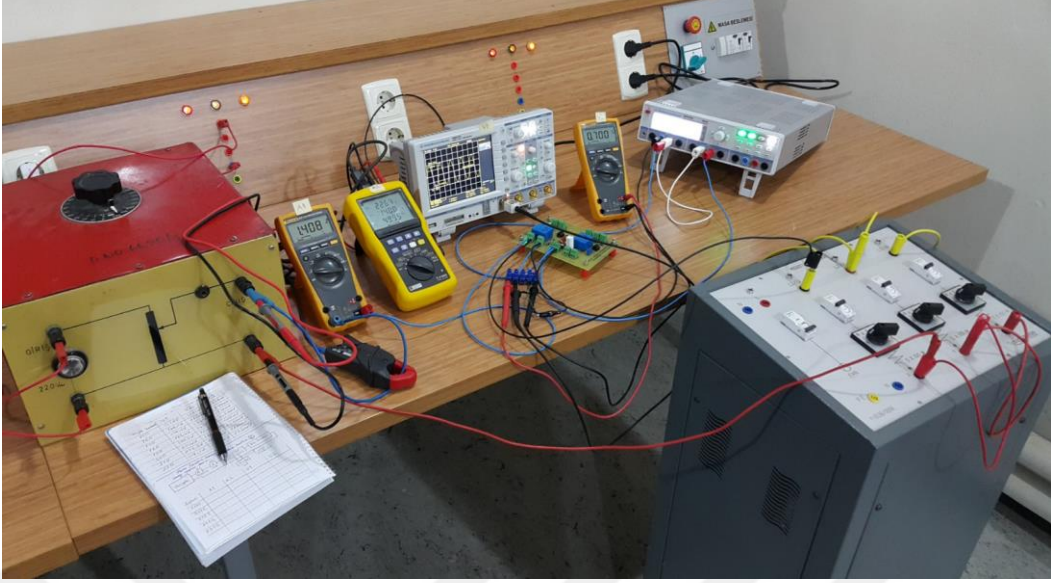
| Cihaz  | Doğruluk                           |
|--|------------------------------------|
| C.A marka, 8220 model numaralı güç analizörü | AA akım ölçüm doğruluğu: %0,5      |
| C.A marka, 8220 model numaralı güç analizörü | AA gerilim ölçüm doğruluğu: %0,5   |
| Fluke marka, 177 model numaralı multimetre   | AA gerilim ölçüm doğruluğu: +/-% 1 |

Gerilim algılayıcı devresinin test edilmesi için Şekil 2.51'deki devre düzeneği kurulmuş ve gerilim kaynağıyla yüke uygulanan gerilimler değiştirilerek ölçümler alınmıştır. Daha sonra sabit gerilim ve sabit yük değerlerinde 30 dk. boyunca 5dk'lık aralıklarla ölçümler alınarak uzun süreli test işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.51. Gerilim algılayıcı devrenin test edilmesi için kurulan düzeneğe ait blok diyagramı

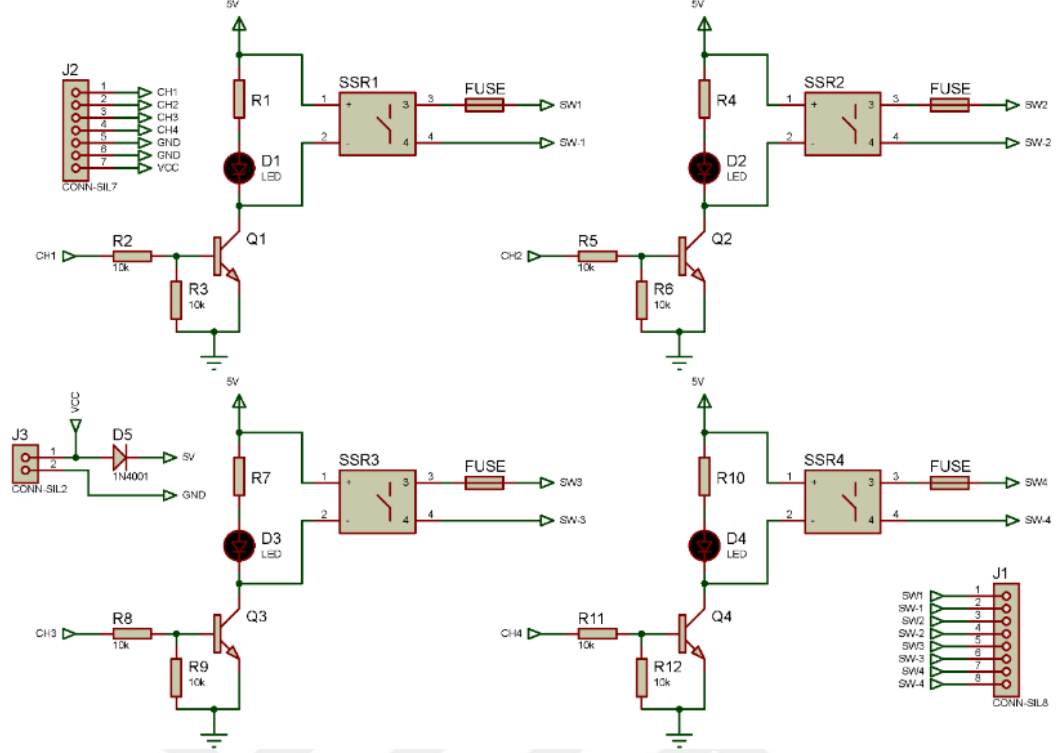




Şekil 2.52. Akım ve gerilim algılayıcıları test etmek için kurulan düzenek

### 2.7.5. Yükleri Kontrol Eden Anahtarlama Biriminin Devre Şeması

Benzetilmiş konut yüklerinin DAQ kart üzerinden kontrolü için katı hal rölesi (Solid state relay) içeren anahtarlama birimleri kullanılmıştır. Katı hal rölesi kullanılmasının amacı, DAQ kartın dijital çıkışlarının verebileceği akım miktarının sınırlı olmasıdır. Bu tez çalışmasında kullanılan NI-PCI-Express6363 model DAQ kart, bağlı olduğu bilgisayarın disk sürücüsünden beslenmesi durumunda, dijital çıkışlarından en fazla 1A akım verebilmektedir. Geleneksel röleler bobin içerdiğinden, anahtarlama yapabilmesi için katı hal rölelerine göre daha fazla akıma ihtiyaç duyarlar. Bu tezde gerçekleştirilen test ve ölçüm prototipindeki katı hal rölelerinin her biri anahtarlama yaparken 8,9 mA akıma ihtiyaç duymaktadır. Toplamda 48 adet yükün kontrolü bu röleler ile yapıldığından, rölelerin tamamının çalışması durumunda ihtiyaç duyulacak toplam akım, kullanılan DAQ kartın verebileceği akım sınırlarını aşmamaktadır. Bu çalışmada kullanılan katı hal rölelerinin devre şeması Şekil 2.53'te verilmiştir.



Şekil 2.53. Test ve ölçüm prototipindeki 4'lü grup katı hal rölelerinin devre şeması

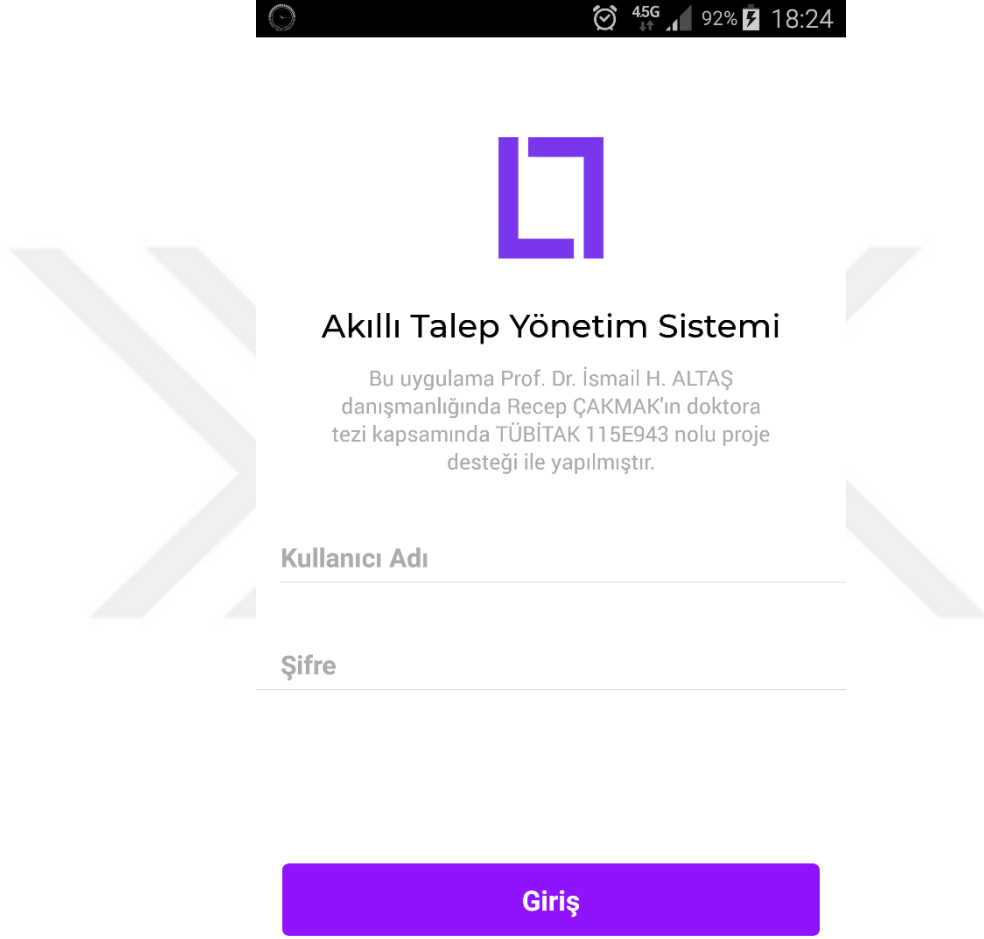
## 2.8. Mobil Uygulama Arayüzü ve Çalışma Yapısının Tasarımı

Bu tez kapsamında geliştirilen mobil uygulama arayüzü, tüketicilerle ATYS arasında iletişim kurulmasını sağlayan bir arayüzdür. Tasarımı ve yapısı bu tez kapsamında geliştirilmiştir ve tezin finansal desteğini sağlayan TÜBİTAK-EEEAG 115E943 numaralı proje desteğiyle hizmet satın alınarak yaptırılmıştır.

Bu mobil arayüz aracılığıyla tüketiciler ötelenebilir yüklerine ait isteklerini ATYS'ye bildirir ve ATYS tarafından planlanarak çalıştırılan ötelenebilir yüklerinin durumunu takip edebilir. ATYS ile bütünleşik çalışan mobil uygulama arayüzü, giriş ekranı, cihaz listesi ekranı, talep gönderme-talep takip ekranı ve bilgilendirme-raporlama ekranları olmak üzere dört ana arayüzden oluşmaktadır. Bu arayüzler aşağıda açıklanmaktadır.

### 2.8.1. Giriş Ekranı

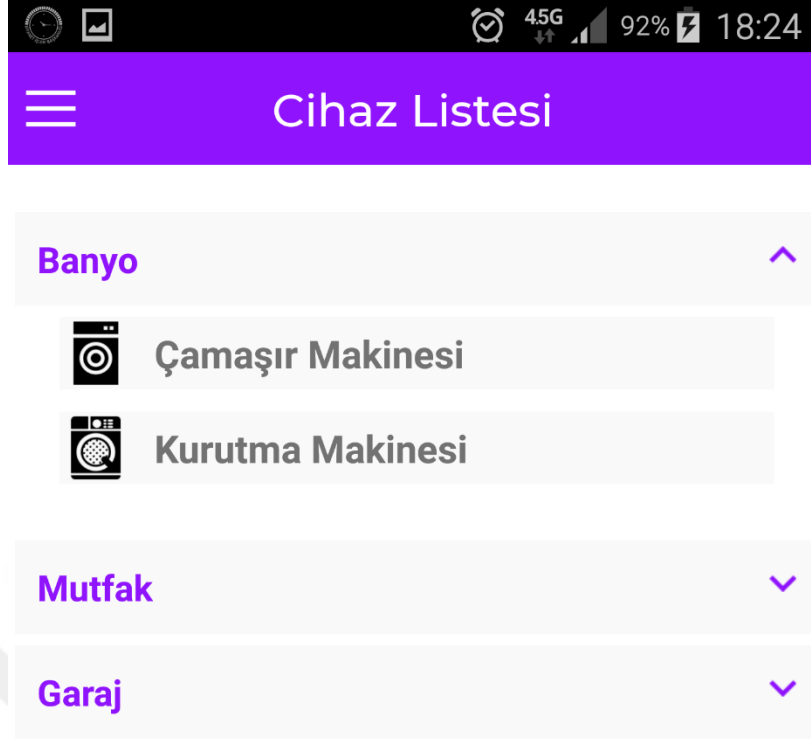
Giriş ekranı, tüketicinin ATYS'ye giriş yaptığı ekran olup, tüketiciye ATYS tarafından atanan kullanıcı adı ve şifre giriş bölümünden oluşmaktadır. Mobil uygulama arayüzünün giriş ekranına ait ekran görüntüsü Şekil 2.54'te görülmektedir.



Şekil 2.54. Mobil uygulama arayüzünün giriş ekranı

### 2.8.2. Cihaz Listesi Ekranı

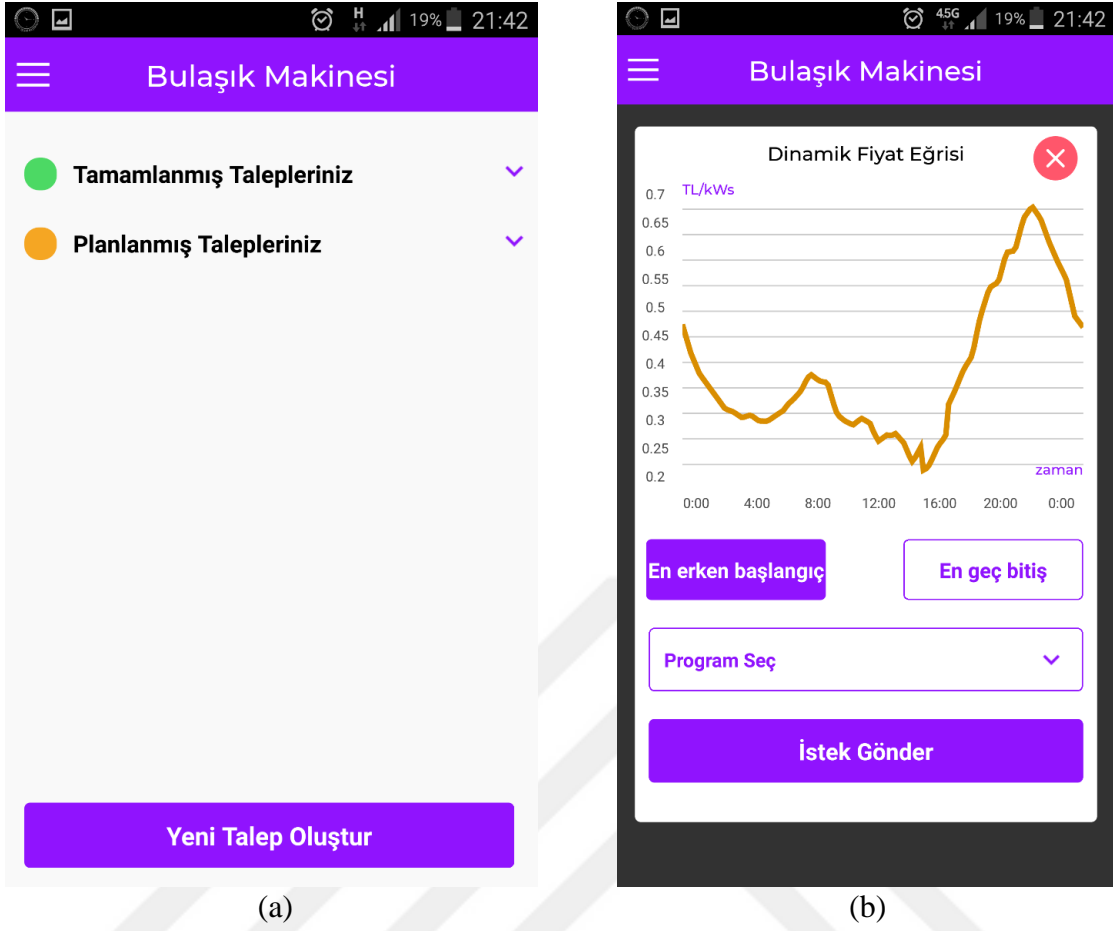
Cihaz listesi ekranı, tüketicinin cihazlarının listesini, bu cihazların bulunduğu odalara/bölmelere göre göstermektedir. Tüketici, ATYS kontrolünde kullanmak istediği cihazları bu listeden seçtiğinde, o cihaza ait talep gönderme ekranı açılır. Mobil uygulama arayüzünün cihaz listesi ekranına ait ekran görüntüsü Şekil 2.55'te görülmektedir.



Şekil 2.55. Mobil uygulama arayüzünün cihaz listesi ekranı

### 2.8.3. Talep Gönderme ve Talep Takip Ekranı

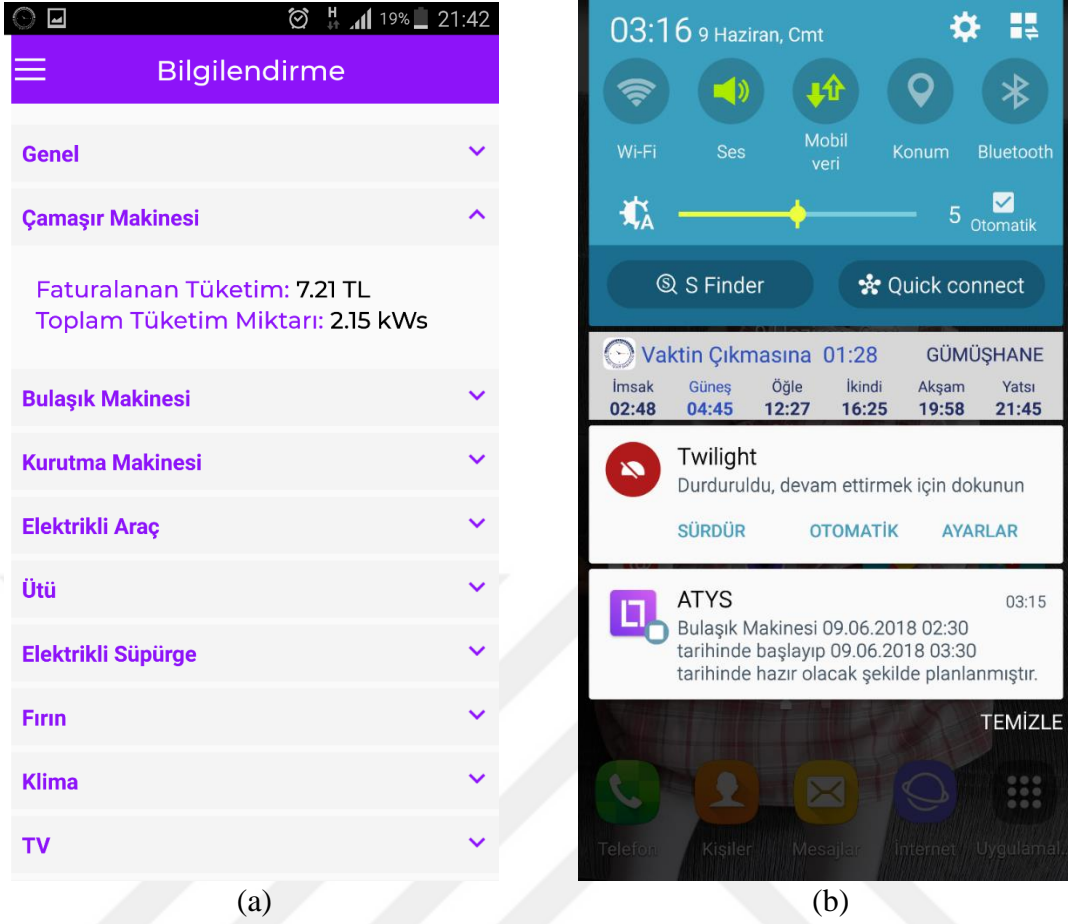
Talep gönderme ve talep takip ekranı, tüketicinin ATYS kontrolünde kullanmak istediği cihazlar için talepte bulunabileceği ve gönderdiği taleplerin durumunu takip edebileceği arayüzdür. Şekil 2.56 (a)'da tüketicinin bulaşık makinesine ait önceden göndermiş olduğu talepleri bu taleplerin durumlarının gösterildiği ekran görüntüsü görülmektedir. Şekil 2.56 (b)'de ise tüketicinin talepte bulunmak üzere seçtiği çamaşır makinesi için tüketicinin belirleyeceği istek aralığını gösteren ekran görüntüsü görülmektedir. Tüketici, çamaşır makinesi için en erken başlangıç zamanını ve en geç bitiş zamanını girerek ATYS'ye talebini bildirebilir. Tüketici bu ekranda aynı zamanda, ATYS tarafından uygulanan dinamik fiyat eğrisini de görme olanağına sahiptir. Böylece tüketici, isteklerini ATYS'nin uyguladığı dinamik fiyat tarifesindeki düşük fiyat zamanlarına gelecek şekilde belirleyebilir.



Şekil 2.56 Mobil uygulama arayüzünün talep gönderme ekranı

#### 2.8.4. Bilgilendirme ve Raporlama Ekranı

Bilgilendirme ve raporlama ekranı, tüketicinin toplam üretim, toplam tüketim miktarlarını görebileceği, genel elektrik faturasını ve ötelenebilir yüklerine ait faturaları görebileceği bir ekrandır. Şekil 2.57 (a)'da bilgilendirme ekranına ait ekran görüntüsü yer almaktadır. Şekil 2.57(b)'de ise, tüketicinin göndermiş olduğu taleplere ilişkin ATYS'nin yaptığı planlamaların tüketiciye bilgilendirme olarak geldiği ekran görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 2.57. (a) Bilgilendirme/raporlama ekranı (b) bilgilendirme uyarısı ekran görüntüsü

## 2.9. Anket Hazırlanması ve Uygulanması

Bu tez kapsamında önerilen Akıllı Talep Yönetim Sistemi'ne ve Cihaz Seviyesinde Faturalandırma (CiSeFAT) yaklaşımına tüketicilerin bakış açılarının nasıl olduğu belirlemek ve önerilen ATYS'nin gerçekçi verilerle testine gereken veri ihtiyacını sağlamak için bir anket çalışması yapılmıştır. Anket çalışması hazırlanırken konuyla ilgili literatürdeki mevcut çalışmalar [87-89] incelenerek demografik sorular ve diğer ölçücü sorular hazırlanmıştır [143]. Uygulanan anket formu EK-1'de yer almaktadır.

### 2.9.1. Ankette Sorulan Sorular

Anketteki sorular üç ana bölümde ölçme ve veri toplamaya yönelik sorulardan oluşturulmuştur. Anketin birinci bölümündeki demografik sorular, ankete katılan

tüketicilerin demografik özelliklerini belirlemeye yöneliktir. Demografik özellikleri belirlemeye yönelik sorular; cinsiyet, yaş, aylık net gelir, öğrenim durumu, meslek, ev büyüklüğü, ortalama aylık elektrik faturası, evde yaşayan kişi sayısı sorularını içermektedir.

Bu sorulara ek olarak, tüketiciye anketin başında açıklanan “5 adımda Akıllı talep yönetim sistemi” adlı açıklamaya göre tüketicilerin ATYS sisteminden beledikleri tasarruf oranını belirlemeye yönelik oluşturulan soru yer almaktadır. ATYS’den beklenen tasarruf oranına yönelik soru ve demografik sorular Tablo 2.19’ da verilmiştir.

Tablo 2.19. Anketteki demografik sorular ve ATYS ile beklenen tasarruf oranı sorusu

| Cinsiyetiniz?                              | Öğrenim Durumunuz?  | Aylık Ortalama Elektrik Faturanız?        |
|--|---|---|
| <input type="checkbox"/> Kadın             | <input type="checkbox"/> İlköğretim                       | <input type="checkbox"/> 50 TL ve daha az |
| <input type="checkbox"/> Erkek             | <input type="checkbox"/> Lise                             | <input type="checkbox"/> 51 – 70 TL       |
| Yaşınız?                                   | <input type="checkbox"/> Önlisans                         | <input type="checkbox"/> 71 – 90 TL       |
| <input type="checkbox"/> 18 – 28           | <input type="checkbox"/> Üniversite                       | <input type="checkbox"/> 91 – 110 TL      |
| <input type="checkbox"/> 29 – 39           | <input type="checkbox"/> Y.Lisans/Doktora                 | <input type="checkbox"/> 111 – 130 TL     |
| <input type="checkbox"/> 40 – 50           | Mesleğiniz?   | <input type="checkbox"/> 131 – 150 TL     |
| <input type="checkbox"/> 51 – 61           | <input type="checkbox"/> Serbest meslek                   | <input type="checkbox"/> 151 TL ve üzeri  |
| <input type="checkbox"/> 62 ve üzeri       | <input type="checkbox"/> Esnaf                            | Yaşadığınız evde kaç kişi yaşamaktadır?   |
| Aylık Net Geliriniz?                       | <input type="checkbox"/> Memur                            | <input type="checkbox"/> 1                |
| <input type="checkbox"/> 1300 TL ve altı   | <input type="checkbox"/> İşçi                             | <input type="checkbox"/> 2                |
| <input type="checkbox"/> 1301–2000 TL      | <input type="checkbox"/> Emekli                           | <input type="checkbox"/> 3                |
| <input type="checkbox"/> 2001–3000 TL      | <input type="checkbox"/> Ev Hanımı                        | <input type="checkbox"/> 4                |
| <input type="checkbox"/> 3001–4000 TL      | <input type="checkbox"/> Öğrenci                          | <input type="checkbox"/> 5                |
| <input type="checkbox"/> 4001–5000 TL      | <input type="checkbox"/> Diğer.....                       | <input type="checkbox"/> 6 ve daha fazla  |
| <input type="checkbox"/> 5001 TL ve üzeri  | Yaşadığınız evin büyüklüğü?                               | ATYS ile belediğiniz tasarruf oranı?      |
| Eviniz kaç odalıdır?                       | <input type="checkbox"/> 80 m <sup>2</sup> ve daha az     | <input type="checkbox"/> %10              |
| <input type="checkbox"/> 1+1               | <input type="checkbox"/> 81 – 100 m <sup>2</sup>          | <input type="checkbox"/> %11 – %20        |
| <input type="checkbox"/> 2+1               | <input type="checkbox"/> 101 – 120 m <sup>2</sup>         | <input type="checkbox"/> %21 – %30        |
| <input type="checkbox"/> 3+1               | <input type="checkbox"/> 121 – 140 m <sup>2</sup>         | <input type="checkbox"/> %31 – %40        |
| <input type="checkbox"/> 4+1               | <input type="checkbox"/> 141 – 160 m <sup>2</sup>         | <input type="checkbox"/> %41 ve üzeri     |
| <input type="checkbox"/> 5+1 ve daha fazla | <input type="checkbox"/> 161 m <sup>2</sup> ve daha fazla |   |

Anketin ikinci bölümünde tüketicilerin akıllı şebekelere, talep tarafının yönetimine ve ATYS ile ötelenebilir yüklerinin kontrolüne ilişkin bakış açılarını ölçen sorular yer almaktadır. Ankete katılanlardan, sorulan her bir soruya kendi durumlarına uygun cevap vermeleri istenmiş ve 1: Kesinlikle katılmıyorum, 2: Katılmıyorum, 3: Katılıp katılmama oranım eşit, 4: Katılıyorum, 5: Kesinlikle katılıyorum şeklinde Beşli Likert Ölçeği kullanılmıştır. Beşli Likert Ölçeği ile ölçülen bu sorular aşağıda verilmiştir.

- S1:** Akıllı elektrik şebekesi kavramını daha önce duydum
- S2:** Talep tarafı yönetimi kavramını daha önce duydum
- S3:** Elektrik faturamın daha az gelmesi için elektrik tüketim değerlerimin izlenmesini ve kaydedilmesini isterim
- S4:** Elektrik faturamı azaltmak için akıllı cihazlar ile yönlendirilmeyi isterim
- S5:** Düşük fatura ödemek için çamaşır ve bulaşık makinemi elektriğin ucuz olduğu zamanlarda çalıştırmak isterim
- S6:** Düşük fatura ödemek için çamaşır ve bulaşık makinemin benim belirleyeceğim bir zaman aralığında akıllı kontrol sistemiyle otomatik olarak çalıştırılmasını isterim.
- S7:** Çamaşır ve bulaşık makinemin otomatik olarak çalıştırılması için makineyi hazır hale getirmek elektrik faturamı azaltacağı için katlanabileceğim bir durumdur.
- S8:** Çamaşır ve bulaşık makinemi akıllı kontrol sistemiyle planlarsam daha ucuz elektrik fiyatıyla çalışmasını isterim.
- S9:** Ütü yapacağım zamanı akıllı kontrol sistemiyle planlayarak daha az elektrik faturası ödemeyi tercih ederim.
- S10:** Elektrik süpürgemi çalıştıracığım zamanı akıllı kontrol sistemiyle planlayarak daha az fatura ödemeyi tercih ederim.
- S11:** Akıllı kontrol sistemini evimde kullanmak isterim.
- S12:** Akıllı kontrol sistemiyle çalıştıracığım makinelerimi gün öncesi planlama yapabilirim.
- S13:** Akıllı kontrol sistemiyle çalıştıracığım makinelerimi çalıştırmayı düşündüğüm anda planlama yapmak isterim.



Anketin üçüncü bölümünde, tüketicilerin ATYS'nin yönlendirmeleriyle kullanmak istediği cihazları seçmeleri istenmiştir. Bu soru Tablo 2.20'de verildiği gibi sorulmuştur.

Tablo 2.20. Tüketicilerin ATYS'nin yönlendirmeleriyle kullanmak istediği cihazların tespiti için hazırlanan anket sorusu

|   |   |                                     |
|---|---|-------------------------------------|
| <i>Lütfen Akıllı Kontrol Sisteminin yönlendirmeleriyle kullanmak istediğiniz cihazları işaretleyiniz.</i> |   |                                     |
| <input type="checkbox"/> Çamaşır Makinesi   | <input type="checkbox"/> Elektrikli Süpürge       | <input type="checkbox"/> Ütü        |
| <input type="checkbox"/> Bulaşık Makinesi   | <input type="checkbox"/> Çamaşır Kurutma Makinesi | <input type="checkbox"/> Diğer..... |

ATYS'nin test edilmesi için tüketicilerin ötelenebilir yüklerinin çalıştırılma zamanlarına ait veri elde etmek gerekmektedir. Bu amaçla bir günün saatleri dörde bölünerek tüketicilere ötelenebilir yüklerini genellikle bu zaman dilimlerinin hangisinde/hangilerinde çalıştırdıkları sorulmuştur. Bu soru aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Tablo 2.21. Ötelenebilir yüklerin çalıştırılma zamanlarına yönelik veri toplama sorusu

| <i>Lütfen aşağıdaki cihazlardan kullandıklarınızı işaretleyip, kaç saat çalıştığını yazınız ve çalıştırdığınız saat aralıklarını seçiniz?</i> |   |                          |                          |                          |                   |
|---|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|
| Cihaz Adı   | Genellikle çalıştırdığınız saat aralığı |                          |                          |                          | Kaç saat çalışır? |
|   | 06:01<br>12:00                          | 12:01<br>18:00           | 18:01<br>23:59           | 00:00<br>06:00           |                   |
| <input type="checkbox"/> Çamaşır Makinesi   | <input type="checkbox"/>                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                   |
| <input type="checkbox"/> Bulaşık Makinesi   | <input type="checkbox"/>                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                   |
| <input type="checkbox"/> Çamaşır Kurutma Makinesi   | <input type="checkbox"/>                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                   |
| <input type="checkbox"/> Ütü  | <input type="checkbox"/>                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                   |
| <input type="checkbox"/> Elektrikli Süpürge   | <input type="checkbox"/>                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                   |
|   |   |                          |                          |                          |                   |

### 2.9.2. Araştırmanın Kapsamı ve Kısıtları

Bu çalışma Türkiye'de yaşayan tüketicilerin önerilen sisteme ve akıllı şebekelerde talep tarafının yönetimine bakış açılarını ölçmek için yapılmıştır. İstanbul ili, Türkiye'nin küçük bir özeti olma özelliğine sahiptir. Nitekim, Türkiye'de yapılan siyasi ve yerel

seçimlerde İstanbul'da alınan sonuçlar Türkiye geneliyle paralellik göstermektedir. Bu nedenle anket İstanbul özelinde uygulanmıştır. İstanbul büyük bir metropol olup, resmi nüfus verilerine göre İstanbul'da 15 milyon kişi yaşamaktadır ve bunların yaklaşık 12 milyonu 18 yaş ve üzerindeki bireylerden oluşmaktadır.

Araştırma kapsamında 18 yaş ve üzerindeki kişilerin görüşleri esas alınmıştır. Bu nedenle anket 12 milyon kişilik ana kütleye uygulanmalıdır. Fakat ana kütlenin tamamına ulaşmak mali ve teknik açıdan çok güç olduğundan, araştırma İstanbul'un Anadolu ve Avrupa yakasındaki en işlek iki alışveriş merkezinde yapılmıştır. Bu kapsamda, anket 01.06.2016-11.07.2016 tarihleri arasında sistematik örnekleme yoluyla [144] seçilen 415 tüketiciye gönüllülük esasına göre uygulanmıştır. İlgili örneklem büyüklüğü hesaplamasında, 0,05 anlamlılık düzeyinde ve 0,05 örneklem hatasında belirtilen 100.000'den büyük evren büyüklüğü için 384 sayısı örneklem için yeterli bulunmaktadır [145]. Sistematik örnekleme yoluyla alışveriş merkezine ikinci ve dokuzuncu sırada giren bireyler seçilmiştir. Bireylerin seçiminde dikkate alınan sıra numaraları belirlenirken, torba içerisine atılan ve 1'den 10'a kadar rakamların yazılı olduğu kağıtlar arasından seçim yapılmıştır. Anket doldurulmak istenmediğinde bir sonraki bireye geçilmiştir.

### **2.9.3. Bilgi ve Verilerin Analizi**

Yapılan anket çalışması sonucunda geri dönüş sağlanan 400 adet anket formundan, eksik veya hatalı bulunan 24 adet anket formunun elenmesinden sonra elde edilen 391 anket formu bilgisayar ortamına aktarılmıştır. IBM SPSS isimli istatistiksel paket programında, demografik soruların ve diğer soruların frekans ve yüzdelik dilimleri tespit edilmiştir. Anketlerin analizlerinden elde edilen bulgular 3. Bölüm'de sunulmuştur.

### **2.10. Önerilen Sistemi Test Etmek için Oluşturulan Senaryolar**

Önerilen sistemi test etmek için anket sonuçlarından elde edilen gerçekçi veriler kullanılarak Tablo 2.22'de verilen senaryolar hazırlanmıştır. Daha sonra bu senaryolar önce benzetim ortamında uygulanmıştır. Ardından, aynı senaryolar, detayları Bölüm 2.7'de verilen test ve ölçüm prototipinde uygulanarak bulgular elde edilmiştir. Elde edilen bulgular Bölüm 3'te verilmiştir.

Tablo 2.22. Önerilen Sistemi Test Etmek için Oluşturulan Senaryolar

| Senaryo | Planlanan Yükler                      | Öteleme Durumu   | İstek Zamanı   |
|---------|---------------------------------------|--|--|
| 1       | BM(1-4), ÇM(1-4),<br>ÇK(1-4)          | Normal çalıştırılma zamanından 3 saat ileri ötelenebilme esnekliği | Gün öncesi tüm isteklerin toplanmış olduğu varsayımı             |
| 2       | BM(1-4), ÇM(1-4),<br>ÇK(1-4)          | Normal çalıştırılma zamanından 6 saat ileri ötelenebilme esnekliği | Gün öncesi tüm isteklerin toplanmış olduğu varsayımı             |
| 3       | BM(1-4), ÇM(1-4),<br>ÇK(1-4)          | Normal çalıştırılma zamanından 3 saat ileri ötelenebilme esnekliği | İsteklerin çalıştırılmayı düşünülen anda gelmiş olduğu varsayımı |
| 4       | BM(1-4), ÇM(1-4),<br>ÇK(1-4)          | Normal çalıştırılma zamanından 6 saat ileri ötelenebilme esnekliği | İsteklerin çalıştırılmayı düşünülen anda gelmiş olduğu varsayımı |
| 5       | BM(1-4), ÇM(1-4),<br>ÇK(1-4), EA(3-4) | Normal çalıştırılma zamanından 3 saat ileri ötelenebilme esnekliği | İsteklerin çalıştırılmayı düşünülen anda gelmiş olduğu varsayımı |
| 6       | BM(1-4), ÇM(1-4),<br>ÇK(1-4), EA(3-4) | Normal çalıştırılma zamanından 6 saat ileri ötelenebilme esnekliği | İsteklerin çalıştırılmayı düşünülen anda gelmiş olduğu varsayımı |
| 7       | BM(1-4), ÇM(1-4),<br>ÇK(1-4), EA(1-4) | Normal çalıştırılma zamanından 3 saat ileri ötelenebilme esnekliği | İsteklerin çalıştırılmayı düşünülen anda gelmiş olduğu varsayımı |
| 8       | BM(1-4), ÇM(1-4),<br>ÇK(1-4), EA(1-4) | Normal çalıştırılma zamanından 3 saat ileri ötelenebilme esnekliği | Her cihaz grubu için aynı isteklerin gelmiş olduğu varsayımı     |

Yukarıdaki tabloda ifade edilen BM, ÇM, ÇK, EA kısaltmalarından, BM, bulaşık makinesini, ÇM, çamaşır makinesini, ÇK, çamaşır kurutma makinesini, EA, elektrikli aracı ifade etmektedir. Bu ifadelerin yanında yer alan rakamlar ise, hangi konuta ait olduğunu belirten indistir.

Yukarıdaki tabloda belirlenen senaryoların verileri ilk 6 senaryo için [140] numaralı kaynaktan elde edilmiştir. 7 ve 8 numaralı senaryoların verileri ise bu tez kapsamında yapılan anket çalışmasında ulaşılan bulgulardan yola çıkılarak oluşturulmuştur.

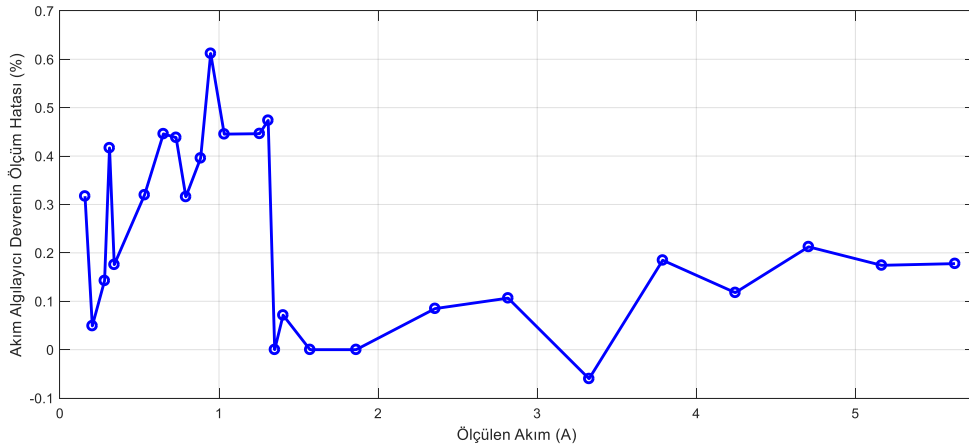
### 3. BULGULAR

#### 3.1. Ölçüm Kartlarının Testlerinden Elde Edilen Bulgular

Tasarım detayları 2. Bölümde verilen akım ölçme devresinin ve gerilim ölçme devresinin doğruluğunun tespit edilebilmesi için, bu ölçüm kartları doğru ölçtüğü bilinen ölçü aletleriyle test edilmiştir. Test sonuçlarına ait bulgulardan, 5A'lık akım ölçüm kartına ve gerilim ölçüm kartına ait bulgular aşağıda verilmiştir.

##### 3.1.1. Farklı Akım Değerleri için Akım Ölçüm Kartının Test Bulguları

Farklı akım değerlerini elde etmek için, ayarlı gerilim kaynağı 230V'ta sabitlenmiş ve ardından yük bankasındaki yüklerin devreye alınıp çıkarılmasıyla değişik akımların akması sağlanmıştır. Devreden geçen akım değerlerinde referans olarak güç analizörünün ölçtüğü akımlar alınmıştır. Güç analizörü ile ölçülen akım ve akım ölçüm kartının ölçtüğü akımlar arasında güçlü bir ilişki olduğu ( $R=0.99999$ ) tespit edilmiştir. Güç analizörünün ölçtüğü akım referans kabul edilerek, devreden geçen akım miktarına göre hesaplanan hata Şekil 3.1'de yer almaktadır.



Şekil 3.1. Akım ölçüm kartının (5A) farklı akımlar için ölçüm hataları

Akım ölçüm kartında kullanılan ölçüm direnci ve algılayıcının veri sayfasında yer alan bilgilere göre, akım ölçüm kartının teorik dönüştürme oranı 2 olarak hesaplanmıştır.

Test verilerine göre, akım algılayıcının çıkış gerilimi ile ölçülen akım arasındaki ilişki eşitlik (39)'daki gibi bulunmuştur.

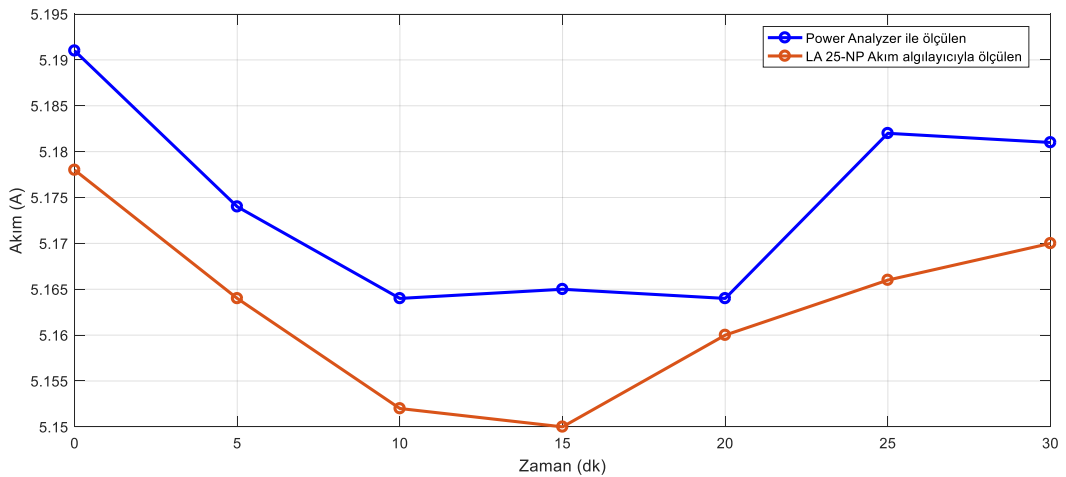
$$I_{\text{ölçülen}} = V_{\text{akım algılayıcı}} \times 2,0056 \quad (39)$$

Akım algılayıcının veri sayfasından edinilen bilgilere göre ise teorik dönüştürme oranı 2 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak test verileri, teorik dönüştürme oranıyla yüksek derecede uyumlu çıkmıştır. Tüm ölçüm değerleri için Şekil 3.1'deki hatanın ortalaması %0,23 olarak bulunmuştur. Akım algılayıcı sensörün bağlantıları 5A nominal akımı ölçecek şekilde yapıldığından Şekil 3.1'den de görüleceği üzere, akım nominal değere yaklaştıkça hata da küçülmüştür.

### 3.1.2. Akım Ölçüm Kartının Uzun Süreli Test Sonuçları

Ayarlanabilir yük bankasındaki yükler ölçüm kartından 5A civarında bir akım geçecek şekilde ayarlandıktan sonra, 30 dk. boyunca her 5dk.'da bir ölçüm değerleri alınarak akım algılayıcı devrenin uzun süreli test sonuçları elde edilmiştir.

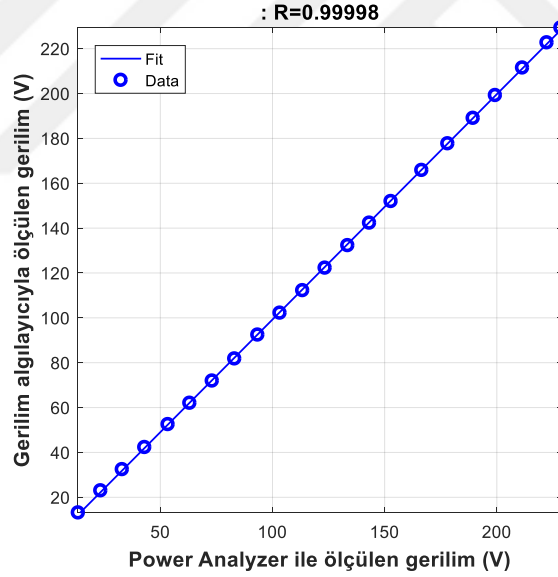
Şekil 3.2'de akım algılayıcı devresi ve güç analizörü ile ölçülen akımların 30dk. boyunca değişimi çizdirilmiştir. Akım algılayıcı devre ve güç analizörü ile ölçülen akımların arasındaki hatanın ortalaması %0,2236 olarak bulunmuştur.



Şekil 3.2. Akım ölçüm kartı ile ve güç analizörü ile ölçülen akımların 30dk. boyunca değişimi

### 3.1.3. Farklı Gerilim Değerleri için Gerilim Ölçüm Kartının Test Bulguları

Farklı gerilim değerlerini elde etmek için, ayarlı gerilim kaynağı 0'dan 230V'a kadar değiştirilerek gerilim algılayıcı devreye değişik gerilimlerin uygulanması sağlanmıştır. Gerilim algılayıcıya uygulanan gerilim güç analizörünün ölçtüğü gerilimle karşılaştırılmıştır. Gerilim algılayıcı devrenin çıkışındaki gerilim multimetreye ve osiloskopa ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Daha sonra gerilim algılayıcısının bilgi sayfasındaki bilgilerden faydalanarak teorik dönüştürme oranı hesaplanmıştır. Deneysel verilerden yola çıkarak deneysel olarak elde edilen dönüştürme oranı teorik dönüştürme oranıyla karşılaştırılmıştır. Güç analizörüyle ölçülen gerilim değerleri ve gerilim algılayıcı devrenin çıkış geriliminden yararlanarak hesaplanan gerilim değerleri birbirlerine göre çizdirilmiş ve aralarında güçlü bir ilişki olduğu ( $R=0.99998$ ) tespit edilmiştir. Bu durum Şekil 3.3'te verilmiştir.

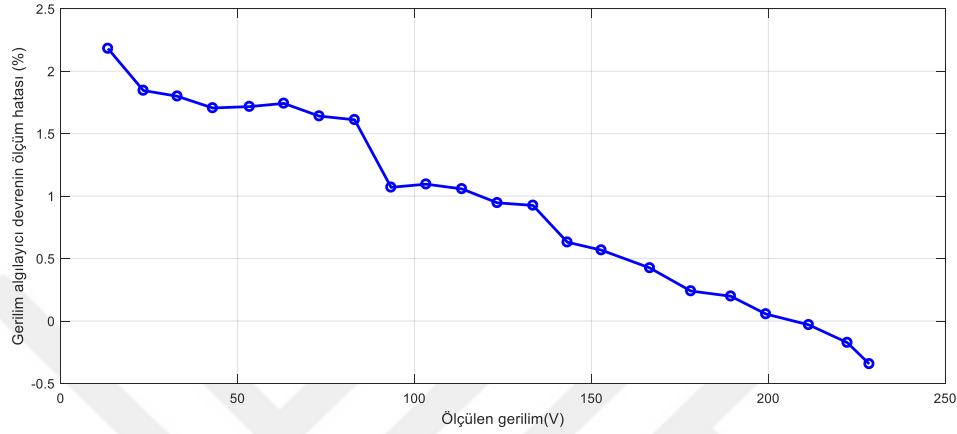


Şekil 3.3. Gerilim ölçüm kartının ve güç analizörünün ölçtüğü gerilimlerin birbiriyle ilişkisi

Ölçüm verilerine göre, gerilim algılayıcısının çıkışındaki gerilim ile ölçülen gerilim arasında Denklem (40)'taki gibi bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir.

$$V_{\text{ölçülen}} = V_{\text{gerilim algılayıcı}} \times 132,4158 \quad (40)$$

Gerilim algılayıcı devresinde kullanılan ölçüm direnci ve algılayıcının veri sayfasında yer alan bilgilere göre teorik dönüştürme oranı ise 132 olarak hesaplanmıştır. Güç analizörünün ölçtüğü gerilim referans kabul edilerek devreye uygulanan gerilim miktarına göre gerilim ölçüm kartındaki hatanın değişimi Şekil 3.4’de yer almaktadır.



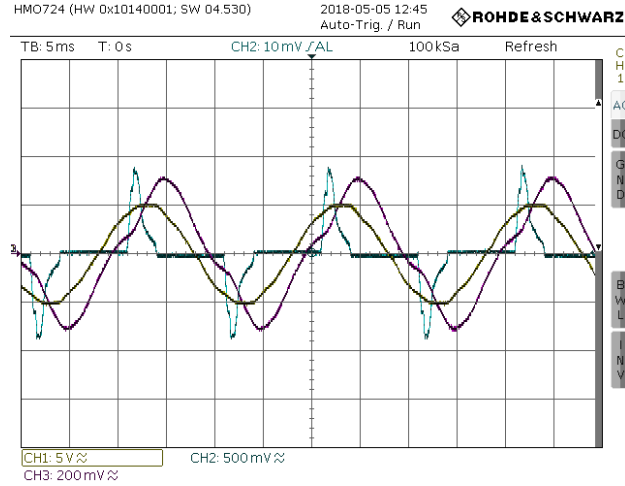
Şekil 3.4. Güç analizörünün ölçtüğü gerilim referans kabul edilerek devreye uygulanan gerilime göre gerilim ölçüm kartındaki hatanın değişimi

## 3.2. Ölçüm Kartlarından Elde Edilen Bulgular

Test ve ölçüm prototipinde bulunan tüketim ve üretim birimlerine ait akım ve gerilimlerin ölçümlerinde kullanılan ölçüm kartlarıyla yapılan çeşitli ölçümler sırasında elde edilen osiloskop görüntüleri Bölüm 3.2.1’de verilmiştir. Bölüm 3.2.2’de ise, bu ölçüm kartlarından elde edilen verilere göre FV panelin bağlı olduğu mikro eviricinin açık ve kapalı günlerde şebekeye aktardığı günlük güç eğrileri yer almaktadır.

### 3.2.1. Ölçüm Kartlarından Yapılan Ölçümlere Ait Osiloskop Görüntüleri

Aşağıdaki şekillerde ölçüm kartlarından yapılan ölçümlere ait osiloskop görüntüleri verilmiştir. Şekil 3.5’te, 5A’lık birleşik akım-gerilim ölçüm kartının kuvvetlendirilmiş (Akım sinyali 10 kat, gerilim sinyali 2 kat) çıkışlarına ait gerilim dalga şekilleri verilmiştir.



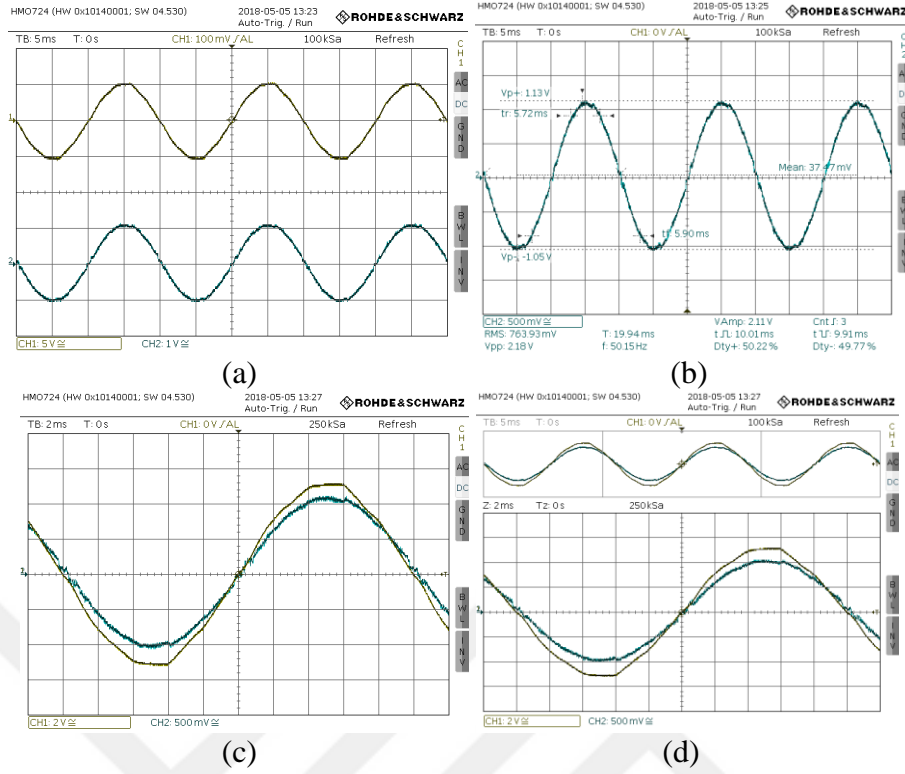
Şekil 3.5. LED lambalara ve motorlara ait akımların ve bağlı oldukları bara geriliminin dalga şekilleri

Osiloskobun CH1 portuna test ve ölçüm sistemindeki motorların akımını ölçen akım ölçüm kartının çıkışındaki kuvvetlendirilmiş akım sinyalinin gerilimi uygulanmıştır. CH2 portuna ise LED lambaların akımını ölçen akım ölçüm kartının çıkışındaki kuvvetlendirilmiş akım sinyalinin gerilimi uygulanmıştır. CH3 portuna ise bu yüklerin bağlı olduğu baranın gerilimini ölçen gerilim ölçüm kartının çıkışındaki kuvvetlendirilmiş gerilim sinyali uygulanmıştır.

Şekil 3.6'da 5A'lık birleşik akım-gerilim ölçüm kartının kuvvetlendirilmiş (Akım sinyali 2 kat, gerilim sinyali 2 kat) çıkışlarına ait gerilim dalga şekilleri verilmiştir. Bu dalga şekillerinden CH1'deki dalga şekli mikro eviricinin bağlı olduğu şebeke barasının gerilimini ölçen gerilim algılayıcının çıkışındaki kuvvetlendirilmiş gerilim sinyalidir. CH2'deki dalga şekli ise, mikro eviricinin şebekeye aktardığı akımı ölçen akım algılayıcının çıkışındaki kuvvetlendirilmiş gerilim sinyalidir.

Şekil 3.6 (a)'da mikro eviricinin bağlandığı bara gerilimi ve eviricinin şebekeye aktardığı akımın aynı ekrandaki görüntüsü yer almaktadır. Şekil 3.6 (b)'de yalnızca eviricinin şebekeye aktardığı akımın dalga şekli görülmektedir. Şekil 3.6 (c) ve Şekil 3.6 (d)'de ise bara gerilimi ve evirici akımının büyütülmüş osiloskop ekran görüntüleri yer almaktadır.





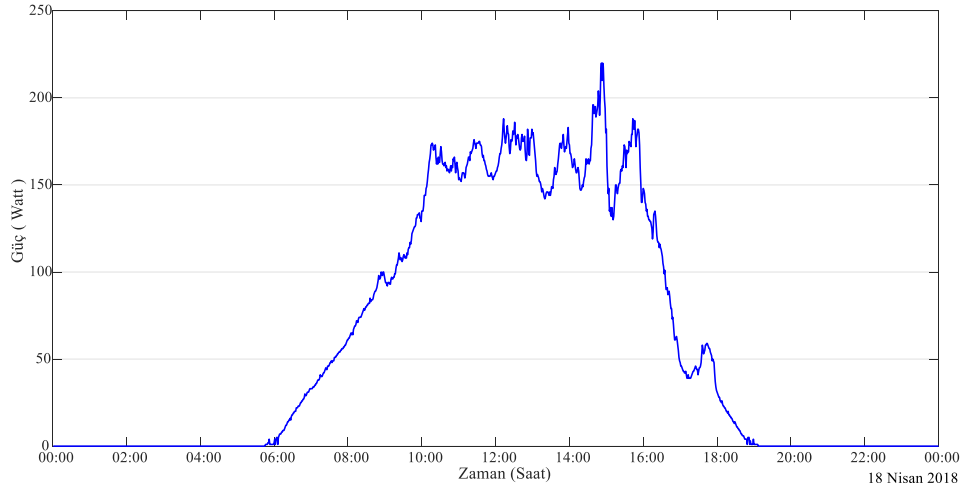
Şekil 3.6. Mikro evircinin bağlandığı bara gerilimi ve evircinin şebekeye aktardığı akımın dalga şekilleri

### 3.2.2. Fotovoltaik Sistemden Şebekeye Aktarılan Güç Bulguları

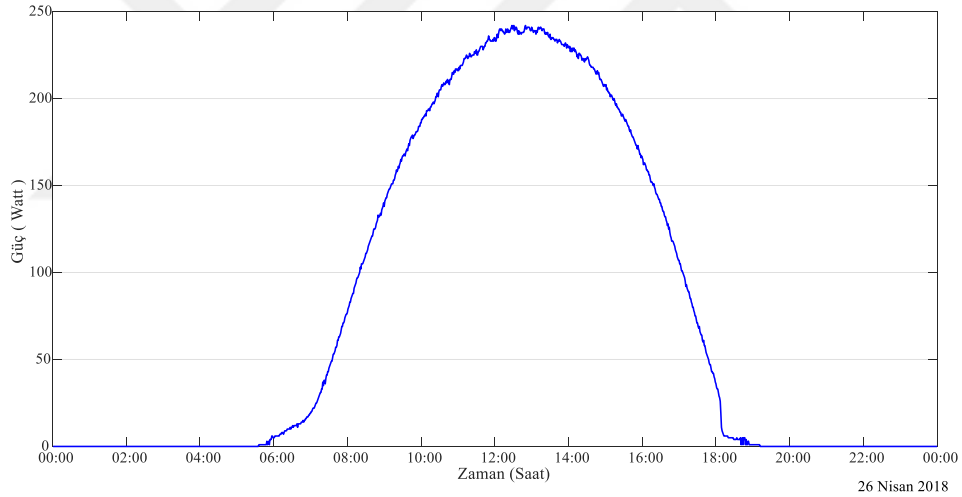
Aşağıdaki şekillerde, test ve ölçüm sisteminde bulunan FV panelden üretilen gücü şebekeye aktaran şebeke bağlantılı mikro evircinin, şebekeye aktardığı gücün dakikalık olarak değişimlerinin parçalı bulutlu bir günde ve açık bir günde elde edilmiş verilerinin grafikleri yer almaktadır.

Parçalı bulutlu bir gün olan 18 Nisan 2018’de mikro evircinin şebekeye aktardığı gücün dakikalık olarak değişiminin tüm gün için elde edilmiş verilere göre grafiği Şekil 3.7’de verilmiştir.

Şekil 3.8’de ise açık bir gün olan 26 Nisan 2018’de, mikro evircinin şebekeye aktardığı gücün dakikalık olarak değişiminin tüm gün için elde edilmiş verilere göre grafiği verilmiştir.



Şekil 3.7. Şebeke bağlantılı mikro eviricinin parçalı bulutlu bir günde şebekeye aktardığı gücün değişimi



Şekil 3.8. Şebeke bağlantılı mikro eviricinin açık bir günde şebekeye aktardığı gücün değişimi

### 3.3. Benzetim Çalışmasından Elde Edilen Bulgular

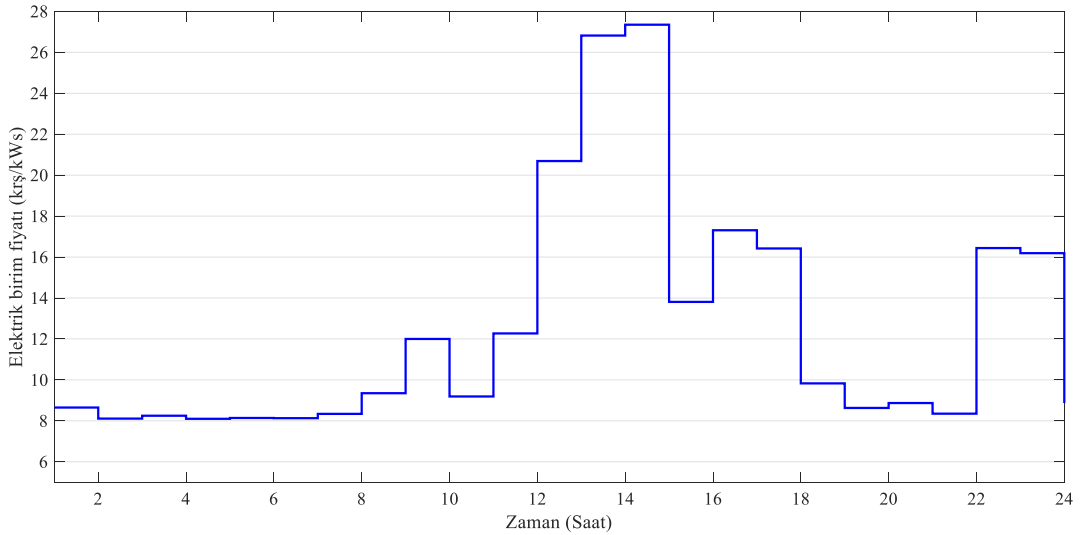
Tez kapsamında önerilen sistemlere ait bulgular öncelikle MATLAB benzetim ortamında elde edilmiştir. Bu bölümde ilk olarak iki farklı senaryoda incelenen Cihaz Seviyesinde Faturalandırma (CiSeFAT) sisteminin bulguları verilmiştir. Daha sonra, detayları Bölüm 2.10'da verilen senaryolar için ATYS'den elde edilen bulgular analiz

edilerek verilmiştir. Ardından, önerilen ATYS ile test ve ölçüm düzeneğinden elde edilen bulgular, benzetimlerden elde edilen bulgularla birlikte karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Son olarak anket araştırmasının sonucunda elde edilen bulgular verilmiştir.

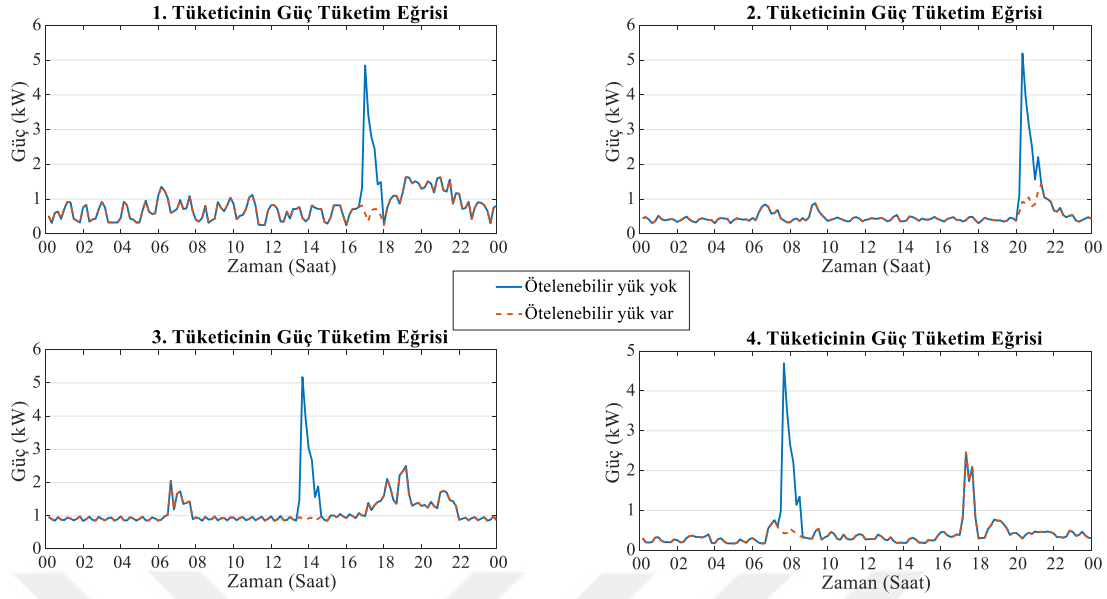
### 3.3.1. CiSeFAT Bulguları

CiSeFAT sistemini ve tüketicilere olan etkilerini tespit etmek için dört farklı tüketim eğrisine sahip tüketicinin olduğu durum için iki farklı senaryo oluşturularak bu senaryolara ilişkin bulgular elde edilmiştir. Tüketicilerin kurulu güçlerinin ( $G_{kurulu}$ ) 7kW olduğu, tüketicilerin ortalama aylık tepe tüketim miktarlarının ( $G_{OATM}$ ) 1 numaralı tüketici için 4,84 kW, 2 numaralı tüketici için 5,19 kW, 3 numaralı tüketici için 5,17 kW ve 4 numaralı tüketici için 4,69 kW olduğu varsayılmıştır.

İlk senaryoda, Şekil 3.9'daki gibi bir gerçek zamanlı fiyatlandırma (Real time pricing) eğrisinin uygulandığı durum için ATYS tarafından tüketicilerin ötelenebilir yüklerinin Şekil 3.10'daki gibi planlanarak çalıştırılmış olduğu varsayılmıştır. Gerçek zamanlı fiyat eğrisi [64] numaralı kaynaktan alınmıştır, fakat para birimi Türk Lirası'na çevrilmiştir.



Şekil 3.9. CiSeFAT benzetimindeki Senaryo 1'de esas alınan fiyat eğrisi



Şekil 3.10. CiSeFAT benzetimindeki Senaryo 1’de tüketicilerin tüketim eğrileri

Her bir tüketicinin eşdeğer özellikteki ötelenebilir yükleri için planlama zaman aralığı 10 dk. olan ATYS’ye 4 saat esneklik tanıdığı durumda (ötelenebilirlik katsayısının 0,24 olduğu durum) tüketicilerin bu ötelenebilir yüklerinin ATYS tarafından planlanarak Şekil 3.10’daki gibi devreye alınmış olduğunu varsayalım. Bu şartlarda, farklı CiSeFAT stratejilerinde tüketicilerin ötelenebilir yüklerine yansıyan fatura miktarları CiSeFAT uygulanmayan durumdaki fatura miktarlarıyla karşılaştırılmıştır ve Tablo 3.1’de verilmiştir. Tüketicilere yansıyan fatura miktarları, CiSeFAT’ın uygulandığı durumda CiSeFAT’ın uygulanmadığı duruma göre azalmıştır. Bu azalma miktarları tüketicilerin tüketim eğrilerine ve CiSeFAT stratejilerine göre farklılık göstermektedir.

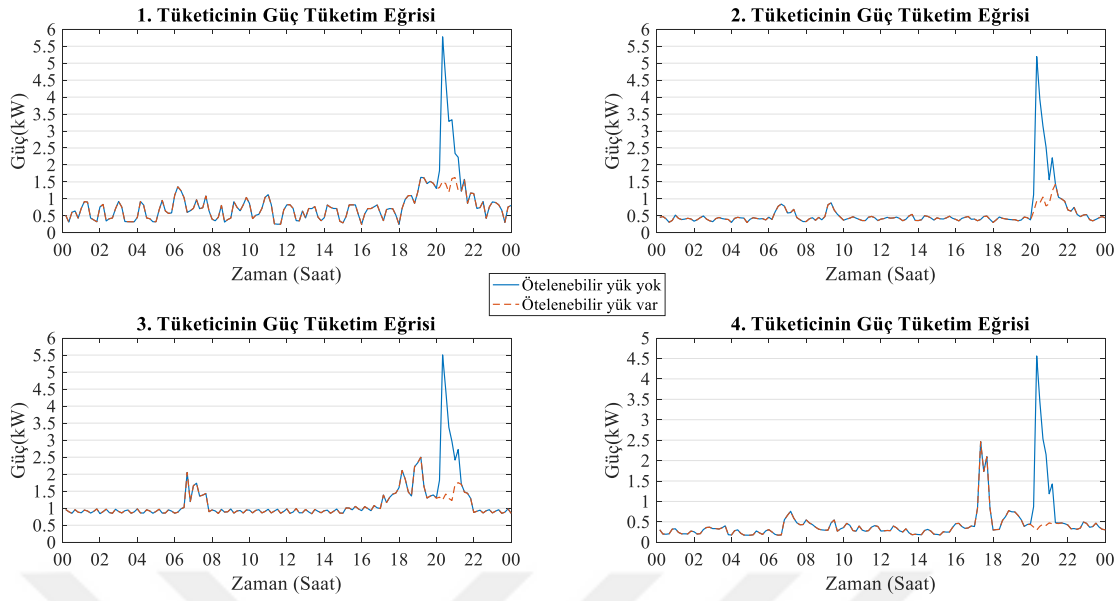
Tablo 3.1. incelendiğinde CiSeFAT-1 stratejisinde, faturasında en fazla azalma 4 numaralı tüketicide meydana gelmiştir. Çünkü, eşitlik (30)’dan görüleceği gibi, CiSeFAT-1 stratejisinde tüketicinin ötelenebilir yüküne yansıyacak olan indirim katsayısı, ötelenebilir yükünün devrede olduğu zaman dilimindeki tüketimiyle orantılıdır. Dört tüketici arasında, ötelenebilir yükünün devrede olduğu zaman diliminde toplam tüketimi en az olan tüketici 4. tüketici olduğundan, CiSeFAT-1 ile faturasında en fazla azalma olan tüketici 4 numaralı tüketicidir. Bununla birlikte 4 numaralı tüketici ötelenebilir yükü için en düşük fiyatın olduğu zaman aralığını seçtiğinden, ötelenebilir yükünü diğer tüketicilere göre daha düşük elektrik birim fiyatıyla kullanmaktadır. Fakat en yüksek tarife zamanı için seçim yapan 3 numaralı tüketici dahi ötelenebilir yükünü ATYS kontrolünde kullandığından dolayı faturasında bir azalma elde etmektedir.

Tablo 3.1 ve Şekil 3.10 göz önünde bulundurularak 2 numaralı tüketici ve 4 numaralı tüketici karşılaştırıldığında; 4 numaralı tüketici 2 numaralı tüketiciye göre daha pahalı zaman tarifelerini tercih etmesine rağmen, CiSeFAT-1 stratejisinde 4 numaralı tüketicinin faturasındaki azalma miktarı 2 numaralı tüketicinin faturasındaki azalma miktarından daha fazla olmuştur. Bunun nedeni, 4 numaralı tüketicinin her ne kadar pahalı zaman dilimini seçerek yükünü ATYS kontrolünde kullanmış olsa da 4 numaralı tüketicinin CiSeFAT-1 stratejisinin amacına 2 numaralı tüketiciden daha fazla riayet etmiş olmasıdır. Şekil 3.10'a bakıldığında, 2 numaralı tüketicinin ötelenebilir yükünün ATYS ile planlanan zaman dilimindeki genel tüketim miktarı, 4 numaralı tüketiciye göre daha fazladır. Bu ise CiSeFAT-1 stratejisinde istenmeyen bir durumdur.

Tablo 3.1. Senaryo 1 için CiSeFAT stratejileriyle tüketicilerin faturalarındaki azalma miktarları

| Tüketici No | CiSeFAT Stratejisi | Azalma Miktarı (%) |
|-------------|--------------------|--------------------|
| 1           | CiSeFAT-1          | 19                 |
|             | CiSeFAT-2          | 10,1               |
|             | CiSeFAT-3          | 14,6               |
| 2           | CiSeFAT-1          | 16,4               |
|             | CiSeFAT-2          | 8,9                |
|             | CiSeFAT-3          | 12,1               |
| 3           | CiSeFAT-1          | 17,4               |
|             | CiSeFAT-2          | 10,1               |
|             | CiSeFAT-3          | 13,6               |
| 4           | CiSeFAT-1          | 19,5               |
|             | CiSeFAT-2          | 9,05               |
|             | CiSeFAT-3          | 13,5               |

CiSeFAT sistemini ve tüketicilere olan etkilerini tespit etmek için uygulanan ikinci senaryoda, Şekil 3.9'daki gibi gerçek zamanlı fiyatlandırma fiyatlandırma (GZF) eğrisinin uygulandığı durum için tüketicilerin ötelenebilir yüklerinin ATYS tarafından Şekil 3.11'deki gibi planlanarak çalıştırılmış olduğu varsayılmıştır.



Şekil 3.11. CiSeFAT benzetimindeki Senaryo 2’de tüketicilerin tüketim eğrileri

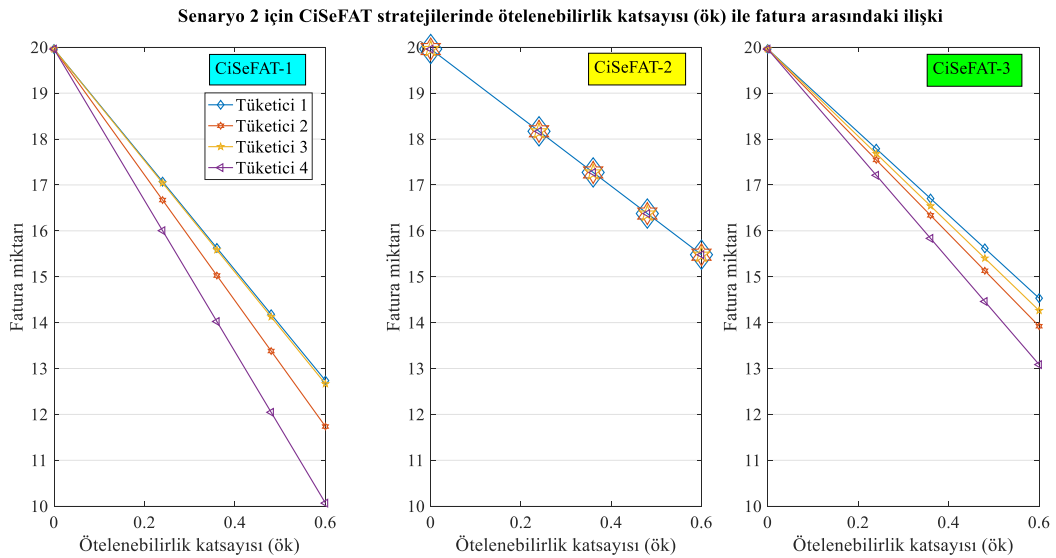
Her bir tüketicinin planlama zaman aralığı 10 dk. olan ATYS’ye eşdeğer özellikteki ötelenebilir yükleri için 4 saat esneklik tanıdığı durumda (ötelenebilirlik katsayısının 0,24 olduğu durum) tüketicilerin bu ötelenebilir yüklerinin ATYS tarafından planlanarak, Şekil 3.12’deki gibi devreye alınmış olduğunu varsayalım. Bu şartlarda, farklı CiSeFAT stratejilerinde tüketicilerin ötelenebilir yüklerine yansıyan fatura miktarları CiSeFAT uygulanmayan durumdaki fatura miktarlarıyla karşılaştırılmıştır ve Tablo 3.2’de verilmiştir. Tüketicilere yansıyan fatura miktarları, CiSeFAT’ın uygulandığı durumda CiSeFAT’ın uygulanmadığı duruma göre azalmıştır. Bu azalma miktarları tüketicilerin tüketim eğrilerine ve CiSeFAT stratejilerine göre farklılık göstermektedir.

2 numaralı senaryoda CiSeFAT-1 stratejisiyle faturasında en fazla azalma olan tüketici 4 numaralı tüketici olmuştur. Çünkü CiSeFAT-1 stratejisinde indirim katsayısı ötelenebilir yükün devrede olduğu zaman dilimindeki genel tüketim miktarıyla ters orantılıdır. CiSeFAT-2 stratejisiyle tüm tüketicilerin faturası aynı oranda azalmıştır. Çünkü bölüm başında senaryolara ilişkin varsayımlarda ifade edildiği gibi, tüketicilerin kurulu güçleri aynı değerdedir. CiSeFAT-3 stratejisinde faturasındaki azalma miktarı en fazla olan tüketici, 4 numaralı tüketici olmuştur. Zira, CiSeFAT-3 stratejisinde indirim katsayısı ötelenebilir yük gücünün ortalama aylık tepe tüketim miktarı olan  $G_{OATTM}$  değerine bölünmesiyle hesaplanmaktadır.  $G_{OATTM}$  değeri en düşük olan tüketici ise 4 numaralı tüketicidir.

Tablo 3.2. Senaryo 2 için CiSeFAT stratejileriyle tüketicilerin faturalarındaki azalma miktarları

| Tüketici No | CiSeFAT Stratejisi | Azalma Miktarı (%) |
|-------------|--------------------|--------------------|
| 1           | CiSeFAT-1          | 21,71              |
|             | CiSeFAT-2          | 13,46              |
|             | CiSeFAT-3          | 16,31              |
| 2           | CiSeFAT-1          | 24,72              |
|             | CiSeFAT-2          | 13,46              |
|             | CiSeFAT-3          | 18,15              |
| 3           | CiSeFAT-1          | 21,92              |
|             | CiSeFAT-2          | 13,46              |
|             | CiSeFAT-3          | 17,12              |
| 4           | CiSeFAT-1          | 29,73              |
|             | CiSeFAT-2          | 13,46              |
|             | CiSeFAT-3          | 20,66              |

Şekil 3.12’de senaryo 2 için ötelenebilirlik katsayısıyla, CiSeFAT stratejileriyle hesaplanan fatura arasındaki ilişki görülmektedir. Tüketicilere yansıyan faturalar, ötelenebilirlik katsayısına ve CiSeFAT stratejilerinin türüne göre farklı oranlarda azalmaktadır.



Şekil 3.12. Ötelenebilirlik katsayısına göre fatura miktarlarının karşılaştırılması

### 3.3.2. Benzetim Ortamında Uygulanan Senaryolar için ATYS Bulguları

Bu bölümde [140] numaralı kaynağın veri tabanından alınan veriler ve anket çalışmasında elde edilen bulgulardan oluşturulan senaryolara göre 2. Bölümde tasarlanan ve açıklanan ATYS'nin etkilerini görmek için benzetimler yapılmıştır. Test ve ölçüm düzeneğinde 4 adet tüketici modellendiğinden burada yapılan benzetimlerde de 4 adet tüketici verisi kullanılarak benzetimler yapılmıştır.

Bu amaçla veri tabanından rastgele 4 kullanıcı seçilerek, bu tüketicilerin ötelenebilir yüklerini çalıştırma zamanları alınmış ve oluşturulan çeşitli senaryolara göre benzetimler yapılmıştır. Benzetimde kullanılan veriler 10 dk. zaman aralığına sahiptir. Benzetimler 30 saatlik (180x10 dk.) zaman dilimi için yapılmıştır.

Veri tabanı verilerine dayalı benzetimde, güneş enerjisinden yapılan üretimin en fazla olduğu ağustos ayı verileri kullanılmıştır. Öngörülen tüketim verisi ( $P_{tüketim}$ ) olarak 4 tüketicinin ağustos ayı tüketim verilerinin son iki yıllık ortalaması, FV sistemlerden öngörülen üretim miktarı ( $P_{üretim}$ ) verisi olarak 4 tüketicinin ağustos ayında güneş enerjisi ile yaptığı üretimlerin son iki yıllık ortalaması kullanılmıştır.

Benzetimlerde kullanılan yüklerin için eşdeğeri olarak Bölüm 2.1'de verilen güç tüketim eğrilerine göre modellenen güç değerleri kullanılmıştır. Benzetimlerde kullanılan yüklerin eşdeğer güçleri ve çalışma süreleri aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Tablo 3.3. Benzetimlerde kullanılan yüklerin eşdeğer güçleri ve çalışma süreleri

| Ötelenebilir Yük                     | Eşdeğer güç (Watt) | Çalışma süresi |
|--------------------------------------|--------------------|----------------|
| <b>Bulaşık Makinesi (BM)</b>         | 1614,7             | 60 dk.         |
| <b>Çamaşır Makinesi (ÇM)</b>         | 1184,5             | 180 dk.        |
| <b>Çamaşır Kurutma Makinesi (ÇK)</b> | 2723,6             | 60 dk.         |
| <b>Elektrikli Araç (EA)</b>          | 2976,1             | 90 dk.         |



1 numaralı senaryoya ait varsayımlar Tablo 3.4’te verilmiştir.

Tablo 3.4. Senaryo 1’e ait veriler ve varsayımlar

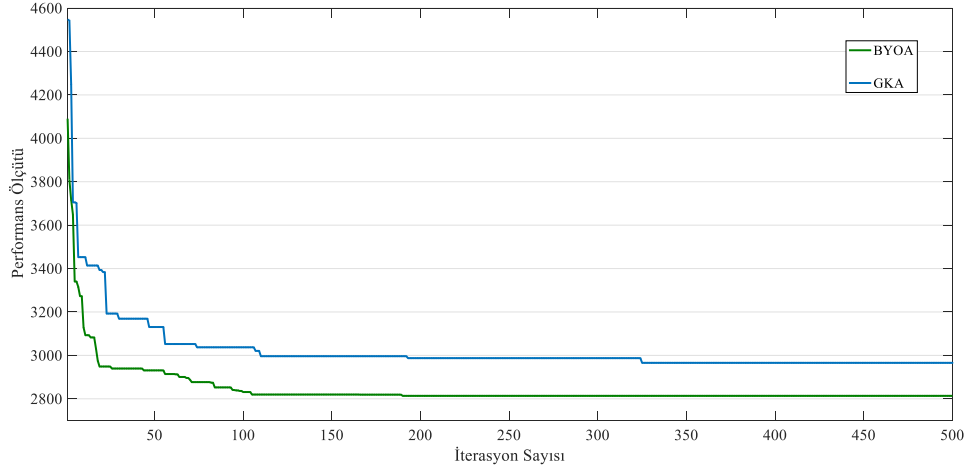
|   |  |
|---|--|
| <b>Tüketici isteklerinin alındığı durum</b> | Tüketicilerin ötelenebilir yüklerini kullanma isteklerinin tamamının gün öncesi veya sabah saat 8:00 itibarıyla alınmış olduğu durum |
| <b>Ötelenebilirlik Esnekliği</b>            | 6 saat ileri ötelenebilme esnekliği  |
| <b>Sezgisel Algoritma parametreleri</b>     | Sürü sayısı=10, Toplam iterasyon: 500, $pa = 0,25$   |
| <b>ATYS ile kullanılan yükler</b>           | BM (1-4), ÇM (1-4), ÇK (1-4)   |

Normal çalıştırılma zamanından 6 saat ileri ötelenebilme esnekliğinde ATYS’nin ürettiği optimal çalışma zamanları Tablo 3.5’te yer almaktadır. Tablodaki “Normal” satırı, herhangi bir yük yönetimi olmadığı durumda tüketicilerin yüklerini çalıştırdığı zamanları ifade etmektedir. ATYS ile ifade edilen satır ise, ATYS’de kullanılan sezgisel algoritma tipine göre ATYS’nin ürettiği optimum çalışma zamanlarını ifade etmektedir. Örneğin 120; 24 saatlik zaman diliminde 20:00’ı temsil etmektedir.

Tablo 3.5. Senaryo 1 verileri ve ATYS ile elde edilen sonuçlar

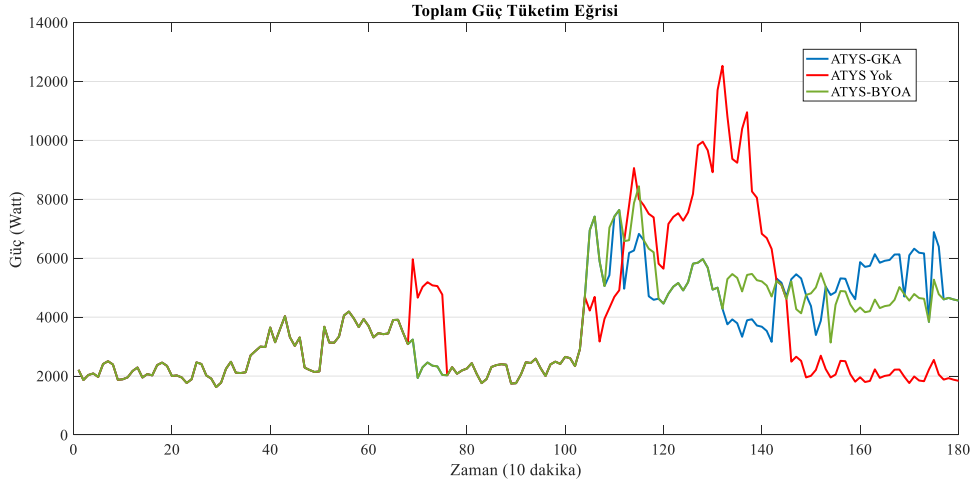
|                |                | Ötelenebilir Yükler |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------|----------------|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                |                | BM<br>1             | BM<br>2 | BM<br>3 | BM<br>4 | ÇM<br>1 | ÇM<br>2 | ÇM<br>3 | ÇM<br>4 | ÇK<br>1 | ÇK<br>2 | ÇK<br>3 | ÇK<br>4 |
| Çalışma Zamanı | Normal         | 136                 | 127     | 108     | 112     | 113     | 121     | 114     | 51      | 131     | 139     | 132     | 69      |
|                | ATYS<br>(BYOA) | 168                 | 147     | 109     | 112     | 149     | 155     | 114     | 51      | 140     | 175     | 133     | 105     |
|                | ATYS<br>(GKA)  | 170                 | 153     | 110     | 143     | 113     | 132     | 150     | 51      | 167     | 175     | 160     | 105     |

Senaryo 1 için ATYS, GKA ve BYOA sezgisel algoritmaları kullanılarak çalıştırıldığında, elde edilen bulgular karşılaştırmalı olarak Şekil 3.13’te verilmiştir.



Şekil 3.13. Senaryo 1'de GKA ve BYO algoritmalarının performansları

Şekil 3.13'te görüldüğü gibi BYOA algoritması GKA algoritmasından daha iyi bir performans ölçütü değerine ulaşmış ve GKA algoritmasından daha hızlı bir yakınsama performansı göstermiştir. GKA ve BYOA algoritmalarıyla elde edilen toplam güç tüketim eğrileri Şekil 3.14'te çizdirilmiştir. Toplam güç tüketim eğrilerinde meydana gelen iyileşmeler denge ölçütüne göre hesaplanarak Tablo 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.14. Senaryo 1'de ATYS ile ve ATYS olmadan oluşan toplam güç tüketim eğrileri

Şekil 3.14 ve Tablo 3.6 incelendiğinde, tepe tüketim zamanlarındaki (20:00-23:00) tüketimler ATYS-GKA ve ATYS-BYOA ile azaltılmıştır. Fakat ATYS-BYOA ile daha dengeli bir tüketim eğrisi elde edilmiştir.

Tablo 3.6. Senaryo 1’de ATYS ile elde edilen bulgular ve iyileşmeler

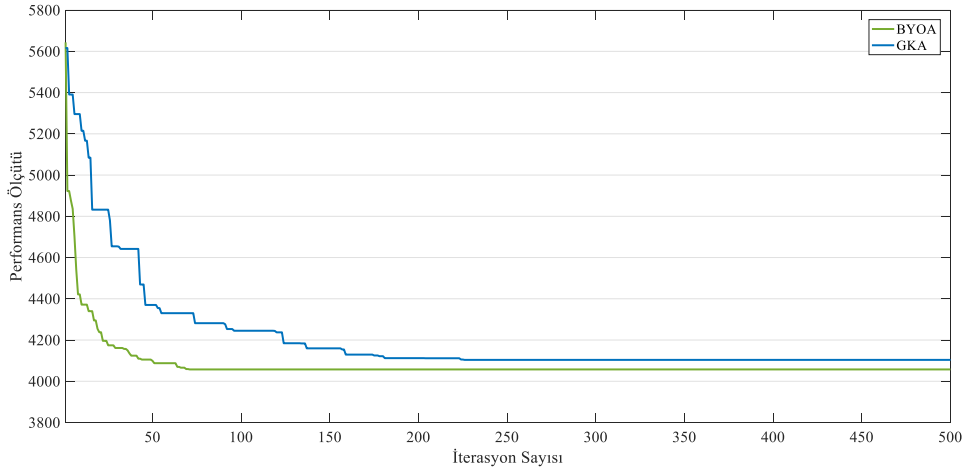
|   | <b>ATYS<br/>Yok</b> | <b>ATYS-GKA</b> | <b>ATYS-BYOA</b> |
|---|---------------------|-----------------|------------------|
| Ötelenebilir Yüklerin Toplamına Ait Tüketim Eğrisinin Denge Ölçütü (DÖ) | 2179,1              | 1371,4          | <b>1272,1</b>    |
| İyileşme Miktarı (%)  |                     | 37,06           | <b>41,62</b>     |
| Toplam Yük Eğrisinin Denge Ölçütü(DÖ)                                   | 2417,1              | 1541,2          | <b>1531,3</b>    |
| İyileşme Miktarı (%)  |                     | 36,23           | <b>36,64</b>     |

2 numaralı senaryoya ait varsayımlar Tablo 3.7’de verilmiştir. Kullanılan sezgisel algoritmaların parametreleri ise Senaryo 1 ile aynıdır.

Tablo 3.7. Senaryo 2’ye ait veriler ve varsayımlar

|   |  |
|---|--|
| <b>Tüketici isteklerinin alındığı durum</b> | Tüketicilerin ötelenebilir yüklerini kullanma isteklerinin tamamının gün öncesi veya sabah saat 8:00 itibariyle alınmış olduğu durum |
| <b>Ötelenebilirlik Esnekliği</b>            | 3 saat ileri ötelenebilme esnekliği  |
| <b>ATYS ile kullanılan yükler</b>           | BM (1-4), ÇM (1-4), ÇK (1-4)   |

Normal çalıştırılma zamanından 3 saat ileri ötelenebilme esnekliğinde ATYS’nin ürettiği optimal çalışma zamanları Tablo 3.8’de yer almaktadır. Şekil 3.15’te ise GKA ve BYOA algoritmalarının performansları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 3.15’ten de anlaşılacağı üzere, BYOA algoritması GKA algoritmasına göre daha hızlı bir yakınsama performansı göstermiştir ve BYOA algoritması GKA algoritmasından daha iyi bir performans ölçütüne ulaşmıştır.



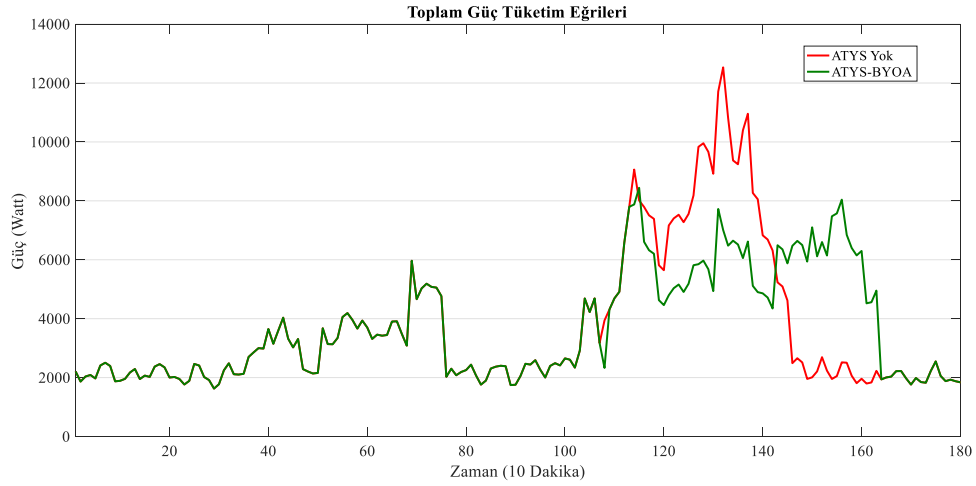
Şekil 3.15. Senaryo 2’de GKA ve BYO algoritmalarının performansları

Tablo 3.8. Senaryo 2 verileri ve ATYS ile elde edilen sonuçlar

|                |               | Ötelenebilir Yükler |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------|---------------|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                |               | BM<br>1             | BM<br>2 | BM<br>3 | BM<br>4 | ÇM<br>1 | ÇM<br>2 | ÇM<br>3 | ÇM<br>4 | ÇK<br>1 | ÇK<br>2 | ÇK<br>3 | ÇK<br>4 |
| Çalışma zamanı | Normal        | 136                 | 127     | 108     | 112     | 113     | 121     | 114     | 51      | 131     | 139     | 132     | 69      |
|                | ATYS-<br>BYOA | 154                 | 143     | 109     | 112     | 113     | 138     | 132     | 51      | 131     | 157     | 150     | 69      |

Senaryo 2’de BYOA algoritmasını kullanan ATYS ile optimum planlama sonucunda elde edilen sonuçlar ve toplam güç tüketim eğrisinde elde edilen iyileştirmeler Tablo 3.9’da verilmiştir. BYOA algoritması GKA algoritmasından daha iyi sonuç verdiği için bundan sonraki senaryolarda, BYOA algoritması kullanılmıştır.

Senaryo 1 ve Senaryo 2 karşılaştırıldığında, toplam güç tüketim eğrisindeki iyileşme miktarının tüketicilerin verdiği ötelenebilirlik esnekliğiyle doğru orantılı olduğu görülmektedir. Şekil 3.16’da BYOA algoritması kullanan ATYS ile 3 saatlik ötelenebilirlik esnekliğinde elde edilen toplam güç tüketim eğrisi, ATYS olmadan oluşan güç tüketim eğrisiyle birlikte karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 3.16. Senaryo 2’de ATYS ile ve ATYS olmadan oluşan güç tüketim eğrileri

Tablo 3.9. Senaryo 2’de ATYS ile elde edilen bulgular ve iyileşmeler

|   | <b>ATY Yok</b> | <b>ATYS-BYOA</b> |
|---|----------------|------------------|
| Ötelenebilir Yüklerin Toplamına Ait Tüketim Eğrisinin Denge Ölçütü (DÖ) | 2179,1         | 1632,8           |
| İyileşme Miktarı (%)  |                | 25,06            |
| Toplam Tüketim Eğrisinin Denge Ölçütü(DÖ)                               | 2417,1         | 1805,5           |
| İyileşme Miktarı (%)  |                | 25,3             |

3 numaralı senaryoya ait varsayımlar Tablo 3.10’da verilmiştir. Kullanılan sezgisel algoritmaların parametreleri ise Senaryo 1 ile aynıdır.

Tablo 3.10. Senaryo 3’e ait veriler ve varsayımlar

|   |  |
|---|--|
| <b>Tüketici isteklerinin alındığı durum</b> | Tüketicilerin ötelenebilir yüklerini kullanma isteklerinin anlık olarak alınmış olduğu durum |
| <b>Ötelenebilirlik Esnekliği</b>            | 3 saat ileri ötelenebilme esnekliği  |
| <b>ATYS ile kullanılan yükler</b>           | BM (1-4), ÇM (1-4), ÇK (1-4)   |

3 numaralı senaryo için ATYS ile elde edilen bulgular ve denge ölçütündeki iyileşme miktarı Tablo 3.11’de verilmiştir.

Tablo 3.11. ATYS ile Senaryo 3’te elde edilen bulgular ve iyileşme miktarı

|   | <b>ATYS Yok</b> | <b>ATYS- BYOA</b> |
|---|-----------------|-------------------|
| Toplam Yük Tüketim Eğrisinin Denge Ölçütü(DÖ) | 2417,1          | <b>1877,5</b>     |
| İyileşme miktarı                              |                 | <b>%22,32</b>     |

4 numaralı senaryoya ait varsayımlar Tablo 3.12’de verilmiştir. Kullanılan sezgisel algoritmaların parametreleri ise Senaryo 1 ile aynıdır.

Tablo 3.12. Senaryo 4’e ait veriler ve varsayımlar

|   |  |
|---|--|
| <b>Tüketici isteklerinin alındığı durum</b> | Tüketicilerin ötelenebilir yüklerini kullanma isteklerinin anlık olarak alınmış olduğu durum |
| <b>Ötelenebilirlik Esnekliği</b>            | 6 saat ileri ötelenebilme esnekliği  |
| <b>ATYS ile kullanılan yükler</b>           | BM (1-4), ÇM (1-4), ÇK (1-4)   |

4 numaralı senaryo için ATYS ile elde edilen bulgular ve denge ölçütündeki iyileşme miktarı Tablo 3.13’de verilmiştir.

Tablo 3.13. Senaryo 4’te ATYS ile elde edilen bulgular ve iyileşme miktarı

|   | <b>ATYS Yok</b> | <b>ATYS-BYOA</b> |
|---|-----------------|------------------|
| Toplam Yük Tüketim Eğrisinin Denge Ölçütü(DÖ) | 2417,1          | <b>1658,9</b>    |
| İyileşme miktarı                              |                 | <b>%31,3</b>     |

Anlık istek durumlarını temsil eden Senaryo 3 ve Senaryo 4 karşılaştırıldığında, anlık istek durumlarında da tüketicilerin ötelenebilir yükleri için tanıdıkları ötelenebilirlik esnekliği arttıkça, toplam tüketim eğrisindeki iyileşme de doğru orantılı olarak artmaktadır. Çünkü, ötelenebilirlik esnekliği ne kadar fazla olursa, ATYS’nin yapacağı optimum

planlama ufku da o kadar geniş olacaktır. Geniş planlama ufku ise daha dengeli bir tüketim eğrisi elde edilebilecek optimum planlamaların yapılmasına olanak sağlayacaktır.

5 numaralı senaryoya ait varsayımlar Tablo 3.14'te verilmiştir. Kullanılan sezgisel algoritmaların parametreleri ise Senaryo 1 ile aynıdır.

Tablo 3.14. Senaryo 5'e ait veriler ve varsayımlar

|   |  |
|---|--|
| <b>Tüketici isteklerinin alındığı durum</b> | Tüketicilerin ötelenebilir yüklerini kullanma isteklerinin anlık olarak alınmış olduğu durum |
| <b>Ötelenebilirlik Esnekliği</b>            | 3 saat ileri ötelenebilme esnekliği  |
| <b>ATYS ile kullanılan yükler</b>           | BM (1-4), ÇM (1-4), ÇK (1-4), EA (3-4)   |

5 numaralı senaryoda, önceki senaryolarda yer almayan elektrikli araç yükleri de senaryoya dahil edilmiştir. Tüm tüketicilerin bulaşık makinesi, çamaşır makinesi, çamaşır kurutma makinesinin olduğu, 3 ve 4 numaralı tüketicilerin ise elektrikli araçlarının da olduğu durum için, ATYS ile elde edilen bulgular ve denge ölçütündeki iyileşme miktarı Tablo 3.15'te verilmiştir.

Tablo 3.15. Senaryo 5'te ATYS ile elde edilen bulgular ve iyileşme miktarı

|   | <b>ATYS Yok</b> | <b>ATYS-BYOA</b> |
|---|-----------------|------------------|
| Toplam Yük Tüketim Eğrisinin Denge Ölçütü(DÖ) | 2691            | <b>2059,1</b>    |
| İyileşme miktarı                              |                 | <b>%23,48</b>    |

6 numaralı senaryoya ait varsayımlar Tablo 3.16'da verilmiştir. Kullanılan sezgisel algoritmaların parametreleri ise Senaryo 1 ile aynıdır.

Tablo 3.16. Senaryo 6'ya ait veriler ve varsayımlar

|   |  |
|---|--|
| <b>Tüketici isteklerinin alındığı durum</b> | Tüketicilerin ötelenebilir yüklerini kullanma isteklerinin anlık olarak alınmış olduğu durum |
| <b>Ötelenebilirlik Esnekliği</b>            | 6 saat ileri ötelenebilme esnekliği  |
| <b>ATYS ile kullanılan yükler</b>           | BM (1-4), ÇM (1-4), ÇK (1-4), EA (3-4)   |

6 numaralı senaryoda, 5 numaralı senaryodaki ötelenebilir yüklerin aynılarının yer aldığı fakat ötelenebilme esnekliğinin 6 saat olduğu durum analiz edilmiştir. Bu senaryo için ATYS ile elde edilen bulgular ve denge ölçütündeki iyileşme miktarları Tablo 3.17'de verilmiştir.

Tablo 3.17. Senaryo 6'da ATYS ile elde edilen bulgular ve iyileşme miktarı

|   | <b>ATYS Yok</b> | <b>ATYS-BYOA</b> |
|---|-----------------|------------------|
| Toplam Yük Tüketim Eğrisinin Denge Ölçütü(DÖ) | 2691            | <b>1804,2</b>    |
| İyileşme miktarı                              |                 | <b>%32,95</b>    |

Senaryo 5 ve Senaryo 6 karşılaştırıldığında, anlık istek durumlarında ötelenebilir yükler için tüketicilerin verdiği esnek planlama aralığı arttıkça, toplam güç tüketim eğrisinde meydana gelecek iyileşmelerin de arttığı görülmektedir.

Şimdiye kadar incelenen senaryolar [140] numaralı veri tabanındaki veriler esas alınarak oluşturulmuştur. Senaryo 7 ve Senaryo 8 ise, bu tez kapsamında gerçekleştirilen anket çalışmasından elde edilen verilere göre oluşturulmuştur.

ATYS'nin kullandığı öngörülen tüketim güç eğrisi ( $P_{tüketim}$ ) Trabzon'daki bir konut bölgesini besleyen transformatörün verilerine göre oluşturulmuştur. Benzetimler 2017 mayıs ayının ilk pazartesi günü için yapılmıştır. Öngörülen güç tüketim eğrisi olarak mayıs ayının pazartesi günlerinin güç tüketim eğrilerinin ortalaması kullanılmıştır. Öngörülen üretim güç eğrisi  $P_{üretim}$  ise, bu tez çalışmasının da içinde olduğu proje kapsamında geliştirilen radyasyon kestirime dayalı FV güç kestirimi çalışmasından [146] elde edilmiştir. ATYS'nin planlama zaman aralığı 10 dk. olarak belirlenmiştir ve öngörülen üretim-tüketim eğrileri de enterpolasyon ile 10 dk. çözünürlüğe getirilmiştir.

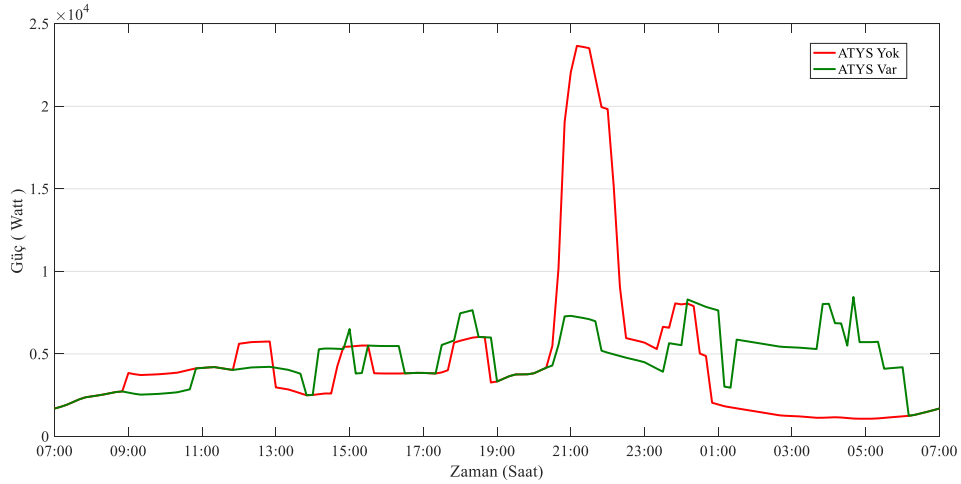


7 numaralı senaryoya ait veriler ve varsayımlar Tablo 3.18’de verilmiştir. Çamaşır makinesi ve bulaşık makinesine ait istek gelme zamanları anket verilerinden üretilmiştir. Çamaşır kurutma makinesine ait istek gelme zamanı ise çamaşır makinesinin bitiş zamanı olacak şekilde belirlenmiştir. Elektrikli araçlara ait istek gelme zamanları ise, tüketicilerin akşam eve gelme zamanı olarak düşünülen 18:00-24:00 zaman aralığında rastgele elde edilen zamanlardır.

ATYS’de kullanılan sezgisel algoritmaların parametreleri ise Senaryo 1 ile aynıdır. Senaryo 1 ve Senaryo 2’de elde edilen sonuçlara göre, BYOA algoritmasının GKA algoritmasına göre daha verimli olduğu ve BTOA algoritmasının GKA algoritmasından daha iyi sonuçlar ürettiği tespit edilmiştir. Bu nedenle Senaryo 7 ve Senaryo 8 için yapılan benzetimlerdeki ATYS’de enyileme algoritması olarak BYOA algoritması kullanılmıştır.

Tablo 3.18. Senaryo 7’ye ait veriler ve varsayımlar

| Ötelenbilir Yük | İstek Gelme Zamanı | Ötelenme durumunda en geç bitiş zamanı |
|-----------------|--------------------|--|
| ÇM1             | 09:00              | 15:00                                  |
| ÇM2             | 14:40              | 20:50                                  |
| ÇM3             | 20:30              | 06:00 (Sonraki gün)                    |
| ÇM4             | 20:50              | 06:00 (Sonraki gün)                    |
| BM1             | 14:40              | 18:40                                  |
| BM2             | 20:40              | 06:00 (Sonraki gün)                    |
| BM3             | 20:50              | 06:00 (Sonraki gün)                    |
| BM4             | 21:10              | 06:00 (Sonraki gün)                    |
| ÇK1             | 12:00              | 16:00                                  |
| ÇK2             | 17:50              | 21:50                                  |
| ÇK3             | 23:30              | 06:00 (Sonraki gün)                    |
| ÇK4             | 23:50              | 06:00 (Sonraki gün)                    |
| EA1             | 20:40              | 06:00 (Sonraki gün)                    |
| EA2             | 20:50              | 06:00 (Sonraki gün)                    |
| EA3             | 20:50              | 06:00 (Sonraki gün)                    |
| EA4             | 21:00              | 06:00 (Sonraki gün)                    |



Şekil 3.17. Senaryo 7 için ATYS ile ve ATYS olmadan oluşan toplam güç tüketim eğrileri

Senaryo 7 için ATYS ve ATYS'nin olmadığı durumlardaki toplam güç tüketim eğrileri Şekil 3.17'de görülmektedir. Senaryo 7'den elde edilen sonuçların analizleri Tablo 3.19'da verilmiştir. Tüketicilerin ötelenebilir yüklerini ATYS olmadan Tablo 3.18'deki istek gelme zamanlarında çalıştırdıkları durum için ötelenebilir yüklerin toplamının denge ölçütü 4091,4 olarak hesaplanmıştır. Ötelenebilir yüklerin ATYS ile optimum çalıştırılma zamanlarında çalıştırılması durumunda ise ötelenebilir yüklerin toplamının denge ölçütü %53,6 azalmıştır ve 1896 olarak hesaplanmıştır.

Öngörülen tüketim eğrisine ötelenebilir yüklerin tüketim verilerinin ilave edilmesiyle oluşan yük eğrisinin denge ölçütü ATYS olmadan 4664,7 iken, ATYS ile %63,2 azalarak 1716,6 olmuştur. Gerçek tüketim eğrisine ötelenebilir yüklerin tüketim verilerinin ilave edilmesiyle oluşan yük eğrisinde ise denge ölçütü ATYS olmadan 4746,2 iken, ATYS ile %63,29 azalarak 1742,2 olmuştur.

Tablo 3.19. Senaryo 7'de elde edilen sonuçların analizi-1

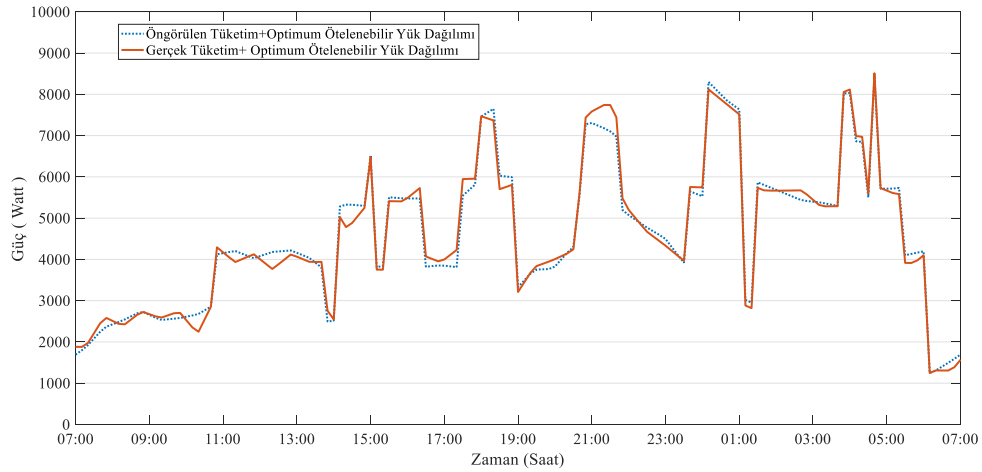
| Ötelenebilir yükün denge ölçütü |          | Öngörülen tüketim eğrisine ötelenebilir yükün ilave edilmesiyle oluşan yük eğrisinin denge ölçütü |          | Gerçek tüketim eğrisine ötelenebilir yükün ilave edilmesiyle oluşan yük eğrisinin denge ölçütü |          |
|---------------------------------|----------|---|----------|--|----------|
| ATYS Yok                        | ATYS Var | ATYS Yok  | ATYS Var | ATYS Yok   | ATYS Var |
| 4091,4                          | 1896     | 4664,7  | 1716,6   | 4746,2   | 1742,2   |
| İyileşme: %53,6                 |          | İyileşme: %63,2   |          | İyileşme: %63,29   |          |

Toplam tüketim eğrisinden FV sistemlerle yapılan üretimlerin çıkarılmasıyla elde edilen net tüketim eğrisinin denge ölçütü, ATYS olmadan 8150,3 iken, ATYS ile 6895,3'e düşürülerek %15,39 iyileştirilmiştir. Toplam tüketim eğrisinin TOO (tepe tüketimin ortalamaya oranı) değeri ATYS olmadan 5,2542 iken, ATYS ile %64,77 azalarak 1,8509'a düşmüştür. Net tüketim eğrisinin TOO değeri ise ATYS ile %64,29 iyileştirilmiştir. Burada ifade edilen sonuçlar, aşağıdaki tabloda karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Hatta meydana gelen kayıplar ise ATYS ile %41,65 azaltılmıştır.

Tablo 3.20. Senaryo 7'de elde edilen sonuçların analizi-2

|   | ATYS yok | ATYS var |
|---|----------|----------|
| <b>Toplam tüketim eğrisinin TOO değeri</b>                                  | 5,2542   | 1,8509   |
| <b>ATYS ile toplam tüketim eğrisinin TOO değerinde elde edilen iyileşme</b> | %64,77   |          |
| <b>Net tüketim eğrisinin TOO değeri</b>                                     | -73,5637 | -26,2658 |
| <b>ATYS ile net tüketim eğrisinin TOO değerinde elde edilen iyileşme</b>    | %64,29   |          |
| <b>Net tüketim eğrisinin denge ölçütü</b>                                   | 8150,3   | 6895,3   |
| <b>ATYS ile net tüketim eğrisinin denge ölçütündeki iyileşme</b>            | %15,39   |          |
| <b>ATYS ile hatta meydana gelen kayıptaki azalma</b>                        | %41,65   |          |

Gerçek tüketim eğrisine optimum ötelenebilir yük dağılımının eklenmesiyle oluşan toplam yük eğrisi ve öngörülen tüketim eğrisine optimum ötelenebilir yük dağılımının eklenmesiyle oluşan toplam yük eğrileri Şekil 3.18'de verilmiştir. Gerçek tüketim eğrisi ile öngörülen tüketim eğrisi arasında %7,42 OMYH (ortalama mutlak yüzde hata) hata tespit edilmiştir. Bunun sonucunda öngörülen denge ölçütü ile oluşan denge ölçütü arasında %1,49'luk bir hata oluşmuştur.



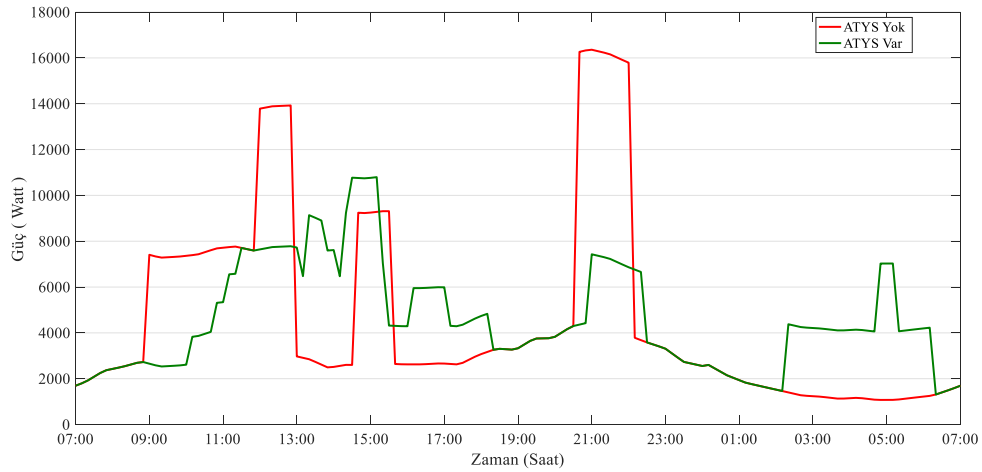
Şekil 3.18. Senaryo 7 için öngörülen ve gerçek tüketimlere ait yük dağılımı

Bölüm 2.5'te açıklanan net tüketim eğrisine göre oluşturulan dinamik fiyatlandırma durumunda, Senaryo 7'deki ötelenebilir yükler ATYS olmadan kullanıldığında ötelenebilir yüklerle yansıyan toplam fatura 26,9 TL olarak hesaplanmıştır. ATYS'nin kullanıldığı durumda ise, ötelenebilir yüklerle yansıyan fatura 19,36 TL olarak hesaplanmıştır. Böylece, ATYS ile şebeke için yukarıda ifade edilen iyileştirmelerin yanında, tüketicilerin faturasında da %28 oranında bir iyileştirme sağlanmıştır.

Tablo 3.21. Senaryo 8'e ait veriler ve varsayımlar

| Ötelenebilir Yük | İstek Gelme Zamanı | Ötelenme durumunda en geç bitiş zamanı |
|------------------|--------------------|--|
| ÇM(1-4)          | 09:00              | 15:00                                  |
| BM(1-4)          | 14:40              | 18:40                                  |
| ÇK(1-4)          | 12:00              | 16:00                                  |
| EA(1-4)          | 20:40              | 06:00 (Sonraki gün)                    |

Senaryo 8'e ait veriler ve varsayımlar Tablo 3.21'de verilmiştir. Bu senaryoda ötelenebilir yük türlerine aynı anda aynı isteklerin gelmiş olduğu durum incelenmiştir. Tablodaki ötelenme durumları için ATYS'nin benzetimi yapıldığında, Şekil 3.19'daki toplam güç tüketim eğrileri elde edilmiştir.



Şekil 3.19. Senaryo 8 için ATYS ile ve ATYS olmadan oluşan toplam güç tüketim eğrileri

Senaryo 8'den elde edilen sonuçların analizleri Tablo 3.22'de verilmiştir. Tüketicilerin ötelenebilir yüklerini ATYS olmadan Tablo 3.18'deki istek gelme zamanlarında çalıştırdıkları durumda ötelenebilir yüklerin toplamının denge ölçütü 3770,9 olarak hesaplanmıştır. Tüketicilerin bu ötelenebilir yüklerinin ATYS ile optimum çalıştırılma zamanlarında çalıştırılması durumunda ise ötelenebilir yüklerin toplamının denge ölçütü 2236,9 olarak hesaplanmıştır ve ATYS'nin olmadığı duruma göre %40,67 azalmıştır.

Öngörülen tüketim eğrisine ötelenebilir yüklerin tüketim verilerinin ilave edilmesiyle oluşan toplam yük eğrisinin denge ölçütü, ATYS olmadan 4269,3 iken, ATYS ile %45,68 azalarak 2319 olmuştur. Gerçek tüketim eğrisine ötelenebilir yüklerin tüketim verilerinin ilave edilmesiyle oluşan toplam yük eğrisinin denge ölçütü ATYS olmadan 4303,8 iken, ATYS ile %45,96 azalarak 2325,4 olmuştur.

Tablo 3.22. Senaryo 8'de elde edilen sonuçların analizi-1

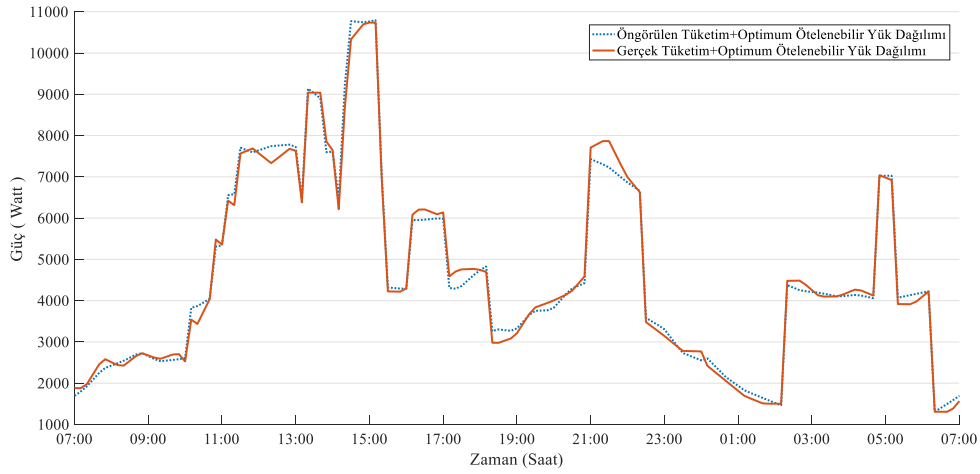
| Ötelenebilir yükün denge ölçütü |          | Öngörülen tüketim eğrisine ötelenebilir yükün ilave edilmesiyle oluşan yük eğrisinin denge ölçütü |          | Gerçek tüketim eğrisine ötelenebilir yükün ilave edilmesiyle oluşan yük eğrisinin denge ölçütü |          |
|---------------------------------|----------|---|----------|--|----------|
| ATYS Yok                        | ATYS Var | ATYS Yok  | ATYS Var | ATYS Yok   | ATYS Var |
| 3770,9                          | 2236,9   | 4269,3  | 2319     | 4303,8   | 2325,4   |
| İyileşme: %40,67                |          | İyileşme: %45,68  |          | İyileşme: %45,96   |          |

Toplam tüketim eğrisinden FV sistemlerle yapılan üretimlerin çıkarılmasıyla elde edilen net tüketim eğrisinin denge ölçütü ATYS olmadan 6167,9 iken, ATYS ile 5199,3'e düşürülerek %15,7 iyileştirilmiştir. Toplam tüketim eğrisinin TOO (tepe tüketimin ortalamaya oranı) değeri ATYS olmadan 3,6520 iken, ATYS ile %36,06 azalarak 2,3349'a düşmüştür. Net tüketim eğrisinin TOO değeri ise ATYS ile %54,28 iyileştirilmiştir. ATYS hatta meydana gelen kayıplar ise %30,86 azaltılmıştır. Burada ifade edilen sonuçlar, Tablo 3.23'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 3.23. Senaryo 8'de elde edilen sonuçların analizi-2

|   | ATYS yok | ATYS var |
|---|----------|----------|
| <b>Toplam tüketim eğrisinin TOO değeri</b>                                  | 3,6520   | 2,3349   |
| <b>ATYS ile toplam tüketim eğrisinin TOO değerinde elde edilen iyileşme</b> | %36,06   |          |
| <b>Net tüketim eğrisinin TOO değeri</b>                                     | -50,8546 | -23,0981 |
| <b>ATYS ile net tüketim eğrisinin TOO değerinde elde edilen iyileşme</b>    | %54,58   |          |
| <b>Net tüketim eğrisinin denge ölçütü</b>                                   | 6167,9   | 5199,3   |
| <b>ATYS ile net tüketim eğrisinin denge ölçütündeki iyileşme</b>            | %15,7    |          |
| <b>ATYS ile hatta meydana gelen kayıptaki azalma</b>                        | %30,86   |          |

Gerçek tüketim eğrisine optimum ötelenebilir yük eğrisinin eklenmesiyle oluşan toplam yük eğrisi ve öngörülen tüketim eğrisine optimum ötelenebilir yük dağılımının eklenmesiyle oluşan toplam yük eğrileri Şekil 3.20'de verilmiştir. Gerçek toplam tüketim eğrisi ile öngörülen toplam tüketim eğrisi arasında %7,42 OMYH (ortalama mutlak yüzde hata) hata tespit edilmiştir. Bunun sonucunda öngörülen tüketim eğrisine göre oluşan denge ölçütü ile gerçek tüketim eğrisine göre oluşan denge ölçütü arasında %0,27'lik bir hata oluşmuştur.



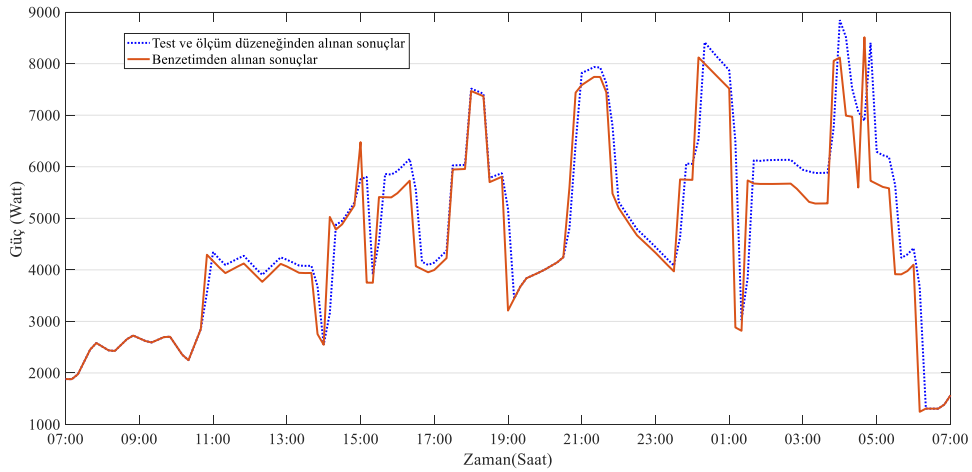
Şekil 3.20. Senaryo 8 için öngörülen ve gerçek tüketimlere ait yük dağılımı

Bölüm 2.5'te açıklanan net tüketim eğrisine göre oluşturulan dinamik fiyatlandırma durumunda, Senaryo 8'deki ötelenebilir yükler ATYS olmadan kullanıldığında ötelenebilir yüklerle yansıyan toplam fatura 20,24 TL olarak hesaplanmıştır. ATYS'nin kullanıldığı durumda ise, ötelenebilir yüklerle yansıyan fatura 16,84 TL olarak hesaplanmıştır. Böylece, ATYS ile şebeke için yukarıda ifade edilen iyileştirmelerin yanında, tüketicilerin faturasında %16,79 oranında bir iyileştirme sağlanmıştır.

### 3.4. Test ve Ölçüm Prototipinde Uygulanan Senaryolarda ATYS Bulguları

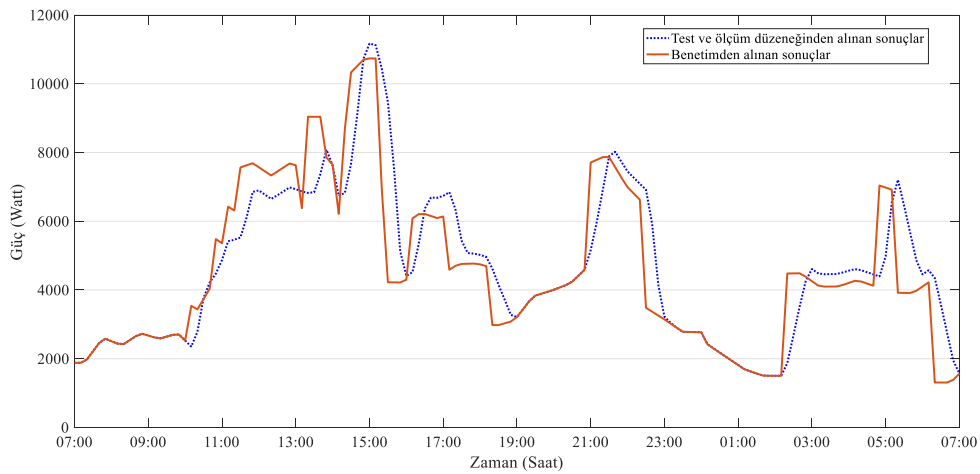
Bu bölümde, anket sonuçlarına göre oluşturulan Senaryo 7 ve Senaryo 8'e ait tüketici istekleri ve isteklerin gelme durumları için önerilen ATYS test ve ölçüm prototipinde test edilmiştir. Elde edilen bulgular benzetimde elde edilen bulgularla karşılaştırılmıştır.

Şekil 3.21'de Senaryo 7 için benzetim ortamında ve test prototipinde elde edilen optimal güç tüketim eğrileri verilmiştir. Benzetim ortamında alınan bulgularla test prototipinden alınan sonuçlar arasında %8,9 OMYH tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, benzetim ortamında elde edilen bulgularla test prototipinden elde edilen bulguların birbiriyle büyük ölçüde uyduğunu göstermektedir. Oluşan hatanın test düzeneğindeki ötelenebilir yüklerin modellenmesinde kullanılan motor ve lamba güçlerinin modellenen güçle bire bir aynı olmamasından ve ölçüm kartlarının yaptığı ölçme hatalarından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 3.21. Senaryo 7 için benzetim ortamında ve test prototipinde elde edilen optimal güç tüketim eğrileri

Şekil 3.22'de Senaryo 8 için benzetim ortamında ve test prototipinde elde edilen optimal güç tüketim eğrileri verilmiştir. Benzetim ortamından alınan bulgularla test prototipinden alınan bulgular arasında %16,33 OMYH tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, benzetim ortamında elde edilen bulgularla test prototipinden elde edilen bulguların birbiriyle büyük ölçüde uyduğunu göstermektedir. Oluşan hatanın test düzeneğindeki ötelenebilir yüklerin modellenmesinde kullanılan motor ve lamba güçlerinin modellenen güçle bire bir aynı olmamasından ve ölçüm kartlarının yaptığı ölçme hatalarından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 3.22. Senaryo 8 için benzetim ortamında ve test prototipinde elde edilen optimal güç tüketim eğrileri



### 3.5. Anketlerden Edilen Bulgular

#### 3.5.1. Ankete Katılan Tüketicilerin Demografik Özellikleri

Ankete katılan tüketicilerin demografik özelliklerine ilişkin frekans, yüzde dağılımları ve kümülatif yüzdeleri aşağıdaki tablolarda yer almaktadır.

Tablo 3.24. Ankete katılan tüketicilerin cinsiyete göre dağılımları

| CİNSİYET      | Frekans    | Yüzde (%)    | Kümülatif (%) |
|---------------|------------|--------------|---------------|
| <b>Kadın</b>  | 232        | 59,3         | 59,3          |
| <b>Erkek</b>  | 159        | 40,7         | 100,0         |
| <b>Toplam</b> | <b>391</b> | <b>100,0</b> | <b>100</b>    |

Ankete katılanların cinsiyete göre dağılımları Tablo 3.24'te yer almaktadır. Ankete katılanların %59,3'ünü kadınlar, %40,7'sini erkekler oluşturmaktadır.

Tablo 3.25 Ankete katılan tüketicilerin yaş gruplarına göre dağılımları

| YAŞ GRUBU                | Frekans    | Yüzde (%)    | Kümülatif (%) |
|--------------------------|------------|--------------|---------------|
| <b>18 – 28 yaş arası</b> | 117        | 29,9         | 29,9          |
| <b>29 – 39 yaş arası</b> | 103        | 26,3         | 56,3          |
| <b>40 – 50 yaş arası</b> | 108        | 27,6         | 83,9          |
| <b>51 – 61 yaş arası</b> | 53         | 13,6         | 97,4          |
| <b>62 ve üzeri</b>       | 10         | 2,6          | 100,0         |
| <b>Toplam</b>            | <b>391</b> | <b>100,0</b> | <b>100</b>    |

Ankete katılanların yaş gruplarına göre dağılımları Tablo 3.25'te verilmiştir. Ankete katılanların %29,9'u 18-28 yaş arası, %26,3'ü 29-39 yaş arası, %27,6'sı 40-50 yaş arası, %13,6'sı 51-61 yaş arası ve %2,6'sı ise 62 ve üzeri yaş grubuna dahildir.

Tablo 3.26. Ankete katılan tüketicilerin aylık gelirlerine göre dağılımları

| AYLIK NET GELİR                | Frekans    | Yüzde (%)    | Kümülatif (%) |
|--------------------------------|------------|--------------|---------------|
| <b>1300 ve altı</b>            | 21         | 5,4          | 5,4           |
| <b>1301 TL – 2000 TL arası</b> | 68         | 17,4         | 22,8          |
| <b>2001 TL –3000 TL arası</b>  | 115        | 29,4         | 52,2          |
| <b>3001 TL – 4000 TL arası</b> | 91         | 23,3         | 75,4          |
| <b>4001 TL – 5000 TL arası</b> | 60         | 15,3         | 90,8          |
| <b>5001 TL ve üstü</b>         | 36         | 9,2          | 100,0         |
| <b>Toplam</b>                  | <b>391</b> | <b>100,0</b> | <b>100</b>    |

Ankete katılan tüketicilerin aylık net gelire göre dağılımları Tablo 3.26'daki gibidir. Buna göre ankete katılanların %5,4'ü 1300TL ve altı, %17,4'ü 1301TL-2000TL arası arası, %29,4'ü 2001TL-3000TL arası, %23,3'ü 3000TL-4000TL arası, %15,3'ü 4001TL-5000TL arası ve %9,2'si ise 5001TL ve üstü aylık net gelire sahiptir.

Tablo 3.27. Ankete katılan tüketicilerin öğrenim durumuna göre dağılımları

| ÖĞRENİM DURUMU                 | Frekans    | Yüzde (%)    | Kümülatif (%) |
|--------------------------------|------------|--------------|---------------|
| <b>İlköğretim</b>              | 87         | 22,3         | 22,3          |
| <b>Lise</b>                    | 117        | 29,9         | 52,2          |
| <b>Önlisans</b>                | 51         | 13,0         | 65,2          |
| <b>Üniversite</b>              | 119        | 30,4         | 95,7          |
| <b>Yüksek Lisans / Doktora</b> | 17         | 4,3          | 100,0         |
| <b>Toplam</b>                  | <b>391</b> | <b>100,0</b> | <b>100</b>    |

Ankete katılan tüketicilerin öğrenim durumuna göre dağılımları Tablo 3.27'de görülmektedir. Ankete katılanların 22,3'ü ilköğretim, %29,9'u lise, %13'ü önlisans, %30,4'ü üniversite ve %4,3'ü ise lisansüstü mezundur.

Tablo 3.28. Ankete katılan tüketicilerin meslek gruplarına göre dağılımları

| MESLEK GRUBU   | Frekans    | Yüzde (%)    | Kümülatif (%) |
|----------------|------------|--------------|---------------|
| Serbest Meslek | 74         | 18,9         | 18,9          |
| Esnaf          | 36         | 9,2          | 9,2           |
| Memur          | 64         | 16,4         | 16,4          |
| İşçi           | 75         | 19,2         | 19,2          |
| Emekli         | 19         | 4,9          | 4,9           |
| Ev Hanımı      | 82         | 21,0         | 21,0          |
| Öğrenci        | 41         | 10,5         | 10,5          |
| <b>Toplam</b>  | <b>391</b> | <b>100,0</b> | <b>100,0</b>  |

Ankete katılan tüketicilerin meslek grubuna göre dağılımları Tablo 3.28’de verilmiştir. Buna göre ankete katılanların %18,9’u serbest meslek, %9,2’si esnaf, %16,4’ü memur, %19,2’si işçi, %4,9’u emekli, %21’i ev hanımı, %10,5’i öğrencidir.

Tablo 3.29. Ankete katılan tüketicilerin ortalama elektrik fatura miktarlarının dağılımları

| AYLIK ORTALAMA ELEKTRİK FATURA | Frekans    | Yüzde (%)    | Kümülatif (%) |
|--------------------------------|------------|--------------|---------------|
| 50 TL ve az                    | 27         | 6,9          | 6,9           |
| 51–70 TL                       | 71         | 18,2         | 18,2          |
| 71–90 TL                       | 109        | 27,9         | 27,9          |
| 91–110 TL                      | 95         | 24,3         | 24,3          |
| 111–130 TL                     | 44         | 11,3         | 11,3          |
| 131–150 TL                     | 19         | 4,9          | 4,9           |
| 151 TL ve fazla                | 26         | 6,6          | 6,6           |
| <b>Toplam</b>                  | <b>391</b> | <b>100,0</b> | <b>100,0</b>  |

Ankete katılan tüketicilerin ortalama elektrik fatura miktarlarının dağılımları Tablo 3.29’da verilmiştir. Buna göre ankete katılanların %6,9’nun aylık ortalama elektrik faturası

50 TL ve daha az, %18,2'sinin 51–70 TL, %27,9'unun 71–90 TL, %24,3'ünün 91–110 TL, %11,3'ünün 111–130 TL, %4,9'unun 131–150 TL ve %6,6'sının 151 TL ve daha fazladır.

### 3.5.2. Ankete Katılan Tüketicilerin Beklediği Tasarruf Oranı

Ankete katılan tüketicilerin ATYS ile elektrik faturalarında bekledikleri tasarruf oranları Tablo 3.30'da verilmiştir. Buna göre, tüketicilerin %17,1'inin beklediği tasarruf oranı %10, %33'ünün beklediği tasarruf oranı %11–%20, %24'nün beklediği tasarruf oranı %21–%30, %12'sinin beklediği tasarruf oranı %31–%40 ve %13,8'nin beklediği tasarruf oranı %41 ve daha fazladır.

Tablo 3.30. Ankete katılan tüketicilerin ATYS ile bekledikleri tasarruf oranlarının dağılımları

| ATYS ile Beklenen Tasarruf Oranı | Frekans | Yüzde (%) | Kümülatif (%) |
|----------------------------------|---------|-----------|---------------|
| %10                              | 67      | 17,1      | 17,1          |
| %11–%20                          | 129     | 33,0      | 33,0          |
| %21–%30                          | 94      | 24,0      | 24,0          |
| %31–%40                          | 47      | 12,0      | 12,0          |
| %40 ve daha fazla                | 54      | 13,8      | 13,8          |
| <b>Toplam</b>                    | 391     | 100,0     | 100,0         |

### 3.5.3. Ankete Katılan Tüketicilerin Akıllı Şebeke, Talep Tarafının Yönetimi ve ATYS ile Ötelenebilir Yüklerinin Kontrolüne İlişkin Bakış Açılarını Ölçen Sorulara Verdikleri Yanıtların Frekans Tabloları

Anketin ikinci bölümünde tüketicilerin akıllı şebeke, talep tarafı yönetimi ve ATYS ile ötelenebilir yüklerinin kontrolüne ilişkin bakış açılarını ölçen sorular yer almaktadır. Tüketicilerin bu sorulara verdikleri yanıtlara ilişkin frekanslar Tablo 3.31 ve Tablo 3.32'de verilmiştir. Bu tablolardaki “F” başlıklı sütun frekans verisini içermektedir.

Tablo 3.31. Tüketicilerin akıllı şebeke, talep tarafı yönetimi ve ATYS ile ötelenebilir yüklerinin kontrolüne ilişkin bakış açılarını ölçen sorulara (1-7) ilişkin frekans tablosu

| Tüketicilerin akıllı şebeke, talep tarafı yönetimi ve ATYS ile ötelenebilir yüklerinin kontrolüne ilişkin bakış açılarını ölçen sorular  | Kesinlikle Katılmıyorum |      | Katılmıyorum |      | Katılıp Katılmama Oranım Eşit |      | Katılıyorum |      | Kesinlikle Katılıyorum |      | Aritmetik Ortalama | Standart Sapma |
|--|-------------------------|------|--------------|------|-------------------------------|------|-------------|------|------------------------|------|--------------------|----------------|
|  | F                       | %    | F            | %    | F                             | %    | F           | %    | F                      | %    |                    |                |
| <b>S1:</b> Akıllı elektrik şebekesi kavramını daha önce duydum   | 132                     | 33,8 | 62           | 15,9 | 64                            | 16,4 | 74          | 18,9 | 59                     | 15,1 | 2,65               | 2,190          |
| <b>S2:</b> Talep tarafı yönetimi kavramını daha önce duydum  | 178                     | 45,5 | 64           | 16,4 | 59                            | 15,1 | 58          | 14,8 | 32                     | 8,2  | 2,23               | 1,372          |
| <b>S3:</b> Elektrik faturamın daha az gelmesi için elektrik tüketim değerlerimin izlenmesini ve kaydedilmesini isterim   | 19                      | 4,9  | 16           | 4,1  | 53                            | 13,6 | 132         | 33,8 | 171                    | 43,7 | 4,02               | 1,082          |
| <b>S4:</b> Elektrik faturamı azaltmak için akıllı cihazlar ile yönlendirilmeyi isterim   | 14                      | 3,6  | 17           | 4,3  | 59                            | 15,1 | 127         | 32,5 | 174                    | 44,5 | 4,09               | 1,041          |
| <b>S5:</b> Düşük fatura ödemek için çamaşır ve bulaşık makinemi elektriğin ucuz olduğu zamanlarda çalıştırmak isterim  | 12                      | 3,1  | 13           | 3,3  | 44                            | 11,3 | 126         | 32,2 | 196                    | 50,1 | 4,2                | 0,986          |
| <b>S6:</b> Düşük fatura ödemek için çamaşır ve bulaşık makinemin benim belirleyeceğim bir zaman aralığında akıllı kontrol sistemiyle otomatik olarak çalıştırılmasını isterim. | 11                      | 2,8  | 14           | 3,6  | 45                            | 11,5 | 126         | 32,2 | 195                    | 49,9 | 4,22               | 0,980          |
| <b>S7:</b> Çamaşır ve bulaşık makinemin otomatik olarak çalıştırılması için makineyi hazır hale getirmek elektrik faturamı azaltacağı için katlanabileceğim bir durumdur.      | 20                      | 5,1  | 16           | 4,1  | 74                            | 18,9 | 129         | 33   | 152                    | 38   | 3,96               | 1,097          |

Tüketicilerin akıllı şebeke, talep tarafı yönetimi ve ATYS ile ötelenebilir yüklerinin kontrolüne ilişkin bakış açılarını ölçen 1-7 numaralı sorular arasında en yüksek aritmetik ortalamaya sahip olan “Düşük fatura ödemek için çamaşır ve bulaşık makinemin benim belirleyeceğim bir zaman aralığında akıllı kontrol sitemiyle otomatik olarak çalıştırılmasını isterim.” ifadesine araştırmaya katılan tüketicilerin %2,8’i kesinlikle katılmıyorum, %3,6’sı ise katılmıyorum yanıtını vermişlerdir. Katılıp katılmama oranım eşit yanıtı verenlerin oranı %11,5 iken, katılıyorum yanıtını verenlerin oranı %32,2’dir. Kesinlikle katılıyorum yanıtını verenlerin oranı ise %49,9’dur. Söz konusu ifadenin aritmetik ortalaması 4,22 iken, standart sapması 0,980’dir.

Tüketicilerin akıllı şebeke, talep tarafı yönetimi ve ATYS ile ötelenebilir yüklerinin kontrolüne ilişkin bakış açılarını ölçen 1-7 numaralı sorular arasında en düşük aritmetik ortalamaya sahip olan “Talep tarafı yönetimi kavramını daha önce duydum.” ifadesine araştırmaya katılan tüketicilerin %45,5’i kesinlikle katılmıyorum, %16,4’ü ise katılmıyorum yanıtını vermişlerdir. Katılıp katılmama oranım eşit yanıtı verenlerin oranı %15,1 iken, katılıyorum yanıtını verenlerin oranı %14,8’dir. Kesinlikle katılıyorum yanıtını verenlerin oranı ise %8,2’dir. Söz konusu ifadenin aritmetik ortalaması 2,23 iken, standart sapması 1,372’dir.

Tablo 3.32. Tüketicilerin akıllı şebeke, talep tarafı yönetimi ve ATYS ile ötelenebilir yüklerinin kontrolüne ilişkin bakış açılarını ölçen sorulara (8-13) ilişkin frekans tablosu

| Tüketicilerin akıllı şebeke, talep tarafı yönetimi ve ATYS ile ötelenebilir yüklerinin kontrolüne ilişkin bakış açılarını ölçen sorular | Kesinlikle Katılmıyorum   |     | Katılmıyorum |     | Katılıp Katılmama Oranım Eşit |      | Katılıyorum |      | Kesinlikle Katılıyorum |      | Aritmetik Ortalama | Standart Sapma |
|---|---|-----|--------------|-----|-------------------------------|------|-------------|------|------------------------|------|--------------------|----------------|
|   | F   | %   | F            | %   | F                             | %    | F           | %    | F                      | %    |                    |                |
|   | <b>S8:</b> Çamaşır ve bulaşık makinemi akıllı kontrol sistemiyle planlarsam daha ucuz elektrik fiyatıyla çalışmasını isterim. | 8   | 2            | 11  | 2,8                           | 39   | 10          | 133  | 34                     | 200  |                    |                |
| <b>S9:</b> Ütü yapacağım zamanı akıllı kontrol sistemiyle planlayarak daha az elektrik faturası ödemeyi tercih ederim                   | 22  | 5,6 | 16           | 4,1 | 53                            | 13,6 | 126         | 32,2 | 174                    | 44,5 | 4,05               | 1,118          |
| <b>S10:</b> Elektrik süpürgeyi çalıştıracığım zamanı akıllı kontrol sistemiyle planlayarak daha az fatura ödemeyi tercih ederim.        | 17  | 4,3 | 28           | 7,2 | 63                            | 16,1 | 114         | 29,2 | 169                    | 43,2 | 3,99               | 1,128          |
| <b>S11:</b> Akıllı kontrol sistemini evimde kullanmak isterim.  | 8   | 2   | 12           | 3,1 | 50                            | 12,8 | 148         | 37,9 | 173                    | 44,2 | 4,19               | 0,917          |
| <b>S12:</b> Akıllı kontrol sistemiyle çalıştıracığım makinelerimi gün öncesi planlama yapabilirim.                                      | 17  | 4,3 | 17           | 4,3 | 84                            | 21,5 | 132         | 33,8 | 141                    | 36,1 | 3,92               | 1,066          |
| <b>S13:</b> Akıllı kontrol sistemiyle çalıştıracığım makinelerimi çalıştırmayı düşündüğüm anda planlama yapmak isterim.                 | 10  | 2,6 | 14           | 3,6 | 67                            | 17,1 | 138         | 35,3 | 162                    | 41,4 | 4,09               | 0,975          |

Tüketicilerin akıllı şebeke, talep tarafı yönetimi ve ATYS ile ötelenebilir yüklerinin kontrolüne ilişkin bakış açılarını ölçen 8-13 numaralı sorular arasında en yüksek aritmetik ortalamaya sahip olan “Çamaşır ve bulaşık makinemi akıllı kontrol sistemiyle planlarsam daha ucuz elektrik fiyatıyla çalışmasını isterim.” ifadesine araştırmaya katılan tüketicilerin %2’si kesinlikle katılmıyorum, %2,8’i ise katılmıyorum yanıtını vermişlerdir. Katılıp katılmama oranım eşit yanıtını verenlerin oranı %10 iken, katılıyorum yanıtını verenlerin

oranı %34'tür. Kesinlikle katılıyorum yanıtını verenlerin oranı ise %51,2'dir. Söz konusu ifadenin aritmetik ortalaması 4,29 iken, standart sapması 0,907'dir.

Tüketicilerin akıllı şebeke, talep tarafı yönetimi ve ATYS ile ötelenebilir yüklerinin kontrolüne ilişkin bakış açılarını ölçen 8-13 numaralı sorular arasında en düşük aritmetik ortalamaya sahip olan "Akıllı kontrol sistemiyle çalıştıracığım makinelerimi gün öncesi planlama yapabilirim." ifadesine araştırmaya katılan tüketicilerin %4,3'ü kesinlikle katılmıyorum, %4,3'ü ise katılmıyorum yanıtını vermişlerdir. Katılıp katılmama oranım eşit yanıtını verenlerin oranı %21,5 iken, katılıyorum yanıtını verenlerin oranı %33,8'dir. Kesinlikle katılıyorum yanıtını verenlerin oranı ise %36,1'dir. Söz konusu ifadenin aritmetik ortalaması 3,92 iken, standart sapması 1,066'dır.

#### 3.5.4. Ankete Katılan Tüketicilerin ATYS ile Kullanmak İstedikleri Cihazlara İlişkin Frekans Tabloları

Ankete katılan tüketicilerin ATYS ile kullanmak istedikleri cihazlara ilişkin frekanslar Tablo 3.33'te verilmiştir. Buna göre, soruya verilen yanıtlarda çamaşır makinesinin frekansı 297, elektrik süpürgesinin frekansı 126, ütünün frekansı 154, bulaşık makinesinin frekansı 269 olarak elde edilmiştir.

Tablo 3.33. Ankete katılan tüketicilerin ATYS ile kullanmak istedikleri cihazlara ait frekanslar

| Tüketicilerin ATYS ile kullanmak istedikleri cihazlar | Çamaşır Makinesi | Elektrikli Süpürge | Ütü | Bulaşık Makinesi | Çamaşır Kurutma Makinesi |
|---|------------------|--------------------|-----|------------------|--------------------------|
| Frekans   | 297              | 126                | 154 | 269              | 5                        |



### 3.5.5. Ankete Katılan Tüketicilerin Yüksek Güçlü Cihazlarını Kullandıkları Zaman Dilimlerine İlişkin Frekans Tabloları

Ankete katılan tüketicilerin yüksek güçlü cihazlarını kullandıkları zaman dilimlerinin frekansları Tablo 3.34’te verilmiştir.

Tablo 3.34. Ankete katılan tüketicilerin yüksek güçlü cihazlarını kullandıkları zaman dilimlerinin frekansları

| Cihaz Adı          | 06:01 | 12:01 | 18:01 | 00:00 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|
|                    | 12:00 | 18:00 | 23:59 | 06:00 |
| Çamaşır Makinesi   | %17,5 | %26,8 | %46,9 | %8,8  |
| Bulaşık Makinesi   | %9,2  | %16,5 | %65,8 | %8,5  |
| Ütü                | %20,7 | %36,8 | %40,6 | %1,9  |
| Elektrikli Süpürge | %32,9 | %51,5 | %15,6 | %0    |

Tablo 3.34 incelendiğinde, özellikle bulaşık makinelerinin %65,8’inin tüketimin tepe olduğu zaman diliminde (18:01-23:59) çalıştırıldığı görülmektedir. Tablodaki verilere göre tepe tüketimlerin yaşandığı zaman diliminde çamaşır makinelerinin %46,9’unun, ütülerin %40,6’sı, elektrikli süpürgelerin ise %15,6’sı çalışmaktadır.

Düşük tüketimlerin olduğu gece 00:00 ile sabah 06:00 arasında, yüksek güç tüketen bu cihazların çalıştırılma frekansları çamaşır makineleri için %8,8, bulaşık makineleri için %8,5, ütüler için ise %1,9 olarak tespit edilmiştir.

#### 4. İRDELEME

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalardan elde edilen bulgular irdelendiğinde aşağıdaki tespitlere ulaşılmıştır:

- Akıllı şebekelerde dağıtık üretim ve talep tarafının yönetimi araştırmalarında kullanılmak için tasarlanarak gerçekleştirilen test ve ölçüm prototipi, bu tez kapsamında önerilen mobil uygulama destekli ATYS'nin test edilmesinde başarıyla kullanılmıştır. Test ve ölçüm prototipindeki ölçüm kartlarının tasarımları ve test sonuçları, bu prototipte gerçekleştirilecek olan çalışmalardaki ölçüm sonuçlarının doğruluğunun yüksek olacağını göstermiştir.
- CiSeFAT stratejilerinin analiz edildiği senaryo sonuçları, tüketicilerin ötelenebilir yükleri için sağlayacağı ötelenebilirlik esnekliğine göre CiSeFAT ile ödeyecekleri fatura miktarlarının da azalacağını göstermiştir. Fakat tüketicilerin CiSeFAT ile en iyi sonuçları elde edebilmeleri, CiSeFAT stratejilerinde belirlenen indirim katsayısındaki hedefleri gerçekleştirmelerine bağlıdır.
- ATYS'nin testlerinde kullanılan senaryolardan elde edilen sonuçlar, tüketicilerin ötelenebilir yükleri için sağlayacağı ötelenebilirlik esnekliğiyle ne kadar fazla olursa, ATYS ile elde edilebilecek yararlar da o kadar fazla olmaktadır. Ayrıca, ATYS için planlama ufkunun (tüketicilerin sağladığı ötelenebilirlik esnekliğinin) mümkün olduğunca geniş olması, ATYS ile daha iyi sonuçlar elde edilebileceğini göstermiştir.
- Benzetim ortamında elde edilen bulgularla, test ve ölçüm prototipinden elde edilen bulguların birbirleriyle yüksek derecede uyumlu olduğu tespit edilmiştir.
- Özellikle FV sistemlerden yapılan üretimin fazla olduğu zamanlarda ATYS ile daha iyi sonuçlar elde edebilmek için tüketicilerin tüketimlerini mümkün olduğunca bu zaman dilimine kaydırılması sağlanmalıdır. Bu tezde önerilen net tüketim eğrisi tabanlı dinamik fiyatlandırma sistemi buna katkı sağlayacaktır.
- ATYS'yi test etmek için belirlenen senaryolardan elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, ATYS ile yapılan talep tarafının yönetimi hem tüketicilere hem de elektrik şebekesine olumlu katkılar yapmaktadır. Bu bağlamda uygulanabilecek etkin ve adil TTY ile, tüketicilerin TTY'ye katılımı artacaktır. TTY'ye katılan

tüketici sayısı ne kadar fazla olursa şebeke açısından elde edilebilecek faydalar da o kadar fazla olacaktır. Bu tez kapsamında önerilen CiSeFAT stratejileri, tüketicilere adil ve etkin bir TTY imkânı sağlayarak TTY'ye katılım oranını arttıracaktır.

- Anket sonuçları tüketicilerin önerilen ATYS'ye olumlu baktıklarını göstermiştir. Fakat tüketicilerin ezici bir çoğunluğu akıllı şebeke ve talep tarafının yönetimi konularını ilk defa duymuşlardır. Anket sonuçları, tüketicilerin ötelenebilir yüklerini gün öncesi planlama yapmaktansa, dinamik olarak planlama yapmayı önceliklediklerini göstermektedir. Anket sonuçlarına göre tüketiciler bu tez kapsamında önerilen CiSeFAT stratejisine de olumlu bakmaktadır.



## 5. SONUÇLAR

Bu tez kapsamında FV sistemlerle şebeke bağlantılı üretim yapan konutların bulunduğu bir akıllı şebeke için, sezgisel eniyileme algoritmalarını kullanan, verimlilik odaklı, ölçeklenebilir bir akıllı talep yönetim sistemi (ATYS) ile birlikte yeni bir faturalandırma ve fiyatlandırma sistemleri önerilmiştir. Önerilen sistem, tüketicilerin isteklerini mobil uygulama üzerinden alarak işleyebilen, tüketici istekleri ve konforunu göz önünde bulundurarak, dağıtım şebekelerindeki tepe tüketim değerinin ortalama tüketim değerine olan oranını azaltmayı ve güneş enerjisinden üretilen gücün yüksek olduğu zamanlardaki tüketimi, üretime göre ayarlayarak daha dengeli bir güç tüketim eğrisi oluşturmayı hedeflemektedir. Böylece dağıtım hattında oluşacak olan kayıplar azaltılacak, hattın aşırı ısınması önlenerek hattın daha uzun ömürlü olması sağlanacaktır. Bununla birlikte konutlarda yer alan şebeke bağlantılı FV sistemlerin şebekeye olan etkileri de azaltılmış olacaktır. Bunun sonucunda daha fazla FV sistem elektrik şebekesine eklenebilecektir.

ATYS'nin optimum planlama yapabilmesi için bir denge ölçütü geliştirilerek dengeyi kolla üst hedefi altında kaydır-kullan ve durdur-kullan yöntemleri önerilmiştir. ATYS'nin temel amacı, dengeyi kolla felsefesine göre durdur-kullan ve kaydır kullan yöntemlerini icra ederek, geliştirilen denge ölçütünün olabilecek en minimum değere çekilmesini sağlamak; böylece dengeli bir tüketim eğrisi oluşturmaktır. Bu kapsamda önerilen ATYS, en yeni ve en verimli sezgisel algoritmalarından GKA ve BYOA sezgisel algoritmalarıyla çalıştırılarak bu algoritmaların performansları irdelenmiştir. BYOA algoritmasının GKA algoritmasına göre daha verimli çalıştığı ve BYOA algoritmasının GKA algoritmasına göre daha iyi bir performans ölçütüne ulaştığı tespit edilmiştir.

Önerilen ATYS, sekiz farklı senaryoda test edilerek, ATYS ile güç tüketim eğrilerinde elde edilebilecek iyileştirmeler ortaya konmuştur. Elde edilen bulgular, tüketicilerin isteklerinin oluşma zamanları ve ötelenebilir yük miktarına göre, ATYS ile güç tüketim eğrilerinde elde edilebilecek iyileştirme miktarlarının da değiştiğini göstermiştir. Senaryolardan elde edilen analizler, ATYS'nin planlama yapabileceği öngörü ufğunun geniş olmasının ve planlayacağı ötelenebilir yük miktarının fazla olmasının ATYS'den elde edilebilecek yararları artırdığını göstermiştir.

Üreten-tüketicilerin bulunduğu bir dağıtım sistemi için önerilen net tüketim eğrisi tabanlı dinamik fiyatlandırma sistemi, özellikle FV sistemlerle yapılan üretimlerin fazla olduğu zamanlarda elektrik birim fiyatını düşük tutarak, tüketicilerin tüketimlerini bu zaman dilimlerine kaydırmalarını teşvik edecektir.

Önerilen CiSeFAT stratejisi iki farklı senaryoda test edilerek, tüketicilerin faturalarında elde edebilecekleri indirim miktarları tespit edilmiştir ve ötelenebilirlik katsayısına göre tüketicilere yansıyan faturalardaki değişimler ortaya konmuştur. ATYS sisteminden elde edilebilecek yararları arttırmak için tüketicilerin TTY'ye katılım oranının mümkün olduğunca yüksek olması gerekmektedir. Önerilen CiSeFAT stratejileri ve net tüketim eğrisine göre dinamik değişen fiyatlandırma mekanizması, tüketicilerin TTY'ye katılımını arttıracaktır.

Tüketicilerin önerilen ATYS sistemine ve akıllı şebekelerde TTY'ye olan bakış açılarını ölçmek için yapılan anket sonuçları, tüketicilerin ötelenebilir yüklerini ATYS ve TTY kapsamında kullanmaya istekli olduklarını göstermiştir. Burada tüketicilerin TTY'ye katılım oranını arttıracak olan iki faktör mevcuttur. Bunlardan birincisi, tüketicilerin faturalarında elde edeceği indirim miktarıdır. İkinci önemli faktör ise, tüketicilerin ötelenebilir yüklerini ATYS ile kullanırken konfor düzeylerinin minimum şekilde etkilenmesidir. Bu tez kapsamında önerilen mobil uygulama destekli ATYS sistemi bu iki faktörü göz önünde bulundurarak planlama işlemleri yapmaktadır.

Sonuç olarak bu tezde önerilen ATYS, net tüketim eğrisine dayalı dinamik elektrik fiyat tarifesi oluşturma yaklaşımı ve cihaz seviyesinde faturalandırma (CiSeFAT) yaklaşımları tüketicilerin elektrik faturalarını azaltılmasına, dağıtım şebekesinde oluşan problemlerin çözümüne ve şebekede oluşan kayıpların azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Tüketici taleplerinin yönetilmesiyle, hem dağıtım sistemindeki güç kayıplarının azalması sağlanacak hem de daha fazla FV sistemin öncelikli yerel güç kaynağı olarak kullanılması sağlanacaktır. Böylece, fosil yakıtı dayalı kaynakların kullanımının azaltılmasına katkı sağlanarak ve elektrik şebekesindeki verimin artması sağlanarak daha temiz bir çevrede yaşam sürmemize olanak sağlanmış olacaktır.

## 6. ÖNERİLER

Bu çalışmada önerilen ATYS'nin optimum (eniye) çözümleri bulabilmesi için hesapsal yöntem olarak Guguk Kuşu Arama (GKA) ve Birlikte Yaşayan Organizmalar Arama (BYOA) sezgisel algoritmaları kullanılmıştır. Yapılan benzetim çalışmalarında, BYOA algoritmasının GKA algoritmasında daha üstün olduğu tespit edilmiştir. BYOA ve GKA algoritmaları literatürdeki diğer sezgisel algoritmalarla karşılaştırılabilir, önerilen ATYS'nin optimum çözümü bulması için başka hesapsal yöntemler de kullanılabilir.

Bu çalışmada ATYS'nin denge ölçütünü hesaplayarak optimum planlama yapabilmesi için yük tüketim eğrilerinin ortalaması kullanılmıştır. Dönemsel ve günlük tüketim kestirimi yapılarak daha iyi planlama yapılabilir. Bu tez kapsamında önerilen ATYS ile tek bir tüketim bölgesi için eniyileme çalışmaları yapılmıştır. Önerilen ATYS'nin ölçeklenebilir yapısı ve birçok ATYS'nin birbiriyle iletişim halinde çalışabilme mimarisi yardımıyla, ATYS'nin birden fazla tüketim bölgesinin olduğu dağıtım sisteminde kullanılması durumunda oluşturacağı etkileri tespit etmek için analizler yapılabilir.

Akıllı şebekeler ve talep tarafı yönetiminin yanında önerilen ATYS'ye tüketicilerin bakış açısını ölçmek için hazırlanarak uygulanan anket çalışması, profesyonel anket firmalarının desteği ve buna göre oluşturulacak olan bütçe desteğiyle ulusal düzeyde uygulanabilir. Böylece daha fazla kişiye ulaşılarak daha genelleyici sonuçlar elde edilebilir. Yapılan anket çalışması, tüketicilerin talep tarafı yönetimine olumlu baktıklarını ve konfor seviyelerinin en az şekilde etkilemesi durumunda katılım seviyelerinin yüksek olacağını göstermiştir. Akıllı şebekeler ana başlığı altında, tüketicileri enerji verimliliği ve talep tarafının yönetimine teşvik eden bilinçlendirici çalışmalar gerçekleştirilmelidir.

Bu tezde önerilen ATYS'ye ve CiSeFAT stratejisine hizmet edecek ürün geliştirmeye yönelik çalışmalar yapılmalıdır. Bu çalışmada önerilen fiyatlandırma sistemi, serbest piyasa ekonomisi ve ulusal fiyatlandırma sistemlerine entegre edilecek şekilde geliştirilebilir ve gelecekte uygulanabilmesi için çalışmalar yapılabilir. Yukarıda ifade edilen ürünler geliştirilip, bu tez kapsamında TÜBİTAK EEEAG-115E943 numaralı proje desteğiyle, hizmet alımı yapılarak gerçekleştirilen mobil uygulamaya entegre edilerek kullanılabilir.

## 7. KAYNAKLAR

1. Conti, J., Holtberg, P., Diefenderfer, J., LaRose, A., Turnure, J.T. ve Westfall, L. International Energy Outlook 2016 With Projections to 2040, U.S. Energy Information Administration, Washington, DC, 2016.
2. International Energy Agency (IEA), Trends 2017 in Photovoltaic Applications, 2017.
3. <https://www.teias.gov.tr/sites/default/files/2018-01/Kguc2017.pdf> Türkiye Elektrik Sistemi Kuruluş ve Kaynaklara Göre Kurulu Güç-2017. 12 Mayıs 2018.
4. <https://kusip.gov.tr/kusip/yonetici/tematikAlanEkGoster.htm?id=75> Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı. 11 Mayıs 2018.
5. [https://www.teias.gov.tr/sites/default/files/2018-03/kurulu\\_guc.pdf](https://www.teias.gov.tr/sites/default/files/2018-03/kurulu_guc.pdf) Türkiye Elektrik Sistemi Kuruluş ve Kaynaklara Göre Kurulu Güç-2018. 12 Mayıs 2018.
6. Ghosh, S., Rahman, S. ve Pipattanasomporn, M., Distribution Voltage Regulation Through Active Power Curtailment With PV Inverters and Solar Generation Forecasts, IEEE Transactions on Sustainable Energy, 8,1 (2017) 13-22.
7. Tonkoski, R., Lopes, L.A.C. ve El-Fouly, T.H.M., Coordinated Active Power Curtailment of Grid Connected PV Inverters for Overvoltage Prevention, IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2,2 (2011) 139-147.
8. DEVER, A., Tip'ler İnsanı "Modernleşmenin Benzeşen Bireyleri", Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 4,7 (2013).
9. Sanquist, T.F., Orr, H., Shui, B. ve Bittner, A.C., Lifestyle factors in U.S. residential electricity consumption, Energy Policy, 42 (2012) 354-364.
10. Sevtsuk, A. ve Ratti, C., Does urban mobility have a daily routine? Learning from the aggregate data of mobile networks, Journal of Urban Technology, 17,1 (2010) 41-60.
11. Lior, N., Sustainable energy development: The present (2009) situation and possible paths to the future, Energy, 35,10 (2010) 3976-3994.
12. Yumurtacı, Z. ve Dönmez, A.H., Konutlarda enerji verimliliği, Mühendis ve Makina, 54,637 (2013) 38-43.
13. de Almeida, A., Fonseca, P., Schlomann, B. ve Feilberg, N., Characterization of the household electricity consumption in the EU, potential energy savings and specific policy recommendations, Energy and Buildings, 43,8 (2011) 1884-1894.

14. Gelazanskas, L. ve Gamage, K.A.A., Demand side management in smart grid: A review and proposals for future direction, Sustainable Cities and Society, 11 (2014) 22-30.
15. International Energy Agency(IEA), World Energy Outlook 2016, IEA Publications, Paris, 2016.
16. Farhangi, H., The path of the smart grid, IEEE Power and Energy Magazine, 8,1 (2010) 18-28.
17. Gellings, C.W., The concept of demand-side management for electric utilities, Proceedings of the IEEE, 73,10 (1985) 1468-1470.
18. Siano, P., Demand response and smart grids—A survey, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 30 (2014) 461-478.
19. <http://www.solarpowereurope.org> Global Market Outlook 2017-2021. 11 Mayıs 2018.
20. Karimi, M., Mokhlis, H., Naidu, K., Uddin, S. ve Bakar, A.H.A., Photovoltaic penetration issues and impacts in distribution network – A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 53 (2016) 594-605.
21. Mahmud, M.A., Hossain, M.J. ve Pota, H.R., Voltage Variation on Distribution Networks With Distributed Generation: Worst Case Scenario, IEEE Systems Journal, 8,4 (2014) 1096-1103.
22. Ochoa, L.F., Padilha-Feltrin, A. ve Harrison, G.P., Evaluating distributed generation impacts with a multiobjective index, IEEE Transactions on Power Delivery, 21,3 (2006) 1452-1458.
23. Thomson, M. ve Infield, D.G., Impact of widespread photovoltaics generation on distribution systems, IET Renewable Power Generation, 1,1 (2007) 33-40.
24. Woyte, A., Thong, V.V., Belmans, R. ve Nijs, J., Voltage fluctuations on distribution level introduced by photovoltaic systems, IEEE Transactions on Energy Conversion, 21,1 (2006) 202-209.
25. Ackermann, T., Andersson, G. ve Söder, L., Distributed generation: a definition, Electric Power Systems Research, 57,3 (2001) 195-204.
26. Ackermann, T., Garner, K. ve Gardiner, A., Embedded wind generation in weak grids—economic optimisation and power quality simulation, Renewable Energy, 18,2 (1999) 205-221.
27. Fernandez, L.P., Roman, T.G.S., Cossent, R., Domingo, C.M. ve Frias, P., Assessment of the Impact of Plug-in Electric Vehicles on Distribution Networks, IEEE Transactions on Power Systems, 26,1 (2011) 206-213.



28. Green, R.C., Wang, L. ve Alam, M., The impact of plug-in hybrid electric vehicles on distribution networks: A review and outlook, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15,1 (2011) 544-553.
29. Güneş, D., Tekdemir, İ.G., Şengül, M. ve Alboyacı, B., Elektrikli araç şarj istasyonu yüklerinin güvenilirlik indisleri üzerine etkilerinin incelenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi; (2018).
30. Putrus, G.A., Suwanapingkarl, P., Johnston, D., Bentley, E.C. ve Narayana, M., Impact of electric vehicles on power distribution networks, 2009 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Sept. 2009, Dearborn, Conference Proceedings, 827-831.
31. Amin, S.M. ve Wollenberg, B.F., Toward a smart grid: power delivery for the 21st century, IEEE Power and Energy Magazine, 3,5 (2005) 34-41.
32. Wissner, M., The Smart Grid – A saucerful of secrets?, Applied Energy, 88,7 (2011) 2509-2518.
33. Cardell, J. ve Tabors, R., Operation and Control in a Competitive Market: Distributed Generation in a Restructured Industry, The Energy Journal, 18 (1997) 111-136.
34. Uddin, M., Romlie, M.F., Abdullah, M.F., Abd Halim, S., Abu Bakar, A.H. ve Chia Kwang, T., A review on peak load shaving strategies, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82 (2018) 3323-3332.
35. Moura, P.S. ve de Almeida, A.T., The role of demand-side management in the grid integration of wind power, Applied Energy, 87,8 (2010) 2581-2588.
36. Stadler, I., Power grid balancing of energy systems with high renewable energy penetration by demand response, Utilities Policy, 16,2 (2008) 90-98.
37. Xu, T. ve Taylor, P.C., Voltage Control Techniques for Electrical Distribution Networks Including Distributed Generation, IFAC Proceedings Volumes, 41,2 (2008) 11967-11971.
38. Davito, B., Tai, H. ve Uhlener, R., The smart grid and the promise of demand-side management, McKinsey on Smart Grid, 3 (2010) 8-44.
39. Verbong, G.P.J., Beemsterboer, S. ve Sengers, F., Smart grids or smart users? Involving users in developing a low carbon electricity economy, Energy Policy, 52 (2013) 117-125.
40. Vardakas, J.S., Zorba, N. ve Verikoukis, C.V., A Survey on Demand Response Programs in Smart Grids: Pricing Methods and Optimization Algorithms, IEEE Communications Surveys & Tutorials, 17,1 (2015) 152-178.
41. Beaudin, M. ve Zareipour, H., Home energy management systems: A review of modelling and complexity, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 45 (2015) 318-335.

42. Castillo-Cagigal, M., Gutiérrez, A., Monasterio-Huelin, F., Caamaño-Martín, E., Masa, D. ve Jiménez-Leube, J., A semi-distributed electric demand-side management system with PV generation for self-consumption enhancement, Energy Conversion and Management, 52,7 (2011) 2659-2666.
43. Ozturk, Y., Senthilkumar, D., Kumar, S. ve Lee, G., An Intelligent Home Energy Management System to Improve Demand Response, IEEE Transactions on Smart Grid, 4,2 (2013) 694-701.
44. Conejo, A.J., Morales, J.M. ve Baringo, L., Real-Time Demand Response Model, IEEE Transactions on Smart Grid, 1,3 (2010) 236-242.
45. Zhou, S., Wu, Z., Li, J. ve Zhang, X.-p., Real-time Energy Control Approach for Smart Home Energy Management System, Electric Power Components and Systems, 42,3-4 (2014) 315-326.
46. Pipattanasomporn, M., Kuzlu, M. ve Rahman, S., An Algorithm for Intelligent Home Energy Management and Demand Response Analysis, IEEE Transactions on Smart Grid, 3,4 (2012) 2166-2173.
47. Laicane, I., Blumberga, D., Blumberga, A. ve Rosa, M., Reducing Household Electricity Consumption through Demand Side Management: The Role of Home Appliance Scheduling and Peak Load Reduction, Energy Procedia, 72 (2015) 222-229.
48. Hong, S.H., Yu, M. ve Huang, X., A real-time demand response algorithm for heterogeneous devices in buildings and homes, Energy, 80 (2015) 123-132.
49. Li, J., Chung, J.Y., Xiao, J., Hong, J.W.K. ve Boutaba, R., On the design and implementation of a home energy management system, International Symposium on Wireless and Pervasive Computing, Feb. 2011, Hong Kong, Conference Proceedings 2011: 1-6.
50. Tascikaraoglu, A., Boynuegri, A.R. ve Uzunoglu, M., A demand side management strategy based on forecasting of residential renewable sources: A smart home system in Turkey, Energy and Buildings, 80 (2014) 309-320.
51. Pedrasa, M.A.A., Spooner, T.D. ve MacGill, I.F., Coordinated Scheduling of Residential Distributed Energy Resources to Optimize Smart Home Energy Services, IEEE Transactions on Smart Grid, 1,2 (2010) 134-143.
52. Jamasb, T. ve Pollitt, M.G., The future of electricity demand: Customers, citizens and loads, 69, Cambridge University Press, 2011.
53. Muratori, M. ve Rizzoni, G., Residential Demand Response: Dynamic Energy Management and Time-Varying Electricity Pricing, IEEE Transactions on Power Systems, 31,2 (2016) 1108-1117.
54. Park, L., Jang, Y., Cho, S. ve Kim, J., Residential Demand Response for Renewable Energy Resources in Smart Grid Systems, IEEE Transactions on Industrial Informatics, 13,6 (2017) 3165-3173.

55. Siano, P., Graditi, G., Atrigna, M. ve Piccolo, A., Designing and testing decision support and energy management systems for smart homes, Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 4,6 (2013) 651-661.
56. Fadlullah, Z.M. ve Kato, N., Research Methods and Challenges in Demand Side Management, IEEE Smart Grid, 2 (2013) 2013.
57. Lui, T.J., Stirling, W. ve Marcy, H.O., Get Smart, IEEE Power and Energy Magazine, 8,3 (2010) 66-78.
58. <https://www.sma.de/en/home-systems/energyplus-solution.html> SMA Sunny Home Manager. 24.04.2018.
59. Caprino, D., Della Vedova, M.L. ve Facchinetti, T., Peak shaving through real-time scheduling of household appliances, Energy and Buildings, 75 (2014) 133-148.
60. Shaw, R., Attree, M., Jackson, T. ve Kay, M., The value of reducing distribution losses by domestic load-shifting: a network perspective, Energy Policy, 37,8 (2009) 3159-3167.
61. M. Bilton, M.A., M. Woolf, G.Strbac, Smart appliances for residential demand response. Report A10 for the “Low Carbon London” LCNF project, Imperial College London, 2014.
62. Nistor, S., Wu, J., Sooriyabandara, M. ve Ekanayake, J., Capability of smart appliances to provide reserve services, Applied Energy, 138 (2015) 590-597.
63. Stamminger, R. ve Schmitz, A., Load profiles and flexibility in operation of washing machines and dishwashers in Europe, International Journal of Consumer Studies, 41,2 (2016) 178-187.
64. Logenthiran, T., Srinivasan, D. ve Shun, T.Z., Demand Side Management in Smart Grid Using Heuristic Optimization, IEEE Transactions on Smart Grid, 3,3 (2012) 1244-1252.
65. Shaikh, P.H., Nor, N.B.M., Nallagownden, P., Elamvazuthi, I. ve Ibrahim, T., A review on optimized control systems for building energy and comfort management of smart sustainable buildings, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 34 (2014) 409-429.
66. Cakmak, R. ve Altas, I.H., Scheduling of domestic shiftable loads via Cuckoo search optimization algorithm, 2016 4th International Istanbul Smart Grid Congress and Fair (ICSG), April 2016, İstanbul, Conference Proceedings: 1-4.
67. Çakmak, R. ve Altaş, İ.H., Optimal scheduling of time shiftable loads in a task scheduling based demand response program by symbiotic organisms search algorithm, 2017 Saudi Arabia Smart Grid (SASG), Dec. 2017, Jeddah, Conference Proceedings: 1-7.

68. Qian, L.P., Zhang, Y.J.A., Huang, J. ve Wu, Y., Demand Response Management via Real-Time Electricity Price Control in Smart Grids, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 31,7 (2013) 1268-1280.
69. Ramchurn, S.D., Vytelingum, P., Rogers, A. ve Jennings, N., Agent-based control for decentralised demand side management in the smart grid, The 10th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, May 2011, Taipei, Conference Proceedings Volume 1: 5-12.
70. Bakr, S. ve Cranefield, S., Optimizing Shiftable Appliance Schedules across Residential Neighbourhoods for Lower Energy Costs and Fair Billing, Australasian Workshop on Artificial Intelligence in Health (AIH 2013) and International Workshop on Collaborative Agents - Research and Development (CARE 2013), December 2013, Dunedin, Conference Proceedings: 45-52.
71. Baharlouei, Z., Hashemi, M., Narimani, H. ve Mohsenian-Rad, H., Achieving Optimality and Fairness in Autonomous Demand Response: Benchmarks and Billing Mechanisms, IEEE Transactions on Smart Grid, 4,2 (2013) 968-975.
72. Vuppala, S.K., Padmanabh, K., Sumit Kumar, B. ve Paul, S., Incorporating fairness within Demand response programs in smart grid, ISGT 2011, Jan. 2011, Perth, WA, Conference Proceedings: 1-9.
73. Baharlouei, Z. ve Hashemi, M., Efficiency-Fairness Trade-off in Privacy-Preserving Autonomous Demand Side Management, IEEE Transactions on Smart Grid, 5,2 (2014) 799-808.
74. Li, Z., Wang, S., Zheng, X., Leon, F.D. ve Hong, T., Dynamic Demand Response using Customer Coupons Considering Multiple Load Aggregators to Simultaneously Achieve Efficiency and Fairness, IEEE Transactions on Smart Grid, 9,4 (2018) 3112-3121.
75. Yaagoubi, N. ve Mouftah, H.T., Fairness-Aware Game Theoretic Approach for Demand Response in Microgrids, 2015 Seventh Annual IEEE Green Technologies Conference, April 2015, New Orleans, Louisiana, Conference Proceedings: 125-131.
76. Rasheed, M.B., Javaid, N., Awais, M., Akbar, M. ve Khan, Z.A., A Novel Pricing Mechanism for Demand Side Load Management in Smart Grid, 2017 31st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), March 2017, Taipei, Conference Proceedings: 283-290.
77. Assaf, T., Osman, A.H. ve Hassan, M., Fair Autonomous Energy Consumption Scheduling Based on Game-Theoretic Approach for the Future Smart Grid, 2016 UKSim-AMSS 18th International Conference on Computer Modelling and Simulation (UKSim), April 2016, Cambridge, Conference Proceedings: 235-239.
78. Benysek, G., Bojarski, J., Jarnut, M. ve Smolenski, R., Decentralized Active Demand Response (DADR) system for improvement of frequency stability in distribution network, Electric Power Systems Research, 134 (2016) 80-87.

79. Giusti, A., Salani, M., Caro, G.A.D., Rizzoli, A.E. ve Gambardella, L.M., Restricted Neighborhood Communication Improves Decentralized Demand-Side Load Management, IEEE Transactions on Smart Grid, 5,1 (2014) 92-101.
80. Safdarian, A., Fotuhi-Firuzabad, M. ve Lehtonen, M., Optimal Residential Load Management in Smart Grids: A Decentralized Framework, IEEE Transactions on Smart Grid, 7,4 (2016) 1836-1845.
81. Santoro, P., Calderaro, V., Galdi, V. ve Piccolo, A., A comparative study of centralized and decentralized active power control in residential energy districts, 2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), June 2016, Florence, Conference Proceedings: 1-5.
82. Werminski, S., Jarnut, M., Benysek, G. ve Bojarski, J., Demand side management using DADR automation in the peak load reduction, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 67 (2017) 998-1007.
83. Supriya, P., Nambiar, T.N.P., Charu, R., Tyagi, A., Nagadharni, V. ve Deepika, M., A laboratory prototype of a smart grid based demand side management, ISGT2011-India, Dec. 2011, Kerala Section Kerala, Conference Proceedings: 28-31.
84. Hu, Q. ve Li, F., Hardware Design of Smart Home Energy Management System With Dynamic Price Response, IEEE Transactions on Smart Grid, 4,4 (2013) 1878-1887.
85. Nalajala, N., Chen, H. ve Jin, T., A closed-loop home energy automation system via power provisioning, 2013 IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control and Intelligent Systems, May 2013, Nanjing, Conference Proceedings: 423-427.
86. Leng, D. ve Polmai, S., Experiment on distributed cooperative control with multi-agent system for a single-phase microgrid, 2015 12th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), June 2015, Petchaburi Hua Hin Cha Am, Conference Proceedings: 1-6.
87. Mert, W., Suschek-Berger, J. ve Tritthart, W., Consumer acceptance of smart appliances, Smart domestic appliances in sustainable energy systems (Smart-A), (2008).
88. Oseni, M.O., Pollitt, M.G., Retner, D., Richter, L.-L., Chyong, K. ve Baddeley, M., 2013 EPRG Public Opinion Survey: Smart Energy Survey—Attitudes and Behaviours, (2013).
89. Spence, A., Demski, C., Butler, C., Parkhill, K. ve Pidgeon, N., Public perceptions of demand-side management and a smarter energy future, Nature Climate Change, 5 (2015) 550.
90. Heeks, R., Do information and communication technologies (ICTs) contribute to development?, Journal of International Development, 22,5 (2010) 625-640.

91. Kopetz, H., Real-time systems, Internet of things, Springer, 307-323, 2011.
92. Weber, R.H. ve Weber, R., Internet of things, 12, Springer, 2010.
93. Xia, F., Yang, L.T., Wang, L. ve Vinel, A., Internet of things, International Journal of Communication Systems, 25,9 (2012) 1101.
94. Chen, M., Mao, S., Zhang, Y. ve Leung, V.C.M., Big Data: Related Technologies, Challenges and Future Prospects, Big Data Analysis, M. Chen, et al. editors, Springer International Publishing, Cham, 51-58, 2014.
95. Russell, S.J. ve Norvig, P., Artificial intelligence: a modern approach, Malaysia; Pearson Education Limited, 2016.
96. Karnouskos, S., Crowdsourcing information via mobile devices as a migration enabler towards the SmartGrid, 2011 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm), Oct. 2011, Brussels, Conference Proceedings: 67-72.
97. Viswanath, S.K., Yuen, C., Tushar, W., Li, W.T., Wen, C.K., Hu, K., Chen, C. ve Liu, X., System design of the internet of things for residential smart grid, IEEE Wireless Communications, 23,5 (2016) 90-98.
98. <http://www.iec.ch/smartgrid/background/explained.htm> What is a Smart Grid? 7 Mayıs 2018.
99. Cunjiang, Y., Huaxun, Z. ve Lei, Z., Architecture Design For Smart Grid, Energy Procedia, 17 (2012) 1524-1528.
100. Momoh, J.A., Smart grid design for efficient and flexible power networks operation and control, 2009 IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition, March 2009, Seattle, Washington, Conference Proceedings: 1-8.
101. Kosek, A.M., Costanzo, G.T., Bindner, H.W. ve Gehrke, O., An overview of demand side management control schemes for buildings in smart grids, 2013 IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE), Aug. 2013, Oshawa, Conference Proceedings: 1-9.
102. Qureshi, J.A., Gul, M. ve Qureshi, W.A., Demand Side Management through innovative load control, TENCON 2010 - 2010 IEEE Region 10 Conference, Nov. 2010, Fukuoka, Conference Proceedings: 580-585.
103. Ullah, M.N., Javaid, N., Khan, I., Mahmood, A. ve Farooq, M.U., Residential Energy Consumption Controlling Techniques to Enable Autonomous Demand Side Management in Future Smart Grid Communications, 2013 Eighth International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications, Oct. 2013, Compiegne, Conference Proceedings: 545-550.
104. Voropai, N.I., Efimov, D.N. ve Khanaev, V.V., Demand side management and load control in Russia: Experience and perspective view for the next two decades, IEEE PES General Meeting, Minnesota, July 2010, Conference Proceedings: 1-7.

105. Özil, E., Şişbot, S., Özpınar, A. ve Olgun, B., Elektrik Enerjisi Teknolojileri ve Enerji Verimliliği – Cilt 3 : Konvansiyonel Santraller ve Verimlilik, Türkiye Elektrik Sanayicileri Birliği- TESAB, Ankara, 2013.
106. Çelik, E., Dünyayı Değiştiren Müslüman ve Türk Bilim Adamları, Tutku Yayınevi, Ankara, 2018.
107. Şen, Z., Genetik Algoritmalar ve En İyileme Yöntemleri, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 2004.
108. Karaboğa, D., Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 2017.
109. Elmas, Ç., Yapay Zeka Uygulamaları, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2007.
110. Karasulu, B., Esnek Hesaplama-Melez Zeki Sistemler İçin Bir Rehber, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 2015.
111. Talbi, E.-G., Metaheuristics: from design to implementation, John Wiley & Sons, 2009.
112. Yang, X.-S., Nature-inspired optimization algorithms, Elsevier, 2014.
113. Cheng, M.-Y. ve Prayogo, D., Symbiotic Organisms Search: A new metaheuristic optimization algorithm, Computers & Structures, 139 (2014) 98-112.
114. Yang, X.S. ve Suash, D., Cuckoo Search via Levy flights, 2009 World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC), Dec. 2009, Coimbatore, Conference Proceedings: 210-214.
115. Storn, R., On the usage of differential evolution for function optimization, Proceedings of North American Fuzzy Information Processing, 19-22 Jun 1996: 519-523.
116. Yang, X.-S., Flower Pollination Algorithm for Global Optimization, International Conference on Unconventional Computation and Natural Computation, 2012, Berlin, Conference Proceedings: 240-249.
117. Holland, J.H., Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence, MIT press, 1992.
118. Kennedy, J. ve Eberhart, R., Particle swarm optimization, 1995. Proceedings., IEEE International Conference on Neural Networks, 4: 1942-1948
119. Yang, X.-S., Firefly algorithms for multimodal optimization, International symposium on stochastic algorithms, 2009, Berlin, Conference Proceedings: 169-178.
120. Dorigo, M., Maniezzo, V. ve Colorni, A., The ant system: An autocatalytic optimizing process, (1991).

121. Karaboga, D., An idea based on honey bee swarm for numerical optimization (Technical Report-TR06), Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department Kayseri 2005.
122. Yang, X.-S., Nature inspired cooperative strategies for optimization (NICSO 2010), A new metaheuristic bat-inspired algorithm, Springer, 65-74, 2010.
123. Rashedi, E., Nezamabadi-pour, H. ve Saryazdi, S., GSA: A Gravitational Search Algorithm, Information Sciences, 179,13 (2009) 2232-2248.
124. Watkins, A., Timmis, J. ve Boggess, L., Artificial Immune Recognition System (AIRS): An Immune-Inspired Supervised Learning Algorithm, Genetic Programming and Evolvable Machines, 5,3 (2004) 291-317.
125. Atashpaz-Gargari, E. ve Lucas, C., Imperialist competitive algorithm: An algorithm for optimization inspired by imperialistic competition, 2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation, Sept. 2007, Singapore, Conference Proceedings: 4661-4667.
126. Baysal, Y.A. ve Altas, I.H., Cuckoo search algorithm for power loss minimization by optimal capacitor allocation in radial power systems, 2016 International Symposium on INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA), Aug. 2016, Sinaia, Conference Proceedings: 1-5.
127. Chitara, D., Niazi, K.R., Swarnkar, A. ve Gupta, N., Cuckoo Search Optimization algorithm for designing of multimachine Power System Stabilizer, 2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES), July 2016, Delhi, Conference Proceedings: 1-6.
128. Civicioglu, P. ve Besdok, E., A conceptual comparison of the Cuckoo-search, particle swarm optimization, differential evolution and artificial bee colony algorithms, Artificial Intelligence Review, 39,4 (2013) 315-346.
129. Das, D., Bhattacharya, A. ve Ray, R., Symbiotic organisms search algorithm for economic dispatch problems, 2017 Second International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT), Feb. 2017, Coimbatore, Conference Proceedings: 1-7.
130. Kenan Dosoglu, M., Guvenc, U., Duman, S., Sonmez, Y. ve Tolga Kahraman, H., Symbiotic organisms search optimization algorithm for economic/emission dispatch problem in power systems, Neural Computing and Applications, 29,3 (2018) 721-737.
131. Rezk, H., Fathy, A. ve Abdelaziz, A.Y., A comparison of different global MPPT techniques based on meta-heuristic algorithms for photovoltaic system subjected to partial shading conditions, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 74 (2017) 377-386.
132. Yang, X.-S. ve Deb, S., Engineering optimisation by cuckoo search, International Journal of Mathematical Modelling and Numerical Optimisation, 1,4 (2010) 330-343.



133. Jourdain, F.C.R., A Study on Parasitism in the Cuckoos, Proceedings of the Zoological Society of London, 95,2 (1925) 639-667.
134. Barthelemy, P., Bertolotti, J. ve Wiersma, D.S., A Lévy flight for light, Nature, 453 (2008) 495.
135. Pavlyukevich, I., Lévy flights, non-local search and simulated annealing, J. Comput. Phys., 226,2 (2007) 1830-1844.
136. Akalın, M., Örnek Açıklamalarıyla Sosyal Bilimlerde Araştırma Tekniği-Anket, 1. Baskı, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2015.
137. Arıkan, R., Anketler ve Anket Soruları, 1.Baskı, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 2013.
138. Zhou, Y., Chen, Y., Xu, G. ve Zheng, C., Home energy management from demand side in smart grid, 2014 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA), May 2014, Kuala Lumpur, Conference Proceedings: 180-185.
139. Liu, Y., Yuen, C., Huang, S., Hassan, N.U., Wang, X. ve Xie, S., Peak-to-Average Ratio Constrained Demand-Side Management With Consumer's Preference in Residential Smart Grid, IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 8,6 (2014) 1084-1097.
140. <http://www.pecanstreet.org/> Pecan Street Inc. 1 Mayıs 2017.
141. Mungkung, N., Gomurut, N., Tanitteerapan, T., Arunrungrusmi, S., Chaokumnerd, W. ve Yuji, T., Analysis of technical loss in distribution line system, 8th WSEAS International Conference on Telecommunications and Informatics, 2009, İstanbul, Conference Proceedings: 26-30.
142. Gonen, T., Electric power distribution engineering, CRC press, 2016.
143. Yıldız, S., Elektronik hizmet marka değerini etkileyen faktörler: Elektronik hizmet müşterileri üzerine bir uygulama, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Trabzon, 2011.
144. ÇİLİNGİR, Z.Ç. ve YILDIZ, S., Tüketicilerin ürünlere olan ilgileniminin marka sadakati üzerindeki etkisi: Sembolik nitelikteki bir ürün grubu için İstanbul ili pilot çalışması, Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi, 6,11 (2012) 79-100.
145. Altunişik, R., Coşkun, R., Bayraktaroğlu, S. ve Yildirim, E., Sosyal bilimlerde araştırma yöntemleri, Sakarya Yayıncılık, Sakarya, 226 (2007).
146. Çevik, S., YSA tabanlı gün öncesi saatlik güneş ışınım kestirimi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2018.
147. Çoruh Elektrik Dağıtım A.Ş. Trabzon İl Müdürlüğü.

## **8. EKLER**

EK-1: Anket Formu



## EK-1

## ANKET

## AKILLI ELEKTRİK ŞEBEKELERİ ve AKILLI TALEP KONTROL SİSTEMİ



Saygıdeğer Katılımcı;

Bu çalışma tüketicilerin evlerinde kullandıkları çalışma zamanı ötelenebilir ev aletlerinin akıllı şebeke ve talep tarafı kontrol sistemleriyle tüketicinin istekleri doğrultusunda planlanması ve işletilmesine yönelik düşüncelerinin belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır. Araştırma, tamamen bilimsel amaçlarla kullanılacak olup elde edilen bulguların geçerliliği, sorulara vereceğiniz cevapların gerçek durumu yansıtmasıyla mümkün olacaktır. Anketi cevaplamanız yaklaşık 4 dakikanızı alacaktır. Anketi cevaplayarak çalışmaya sağladığınız katkılardan ötürü teşekkür ederiz.

Recep ÇAKMAK  
Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ

## 5 Adımda Akıllı Talep Kontrol Sistemi

Makinelere istediğiniz zaman çalıştırabilirsiniz. Ancak zaman aralığı girerek **akıllı talep kontrol sistemiyle kullanırsanız daha az ödersiniz**

①

②

③

④

⑤

**1- Cinsiyetiniz? 2- Yaşınız? 3- Aylık Hane Geliriniz? 4- Öğrenim Durumunuz? 5- Mesleğiniz? 6 - Aylık ortalama elektrik faturanız ne kadardır? 7- Yaşadığınız evin büyüklüğü?**

( ) Kadın ( ) 18 – 28 ( ) 1300 TL ve altı ( ) İlköğretim ( ) Serbest Meslek ( ) 50 TL ve daha az ( ) 80 m<sup>2</sup> ve daha az  
 ( ) Erkek ( ) 29 – 39 ( ) 1301 TL – 2000 TL ( ) Lise ( ) Esnaf ( ) 51-70 TL ( ) 81-100 m<sup>2</sup>  
 ( ) 40 – 50 ( ) 2001 TL – 3000 TL ( ) Ön lisans ( ) Memur ( ) 71-90 TL ( ) 101-120 m<sup>2</sup>  
 ( ) 51 – 61 ( ) 3001 TL – 4000 TL ( ) Üniversite ( ) İşçi ( ) 91-110 TL ( ) 121-140 m<sup>2</sup>  
 ( ) 62 ve üzeri ( ) 4001 TL – 5000 TL ( ) Yüksek Lisans / Doktora ( ) Emekli ( ) 111-130 TL ( ) 141-160 m<sup>2</sup>  
 ( ) 5001 TL ve üzeri ( ) Ev Hanımı ( ) Öğrenci ( ) 131-150 TL ( ) 161 m<sup>2</sup> ve daha fazla  
 ( ) Diğer ..... ( ) 151 ve daha fazla

**8- Yaşadığınız ev kaç odalıdır? 9- Yaşadığınız evde kaç kişi yaşamaktadır? 10 – Akıllı Kontrol Sistemiyle elektrik faturanızda beklediğiniz tasarruf oranı?**

( ) 1+1 ( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) % 10  
 ( ) 2+1 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5 ( ) % 11-% 20  
 ( ) 3+1 ( ) 4+1 ( ) 6 ve daha fazla ( ) % 21-% 30  
 ( ) 4+1 ( ) 5+1 ve daha fazla ( ) % 31-% 40  
 ( ) % 41 ve üzeri

| (Kesinlikle <u>katılmıyorum</u> =1) (Katılmıyorum=2) (Katılıp katılmama oranım eşit=3) (Katılıyorum=4) (Kesinlikle katılıyorum=5)                                  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|---|---|---|---|---|
| Akıllı elektrik şebekesi kavramını daha önce duydum  |   |   |   |   |   |
| Talep tarafı yönetimi kavramını daha önce duydum   |   |   |   |   |   |
| Elektrik faturamın daha az gelmesi için elektrik tüketim değerlerimin izlenmesini ve kaydedilmesini isterim  |   |   |   |   |   |
| Elektrik faturamı azaltmak için akıllı cihazlar ile yönlendirilmeyi isterim  |   |   |   |   |   |
| Düşük fatura ödemek için çamaşır ve bulaşık makinemi elektrikli ucuz olduğu zamanlarda çalıştırmak isterim   |   |   |   |   |   |
| Düşük fatura ödemek için çamaşır ve bulaşık makinemin benim belirleyeceğim bir zaman aralığında akıllı kontrol sistemiyle otomatik olarak çalıştırılmasını isterim |   |   |   |   |   |
| Çamaşır ve bulaşık makinemin otomatik olarak çalıştırılması için makineyi hazır hale getirmek elektrik faturamı azaltacağı için katlanabileceğim bir durumdur      |   |   |   |   |   |
| Çamaşır ve bulaşık makinemi akıllı kontrol sistemiyle planlarsam daha ucuz elektrik fiyatıyla çalışmasını isterim  |   |   |   |   |   |
| Ütü yapacağım zamanı akıllı kontrol sistemiyle planlayarak daha az elektrik faturası ödemeyi tercih ederim   |   |   |   |   |   |
| Elektrik süpürge çalıştıracığım zamanı akıllı kontrol sistemiyle planlayarak daha az fatura ödemeyi tercih ederim  |   |   |   |   |   |
| Akıllı kontrol sistemini evimde kullanmak isterim  |   |   |   |   |   |
| Akıllı kontrol sistemiyle çalıştıracığım makinelerimi gün öncesi planlama yapabilirim  |   |   |   |   |   |
| Akıllı kontrol sistemiyle çalıştıracığım makinelerimi çalıştırmayı düşündüğüm anda planlama yapmak isterim   |   |   |   |   |   |

1- Lütfen Akıllı Kontrol Sisteminin yönlendirmeleriyle kullanmak istediğiniz cihazları işaretleyiniz.

- Çamaşır Makinesi  Elektrikli Süpürge  Ütü  
 Bulaşık Makinesi  Çamaşır Kurutma Makinesi  Diğer.....

2- Lütfen aşağıdaki cihazlardan kullandıklarınızı işaretleyip, kaç saat çalıştığını yazınız ve çalıştırdığınız saat aralıklarını seçiniz

| Cihaz Adı   | Genellikle çalıştırdığımız saat aralığı |                          |                          |                          | Kaç saat çalışır? |
|---|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|
|   | 06:01<br>12:00                          | 12:01<br>18:00           | 18:01<br>23:59           | 00:00<br>06:00           |                   |
| <input type="checkbox"/> Çamaşır Makinesi         | <input type="checkbox"/>                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                   |
| <input type="checkbox"/> Bulaşık Makinesi         | <input type="checkbox"/>                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                   |
| <input type="checkbox"/> Çamaşır Kurutma Makinesi | <input type="checkbox"/>                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                   |
| <input type="checkbox"/> Ütü                      | <input type="checkbox"/>                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                   |
| <input type="checkbox"/> Elektrikli Süpürge       | <input type="checkbox"/>                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                   |

Anketimize katıldığınız için teşekkür ederiz.

## ÖZGEÇMİŞ

Recep ÇAKMAK Erzincan'ın Kemah İlçesinin Dikyamaç Köyü'nde dünyaya geldi. Kemah Lisesi'nde başladığı Lise eğitimini Erzincan Atatürk Lisesi'nde okul birincisi olarak 2005 senesinde tamamladı. Aynı yıl kazandığı Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden bölüm ikinciliği ve Mühendislik Fakültesi ikinciliği dereceleriyle 2009 yılında mezun oldu. Ağustos 2009'da Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Eylül 2009'da Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Kasım 2010'da TÜbitak Yurt içi Bilim İnsanı Destekleme Programı kapsamında yurt içi yüksek lisans bursunu kazandı. Ocak 2011'de kazandığı Yüksek Öğretim Kurulu yurt dışı yüksek lisans araştırma bursu kapsamında, University of New Brunswick'te (Kanada) bulunan Sustainable Power Research Group'da ziyaretçi araştırmacı olarak akademik çalışmalar yaptı. Haziran 2012'de yüksek lisans eğitimini tamamlayarak Elektrik Yüksek Mühendisi unvanını aldı. Temmuz 2012'de Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora eğitimine başladı. Temmuz 2016-Haziran 2018 tarihleri arasında doktora tezi çalışmalarını içeren 1001 kodlu EEEAG-115E943 numaralı TÜBİTAK projesinde çalıştı. Evli ve bir çocuk babası olan Çakmak, yabancı dil olarak İngilizce bilmektedir.

### YAYINLARI

1. **Çakmak, R.** ve Altaş, İ.H., Optimal scheduling of time shiftable loads in a task scheduling based demand response program by symbiotic organisms search algorithm, 2017 Saudi Arabia Smart Grid (SASG), 12-14 Dec. 2017, Jeddah, Conference Proceedings: 1-7.
2. Hamzaçebi, C., Es, H.A. ve **Çakmak, R.**, Forecasting of Turkey's monthly electricity demand by seasonal artificial neural network, Neural Computing and Applications, (2017). <https://doi.org/10.1007/s00521-017-3183-5>.
3. Çevik, S., **Çakmak, R.** ve Altaş, İ.H., Meteorolojik Tahmin Destekli Yapay Sinir Ağı ile Gün Öncesi Saatlik Güneş Işınımı Kestirimi: Trabzon ili Örneği, Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamalar (ASYU) Konferansı, 2017, Antalya.

4. Çevik, S., **Çakmak, R.** ve Altaş, İ.H., A day ahead hourly solar radiation forecasting by artificial neural networks: A case study for Trabzon province, 2017 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP), 16-17 Sept. 2017 2017, Malatya, Bildiriler Kitabı: 1-6.
5. **Çakmak, R.** ve Altaş, İ.H., Konutlara Yönelik Talep Tarafı Yönetimi: Tüketicilere ve Elektrik Şebekesine Getirileri, 2nd International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET 2017), 2017, Bayburt.
6. Ulutaş, A., **Çakmak, R.** ve Altaş, İ.H., Yapay Sinir Ağlarıyla Zaman Serisi Analizi Tabanlı Gün Öncesi Güneş Işınımı Tahmini: Trabzon ili Örneği, 2nd International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET 2017), 2017, Bayburt.
7. **Çakmak, R.** ve Altaş, İ.H., Solar energy potential of eastern black sea region of Turkey: A case study for Trabzon Province, 2016 National Conference on Electrical, Electronics and Biomedical Engineering (ELECO), 1-3 Dec. 2016, Bursa, Bildiriler Kitabı: 86-90.
8. **Çakmak, R.** ve Altaş, İ.H., Çatıya Kurulu Fotovoltaik Sistemlerin Erzincan'da Uygulanabilirliğinin Değerlendirilmesi, Uluslararası Erzincan Sempozyumu, 2017, Erzincan, Bildiriler Kitabı: 395-406.
9. **Çakmak, R.** ve Altaş, İ.H., Erzincan'da Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Potansiyeli: Almanya ile Karşılaştırılması, Uluslararası Erzincan Sempozyumu 2017, Erzincan, Bildiriler Kitabı: 407-419.
10. **Çakmak, R.** ve Altaş, İ.H., Scheduling of domestic shiftable loads via Cuckoo search optimization algorithm, 2016 4th International Istanbul Smart Grid Congress and Fair (ICSG), 20-21 April 2016, Conference Proceedings:1-4.
11. **Çakmak, R.** ve Altaş, İ.H., Bulanık Mantık Tabanlı MGNT Sistem Performansının Ani ve Yavaş Değişen Güneş Radyasyonu Koşullarında İncelenmesi, Elektrik, Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı 2014 (ELECO 2014), 2014, Bursa, Bildiriler Kitabı: 101-105.
12. Hamzaçebi, C., Es, H.A. ve **Çakmak, R.**, Yapay Sinir Ağları İle Aylık Elektrik Enerjisi Talebi: Türkiye Örneği, 34. Ulusal Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Kongresi, 2014, Bursa.
13. Elbakush, E., Sharaf, A. ve **Çakmak, R.**, A Novel Fuzzy Logic Control Scheme for FACS-Based Switched Filter Compensation, International Journal of Engineering Innovation & Research, 3,2 (2014) 2277-5668.
14. **Çakmak, R.** ve Altaş, İ.H., Fotovoltaik Panellerle Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimine Dünü, Bugünü ve Yarını, Uluslararası Katılımlı Çevre Sempozyumu, 24-26 Ekim 2013, Gümüşhane, Bildiriler Kitabı: 242-252.
15. **Çakmak, R.** ve Altaş, İ.H., The effect of integration types on FLC based MPPT systems, 2013 IEEE INISTA, 19-21 June 2013, Albena, Conference Proceedings: 1-4.

16. **Çakmak, R.** ve Altaş, İ.H., Almanya'da Fotovoltaik Sistemlerle Elektrik Üretimi ve Doğu Karadeniz, 3E ELECTROTECH Aylık Enerji, Elektrik, Elektronik Teknolojileri Dergisi, 226 (2013) 256-262.
17. **Çakmak, R.**, Altaş, I.H. ve Sharaf, A.M., Modeling of FLC-Incremental based MPPT using DC-DC boost converter for standalone PV system, 2012 International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications, 2-4 July 2012, Trabzon, Conference Proceedings: 1-5.
18. **Çakmak, R.** ve Altaş, İ.H., Sıvı Seviye Sisteminin Bulanık Mantık ve PSO Ayarlı PI ile Denetimi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Günleri 2011, 29 Eylül-1 Ekim 2011, Ankara, Bildiriler Kitabı: 28-33.

