

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AKILLI ŞEBEKELERDE YENİLENEBİLİR ENERJİ ÜRETİMİNE SAHİP
AKILLI EVLERİN ENERJİ VE YÜK YÖNETİMİ**

CEMAL KELEŞ

**DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

AĞUSTOS 2017

Tezin Başlığı: **Akıllı Şebekelerde Yenilenebilir Enerji Üretimine Sahip Akıllı Evlerin Enerji ve Yük Yönetimi**

Tezi Hazırlayan: **Cemal KELEŞ**

Sınav Tarihi: **15 Ağustos 2017**

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jürisi Üyeleri

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Asım KAYGUSUZ

İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet Salih MAMİŞ

İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Serdar Ethem HAMAMCI

İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Seydi Vakkas ÜSTÜN

Adıyaman Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Mahmut Temel ÖZDEMİR

Fırat Üniversitesi

Prof. Dr. Halil İbrahim ADIGÜZEL

Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Akıllı Şebekelerde Yenilenebilir Enerji Üretimine Sahip Akıllı Evlerin Enerji ve Yük Yönetimi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Cemal KELEŞ

ÖZET

Doktora Tezi

AKILLI ŞEBEKELERDE YENİLENEBİLİR ENERJİ ÜRETİMİNE SAHİP AKILLI EVLERİN ENERJİ VE YÜK YÖNETİMİ

Cemal Keleş

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

122 + xii sayfa

2017

Danışman: Doç. Dr. Asım Kaygusuz

Enerji yönetim sistemleri ve talep tarafı yük yönetimi uygulamaları, akıllı şebeke çalışmalarının en önemli konuları arasındadır. Özellikle, akıllı evlerde talep tarafı yük yönetim uygulamaları şebekeye esneklik sağlamak ve aralıklı üretime sahip yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını ve şebekeye entegrasyonunu desteklemektedir. Öncelikle, bu tez çalışmasında, dağıtık üretim koşulları ve şebekenin farklı enerji fiyatlandırma tarifeleri altında yük yönetimini gerçekleştirmek için bir yerel yük atma yöntemi önerilmiştir. Toplam enerji talebi çevrimiçi enerji fiyatlarına ve yerel üretime göre belirlenen dinamik maksimum güç tüketim sınırını aştığında, önerilen yöntem kullanıcı tarafından tanımlanan cihaz kullanım önceliklerine ve elektrikli ev cihazlarının güç gereksinimlerine göre elektrik yüklerini devre dışı bırakarak yerel enerji tüketimini sınırlandırmaktadır. Ayrıca, bu tezde, geleceğin akıllı evleri için akıllı priz içeren yerel doğru akım dağıtım sistemine dayalı enerji yönetim sistemi sunulmuştur. Bina enerji yönetim otomasyonunun önemli bir parçası olan akıllı prizlerin modellenmesi ve kullanımı tanımlanmıştır. Ek olarak tezde, şebekeye bağlı, çoklu yerel enerji üretim birimlerini içeren akıllı evlerde enerji yönetim sistemi için zaman oranlı çoklu darbe genlik modülasyonu yöntemi ile enerji karıştırma bileşeni sunulmuştur. Bu yöntem kullanılarak enerji karıştırıcıları için düşük maliyetli enerji karıştırma oranlarını bulmak amacıyla ayrık stokastik optimizasyon tekniklerine dayanan bir rastgele arama algoritması önerilmiştir. Benzetim sonuçları, önerilen yük atma algoritmasının yerel seviyede tepe talebi düşürdüğünü ve farklı elektrik tarifeleriyle uyumlu bir şekilde çalıştığını göstermiştir. Akıllı şebeke uygulamaları için önerilen enerji karıştırıcı bileşen kullanılarak optimizasyon ve yapay zeka metotları tarafından yönetilen en uygun enerji karıştırma oranları gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, enerji yönetimi için önerilen rastgele arama algoritmasının, şebekenin değişen enerji fiyat koşulları altında çok kaynaklı akıllı evler için düşük maliyetli enerji karıştırma sağlayabileceğini göstermiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Akıllı şebekeler, akıllı evler, talep tarafı yönetim, enerji ve yük yönetimi, yük atma algoritması

ABSTRACT

Ph.D.Thesis

ENERGY AND LOAD MANAGEMENT OF SMART HOMES WITH RENEWABLE ENERGY GENERATION IN SMART GRIDS

Cemal Keleş

Inonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering

122 + xii pages

2017

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Asim Kaygusuz

Energy management systems and demand side load management applications are among the most important issues of smart grid studies. In particular, demand-side load management applications in smart homes provide flexibility to the grid and support the use of renewable energy sources with intermittent generation and integration into the grid. First of all, in this thesis study, a local load shedding method has been proposed to realize load management under distributed generation conditions and different energy pricing tariffs of the grid. When the total energy demand exceeds the dynamic maximum power consumption limit determined by online energy prices and local generation, the proposed method limits the local energy consumption by disabling electrical loads according to user defined device usage priorities and power requirements of electrical household appliances. Moreover, in this thesis, the energy management system based on a local direct current distribution system with smart socket was presented for future smart homes. The modeling and use of smart sockets, which an important part of building energy management automation, are described. In addition in the thesis, an energy mixing component is presented with a time-rate multiple pulse width modulation method for the energy management system in grid connected smart homes including multi local power generation units. By using this method, a random search algorithm based on discrete stochastic optimization techniques is proposed to find low cost energy mixing rates for energy mixers. The simulation results have shown that the proposed load shedding algorithm reduce peak demand at the local level and work in accordance with different electricity tariffs. The optimized energy mixing rates managed by optimization and artificial intelligence methods have been achieved using the proposed energy mixer component for smart grid applications. Results have shown that the proposed random search algorithm for energy management can provide low cost energy mixing under changing energy price conditions for smart homes including multi-source.

KEYWORDS: Smart grids, smart homes, demand side management, energy and load management, load shedding algorithm

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesinde bilgi ve tecrübesinden yararlandığım ve çalışma boyunca desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Sayın Asım KAYGUSUZ'a;

Tezin gelişiminde düşünceleri ile katkıda bulunan tez izleme komitesi üyeleri değerli hocalarım Prof. Dr. Sayın Mehmet Salih MAMIŞ'e ve Prof. Dr. Sayın Serdar Ethem HAMAMCI'ya;

Akademik olarak gelişmemde büyük katkısı olan, bilgi ve birikimlerinden yararlandığım Yrd. Doç. Dr. Sayın Barış Baykant ALAGÖZ'e;

Akıllı Şebekeler konusunda akademik birçok çalışmada birlikte mesai yaptığımız Akıllı Şebekeler Çalışma Grubu üyelerine;

Motivasyon destekleri için İnönü Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümü öğretim üyelerine ve elemanlarına;

Tüm hayatım boyunca olduğu gibi doktora çalışmalarım süresince de benden maddi, manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli AİLEM'e, EŞİM'e ve KIZIM'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|-----|
| ÖZET | i |
| ABSTRACT | ii |
| TEŞEKKÜR | iii |
| İÇİNDEKİLER | iv |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | vii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | ix |
| SİMGELER VE KISALTMALAR | x |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Akıllı Evlerde Enerji Yönetimi | 3 |
| 1.2. Akıllı Evlerde Yük Yönetimi..... | 4 |
| 1.3. Talep Cevabı | 5 |
| 1.4. Akıllı Evlerde Dağıtık Enerji Kaynakları | 6 |
| 1.5. Sonuç | 7 |
| 2. KAYNAKÇA ÖZETLERİ | 9 |
| 2.1. Özet | 9 |
| 2.2. Giriş | 9 |
| 2.3. Akıllı Şebeke Çalışmalarında Akıllı Evlerin Yeri..... | 10 |
| 2.4. Akıllı Şebekelerde Akıllı Evler İçin Enerji ve Yük Yönetimi Çalışmaları | 13 |
| 2.4.1. Akıllı Şebekelerde Yerel Üretim Koşullarında Enerji Yönetimi Çalışmaları | 15 |
| 2.4.2. Akıllı Şebekelerde Yerel Üretim Koşullarında Talep Tarafı Yük Yönetimi Çalışmaları | 19 |
| 2.5. Sonuç | 22 |
| 3. ŞEBEKEYE BAĞLI AKILLI EVLERDE GELENEKSEL ALTERNATİF AKIM YÜKLERİNİN YÖNETİMİ | 23 |
| 3.1. Özet | 23 |
| 3.2. Giriş | 23 |
| 3.3. Talep Tarafı Yük Yönetimi için Yük Atma Algoritması | 26 |
| 3.4. Farklı c_{max} Durumları İçin Yerel Yük Atma Analizi | 32 |
| 3.5. Farklı Elektrik Fiyatlandırma Tarifeleri İçin Yerel Yük Atma Analizi | 37 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.6. | Sonuç | 42 |
| 4. | ÜRETKEN-TÜKETİCİ OLAN AKILLI EVLERDE YÜK YÖNETİMİNİN VE DOĞRU AKIM ENERJİ DAĞITIMININ MODELLENMESİ | 43 |
| 4.1. | Özet | 43 |
| 4.2. | Giriş | 43 |
| 4.3. | DA Dağıtım Sistemi Olan Üretken-Tüketici Akıllı Ev Modeli | 45 |
| 4.4. | Şebekeye Bağlı Akıllı Evlerde Yerel Üretim ve Depolama Koşullarında Enerji ve Talep Tarafı Yük Yönetiminin Analizi | 48 |
| 4.5. | Akıllı Evler İçin Akıllı Enerji Yönetimi ve DA Dağıtım | 49 |
| 4.5.1. | Akıllı Evlerde Akıllı Priz Modeli | 51 |
| 4.6. | Akıllı Evlerde Akıllı Priz İle Talep Tarafı Yük Yönetiminin Analizi | 57 |
| 4.7. | Sonuç | 62 |
| 5. | AKILLI EVLERDE YEREL ÜRETİM SEVİYESİNE GÖRE GELENEKSEL ALTERNATİF AKIM YÜKLERİNİN YÖNETİMİ | 64 |
| 5.1. | Özet | 64 |
| 5.2. | Giriş | 64 |
| 5.3. | Çalışma Modu Seçimli Güç Sınırlamalı Yük Atma Algoritması | 66 |
| 5.4. | Dinamik Enerji Fiyatlandırma Tarifesi İçin Yerel Yük Atma Analizi | 69 |
| 5.5. | Sonuç | 75 |
| 6. | ÇOK KAYNAKLI YEREL ÜRETİME SAHİP AKILLI EVLERDE ENERJİ YÖNETİMİ İÇİN ENERJİ KARIŞTIRMA İŞLEMİNİN ANALİZİ | 76 |
| 6.1. | Özet | 76 |
| 6.2. | Giriş | 76 |
| 6.3. | ZOÇ-DGM Yöntemi İle Çok Kaynaklı Enerji Karıştırma | 78 |
| 6.4. | ZOÇ-DGM Yönteminin Akıllı Evlerde Enerji Karıştırma İşlemine Uygulanması | 82 |
| 6.5. | Sonuç | 89 |
| 7. | ÇOK KAYNAKLI YEREL ÜRETİME SAHİP AKILLI EVLERDE ENERJİ YÖNETİMİ İÇİN ENERJİ | |

| | | |
|-----------|---|------------|
| | KARIŞTIRMA ORANLARININ OPTİMİZASYONU | 90 |
| 7.1. | Özet | 90 |
| 7.2. | Giriş | 90 |
| 7.3. | Çoklu DGM İle Enerji Karıştırma İşlemi | 91 |
| 7.4. | Enerji Karıştırma Oranlarının Belirlenmesi Probleminin Tanımı | 92 |
| 7.5. | Enerji Karıştırma Oranı Optimizasyonu için Rastgele Arama Algoritmasının Uygulanması | 93 |
| 7.6. | Yenilenebilir Enerji Kaynakları İçeren Elektrik Şebekesinin Yönetimi Senaryosu İçin Benzetim Örneği | 96 |
| 7.7. | Sonuç | 101 |
| 8. | TARTIŞMA VE SONUÇ | 102 |
| 9. | KAYNAKLAR | 107 |
| | ÖZGEÇMİŞ | 119 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | | |
|-------------|---|----|
| Şekil 3.1. | Yük atma için geleneksel AA prizler ve bu prizlerin akıllı sayaç öncelik belirlemesi | 27 |
| Şekil 3.2. | Önerilen yük atma yöntemi için geliştirilen algoritmanın akış şeması | 29 |
| Şekil 3.3. | Farklı yük atma durumları için yerel güç tüketiminin karşılaştırılması (Yük atmanın olmadığı durum, düşük enerji maliyetinde yük atma (düşük gelirli tüketici), orta dereceli enerji maliyetinde yük atma (orta gelirli tüketici))..... | 33 |
| Şekil 3.4. | Düşük c_{max} düzenlemesinde yük atma benzetim sonuçları. (a) Güç parametrelerinin (kW) değişimi. (b) Cihazların saatlik çalışma durumları | 35 |
| Şekil 3.5. | Orta ölçekli c_{max} düzenlemesinde yük atma benzetim sonuçları. (a) Güç parametrelerinin (kW) değişimi. (b) Cihazların saatlik çalışma durumları | 36 |
| Şekil 3.6. | Farklı yük atma durumları için saatlik enerji maliyetinin karşılaştırılması | 37 |
| Şekil 3.7. | Benzetimde kullanılan tarifelerin elektrik birim fiyatının saatlik değişimi | 38 |
| Şekil 3.8. | Üç zamanlı tarife için yük atma benzetim sonuçları. (a) Güç parametrelerinin (kW) değişimi. (b) Cihazların saatlik çalışma durumları | 39 |
| Şekil 3.9. | Tek zamanlı fiyat tarifesi için yük atma benzetim sonuçları. (a) Güç parametrelerinin (kW) değişimi. (b) Cihazların saatlik çalışma durumları | 40 |
| Şekil 3.10. | Üç zamanlı, tek zamanlı ve dinamik fiyat tarifeleri için evin saatlik elektrik maliyetlerinin karşılaştırılması | 41 |
| Şekil 4.1. | (a) Doğru akım enerji dağıtımına dayalı akıllı ev kavramı (b) Akıllı sayaçlarda doğru akım enerji karıştırma yöntemi ile enerji entegrasyonunun elektriksels şeması [120] | 48 |
| Şekil 4.2. | Akıllı evlerde yerel enerji yönetim sisteminin şematik diyagramı [120] | 50 |
| Şekil 4.3. | (a) DA dağıtım akıllı priz kavramının blok diyagramı (b) Akıllı priz ve fişler için örnek tasarım modeli [120] | 52 |
| Şekil 4.4. | DA akıllı prizlerin güç dönüştürücü ve anahtarlama sistemlerinin benzetim modeli [120] | 55 |
| Şekil 4.5. | DA/DA kıyıcı devresinin benzetim modeli [120] | 55 |
| Şekil 4.6. | Yerel DA dağıtım sisteminin benzetim modeli (a) 220 V AA şebeke gerilimi (b) 5 W yük için DA prizden alınan 5 V DA gerilim (c) 200 W yük için DA prizden alınan 48 V DA gerilim ve (d) 1000 W yük için DA prizden alınan 120 V DA gerilim | 56 |
| Şekil 4.7. | Maksimum güç tüketim denetimi şemasına dayalı yük atma algoritması [120] | 58 |
| Şekil 4.8. | Maksimum güç tüketimi denetim algoritması tarafından elde edilen saatlik yük atma benzetim sonuçları (a) P_{max} ve P_{ev} profilleri (kW); (b) Çevrimiçi elektrik birim fiyatı ($c_{max}=40$ | |

| | | |
|-------------|---|-----|
| | kr/saat için) (c) Akıllı prizlerin saatlik çalışma durumları | 62 |
| Şekil 5.1. | Yük atma algoritmasının akış diyagramı [151] | 67 |
| Şekil 5.2. | Yükün anahtarlar vasıtasıyla doğrudan kontrolü ve enerji entegrasyonunun blok diyagramı [151] | 68 |
| Şekil 5.3. | Elektrikli ev aletlerinin günlük çalışma durumları | 69 |
| Şekil 5.4. | Elektrikli ev aletlerinin günlük öncelik durumları | 70 |
| Şekil 5.5. | Yenilenebilir enerji kaynağının günlük enerji üretim profili ... | 70 |
| Şekil 5.6. | Yenilenebilir enerji üretiminin olmadığı (a) ve olduğu (b) durumlarda yük atma algoritmasının çalışma durumu ile ilgili güç parametrelerinin değişimi | 72 |
| Şekil 5.7. | Yük atma işleminden sonra cihazların çalışma durumu (a) YEK üretimi yokken, (b) YEK üretimi varken | 73 |
| Şekil 5.8. | Yenilenebilir enerji üretim durumunda çalışma modları | 74 |
| Şekil 5.9. | Farklı durumlarda evin saatlik enerji maliyeti | 74 |
| Şekil 6.1. | Optimal mikroşebeke enerji yönetim sisteminin genel bir mimarisi | 78 |
| Şekil 6.2. | ZOÇ-DGM denetimi ile çoklu kaynakta enerji karışımı için darbe genişliği dağılımı | 80 |
| Şekil 6.3. | Genliği 1 ve periyodu T_p olan testere dişi dalga kullanılarak darbe üretimi ve DGM için bir bit nicemleyici | 81 |
| Şekil 6.4. | Çok kaynaklı enerji karıştırma için ZOÇ-DGM sinyal üretimi | 82 |
| Şekil 6.5. | ZOÇ-DGM sinyal üretimi için denetim sistemi tasarımı | 82 |
| Şekil 6.6. | Çok kaynaklı enerji karıştırma işlemi için benzetim modeli | 83 |
| Şekil 6.7. | Şebeke, yenilenebilir enerji kaynakları ve depolama birimlerinin enerji karışımı durumları | 84 |
| Şekil 6.8. | ZOÇ-DGM denetim birimi tarafından üretilen anahtarlama darbeleri | 85 |
| Şekil 6.9. | ZOÇ-DGM denetim birimi tarafından üretilen anahtarlama darbelerinin yakın görünümü | 86 |
| Şekil 6.10. | Δt değerinin değişimine göre DA barasının gerilim kararlılığı | 87 |
| Şekil 6.11. | Δt değerinin zamana göre değişimi | 87 |
| Şekil 6.12. | $\alpha_s, \alpha_g, \alpha_r, \alpha_d$ değişimlerine göre ZOÇ-DGM enerji karıştırma oranlarının karşılaştırılması | 88 |
| Şekil 7.1. | Optimal mikro şebeke yönetim sistemlerinin genel bir mimarisi [173] | 92 |
| Şekil 7.2. | Evlerde maliyet etkin yerel enerji yönetimi için yenilenebilir enerji karıştırma [173] | 96 |
| Şekil 7.3. | Benzetimde kullanılan güneş ve rüzgar enerjisi sisteminin üretim profilleri | 97 |
| Şekil 7.4. | Evin saatlik talep profili [97] | 97 |
| Şekil 7.5. | Güneş, rüzgar, depolama birimi elektrik birim fiyatları ve elektrik şebekesi için dinamik elektrik fiyatlandırma profili | 98 |
| Şekil 7.6. | Önerilen rastgele arama algoritması tarafından hesaplanan maliyet etkin saatlik karıştırma oranları | 99 |
| Şekil 7.7. | Şebekenin enerji denge hatası | 99 |
| Şekil 7.8. | Her güncelleme zamanı için rastgele arama iterasyonu sırasında maliyet fonksiyonunun değişimi | 100 |
| Şekil 7.9. | İterasyon sayısı ve güncelleme saatlerine bağlı olarak maliyet fonksiyonunun değişimi | 100 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | | |
|--------------|--|----|
| Çizelge 3.1. | Pazartesi günü için tipik ev cihazlarının öncelik belirleme örneği..... | 28 |
| Çizelge 3.2. | Cihaz öncelik sınıfları ve açıklamaları | 28 |
| Çizelge 3.3. | Benzetimde kullanılan elektrikli ev cihazlarının güç talepleri [97] | 32 |
| Çizelge 3.4. | Farklı c_{max} ayarı için senaryolardan elde edilen yük atma oranı (S_h) ve ortalama elektrik maliyeti (E_c) | 33 |
| Çizelge 3.5. | Farklı tarife uygulamaları için c_{max} ayarı, senaryolardan elde edilen yük atma oranı (S_h) ve ortalama elektrik maliyeti (E_c) | 38 |
| Çizelge 3.6. | Düşük c_{max} ayarında yük atma işleminin varlığına göre farklı tarife uygulamaları için ortalama elektrik maliyeti (E_c) ve enerji tasarrufu oranları | 41 |
| Çizelge 4.1. | Evin giriş gerilim tipine göre DA prizde kullanılan gerilim noktaları ve değerleri [120] | 53 |
| Çizelge 6.1. | Bazı istenen ve ZOÇ-DGM'ndan elde edilen enerji karıştırma oranları | 88 |

SİMGELER VE KISALTMALAR

| | |
|---------------|---|
| DA | Doğru akım |
| AA | Alternatif akım |
| PLC | Power line communication, Güç hattı üzerinden haberleşme |
| CEBus | Consumer electronics bus |
| LonWorks | Local operating network |
| IEEE 802.11 | Bilgisayar haberleşmesinde bir dizi kablosuz yerel ağ standardı |
| $p1$ | Prizlerin birinci öncelik seçimi |
| $p2$ | Prizlerin ikinci öncelik seçimi |
| $p3$ | Prizlerin üçüncü öncelik seçimi |
| $P_i(n)$ | i prizinin n ayrık örnekleme zamanında ölçülen güç tüketimi |
| P_{ev} | Evin güç tüketimi |
| P_{max} | İzin verilen maksimum tepe güç sınırı |
| $P_{ev}(n)$ | Evin n ayrık örnekleme zamanında ölçülen güç tüketimi |
| $P_{max}(n)$ | İzin verilen maksimum tepe güç sınırının n ayrık örnekleme zamanındaki değeri |
| c_{max} | Tüketici tarafından belirlenen maksimum elektrik maliyeti |
| $c(t)$ | Akıllı sayaç tarafından dinamik fiyat yayın sunucusundan alınan çevrimiçi birim elektrik fiyatı (TL/kW) |
| S_h | Senaryolardan elde edilen yük atma oranı |
| E_c | Ortalama elektrik maliyeti |
| N_H | Yük atma algoritmasının denetlediği prizlerin toplam sayısı |
| T_S | Yük atma algoritması tarafından kapatılan cihazların devre dışında kaldığı süre |
| kW | Kilowatt |
| Wi-Fi | Wireless fidelity, Kablosuz bağlantı alanı |
| Zigbee | Düşük güçlü wireless mesh ağ standardı |
| SCADA | Supervisory control and data acquisition, Gözetleyici kontrol ve veri toplama sistemi |
| A-B | 5V DA gerilim sağlayan priz çıkışları |
| A-E | 48V DA gerilim sağlayan priz çıkışları |
| A-D | 120V DA gerilim sağlayan priz çıkışları |
| C-F | 240V AA gerilim sağlayan priz çıkışları |
| G | Priz toprak gösterimi |
| $P_{yek}(t)$ | Yenilenebilir enerji üretim sisteminin anlık gücü |
| $P_{depo}(t)$ | Enerji depolama sisteminin anlık gücü |
| YEK | Yenilenebilir enerji kaynağı |
| DGM | Darbe genlik modülasyonu (Pulse width modulation-PWM) |
| Ç-DGM | Çoklu darbe genlik modülasyonu |

| | |
|--------------|--|
| ZOÇ-DGM | Zaman oranlı çoklu darbe genlik modülasyonu |
| α_g | Güneş sistemi için karıştırma oranı |
| α_r | Rüzgâr sistemi için karıştırma oranı |
| α_d | Depolama sistemi için karıştırma oranı |
| α_ξ | Şebeke için karıştırma oranı |
| E_T | Kaynaklardan şebeke yüklerine gönderilen toplam enerji |
| E_g | Güneş sisteminden gelen anlık enerji |
| E_r | Rüzgâr sisteminden gelen anlık enerji |
| E_d | Depolama sisteminden gelen anlık enerji |
| E_ξ | Şebekeden gelen anlık enerji |
| V_{da} | DA bara gerilimi |
| Δt | Örnekleme zaman aralığı |
| T_p | Testere dışı dalganın periyodu |
| y | Eşik değeri |
| PI | Oransal entegral kontrolör (Proportional integral) |
| k_p | Oran katsayısı |
| k_i | Entegral katsayısı |
| $e(t)$ | Kapalı çevrim sistemi için hata |
| $V(t)$ | Anlık bara gerilimi |
| $P_g(t)$ | Güneş sisteminden çekilen anlık güç değeri |
| $P_r(t)$ | Rüzgâr sisteminden çekilen anlık güç değeri |
| $P_d(t)$ | Depolama sisteminden çekilen anlık güç değeri |
| $P_\xi(t)$ | Şebekeden çekilen anlık güç değeri |
| F | Maliyet fonksiyonu |
| c_g | Güneş sisteminin birim enerji maliyeti |
| c_r | Rüzgar sisteminin birim enerji maliyeti |
| c_d | Depolama sisteminin birim enerji maliyeti |
| c_ξ | Şebekenin birim enerji maliyeti |
| P_g | Güneş sisteminin ortalama çıkış gücü |
| P_r | Rüzgar sisteminin ortalama çıkış gücü |
| P_d | Depolama biriminin ortalama çıkış gücü |
| P_ξ | Şebekeden çekilen ortalama güç |
| E_T | Mikro şebekede üretilen toplam enerji miktarı |
| E_D | Yerel sistemin enerji talep miktarı |
| P_T | Kaynakların toplam ortalama çıkış gücü |
| P_D | Toplam talep gücü |
| γ | Arz ile talep gücü arasındaki oran |

| | |
|---------------------------|---|
| μ | Optimizasyon algoritmasının güncelleme hızı |
| η_g | Güneş parametre güncelleme denkleminde kullanılan $[-0.5,0.5]$ aralığında bir sayı |
| η_r | Rüzgar parametre güncelleme denkleminde kullanılan $[-0.5,0.5]$ aralığında bir sayı |
| η_d | Depolama birimi parametre güncelleme denkleminde kullanılan $[-0.5,0.5]$ aralığında bir sayı |
| $\tilde{\alpha}^0$ | Algoritmadaki ilk karıştırma oranı değeri |
| $\alpha^{(n)}$ | Rastgele belirlenen aday karıştırma oranı |
| $F(\tilde{\alpha}^{(n)})$ | $\tilde{\alpha}^0$ mevcut noktaya göre maliyet fonksiyonu |
| $F(\alpha^{(n)})$ | $\alpha^{(n)}$ aday noktasına göre maliyet fonksiyonu |
| ε | Hata fonksiyonu |
| P_{\min} | Kaynağın çıkış gücü minimum çalışma sınırı |
| $\tilde{\alpha}_g$ | Güneş sistemi için ilk karıştırma oranı |
| $\tilde{\alpha}_r$ | Rüzgar sistemi için ilk karıştırma oranı |
| $\tilde{\alpha}_d$ | Depolama sistemi için ilk karıştırma oranı |
| $\tilde{\alpha}_s$ | Şebeke için ilk karıştırma oranı |
| E_b | Enerji denge hatası |
| $\hat{\alpha}_n$ | $\tilde{\alpha}_g + \tilde{\alpha}_r + \tilde{\alpha}_d + \tilde{\alpha}_s = 1$ koşulunun sağlanması için karıştırma oranlarının normalizasyon ile elde edilen değeri |
| P_1 | 1. öncelik grubuna ait prizlere bağlı yüklerin toplam gücü |
| P_2 | 2. öncelik grubuna ait prizlere bağlı yüklerin toplam gücü |
| P_3 | 3. öncelik grubuna ait prizlere bağlı yüklerin toplam gücü |

1. GİRİŞ

Bilişim ve kontrol teknolojilerinde birçok gelişmenin sağlanması ile birlikte, dünyada birçok ülkede modern elektrik şebekesi için standart olarak tanımlanan ve akıllı şebeke olarak adlandırılan 21. yüzyıl güç şebekesinin yaygınlaşması hedeflenmektedir [1]. Geleneksel güç şebekesi ile karşılaştırıldığında akıllı şebekelerin topolojisi, merkezi olmaktan ziyade dağıtık bir yapıya sahiptir. Modern güç şebekesinin mimarisi, dağıtım ağı etkisini düşürerek dağıtım ağındaki tüketicilerin büyük güçlü enerji santrallerine ve iletim şebekesindeki güç kaynaklarına bağımlılığını azaltır [2]. Ayrıca modern bilgi, iletişim ve kontrol tekniklerine dayanan akıllı şebekelerde müşterilerin şebeke operatörleri ile etkileşim içerisinde olması ve güç şebekesinin korunmasında daha aktif bir rol oynamaya teşvik edecek şekilde akıllı ev uygulamalarının desteklenmesi beklenmektedir. Bu nedenle son kullanıcıları sistem operatörlerine bağlamak için enerji yönetim sistemleri olmazsa olmaz bir gereklilik olmakla birlikte, akıllı evlerde uygulanmaya başlanmalıdır. Enerji yönetim sistemleri, bağlı oldukları elektrik santrallerinin, elektrik şirketlerinin ve güç şebekesinin iletim ve dağıtım ağının performansının optimize edilmesi için şebekenin işletilmesine etkin bir şekilde yardımcı olmaktadır. Bununla birlikte, rüzgar ve güneş tarlaları gibi büyük ölçekli yenilenebilir enerji sistemlerinin yaygınlaşması ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kesintili üretiminden dolayı arz-talep dengesinde şebeke yeni problemlerle yüz yüze gelmektedir [3]. Aynı zamanda güneş sistemi, enerji depolama birimleri gibi dağıtık enerji kaynaklarının ve elektrikli araçların yaygınlaşması, enerji dağıtım sistemi işleticileri için enerji akış yönetiminde problemleri de arttırmaktadır. Evlerin karmaşık bir ağ yapısına sahip olması ile birlikte akıllı evler için enerji yönetim sistemlerinin uygulamaya alınması, beraberinde başta yük tahmini ve değişken yerel üretim durumları olmak üzere birçok problemi de beraberinde getirmektedir. Bu sorunların giderilmesi için hem akademik hem de endüstri alanındaki paydaşlar bu konular üzerine çalışmalarını yoğunlaştırmışlardır. Akıllı evlerdeki sensör (algılayıcı) ve denetim ağı, enerji yönetim sistemlerinin uygulanmasına imkan sağlayan altyapı olarak göz önünde bulundurulmalıdır. Kişisel alan ağı teknolojilerindeki gelişim ile birlikte algılayıcı ve denetim ağının evlerde kullanımı mümkün hale gelmiş olup, bu durum enerji yönetim sistemlerinin bu yapılarda kurulumunu da desteklemiştir. Ayrıca

günümüz modern elektrik tarifeleri, talep cevabı programları ve talep tarafı yönetim ile düzenlenen diğer programlar, enerji yönetim sistemi için büyük bir önem arz etmektedir [4]. Enerji yönetim sistemleri, sadece yerel yükleri planlayıp programlamakla kalmaz, son kullanıcı ile enerji tedarikçi ve operatörleri arasında da bilgi, iletişim ve enerji akışını da yönlendirir. Örneğin, geleneksel optimizasyon tekniklerinde enerji yönetim sistemi tarafından çatı güneş sistemi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip yapıların yerel yüklerini beslemek için yük planlaması yolu ile güneş sistemi mümkün olan en yüksek derecede kullanılmaktadır. Buna karşın talep cevabı programı ile arz-talep değerleri belirlendikten sonra, enerji yönetim sistemi, dağıtık ağ işleticileri ile iletişim kurarak, güneş sisteminin fazla üretimini yerel ölçekte kullanmadan daha uygun olacağı zamanlarda şebekeye verebilir. Buna ilave olarak, enerji yönetim sisteminin gerçek zamanlı iletişimini ve denetim yeteneklerini gerektiren gerçek zamanlı fiyatlandırma, üç zamanlı tarife, kritik tepe fiyatlandırma ve diğer anlık değişebilen fiyatlandırma tarifeleri, ev ölçeğindeki kullanıcılara yük yönetiminde oldukça esneklik sağlamaktadır. Bununla birlikte tüm bu yeni özellikler, akıllı evler için enerji yönetim sistemine yeni zorluklar getirmektedir. Gerçek zamanlı denetim, veri tahmini, sistemin cevap mekanizması gibi konular enerji yönetim sistemi araştırmalarında kritik alanlar olarak görülmektedir.

Dağıtık enerji kaynaklarının kurulumunun ve kullanımının artması, hibrit araçların sisteme katılması ile birlikte, enerji dağıtım ağındaki evlerin enerji sistemleri karmaşık bir yapıya dönüşmüştür [5]. Bununla birlikte, yeni nesil elektrik şebekesi olan akıllı şebekeler, enerji sisteminin bütününe bakıldığında ev gibi yerel ölçekli kullanıcıların konumlarını yeniden tanımlamaktadır. Evlerde ve binalarda, elektrik iletim ve dağıtım ağlarında akıllı sayaçlar, akıllı cihazlar ve faz ölçüm birimleri gibi bilgi teknolojileri tabanlı cihazlardaki gelişme ve iyileşmeler ile birlikte, akıllı evler pasif müşteri olmaktan çıkıp güç şebekesinin bütününde aktif katılımcı rolünü üstlenerek sisteme dahil edilmektedir. Ayrıca, modern elektrik tarifelerinin kullanılmaya başlanması ile hem çevresel hem de mali açıdan akıllı evlerde yüklerin ve dağıtık enerji kaynaklarının yönetiminde tüketicilerin taleplerini genişletmektedir. Böylece, akıllı evlerde yönetici rolü üstlenen enerji ve yük yönetim sistemi, akıllı şebekelerde kullanıcılara enerjinin ve cihazların en iyi şekilde yönetilmesini sağlayacaktır.

1.1. Akıllı Evlerde Enerji Yönetimi

Fosil kaynaklı yakıtların rezervlerinin kısıtlı olması, yakıt hammadde fiyatlarında meydana gelen dalgalanmalar ve CO₂ emisyonunun azaltılması baskısı nedeniyle enerji tedarikçileri, müşterilerinin enerji tüketimini verimli bir şekilde azaltmaya, yükü kaydırmaya, atmaya veya kendi dağıtık enerji sistemlerini kurmaya teşvik etmek için çeşitli tarifeler ve hizmetler sağlamaya başlamıştır. Buna ek olarak, güneş enerji sistemi, küçük rüzgar türbini, enerji depolama birimi ve diğer yerel yenilenebilir enerji kaynakları dahil olmak üzere evlerde ve binalarda artan dağıtık enerji sistemlerinin kurulması, enerji tüketimini daha çevre dostu haline getirmiştir. Buna karşın önceki sistemde olduğundan çok daha fazla problem ve karmaşıklıklar ortaya çıkmıştır. Dağıtım şebekesinde akıllı ölçüm sistemi bulunan kullanıcıların enerji tüketim alışkanlıklarını değiştirebilmesi gerektiğinden, müşteriler enerji tüketiminin verimli bir şekilde yönetilmesi konusunda büyük zorluklarla karşı karşıyadırlar. Müşterilerin evlerindeki cihazlarını ve dağıtık enerji kaynaklarını yönetmelerine yardımcı olmak için fırsatları değerlendirmek amacıyla hem endüstriyel hem de akademik alanlarda ev enerji yönetim sistemlerinin tasarımı ve geliştirilmesi konusunda yapılacak araştırmalara ihtiyaç vardır. Son verilere göre enerji yönetim sistemi piyasası 2016 yılında 32.41 milyar dolara ulaşmıştır. 2021 yılında bu rakamın 76.75 milyar dolara yükselmesi beklenmektedir. Bu rakamlara göre bileşik yıllık büyüme hızı %18.8 olarak hesaplanmıştır [6]. Enerji yönetim sistemi ürünleri müşterilere çeşitli özellikler ve hizmetler sağlayabilir. En önemli fonksiyonlarından biri cihazların enerji tüketimini izlemek, cihazların çevre ve zaman faktörlerine göre çalışma durumlarını kontrol etmektir. Örneğin yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen fazla enerjinin sıcak su elde edilmesinde kullanılması gibi diğer fonksiyonlar da geliştirilmiş ve enerji yönetim sisteminde gerçekleştirilmiştir [1]. Gerçek zamanlı izleme ve optimizasyon işlemleri gibi daha etkin yerel enerji yönetimi fonksiyonları; talep tarafı yönetim, gerçek zamanlı tarife, diğer gelişmiş enerji fiyat tarifeleri ve enerji hizmetlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte, daha fazla gelişme ve ilerleme sağlanabilmesi için yardımcı tekniklere sahip olabilecektir.

1.2. Akıllı Evlerde Yük Yönetimi

Talep tarafı yönetimin önemli bir unsuru olan yük yönetimi, tepe yüklerinin azaltılmasının ve enerji santrallerinin desteklenmesinin vazgeçilmez bir parçasıdır [2]. Bu nedenle, hükümetler ve enerji yönetim sistemi üreticileri, bu konunun araştırılmasına ve geliştirilmesine oldukça önem vermektedirler. Yük yönetimi için, ısıtma-soğutma sistemleri, su ısıtma sistemleri, şebekeye bağlı elektrikli araçlar, diğer elektrikli ev cihazları gibi denetlenebilir yükler ana unsur olarak ele alınmıştır. Buna ek olarak, dağıtık enerji kaynaklarının artışı, bu kaynakların yüklerini yönetmede enerji yönetim sisteminin imkanlarını geliştirmek amacıyla enerji yönetim sistemi sağlayıcılarını yönlendirmektedir.

Ekonomik düzeyde bakıldığında, yüklerin son kullanıcılar tarafından yönetilme işleminin getirisi, enerji maliyetini düşürmek ve kurulu dağıtık enerji kaynaklarının karlılık payını artırmaktır [2]. Ayrıca, dağıtım ağında yük yönetiminin bir avantajı olarak, enerji piyasası, enerji dengelemesi için temel enerji tedarikçilerinin ekstra para ödeme risklerini de azaltabilecek şekilde hareket edebilir. Talep tarafı yönetim ile yük yönetimini düzenlemek için, enerji tedarikçileri müşterilere sabit fiyat yerine esnek fiyatlarla çeşitli tarifeler sunmaktadır. Bu sayede müşteriler enerji tüketim planlarını elektrik fiyatlarını esas alarak düzenleyebilirler. Farklı tarifeli elektrik fiyatları ülkeden ülkeye değişiklik gösterse de, fiyatlandırma mekanizmalarına göre üç zamanlı tarife, gerçek zamanlı tarife ve kritik tepe fiyatlandırma olmak üzere genel olarak üç tipte sınıflandırılabilir.

Üç zamanlı tarife, elektrik fiyatını günün belirli zaman periyotlarına göre tanımlar ve her zaman periyodu, düşük, orta ve tepe talep seviyesinin her birine göre belirlenen sabit bir fiyata karşılık gelir. Bu tür zamana dayalı fiyatlandırma, müşterilerin enerji tüketimini enerjinin pahalı olduğu tepe talep noktasından fiyatın daha uygun olduğu zamana kaydırılmasını teşvik etmektedir. Gerçek zamanlı tarifede elektrik fiyatı, pazardaki toptan satılan enerjinin gerçek fiyat ile belirlenerek her yarım saatte veya saatte bir güncellenerek değişir. Müşteriler, gün öncesi öngörülen gerçek zamanlı tarife fiyatını elde ederek önceden enerji kullanımını planlayabilirler. Kritik tepe fiyatı tarifesi, üç zamanlı tarife ile benzer özellikler göstermesine rağmen üç zamanlı tarifedeki en yüksek fiyattan daha yüksek bir fiyata sahip kritik bir tepe süresi vardır.

Müşterilerin üç zamanlı, gerçek zamanlı ve kritik tepe fiyatlandırma gibi esnek tarifelerden ekonomik fayda elde etmek için enerji tedarikçilerinin tahmin ve ölçümlerini dikkate almaları gerekmektedir. Bununla birlikte, müşterilerin yüklerini zamanlı olarak denetmesi ve değişen tarifelere cevap vermek için enerji tüketim alışkanlıklarını değiştirmesi zorluk olarak görülmektedir. Bu nedenle, yük yönetimi özelliği, müşterilerin otomatik izleme, plan ve denetim teknikleri kullanılarak, sistemin otomatik ve akıllı yönetimine yardımcı olmak için enerji yönetim sisteminin önemli bir parçası olarak geliştirilmiştir. Akıllı sayaçların geniş bir şekilde kurulumu ve akıllı ev sistemlerinin benimsenmesi ile çeşitli modern elektrik tarifelerinin uygulanmasını sağlamak için sağlam bir platform oluşturulacaktır. Toplanan verilere dayanarak yük işletme planını optimize eden ve cihazın fiziki alan ağı aracılığıyla uygulanmasını isteyen yük yönetimi, enerji yönetim sisteminde bir özellik olarak tanıtılmaktadır.

1.3. Talep Cevabı

Talep cevabı, enerji talebi ile arzın dengelenmesi amacıyla enerji kullanıcılarının güç tüketiminde değişiklik yapılması işlemidir. Akıllı şebekelerde, talep cevabı programları, son kullanıcıların dağıtım sistemine aktif olarak katılımının etkinleştirilmesinde büyük rol oynamaktadır. Talep cevabı programlarında, dağıtım sistemi operatörü, müşterileri günlük elektrik tüketim modelini kullanıcı tercihi ile değiştirmek için farklı elektrik fiyat tarifeleri gibi uygulamalara başvurur [3, 4]. Evin talebi, toplam sistem yükünün önemli bir bölümünü oluşturduğundan, ev talep cevabı programları, sistem operatörü tarafından oldukça önemlidir. Talep cevabı programlarının yaygın olarak uygulanmasının önündeki engellerden biri, alınan fiyatlandırma sinyallerine yanıt verme konusunda müşterilerin yeterince aktif olamamasıdır [5]. Önerilen çözümlerden biri, basit bir optimizasyon problemini çözerek alınan sinyallere otomatik olarak tepki veren ve genellikle ev enerji yönetimi sistemleri olarak adlandırılan bir yapıyı oluşturmaktır [5, 7]. Enerji yönetim programı genellikle müşterilerin enerji maliyetlerini düşürme olanağı sağladığından bu da müşterilerin talep cevabı programlarına katılmaya teşvik edilmesinde bir etken olabilir [7, 8]. Optimizasyona dayalı ev enerji yönetim probleminin çözümü, kontrol edilebilir cihazların enerji tüketim çizelgesidir. Kontrol edilebilir cihazlara ek olarak gün

geçtikçe yaygınlaşan şebekeye bağlı hibrid elektrikli araç teknolojileri çevresel avantajlarından ötürü akıllı evlere uyum sağlamaya başlamaktadır [9]. Bu araçların şebeke tarafından farklı seviyelerde şarj edilebilen ve enerjiyi şebekeye geri vermek için deşarj edilebilen bataryalara sahip olduğu için, yük yönetim prosedürüne elektrikli araçların da dahil edilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, ev enerji yönetim probleminin çözülmesi, kontrol edilebilir cihazların ve hibrit elektrikli araçların şarj/deşarj durumları ile ilgili olarak enerji tüketim planlamaları ile mümkündür [10].

Yük yönetimi, sistem operatörünün uzun vadede güç şebekesini dengelemesine yardımcı olabilmesine rağmen; arz ve talep arasındaki kısa vadeli dengesizlik, özellikle de yenilenebilir kaynakların yaygın bir şekilde kurulması durumunda ortaya çıkmaktadır. Enerji santralleri veya büyük enerji tüketicileri için kullanılan geniş ölçekli talep cevabı programlarının, şebekenin kararlılığını iyileştirebileceği ve müşteriler için enerji maliyetini azaltabileceği kanıtlanmıştır [11]. Yenilenebilir enerji kaynaklarının dağıtım şebekesine girmesinin bir sonucu olarak, yenilenebilir enerji kapasitesinin önemli ölçüde değişimi, gerilim değişimi gibi şebeke kararsızlığı riskini artıracaktır. Bu nedenle, giderek artan ciddi dengesizlik sorunlarının çözülmesi ve daha akıllı bir şebeke oluşturulması amacıyla önerilen talep cevabı programları, evler ve küçük ticari binalar gibi son kullanıcı müşterilere sunulmaktadır.

1.4. Akıllı Evlerde Dağıtık Enerji Kaynakları

Dağıtık enerji kaynakları, şebekeye bağlı cihazlar vasıtasıyla enerji üretebilen veya depolayabilen dağıtım şebekesine kurulan küçük ölçekli güç kaynaklarını ifade eder [12]. Dağıtık enerji kaynakları, merkezi olmayan ve çoğunlukla evler gibi enerji tüketicilerinin yakınında bulunduğu için, bu tür kaynaklar tarafından üretilen veya depolanan enerji, dağıtık şebekedeki enerji tüketicilerinin sürekli değişen taleplerine, geleneksel merkezi, uzak mesafedeki ve büyük ölçekli santrallerden daha hızlı cevap verebilmektedir [13]. Dağıtık enerji kaynaklarının uygulanmasıyla birlikte, son enerji tüketicileri, sadece merkezi güç tedarikçisine bağlı olmak yerine alternatif bir yol olarak dağıtık enerji kaynaklarından daha ucuz ve daha yeşil bir enerji elde edebilirler [14].

Günümüzde piyasada bulunan dağıtık enerji kaynaklı sistemler, [15-18]'te sınıflandırılmış ve tanıtılmıştır.

İzleme ve denetim sistemi, akıllı evler için, ev cihazlarını, yenilenebilir enerji sistemlerini ve ilgili diğer ekipmanların iletişimini sağlamak ve yönetmekten sorumlu olabileceği için çok önemli bir konuma sahiptir. Hâlihazırda akıllı evler için izleme ve denetim sistemini planlayabilecek çeşitli teknikler bulunmaktadır.

Son yıllarda akıllı şebekenin hızla gelişmesinin bir sonucu olarak, şebekeye, özellikle dağıtım ağında, artan sayıda dağıtık enerji kaynakları, akıllı sayaçlar ve diğer bilgi ve iletişim teknolojileri tabanlı cihazlar dâhil olmuştur. Bu geniş ölçekli dağıtım sisteminde, karbon salınımında belirgin bir azalma sağlanmasına rağmen, dağıtık enerji kaynaklarının üretiminin kesintili olması şebekeye arz ve talep dengesizliği gibi yeni zorluklar getirmektedir. Akıllı ev çözümleri, son kullanıcılara yalnızca yaşam konforu ve enerji optimizasyonu sağlamakla kalmaz, aynı zamanda elektrik şebekesi operatörleri ile etkileşim içinde olmasını da sağlar. Akıllı evlerde enerji yönetimi çalışmalarını üstlenen enerji yönetim sistemi, artan dağıtık enerji kaynaklarının ve yüklerin neden olduğu yeni zorlukların üstesinden gelinmesi konusunda da büyük bir potansiyel oluşturmaktadır.

Enerji yönetim sistemi; dağıtık enerji kaynaklarının üretim durumunu ve gelişmiş elektrik tarifelerini değerlendirerek denetlenebilir yüklerin çalışma koşullarını planlamak amacıyla bu bileşenler arasında gerekli koordinasyonu sağlamaya yardımcı olur.

1.5. Sonuç

Bu tez çalışması, aşağıdaki hususları kapsamaktadır:

Tezin 1. Bölümünde, akıllı şebekelerde akıllı evlerin yeri, akıllı evlerde enerji ve yük yönetimi ile talep cevabı konularının genel bir tarifi yapılmıştır.

Tezin 2. Bölümünde, bu konu başlıklarının literatür özeti verilerek akıllı şebekelerde akıllı evlerin literatürdeki yeri, enerji ve yük yönetimi çalışmaları incelenmiştir. Enerji tüketim bazında değerlendirildiğinde büyük bir paya sahip olan evlerde kullanılan elektrikli cihazlar, enerji yönetim sistemi tarafından denetlenip optimize edilmesi gereken en önemli yüklerden biridir. Bununla birlikte, piyasadaki mevcut sistem sadece zamanlama, sabit sıcaklık denetimi ve

sabit fiyatlandırma gibi akıllı tarife ile uyumlu olmayan temel denetim özelliklerini sağlamaktadır.

Tezin 3. Bölümünde, ev enerji ve yük yönetim sisteminde, ev kullanıcılarının yaşam konforlarını fazla olumsuz etkilemeden modern değişken elektrik tarifeleri dikkate alınarak, enerji ve yükün yönetimi için bir algoritma önerilmiştir. Enerji yönetim sisteminin gerçek zamanlı kontrol yaklaşımı ile yük planlamada sadece tahmin edilen veriler değil aynı zamanda sensör ağı tarafından toplanan bilgiler de dikkate alınmıştır. Bu bölümde, önerilen algoritmanın performansı incelenirken, enerji talebi şebekeden karşılanmaktadır. Evin yükleri ise geleneksel AA yüklerinden oluşmaktadır.

Tezin 4. Bölümünde, ev enerji sistemine yerel üretim ve depolama birimlerinin dahil edilmesi ile önerilen algoritmanın performansı incelenmiştir. Evin enerji dağıtım sistemi de DA olarak tasarlanmıştır. Yine bu bölümde, bu yapı ile uyumlu bir şekilde çalışabilen akıllı priz modeli geliştirilmiştir.

Tezin 5. Bölümünde, depolama birimi olmaksızın yerel üretim seviyesine göre üç farklı çalışma modu seçimi uygulanarak yük atma algoritmasının performansı incelenmiştir. Yerel yük olarak AA yükler kullanılmıştır.

Tezin 6. Bölümünde, akıllı evlerdeki dağıtık enerji kaynaklarını koordine eden bir enerji karıştırma algoritması geliştirilmiştir. Algoritma, enerji karışım oranlarına göre önerilen yöntemle enerji karıştırma işlemini gerçekleştirmektedir.

Tezin 7. Bölümünde, yenilenebilir enerji üretimi, şebekenin elektrik birim fiyatı ve yük tüketimi gibi bilgilerden elde edilen sonuçlara göre şebekenin, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve depolama birimlerinin enerji kullanım miktarlarını belirleyerek enerji karışım oranlarının optimizasyonunu gerçekleştirmektedir. Böylece, evin enerji kullanımını optimize edilerek maliyet etkin enerji ve yük yönetimi için bir çözüm sunulmuştur.

Tezin 8. Bölümünde ise bu tezde yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. KAYNAKÇA ÖZETLERİ

2.1. Özet

Bu bölümde akıllı şebekeler ile akıllı şebekenin oluşturulmasında ve işletilmesinde oldukça kritik ve önemli bir payı olan akıllı evlerin literatürdeki yeri incelenmiştir. Akıllı şebeke çalışmaları son on yılda artan bir ivme kazanmış olup bu bağlamda günümüz ve gelecek nesillerin ihtiyaçlarına cevap verebilecek modern elektrik şebekesinin inşasının gerçekleştirilmesi için dünya çapında çalışmalar yoğunlaşmıştır. Yapılan literatür taramasında akıllı şebekelerden beklenen enerji verimliliği, kendi kendini iyileştirme, sürdürülebilirlik, enerji maliyetlerinin düşürülmesi, enerji çeşitliliğinin artırılması, gözlemlenebilirlik, güvenilirlik gibi özelliklerin mevcut şebekeye kazandırılması için yapılan çalışmalar incelenmiştir. Yine yapılan incelemelerde bu çalışmalar içerisinde akıllı evlerin rolü ve tüm bu amaçlar için kullanılan enerji ve yük yönetimi uygulamaları özetlenmeye çalışılmıştır.

2.2. Giriş

Son on yılda akıllı şebeke, enerji sisteminin sürdürülebilir bir yapıya geçişinde en önemli unsurlardan biri olarak küresel ölçekte giderek önem kazanmış olup, elektrik şebekesinin bu devrimine büyük umutlar bağlanmıştır. Elektrik şebekesi ile evlerin, bilgi ve iletişim teknolojileri tabanlı güçlendirilmesi ile enerji sistemi geçişinde karşılaşılan bir dizi mevcut sorunu çözeceğine inanılan “akıllı olan her şey”, dünyanın her yerinde hükümetlerin ve endüstri çevrelerinin hayal gücünü yakalamıştır [19].

Akıllı şebeke, tüm paydaşları ilgilendiren ve politik desteğin yanısıra araştırmalar için büyük fonlar ayrılan güçlü bir vizyona sahiptir [20]. Daha da önemlisi, hükümetlerin ve endüstrinin şu ana kadar olan ilgisi akıllı şebeke teknolojilerini geliştirmeye ve ekonomik potansiyeli analiz etmeye odaklanmışken, aslında bu akıllı elektrik şebekesine karşı toplumun nasıl bir tutum sergileyeceğine ve nasıl etkileşim kuracağına ilişkin fikirler üzerinde henüz yeterince durulmamıştır. Bu nedenle, ev kullanıcılarının rolü dikkate alındığında, ev sahiplerinin akıllı şebeke vizyonunda rol oynamaya motive olabileceklerini

ortaya çıkarmak amacıyla tüketici teşviklerine odaklanmanın yetersiz olduğu görülmektedir [19, 21, 22]. Buna göre, insan faktörünü içeren araştırma projelerinin büyük çoğunluğu, bireylerin fiyat sinyallerine veya enerji tüketimine ilişkin ayrıntılı bilgilere karşı vereceği tepkiyi ölçmek için niceliksel yöntemler kullanılmakta veya tüketicileri segmentlere ayırmak için diğer piyasa araştırma yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yaklaşım temelde ev kullanıcılarının davranışlarına ve enerji fiyatına göre teşviklere tepki veren, rasyonel, veri istekli, teknolojiye meraklı akıllı hale gelen yeni akıllı şebeke teknolojileri aracılığıyla enerji üreten tüketici olması fikrine dayanmaktadır [19].

Genel anlamda, akıllı şebeke vizyonu, elektrik şebekesine bilgi ve iletişim teknolojileri uygulayarak elektrik şebekesini daha "akıllı hale getirmek" anlamına gelir. Esas anlamda zorluk, şebekede tüketimin ve üretimin dengelenmesidir. Temel mimari, sistem performansının izlenmesini ve denetimini iyileştiren, gerçek zamanlı veri aktarımını sağlayan bir enerji ve veri alışverişi yollarını içermesidir.

Böyle bir tasarımın iklim değişikliği sorunları, yakıt güvenliği, kaçak elektrik kullanımı ve yanlış faturalandırma, kullanımı artan yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu, tepe talep ve elektrik kesintileri gibi mevcut sorunlara değinerek elektrik sisteminin güvenilirliğini, verimliliğini, güvenliğini, ekonomisini ve sürdürülebilirliğini artırdığı düşünülmektedir [23]. Bu sistemin tüm bu beklentileri karşılaması için akıllı şebeke uygulamalarının, sosyo-tekniik özel ve kurumsal düzenlemelere ihtiyacı bulunmaktadır [24].

2.3. Akıllı Şebeke Çalışmalarında Akıllı Evlerin Yeri

Akıllı ev kavramı; ev otomasyonu, akıllı denetleyiciler vasıtasıyla ısıtma, soğutma, iklimleme, aydınlatma ve diğer ev cihazlarını denetleme ve işletme imkânların sunulması ile ortaya çıkmıştır. Ancak, elektrik, elektronik, iletişim, bilgisayar ve denetim tekniklerindeki kısıtlamalar nedeniyle akıllı evlerin 20. yüzyılın başlarından önce yaygınlaşması mümkün olamamıştır. 1920-1960 yılları arasında televizyon, ısıtma-soğutma sistemleri, çamaşır makinesi gibi elektrikli cihazların yaygınlaşması ile birlikte akıllı ev kavramı bir ihtiyaç haline gelmiştir. 1975 yılında kurulan ve ev cihazları için güç hatları üzerinden ilk iletişim protokolü olan X10, insanlara ev cihazlarının kolayca denetimini sağlamaya

yardımcı olmuştur. X10 yardımı ile güç hatları üzerinden iletilen 22 bit değerindeki veri paketi kullanılarak ev cihazlarının izlenmesi ve denetimi yapılabilmektedir. 1980 yılından sonra, kişisel bilgisayarlarda çeşitli ara yüz üzerinden ev cihazlarının işletilmesi, akıllı ev kavramının temeli olarak kabul edilmektedir [25]. 1990'lardan sonra bilgi ve iletişim teknolojilerinde kaydedilen gelişmelerle, telekomünikasyon tekniği, kablosuz iletişim tekniği ve internet teknolojisi, akıllı ev sistemlerine başarılı bir şekilde entegre edilmiştir [26]. CEBus, LonWorks, IEEE 802.11 kablosuz yerel alan ağı, bluetooth ve radyo frekans gibi ev cihazları için kablolu/kablosuz birçok iletişim protokolleri 20. yüzyılın son on yılında icat edilmiştir. Ancak, bilgisayar, mikrodenetleyici ve iletişim elemanlarının belirtilen dönemde akıllı ev sistemlerinde kullanılmasının oldukça maliyetli olması bu sistemlerin hayata geçmesini geciktirmiştir [27]. 21. yüzyıl başladığında bilgi ve iletişim teknolojilerindeki hızlı gelişmeler ve ilgili elektronik bileşenlerin fiyatlarındaki azalma neticesinde kablosuz güç prizleri, otomatik aydınlatma sistemleri ve termal denetleyiciler gibi akıllı ev ile ilgili ürünler müşteriler için uygun hale gelmiştir. Bununla birlikte, hükümetlerin 2000'li yılların başında akıllı şebeke kavramını ortaya koyarak yenilenebilir enerji teknikleri ve modern bilgi teknolojilerinin yardımıyla evlerde akıllı izleme, düşük maliyetli ve çevre dostu güç şebekesinin kurulması amaçlanmaktadır. Bu durum, akademik ve sanayi çevrelerinin çalışmalarını bu konuda yoğunlaştırmalarına sebep olmuştur [28]. Buna ek olarak, akıllı şebekelerin ayrılmaz bir unsuru olan akıllı evler, eskisinden daha fazla dikkatleri üzerine çekmektedir. Akıllı şebeke kavramının önerilmesinden bu yana, modern akıllı evlerin akıllı şebeke ve tüketiciler arasında köprü olarak belirlenmiş olması, önemini arttırmaktadır. Bu nedenle, akıllı evler, sadece ev otomasyon sistemi olarak değil, aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarının ve/veya diğer dağıtık enerji kaynaklarının yöneticisi olarak da kabul edilmektedir [29]. Akıllı şebeke perspektifinden bakıldığında, akıllı ölçümlenme, bilgi ve iletişim teknolojisi ve diğer gelişmiş denetim tekniklerinin entegrasyonu vasıtası ile akıllı evler, yenilenebilir enerji sistemlerini destekleyecek, değişken tarife ve diğer güç hizmetlerinin kullanımını sağlayacaktır [30]. Piyasa araştırma şirketleri ABI ve Berg Insight'ın akıllı şebeke piyasası değerlendirmelerine göre, akıllı sayaç, sensör ve diğer bileşenler dahil olmak üzere akıllı ev ürünlerinin piyasa büyüklüğü 2016'da 44 Milyar dolara ulaşmıştır. Google, Microsoft, Cisco, Apple ve GE gibi önde gelen birçok şirket,

akıllı ev pazarında söz sahibi olmak için akıllı ev ürünleri geliştirmeye başlamışlardır [31].

Devam etmekte olan birçok enerji projesinin genel amacı merkeziyetçi olmayan güç tüketiminin akıllı kontrolünü mümkün kılmak için çözümler üretmektir. Ev kullanıcılarına yönelik gerçekleştirilen çalışmaların çoğu, yük tahmin etme, enerji dengeleme konularına ve gerilim kontrolüne hitap eden esnek elektrik üretimi çerçevesine dayanmaktadır. Bu durumda akıllı şebeke, "arz esnekliğini kaybetme, talep esnekliği kazanma" yönünde ilerlemektedir [32]. Buna göre, elektrikli otomobillere, ısı pompalarına ve akıllı sayaçlar gibi akıllı şebeke teknolojilerine yatırım yapılmasının beklenmesinin yanı sıra, ev kullanıcılarının elektrik tüketiminde planlama yapması beklenmektedir.

Akıllı şebekelerde evler enerji tasarrufunda aktif rol oynamaktadırlar. Otomatik enerji tasarrufu çözümleri önemli akıllı şebeke teknolojileri olarak görülmesi ile birlikte tüketimin görselleştirilmesi de akıllı evin bir parçası durumundadır. Akıllı şebekelerde ev kullanıcıları kendi ihtiyaçlarını karşılayabileceği gibi belirli bir çerçevede başka kullanıcıların da ihtiyaçlarını karşılayan enerji üreticileri olarak rol oynayabilir. Akıllı şebeke, ev kullanıcılarının elektriği şebekeye geri göndermesine ve enerji üretimine katkıda bulunmasına izin verebilir. Burada sözü edilen görüşün bir sonucu olarak, ev kullanıcılarının esnek tüketici rolünü üstlenmeleri için enerji bilgisi, farklı talep yönetimi seçenekleri ve evin bir kaynak kontrol istasyonuna dönüşmesine olanak sağlayan yeni teknolojilere gereksinim vardır [19].

Akıllı ev kullanıcıları enerji esnekliği sağlarken konforunda ve geleneksel enerji davranışlarında çok fazla değişim olmamasını beklemektedir. Bununla birlikte, her koşulda, tüketici kesinlikle sistemin merkezinde yer almaz. Bunun yerine arz zincirinin sonunda, bireysel olarak enerjiyi üretebilir, yönetebilir ve tüketebilir [33].

Akıllı ev kullanıcılarının yaygınlaşması, akıllı evleri işlevsel kılan talep tarafı enerji ve yük yönetimi sistemlerinin ve talep cevabı programlarının da kullanıcı odaklı tasarlanmasına bağlıdır. Bu amaçla birçok ülkede araştırma yapılmış olup çalışmalara da devam edilmektedir. İngiltere talep cevabı programını yüzlerce ev müşterisi ve bir dizi endüstriyel müşteriyi içeren dağıtım şebekesine uygulamıştır. Bu gerilim odaklı talep cevabı programı [34]'de sunulmuştur. Ev kullanıcıları için ABD'deki talep cevabı programlarının çoğu

değişken tarife ve doğrudan yük kontrolüne dayanmaktadır. Örneğin, gerçek zamanlı tarife, kritik tepe fiyatlandırma ve üç zamanlı tarife gibi değişken tarifeler, müşterilerin enerji tüketimini düşürmesini ve tepe yüklerin kaydırılmasını teşvik etmek için uygulanmaktadır. Talep cevabı programlarını büyük enerji tüketicileri için başarıyla uygulayan Norveç, talep cevabını konut müşterilerine de uygulamayı düşünmektedir [35]. Bir pilot çalışma, evlerin yarısında su ısıtıcılarının kontrol edilmesiyle toplanan talep tepkisinin, Norveç'teki kayıtlı tepe yük talebinin %4.2'sini azaltabileceğini göstermektedir [36]. Araştırmacılar, gelişmekte olan bir enerji hizmeti olarak talep cevabı programında da çok fazla araştırma çalışması yapmışlardır. Talep cevabı tahminini desteklemek amacıyla ABD'de 60.000 konut müşterisinin hem uzun hem de kısa vadeli enerji tüketimini tahmin etmek için iki durumlu Markov Chain modu uygulanmıştır [37]. Bir başka uygulamada, tek tarife kullanan küçük ölçekli ticari ve ev müşterilerinin talep cevabı hizmetine katılımını sağlamayı amaçlayan teşvik mekanizmasına dayalı yeni bir talep cevabı programı sunulmuştur [38]. Akıllı sayaçlara sahip ancak yine de sabit fiyat tarifeleri kullanan perakende müşterilere uygulanan bu sistemin hedefi, toptan elektrik piyasasındaki elektrik fiyatı yüksek olduğunda enerji tüketimini azaltmak için mobil iletişim veya benzeri diğer yöntemlerle müşterilere teşvikler sunmaktır. Doğrudan yük kontrolü yaklaşımı yardımı ile büyük ölçekli ev müşterileri için bir talep cevabı hizmeti [39]'da önerilmektedir. Önerilen yaklaşımda, şebekenin istenen taleplerini karşılamak için toplama hizmeti içeren çok katmanlı iletişim katmanı ve ortalama uzlaşma algoritması kullanılmaktadır. Talep cevabı hizmetleri için farklı mikro şebekelerdeki yükleri ve dağıtık enerji kaynaklarını koordine etmek amacıyla, müşteriler için bir distribütör tabanlı enerji yönetim sistemi sunmaktadır [31].

2.4. Akıllı Şebekelerde Akıllı Evler İçin Enerji ve Yük Yönetimi Çalışmaları

Yaşamın her alanında akıllı uygulamalardan faydalar sağlanabileceği gelişmiş otomasyon ve geniş bant iletişim çağında, elektrik şebekemiz hala eski teknoloji ve sistemler kullanılarak işletilmektedir. Geleneksel güç şebekesi, güç akışının hiyerarşik bir düzen izlediği ve işlevsel olarak tek yönlü bir sistemdir. Güç, enerji santrallerinde üretilir ve yüksek gerilimli bir elektrik iletim ağı vasıtasıyla dağıtım alanına gönderilir. Dağıtım alanında güç, trafo merkezleri ve

düşük gerilim dağıtım ağı yoluyla müşterilere iletilir. Yenilenebilir enerjide sağlanan gelişmeler ve çeşitli dağıtık enerji kaynaklarının kullanımının artması, elektrik şebekesinin çift yönlü enerji akışını sağlamasını gerekli kılmıştır. Çift yönlü enerji akışı yeteneğini etkinleştirmek amacıyla işletme parametrelerini ve yük profilini kararlı hale getirmek için, mevcut elektrik şebekesine gelişmiş kontrol ve izleme teknolojileri uygulanarak verimli bir şekilde çalıştırılmasının sağlanması gerekmektedir [40].

Yeni nesil güç sistemlerinde, akıllı şebeke ve mikro şebeke yaklaşımı ile birlikte, tüketiciler enerji yönetiminde merkezi olmayan ve özerk kararlar alabilen bir enerji kaynağı olarak görülmektedir. Her tüketicinin yalnızca yükleri değil aynı zamanda küçük üretim birimlerini, ısıtma sistemlerini, depolama sistemlerini ve elektrikli araçları da yönetmesi beklenmektedir. Her bir tüketici, sistem operatörleri veya toplama birimleri tarafından desteklenen farklı talep cevabı uygulamalarına katılabilmektedir [41].

Ev alan ağındaki gelişmeler ile birlikte, ev sakinleri, güç kullanımını kendileri planlayarak elektrik giderlerini azaltmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, yerel yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı dikkate alındığında, bir ev enerji yönetim sisteminin enerji maliyetini en aza indirmesi için hem enerji tüketimini hem de üretimini aynı anda düşünmesi gerekmektedir [42]. Enerji yönetim sistemi, otomatik talep tarafı yönetimi için her zaman temel yaklaşımlardan biri olmuştur. Bu enerji yönetim sistemlerinden, yenilenebilir enerji kaynaklarının geleneksel sistemlere uyumunun sağlanması için yük esnekliğini arttırması beklenmektedir. Enerji yönetim sisteminin etkin bir şekilde çalışabilmesi, arz-talep dengesinin sağlanması, şebekeden enerji alımının ve işletme maliyetlerinin azaltılması için mevcut arz ve talep hakkında önceden bilgi sahibi olunmalıdır [43]. Talep tarafı yük yönetimi, insanların davranış biçimini değiştirebilecek bir yöntemdir. Farklı çalışmalarda akıllı evler için, yenilenebilir enerjiyi entegre eden veya dahil etmeyen enerji yönetimi algoritmaları önerilmiştir. Tüm bu araştırmalar, kullanıcıların konforunu etkilemeden günlük enerji maliyetlerini en aza indirmeyi hedeflemektedir [44].

2.4.1. Akıllı Şebekelerde Yerel Üretim Koşullarında Enerji Yönetimi Çalışmaları

Yerel enerji yönetimi, yenilenebilir enerji kaynaklarını ve enerji depolama sistemlerini birleştiren akıllı evlerin performansında ve tasarrufunda önemli bir araçtır. Enerji yönetim sistemleri ile ilgili literatür sistematik olarak üç ana kategoriye ayrılır: teknoloji katmanı, ekonomi katmanı ve sosyal katman. Teknoloji katmanı, dağıtık üretim ve depolama teknolojileri de dahil olmak üzere güç sistemleri ile ilgili çalışmaları kapsarken, ekonomi katmanı, enerji tüketimini şekillendirmek için ekonomik teşviklerle birlikte optimizasyon ve planlama tekniklerinin nasıl kullanıldığını göstermektedir. Sosyal katman ise, herhangi bir teknolojik yenileme gerektirmeden enerji tüketimini azaltmak için sosyal bilimlerin nasıl kullanılacağı konusundaki son çalışmaları göstermektedir [45]. Bununla birlikte ev enerji yönetim sistemleri üzerinde yapılan çalışmaları şu şekilde sıralayabiliriz: Birçok çalışma [46-51], ev enerji yönetim sisteminin modellenmesi ve formülasyonlarına odaklanmıştır. Bu çalışmalarda önerilen yöntemler, ev kullanıcılarının tepe yükünün azaltılmasının yanı sıra müşterinin enerji maliyetini de düşürmeyi hedeflemektedir. Buna ek olarak, müşterilerin talep cevabı programlarına aktif olarak katılımlarını sağlamak amacıyla müşteri konforunun modeli çıkarılmıştır. [52-61] çalışmalarında ise, müşterilerin elektrik maliyetlerinin yanı sıra kullanıcı rahatsızlıkları da matematiksel olarak modellenmiştir.

Bu çalışmalardaki rahatsızlık modelleri iki kategoride sınıflandırılabilir: zamanlamanın bir sonucu olarak rahatsızlık ve istenmeyen enerji durumlarının sonucu olarak rahatsızlık. Birinci sınıfta, çamaşır makineleri ve kurutucular gibi yük değişimi nedeniyle cihazların kullanılmasının gecikmesine bir ceza atfedilmektedir [52-57]. İkincisinde ise bir ceza, bir evin sıcaklığı gibi ideal bir enerji durumundan sapmalara atfedilir [58-61].

Beaudin vd., modelleme yaklaşımları ve bunların ev enerji yönetim sistemi operasyonları ve sonuçları üzerindeki etkilerini dikkate alınarak ev enerji yönetimi sistemi literatürünün karşılaştırmalı bir analizini yapmıştır. Özellikle, öngörü belirsizliği, modelleme cihazlarındaki çeşitlilik, çok amaçlı planlama, hesaplama kısıtlamaları, zamanlama konuları ve tüketici refahının modellenmesi gibi bir dizi ev enerji yönetim sistemi zorlukları tartışılmıştır [62].

Ev enerji yönetim sistemleri, ev müşterilerinin fiyat tabanlı talep cevabı programlarına aktif olarak katılımını sağlamaktadır. Bu fiyat temelli ev enerji yönetim sistemlerinde, bir denetleyici, farklı kullanıcı tercihlerini göz önüne alarak, elektrik fiyat sinyallerine cevap olarak evin kontrol edilebilir cihazlarının enerji tüketimini zamanlamaktadır. Ev enerji yönetimi uygulaması için son zamanlarda çok sayıda yöntem önerilmiş olsa da, kontrol edilebilir cihazların fiyat temelli ev enerji yönetiminde müşterilerin bakış açısına göre öncelik seviyesinin belirlenmesine değinilmemiştir. Bu konu [10]'deki çalışmanın odak noktasını oluşturmaktadır. Bu işlemi gerçekleştirmek için, her bir cihazın kayıp yükü değeri, cihazın müşteri açısından olması gereken durumunda çalışma önceliğini belirtmek üzere tanımlanmıştır. Cihazların kayıp yükü, elektrik tarifeleri ve cihazların çalışma kısıtlamaları göz önüne alındığında, müşterilerin enerji ve güvenilirlik maliyetlerini en aza indirmek için bir optimizasyon problemi önerilmiştir. Önerilen ev enerji yönetim sisteminin yerel elektrik talebini en uygun şekilde karşılaması amaçlanmıştır. Sayısal sonuçlar, zamana bağlı olarak değişen elektrik fiyat tarifeleri dikkate alarak, akıllı bir evde önerilen enerji yönetim sisteminin etkililiğini göstermiştir [10].

Wu vd., elektrikli araç, enerji depolama ve güneş paneline sahip akıllı bir evin stokastik enerji yönetimi üzerinde durmuştur. Sürdürülebilir enerji kaynakları ve elektrikli araçlarla sağlanan yerel enerji depolama olanaklarından ortaya çıkan problemlere çözüm amaçlı bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, evin enerji talebi ve elektrikli aracın şarj gereksinimleri güneş enerjisinin değişken üretimi göz önünde bulundurarak üç zamanlı tarife altında bir tüketicinin enerji masraflarını en aza indirmek istenmiştir. İlk olarak, elektrikli aracın Markov zinciri modeline göre kullanım zamanının yanı sıra evin enerji talebinin ve güneş sisteminin üretiminin tahminlerini içeren rastgele değişken modeller geliştirilmiştir. İkincisi, akıllı evdeki enerji kaynakları arasındaki güç akışını yönetmek için stokastik bir kontrol problemi matematiksel olarak formüle edilmiştir. Sonunda, zamanla değişen elektrik fiyatına dayanarak, önerilen kontrol yönteminin performansı incelenmiştir [63].

Fernandes vd., talep cevabı sırasında evdeki cihazları yönetmek için yeni bir yöntem önermiştir. Çalışmanın ana katkısı, kullanıcılara gerekli konfor düzeyini sağlamak için durum değerlendirmesi yapmak ve kaynak yönetimine zaman kısıtlamalarını dâhil etmektir. Dinamik kaynak yönetiminde yüklerin önceliği

değiştirilerek kaynakların daha iyi yönetilmesi sağlanır. Çalışmada ele alınan iki senaryoda, 30 dakikalık bir süreyle bir talep cevabı ve 240 dakikalık bir süre ile bir başka talep cevabı göz önüne alınmıştır. Her iki benzetimde de, talep cevabı sırasında enerji tüketiminin azaldığı sonucuna varılmıştır. Sunulan ev enerji yönetim sisteminde kontrol edilen gerçek ve sanal toplam 18 yük kullanılmıştır [41].

Ev enerji yönetim sistemi, konut müşterilerinin talep cevap programlarını özerk bir şekilde yürütebilmelerini sağlayan akıllı şebekenin önemli bir parçasıdır. Shakeri vd., depolama birimini kullanabilen ve termal cihazların sıcaklığını yönetebilen yeni bir sistem mimarisi tanıtmış ve kontrol algoritmasının sonucunu raporlamışlardır. Önerilen algoritma, fiyat bilgisini şebeke sunucusundan alarak enerji talebinin düşük olduğu zamanlarda elektriği şebekeden karşılamakta ve tepe talep zamanlarında depolama birimi enerjisini termal cihazların sıcaklığını düzenlemede kullanmaktadır. Önerilen ev modelinde, güneş paneli ve batarya sistemi kullanılmıştır. Batarya sisteminden çekilebilecek güç miktarı, bir günden daha fazla sürede kullanılabilmesi için algoritma tarafından sınırlandırılmıştır. Benzetim sonuçları, önerilen sistemin kullanıcının konforunu etkilemeksizin elektrik fiyatını günde %20'ye yakın bir oranda düşürebildiğini göstermiştir [64].

Rajalingam ve Malathi'nin önerdiği evde akıllı cihazlar, depolama sistemine sahip güneş enerjisi sistemi, akıllı iletişim ağı ve dayanıklı bir denetleyici bulunmaktadır. Burada denetleyici, üç zamanlı elektrik tarife fiyatına bağlı olarak enerji birimlerinin planlamasını yapmıştır. Güneş enerjisi, depolama birimi, şebeke ve ev cihazlarının kullanımı düzenli olarak izlenmiştir. Önerilen sistemde birincil güç ünitesi olarak güneş enerjisi, kullanıcı önceliğine göre otomatik olarak seçilmiştir. Güneş enerjisi aralıklı üretime sahip olduğu için talebin karşılanamadığı durumda kontrol cihazı gereken enerjiyi diğer güç ünitelerinden sağlamıştır. Benzetim sonuçları, önerilen ev enerji yönetimi algoritmasına dayanan sistemin, elektrik maliyetini, tepe talep problemini azalttığını ve enerji kullanım verimliliğini arttırdığını göstermiştir. Ayrıca, doğru akımdan (DA) (güneş enerjisi) alternatif akıma (AA) (şebeke/cihaz) enerji dönüşümü gerektiğinden güç kalitesinin bozulma olasılığı düşünülerek seçmeli harmonik eleme metodu kullanılmış ve güç kalitesi iyileştirilmiştir. Önerilen sistem MATLAB/Simulink'te geliştirilmiş ve benzetimi yapılmıştır [65].

Missaoui vd, bir başka çalışmada ev kullanıcıları enerjisini yöneten küresel model tabanlı bina enerji yönetim sisteminin performans analizi ele almıştır. Bu yöntem, tüketici beklentileri ve enerji fiyatı, güç sınırlamaları gibi fiziksel kısıtlamalar dikkate alınarak kullanıcı konforu ve enerji maliyeti arasında bir uzlaşmayı optimize etmiştir. Bu yöntemi doğrulamak için bir binanın modeli MATLAB/Simulink'te geliştirilmiştir. Bu çalışma, ısıtma sistemi, çamaşır makinesi ve bulaşık makinesi gibi cihazları şebeke bakış açısıyla yöneten bu yöntemin uygulamasını analiz etmiştir [44].

Zhou vd, akıllı ev enerji yönetim sisteminin mimari ve işlevsel bileşenleri hakkında bir genel bakış açısı sunmuştur. Güneş, rüzgar, biyokütle ve jeotermal enerjileri de içeren çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji yönetim sisteminde kullanımı araştırılmıştır. Evin yerel elektrik maliyetini düşürmek ve enerji verimliliğini artırmak için çeşitli ev cihazlarının planlama stratejileri değerlendirilmiştir [66].

Son yıllarda, dünyanın her yerinde hızla artan enerji ihtiyacı, güç sistemlerinde üretim ve işletme maliyetlerinin azaltmak ve buna paralel karbon salınımlarını en aza indirmek için merkezi bir baskı oluşturmuştur. Geleneksel enerji şebekelerinin kurulum maliyeti üçüncü dünya ülkeleri tarafından karşılanamayacağı için, dünya nüfusunun dörtte biri hâlâ elektrikten yoksundur. Son kullanıcıların enerji ihtiyaçlarını dağıtık enerji üretimi ve depolama teknolojileri ile karşılaması ile yukarıda belirtilen zorluklara uygun maliyetli çözümler sunulmaktadır. Bayram ve Ustun, bu makalede aynı zamanda iletişim, algılama ve izleme amaçları için olanak sağlayan teknolojilere ve standartlara genel bir bakış sunmaktadır. Son bölümde, sistemin uygulanmasını göstermek için bir vaka çalışması yapılmıştır [45].

Sun ve Huang, akıllı ev uygulamaları için geniş bir enerji optimizasyon yöntemleri yelpazesini kapsayan ve farklı türde yapılan çalışmalarını incelemiştir. Çalışmada akıllı ev konsepti tanımlanmış olup bulanık mantık, yapay sinir ağları, sezgisel yöntemler ve evrimsel algoritmalar da dahil olmak üzere çeşitli enerji yönetim algoritmaları analiz edilmiştir [67].

2.4.2. Akıllı Şebekelerde Yerel Üretim Koşullarında Talep Tarafı Yük Yönetimi Çalışmaları

Akıllı evlerde talep tarafı yük yönetimi, elektrik maliyetini düşürmek ve aynı zamanda yüksek tepe talebi problemini çözmek amacıyla önerilmiştir. Son yıllarda talep tarafı yönetimi alanında birçok yöntem tartışılmıştır. Kullanılan cihazların müşteri tarafından öncelik seviyesinin belirlenmesi, kullanıcının konfor seviyesini arttırmaktadır.

Çok stratejili bir yük yönetim sistemi [68]'de önerilmiş olup, müşterilere yüklerini yönetmek için birden fazla seçenek sunmak için enerji kesme ile tepe yükü düzleştirme ve anlık fiyata dayalı yük kaydırma işlemlerini sağlanmaktadır. Makine öğrenme ve örüntü tanıma yöntemleri ile yükler, hem yaşam konforuna hem de fiyat bilgilerine dayanarak yönetilebilir. Çok etmenli karar verme yöntemi, evlerde farklı tip yük ve enerji kaynaklarını yönetmek için geliştirilen temel yaklaşımlardan biridir. Bu yöntem, dağıtık enerji kaynaklarının yüklerle etkili bir şekilde etkileşime girmesine yardımcı olur. Böylece enerji sisteminin esnekliğini sağlar ve enerji faturalarının tutarını düşürür. Dahası, bulanık mantık, yapay sinir ağları ve diğer modern kontrol ve optimizasyon yaklaşımları, akıllı evlerde yük yönetiminde uygulanmıştır [69, 70]. Evlerde yaşam konforunu koruyan ve yapay sinir ağı yardımıyla enerji tüketimini düşüren uyarlanabilir denetim sistemi [69]'de önerilmiştir. Müşterilere talep tarafı yönetim ve talep cevabı özelliklerini sağlamak için, [70]'de denetim stratejisi ve bulanık mantık kuralına dayalı karar verme sistemi kullanarak bir bina enerji yönetim sistemi önerilmiştir.

Misák vd., özel koşulların bulunduğu şebekeye bağlı olmayan sistemlerde aktif talep tarafı yük yönetimi için sezgisel bir yaklaşım sunmuştur. Yapılan testler, önerilen sistemin etkili bir şekilde tasarlanması, test edilmesi, çalıştırılması ve analizleri Çekya'da Ostrava Teknik Üniversitesi'nin yerleşkesinde geliştirilen akıllı ev platformunda gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, ada modunda çalışan sistemlerde yeni enerji dağıtım sistemlerinin geliştirilmesi ve mevcut sistemlerin verimliliği, güvenliği ve güvenilirliğinin iyileştirilmesi sağlanmıştır [71].

Shirazi vd., elektrikli ve termik cihazların birlikte planlandığı akıllı bir yük yönetim modeli sunmuştur. Önerilen yöntem, kullanıcıların tüketim davranışı, mevsimsel olasılık, sosyal faktörler, rahatsızlık endeksi gibi parametreleri göz

önüne alarak ve farklı tipteki cihazları planlayarak bir ev müşterisinin elektrik maliyetini en aza indirmeyi hedeflemiştir. Modelde, merkezi denetleyici, elektrik ve termal cihazları en iyi şekilde planlamak için, elektrik fiyat bilgilerini ve çevresel faktör verilerini yayın sunucularından almaktadır. Bu yaklaşım, farklı ev cihazları, küçük bir rüzgar türbini, güneş paneli, kombine ısı ve güç ünitesi, depolama birimi içeren tipik bir evde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, önerilen formülasyon kullanılarak farklı cihazların çalışma durumlarının anlık planlamasının yapılabileceğini göstermiştir. Buna ek olarak, önerilen ev enerji yönetim modelinin daha düşük bir enerji maliyeti sağladığı ve bu nedenle daha ekonomik bir çözüm sunduğu sonucu elde edilmiştir [42].

Zhang vd., akıllı evlerdeki enerji tüketimini bir mikroşebeke sistemi kullanılarak planlamak için karma tamsayı doğrusal programlama modeli önermiştir. Günlük enerji tüketimi görevleri, ϵ kısıtlama yöntemi içeren çok amaçlı optimizasyonda çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliği birleştirerek planlanmaktadır. Çalışmada, günlük enerji maliyetini ve CO₂ salınımını en aza indirmek amaçlanmıştır. Elektrik tarifeleri ve CO₂ yoğunluğuna bağlı olarak dağıtık enerji kaynaklarının çalışma durumu ve ev cihazlarının kullanımı planlanmıştır. Önerilen model, üç farklı fiyat tarifi altında 30 evden oluşan akıllı bir binada uygulanmıştır. Durum çalışması için İngiltere'nin elektrik tarife ve CO₂ yoğunluk profilleri kullanılmıştır [72].

El-Baz ve Tzscheutschler, herhangi bir enerji yönetim sistemi için basit ancak etkili bir gün öncesi elektrik yükü tahmini yaklaşımı sunmuştur. Sunulan algoritma, diğer yaklaşımlara kıyasla, herhangi bir genel enerji yönetim sisteminin parçası olmak üzere tasarlanmıştır. Bunun için herhangi bir istatistiksel veya tarihsel veritabanları ile ilişkilendirilmesi veya herhangi bir sensör türüyle bağlantı kurmasının gerekmediği vurgulanmıştır. Önerilen algoritma, Avusturya'daki 25 ev halkının verileri üzerinde test edilmiş olup, sonuçlar ilk tahminlerde %8.2'ye inen bir hata aralığı göstermiştir [43].

Özkan, bu çalışmada, gerçek zamanlı bir ev enerji yönetim sistemi ve buna karşılık gelen kural tabanlı kontrol algoritması önermiştir. Önerilen sistemde, akıllı elektrikli ev cihazları, güç üniteleri (fotovoltaik sistem, şebeke, batarya), iletişim ağı, temel denetleyici ile donatılmış bir akıllı ev için elektrik maliyetini düşürmek ve yüksek tepe talep problemini aynı anda önlemek için gerçek zamanlı bir çözüm amaçlanmıştır. Enerji yönetim sisteminde güç

ünitelerinin mevcut durumu ve tarife oranları dikkate alınarak öncelik verilmiştir. Öncelikli güç üniteleri belirlenen şebeke limitleri ve etkin batarya kullanım kuralları çerçevesinde evin enerji talebini sağlayamadığında, temel denetleyici cihazların çalışma durumuna, izin verildiği ölçüde müdahale etmektedir. Benzetim sonuçları, önerilen enerji yönetim sisteminin elektrik maliyetini ve yüksek tepe talebini önemli ölçüde düşürdüğünü göstermiştir [73].

Özkan, diğer çalışmasında, akıllı cihazlar, bu cihazların kontrolü ve enerjinin verimli kullanılması üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bunu gerçekleştirmek için akıllı cihazlar ile çalışma prensipleri tanıtılmış ve geleneksel cihazlarla karşılaştırıldığında bu cihazların enerji tasarrufu hassas ölçümlerle analiz edilmiştir. Akıllı ev cihazlarının güç tüketimini yöneten gerçek zamanlı bir cihaz tabanlı yerel enerji yönetim sistemi önerilmiştir. Bu sistem için, kullanıcı konforunu etkilemeden elektrik maliyetini düşürmek ve enerji verimliliğini artırmak amacıyla kontrol algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritma kullanıcı konforuna dayalı olarak belirlenen öncelik sırasına göre cihazlarla etkileşim kurmaktadır. Akıllı cihazların çalışmasının ve enerji yönetim sistemi ile entegrasyonunun şartnamede belirtilen gereksinimleri karşıladığının doğrulanması için Petri ağları ile modeli çıkarılmıştır. Benzetim sonuçları, önerilen yöntemin geleneksel cihaz kullanımına kıyasla %5-16 oranında enerji tüketiminde azalma, %10-24 oranında maliyette azalma ve %38-53 oranında tepe yükü azaltma bakımından iyileşme sağladığını göstermiştir [74].

Oseni ve Pollitt, enerji ve iletişimin son 50 yıllık gelişimini ve 2050 yılına kadar akıllı enerji fiyatlandırma için neler yapılabileceği üzerinde durmuştur. Yapılan incelemeler neticesinde gelecekte yeni nesil akıllı elektrik sayaçlarının piyasaya sürülmesi ile birlikte elektrik fiyatlama tarifelerinin daha da şekillendirebileceği sonucuna varılmıştır [75].

Gayathri vd., tüm yükleri tek tek denetleyen merkezi bir enerji yönetim sistemi üzerinde durmuştur. Önerilen sistem, tepe talep zamanını tespit etmekte ve tüketici için birkaç olası program vektörü oluşturarak istenmeyen yükleri tüketici tarafından belirlenen bir öncelikle kapatmak suretiyle yük kullanımını azaltma prensibine göre çalışmaktadır. Bu sistem, hem bireysel hem de belirli bir alanın birden fazla kullanıcısı arasında yapılabildiği raporlanmıştır. Güç merkezi aynı zamanda enerji kullanımını izleyerek yükler arasında bir önem düzeni oluşturmuş ve tüketicilere bilgi vermesi sağlanmıştır [76].

Mahmood vd., akıllı şebekeler için cihazların koordinasyonuna dayalı bir yük yönetim sistemi önermiştir. Önerilen şema, ev cihazları, merkezi bir enerji yönetim birimi, akıllı sayaç ve yerel depolama birimi arasındaki iletişimi temel almaktadır. ZigBee protokolünü kullanan bir kablosuz ev ağı, önerilen sistemde yer alan farklı unsurlar arasında mesajların aktarılması için kullanılmıştır. Enerji maliyetinin azaltılması, daha iyi tepe yük yönetimi ve tepe yük ortalamasının düşürülmesi, önerilen yöntemin sağladığı faydalardan bazıları olarak açıklanmıştır. Dağıtık kaynaklarla entegre bir sistemde enerji yönetim sistemlerinin cihazların koordinasyonunu sağladığı ve dinamik fiyatlandırma şeması ile birlikte kullanılabilir olduğu sonuçları elde edilmiştir [77].

2.5. Sonuç

Artan enerji talebi, akıllı şebekeler ile birlikte talep cevabı piyasalarında ev enerji ve yük yönetim sistemlerinin geliştirilmesi için yeni fırsatlar sunmuştur. Ev enerji ve yük yönetim sistemleri, tüketici adına bir evin enerji üretim ve tüketim profilini iyileştirmek için talebi kaydırabilen ve kesebilen talep cevabı araçlarıdır. Literatürdeki yöntemlerin etkinliği, kullanılan cihaz modelleri, zamanlama parametreleri ve hedefler gibi modelleme parametrelerindeki çeşitlilik nedeniyle önerilen sistemler arasında karşılaştırma yapmak oldukça zorlaşmaktadır. Bununla birlikte, bu sistemlerin ortak amacı, genellikle, enerji maliyetleri, çevresel kaygılar, yük profilleri ve tüketici konforu gibi birden fazla durumu göz önünde bulundurarak en uygun üretim ve tüketim zaman çizelgelerini oluşturmaktır. Mevcut literatürde verimli çalışma programlarının oluşturulması ve iyileştirilmiş üretim-tüketim kararlarının alınması için matematiksel optimizasyon, model tahmin kontrolü ve buluşsal kontrol gibi çeşitli yöntemler sunulmuştur.

3. ŞEBEKEYE BAĞLI AKILLI EVLERDE GELENEKSEL ALTERNATİF AKIM YÜKLERİNİN YÖNETİMİ

3.1. Özet

Talep tarafı yük yönetimi, akıllı şebeke çalışmalarının önemli konularından biridir. Güç elektroniği, iletişim ve otomasyon teknolojileri alanındaki son gelişmeler, yerel yük yönetimi uygulamalarında kullanılan yöntemlerin çalışmasını kolaylaştırmaktadır. Akıllı şebekelerde akıllı evlerin yük yönetiminde önemli bir yeri olan talep tarafı yük yönetim uygulamaları şebekeye esneklik sağlar ve aralıklı üretime sahip yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını ve şebekeye entegrasyonunu destekler. Bu bölümde, şebekenin farklı enerji fiyatlandırma koşulları altında yük yönetimini gerçekleştirmek için bir yerel yük atma yöntemi önerilmiştir. Toplam enerji talebinin, çevrimiçi alınan enerji fiyatlarına göre belirlenen dinamik maksimum güç tüketim sınırını aşması durumunda, önerilen yöntem kullanıcı tarafından tanımlanan cihaz kullanım önceliklerine ve elektrikli ev cihazlarının güç gereksinimlerine göre elektrik yüklerini devre dışı bırakır. Bu yöntem, aynı zamanda bir evin elektrik fatura giderlerini, tüketici tarafından önceden belirlenmiş elektrik faturasından daha düşük tutmaya olanak tanır. Önerilen algoritma, akıllı sayaçlara programlanabilir ve enerji piyasasında gerçek zamanlı dinamik elektrik fiyatlandırma koşulları ile uyumlu bir şekilde çalışır. Benzetim çalışmasında, çeşitli kullanıcı ön ayarları ve çeşitli elektrik tarifelerinde önerilen algoritmanın çalışması gösterilmektedir. Benzetim sonuçları, önerilen yük atma algoritmasının yerel seviyede tepe talebini tıraşladığını ve çeşitli elektrik tarifeleriyle uyumlu bir şekilde çalışabildiğini göstermiştir.

3.2. Giriş

Akıllı şebekeler ile birlikte, talep tarafı yük yönetimi talep esnekliği sağlamaktadır. Bu durum elektrik şebekelerinin daha esnek olmasına olanak tanır [78]. Çünkü talep esnekliği, güneş ve rüzgar enerjileri gibi üretimi çevre koşullarına göre değişebilen ve kararsız olan kaynakların üretim durumlarına göre güç tüketim uyumunu mümkün kılmaktadır. Böylece enerji dağıtım sistemlerinde

enerji dengesizliğinin oluşma riski azaltılmış olur. Esnek şebeke yapısı, şebeke koşullarının ve işletilmesinin denetlenebilirliğini de artırır. Bu durum akıllı şebekelerin en önemli avantajlarından biridir.

Akıllı şebekelerin en önemli kazanımlarından biri de elektrik tarifelerinin çeşitliliğinin olması ve bu tarifelerin şebeke kullanıcılarına uygulanabilir olmasının sağlanmasıdır. Şebeke kullanıcılarının çoğunluğunda dinamik enerji fiyatı kullanımı, talep tarafı yük yönetimi uygulaması etkili olduğunda avantajlar sağlamaktadır. Tepe talep tıraşlaması, fazla enerji üretiminin azaltılması, düşük enerji maliyeti ve yüksek enerji verimliliği bu avantajlardan bazılarıdır.

Elektrik şebekelerinde dağıtık yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı gittikçe artmaktadır. Yerel ölçekte en çok tercih edilen yenilenebilir enerji kaynakları güneş ve rüzgar sistemleridir. Her zaman ve her yerde serbestçe elde edilebilir olması ve çevre dostu enerji üretim seçenekleri sunması tercih edilme sebepleri arasında gösterilebilir [79, 80]. Hibrit güneş-rüzgar enerji üretim sistemleri enerji verimliliğini ve güvenilirliğini artırabilir ve tek enerji üretim kaynağına sahip sistemlere göre enerji depolama gereksinimini azaltır [79]. Ancak güneş ve rüzgar üretimi çevre koşullarına bağlıdır [81]. Bu kaynakların enerji üretim potansiyeli kesinlik içermez ve anlık dalgalanmalar sergileyebilir. Bu durumda talep esnekliği sağlayan esnek şebeke, aralıklı üretime sahip olan güneş ve rüzgar enerji kaynaklarının kullanımına olanak tanır [78, 82]. Böylece üretim belirsizliklerinin neden olduğu enerji dengesizliklerinin giderilmesine de yardımcı olur.

Yük kaydırma, yük programlama, yük atma gibi doğrudan yük kontrol yöntemleri talep tarafı yük yönetimi uygulamalarında oldukça sık kullanılır. Yük kaydırma yönteminde, anlık talep, daha uygun bir zamana kaydırılır. Bu durum yakın zamandaki enerji üretim ve talep modelinin çok iyi tahmin edilmesini gerektirir. Yük programlamada, yakın zaman için cihazların çalışma programına uygun olarak üretim ve talep durumlarının kesin bilgisi gerekir. Buna rağmen yük atma uygulamasında üretim ve talebin anlık durumu değerlendirilerek gereksiz yükler atılır. Böylece yükün tahmin edilememesi ve üretim belirsizliğinin olduğu durumlarda talep tarafı yük yönetimi uygulamaları için yük atma işleminin kullanımı daha uygundur.

Yük atma işlemleri, enerji dağıtım sistemlerinde beklenmedik bir durumun ortaya çıkması sonucu oluşabilecek üretim ve tüketim dengesizliklerinin

üstesinden gelmek için de kullanılmaktadır. Güç sistem arızaları, anlık yük değişimleri, yetersiz üretim sonucunda üretim ve yükler arasında güç dengesizlikleri oluşabilir. Yük atma, sistem kararlılığının korunması için belirlenen miktardaki daha düşük öncelikli yüklerin atılması işlemidir [83]. Yük atma yönteminde, güç sistemlerinin optimal durumunu koruması, özellikle AA güç sisteminin gerilim ve frekans kararlılığına kavuşması için en kısa süre içerisinde daha düşük öncelikli yükler atılmaktadır [84].

Yakın geçmişte yük atma algoritmasının detaylı bir incelemesi Laghari vd. tarafından yapılmıştır [85]. Yük atma işlemi üç temel kategoride gruplanmıştır: Geleneksel algoritma [83, 84], uyarlamalı algoritma [86] ve sayısal zeka tabanlı algoritma. Geleneksel algoritma, iki yaklaşımda incelenebilir: (1) frekansta hızlı düşmeye cevap veren frekans altında yük atma tekniği [87], (2) gerilim kararsızlıkları ile ilgili gerilim altında yük atma tekniği [88]. Uyarlamalı algoritma, güç dengesizliklerinin sonucunda planlanmamış olaylar ile ilgilenme yeteneği sunmaktadır. Sayısal zeka tabanlı algoritma ise ekonomi, risk ve hizmet kalitesi gibi faktörleri göz önünde bulundurarak en uygun yük atma performansı için akıllı hesaplama ve optimizasyon tekniklerini kullanmaktadır [85].

Bununla birlikte, genellikle jeneratör ve yük baralarını içeren bir güç dağıtım sisteminin olasılık yönetimi için yük atma yöntemleri geliştirilmiştir. Yük atma yöntemi, talep tarafı yük yönetim amaçları için evlerde kullanılabilir [86]. Yerel yük atma yöntemleri, yük kaydırma ve yük programlama gibi diğer yük kontrol stratejilerine benzer olarak tepe talep tıraşlaması sağlar [89]. Diğer taraftan, ekonomik kısıtlamalar ve enerji güvenilirliği de yük denetim stratejileri olarak düşünülebilir. Yerel yük yönetim stratejilerinin ekonomik kısıtlamaları, elektrik enerjisi fiyat politikalarına, örneğin üç zamanlı tarife, sabit fiyat tarifesi veya gerçek zamanlı fiyatlandırma durumlarına bağlıdır [90].

Tezin bu bölümünde, anlık enerji fiyatı ile güncellenen dinamik enerji tüketim sınırı içerisinde yerel güç talebini sınırlamak için fiyat denetimli güç sınırlama tekniğine dayanan yerel yük atma algoritmasının performansı incelenmiştir. Bu algoritma, toplam yerel talebin dinamik güç sınırını aştığı durumda kullanıcı tarafından belirlenen öncelik sırasına ve cihazların güç gereksinimine göre yükleri devre dışı bırakır. Bu algoritma, programlanabilir akıllı sayaçlara gömülerek denetim ile ölçüm işlemlerinin akıllı sayaçlar tarafından gerçekleştirilmesi sağlanabilir [91]. Evin elektrik harcamalarını

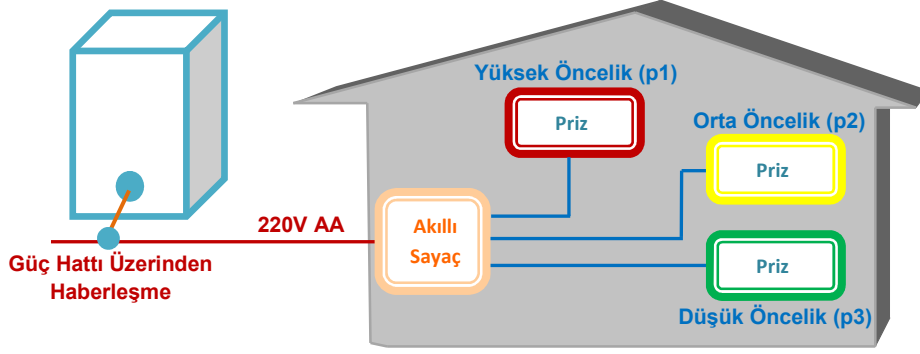
sınırlamak için yerel talebi belirlemek amacıyla anlık enerji talep durumu ve anlık enerji fiyatı izlendiğinden, bu algoritma, uyarlamalı yük atma algoritmaları içerisinde değerlendirilebilir. Önerilen yöntem, üç zamanlı ve gerçek zamanlı fiyatlandırma tarifesi gibi dinamik fiyat politikaları için etkin bir şekilde çalışmaktadır.

Önerilen algoritma, prizlerin doğrudan denetimi ile güç seviyesine ve kullanıcı tanımlı önceliğe göre cihazların enerjisini keser. Bu durum, algoritma tarafından sağlanan talep esnekliğinin etkisini göstermektedir. Akıllı sayaçlar, enerji fiyat bilgilerini fiyat yayın sunucusundan alabilen ve evdeki prizlerin açma/kapama işlemlerini yerine getirilebilen cihaz olarak tasarlanmıştır. Böylelikle benzetimlerde algoritmanın akıllı sayaçlara programlandığı düşünülmüştür. Önerilen algoritma, karmaşık optimizasyon yöntemlerini içermemektedir. Buna rağmen uygulanabilir talep tarafı yük yönetim olanağı ve karmaşık hesap azlığı gibi avantajlar sunmaktadır. Benzetim sonuçları, önerilen algoritmanın farklı fiyatlandırma koşulları altında kullanıcı tercihlerine göre evin elektrik fatura giderlerini dinamik olarak sınırlayabildiğini ve şebeke esnekliği ile tepe talep tıraşlama özelliklerini sağladığını göstermektedir.

3.3. Talep Tarafı Yük Yönetimi için Yük Atma Algoritması

Bu bölümde, akıllı ev kavramının önemli bir parçası olan yüklerin denetimi için akıllı bir yük atma algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritma, akıllı sayaçlara doğrudan bağlanan geleneksel alternatif akım yük prizlerinin açma/kapama işlemini yapmaktadır. Bu yapının temel prensibi, şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Tüketici konforunu yükseltmek amacıyla, yerel kullanıcı, haftanın günlerine ve günün saatlerine göre prizlerin öncelikli kullanım programını kendisi belirlemektedir. Kullanıcı tercihleri çevresel, sosyal ve ekonomik şartlara bağlı olarak değişebilmesine rağmen, elektrik şebekesinden enerji talebinin olabildiğince azaltılması ev kullanıcıları tarafından düzenlenmelidir [92-95]. Aksi takdirde, enerjiye erişilebilirlikte uygulanacak sınırlamalardan kaynaklanan kullanıcı rahatsızlıkları, burada akıllı sayaç olarak adlandırılan güç otomasyon sisteminin yönettiği talep tarafı yük yönetim sisteminin kullanıcılar tarafından benimsenmemesine neden olabilir.



Şekil 3.1. Yük atma için geleneksel AA prizler ve bu prizlerin akıllı sayaç öncelik belirlenmesi

Güç hattı üzerinden haberleşme (PLC) yapısının, var olan elektrik ağlarının devrim niteliğinde bir rejimi olarak kabul edilen uçtan uca iletişim yeteneğine sahip yeni nesil güç iletim/dağıtım sistemlerine uygulanabilir olduğu kanıtlanmıştır. PLC tekniğinde teknolojik düzenleme, standardizasyon ve sertifikasyondaki son gelişmeler, heterojen ağlar için gelişmiş iletişim ve kontrol teknolojileri alanında büyük ilgi uyandırmıştır. Bu ilerlemelerin, gelecekteki güç sistemlerinin, yenilenebilir enerji kaynakları ve talep cevabı programları ile etkinliğini ve güvenilirliğini büyük ölçüde arttıracığı beklenmektedir. Çeşitli ulusal ve uluslararası organizasyonlar, PLC düzenlemelerini ve teknolojilerini yaygınlaştırmak için bant genişliği, modülasyon türleri, kanal kodlama şemaları, çalışma frekansı ve elektromanyetik kapasite sınırları gibi önemli kriterlerin standartlarını belirlemek istemektedir. Ayrıca, yenilenebilir enerji entegrasyonu için PLC tabanlı sistemler/çözümler, dağıtık güç sistemi ve dağıtık enerji kaynakları izleme, kontrol ve yönetim amacıyla incelenmektedir [96]. Burada akıllı sayaçlar, güç hattı üzerinden haberleşme tekniği kullanılarak dinamik fiyat sunucusu ile haberleşebilen, güç anahtarlayabilen gömülü programlama yeteneklerine, denetim ve iletişim olanaklarına sahip cihaz olarak düşünülmüştür.

Yük atma algoritması programlanabilen akıllı sayaçlar tarafından gerçekleştirilir. Bu algoritma şekil 3.1'de gösterildiği gibi, anlık elektrik fiyatını veya elektrik tarife seçeneğini fiyat yayın sunucusundan almaktadır. Ev kullanıcıları, bağlı olan elektronik cihazların önemine göre priz önceliğini düzenlemektedir.

Çizelge 3.1’de gösterilen zaman çizelgesinde her bir priz, üç öncelik seviyesine göre $p1$, $p2$ ve $p3$ olarak belirtilmiştir. Öncelik seçimi, prizlere bağlı cihazın çalışma önceliğini göstermektedir ve yük atma işlemi sırasında kullanıcı tercihlerine göre tanımlanmıştır.

Çizelge 3.1. Pazartesi günü için tipik ev cihazlarının öncelik belirleme örneği

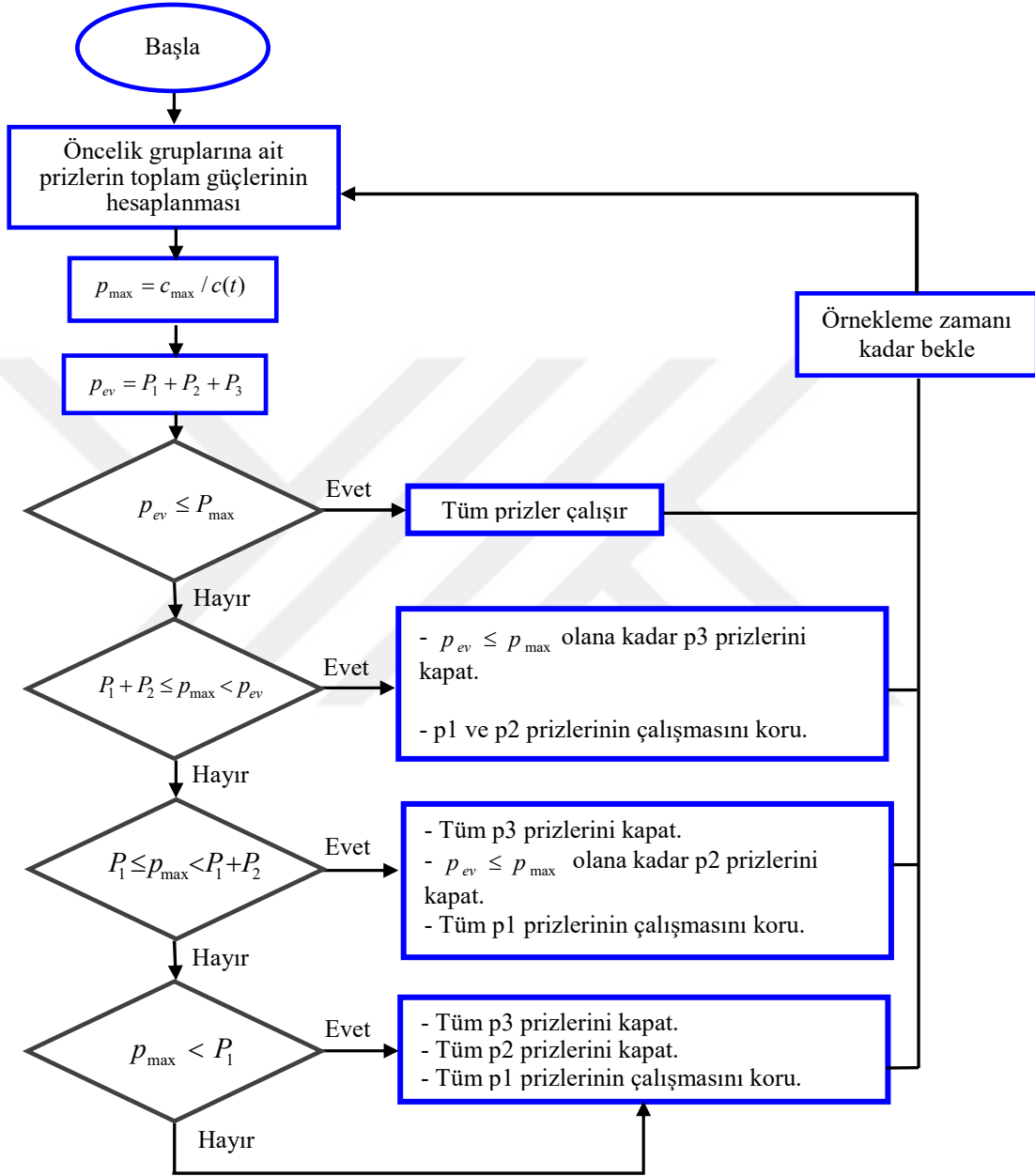
| Saat | Buzdolabı | Aydınlatma | Çamaşır Makinesi | Bulaşık Makinesi | Mutfak | TV | Bilgisayar | Banyo | Yatak Odası | Salon |
|-------|-----------|------------|------------------|------------------|--------|------|------------|-------|-------------|-------|
| 0-1 | $p1$ | $p1$ | $p3$ | $p3$ | $p3$ | $p2$ | $p2$ | $p3$ | $p3$ | $p3$ |
| 1-2 | $p1$ | $p1$ | $p3$ | $p3$ | $p3$ | $p2$ | $p2$ | $p3$ | $p3$ | $p3$ |
| 2-3 | $p1$ | $p1$ | $p3$ | $p3$ | $p3$ | $p2$ | $p2$ | $p3$ | $p3$ | $p3$ |
| 3-4 | $p1$ | $p1$ | $p3$ | $p3$ | $p3$ | $p2$ | $p2$ | $p3$ | $p3$ | $p3$ |
| 4-5 | $p1$ | $p1$ | $p3$ | $p3$ | $p3$ | $p2$ | $p2$ | $p3$ | $p3$ | $p3$ |
| 5-6 | $p1$ | $p1$ | $p3$ | $p3$ | $p3$ | $p2$ | $p2$ | $p3$ | $p3$ | $p3$ |
| 6-7 | $p1$ | $p1$ | $p3$ | $p3$ | $p3$ | $p2$ | $p2$ | $p1$ | $p3$ | $p2$ |
| 7-8 | $p1$ | $p1$ | $p3$ | $p3$ | $p1$ | $p2$ | $p2$ | $p1$ | $p3$ | $p1$ |
| 8-9 | $p1$ | $p1$ | $p3$ | $p1$ | $p1$ | $p2$ | $p2$ | $p1$ | $p3$ | $p1$ |
| 9-10 | $p1$ | $p1$ | $p3$ | $p3$ | $p3$ | $p2$ | $p2$ | $p2$ | $p3$ | $p3$ |
| 10-11 | $p1$ | $p1$ | $p3$ | $p3$ | $p3$ | $p2$ | $p2$ | $p3$ | $p3$ | $p3$ |
| 11-12 | $p1$ | $p1$ | $p3$ | $p3$ | $p1$ | $p2$ | $p2$ | $p3$ | $p3$ | $p3$ |
| 12-13 | $p1$ | $p1$ | $p3$ | $p3$ | $p1$ | $p2$ | $p2$ | $p2$ | $p3$ | $p1$ |
| 13-14 | $p1$ | $p1$ | $p3$ | $p3$ | $p3$ | $p2$ | $p1$ | $p2$ | $p3$ | $p3$ |
| 14-15 | $p1$ | $p1$ | $p3$ | $p1$ | $p3$ | $p2$ | $p1$ | $p3$ | $p3$ | $p3$ |
| 15-16 | $p1$ | $p1$ | $p3$ | $p3$ | $p3$ | $p2$ | $p1$ | $p3$ | $p3$ | $p3$ |
| 16-17 | $p1$ | $p1$ | $p3$ | $p3$ | $p3$ | $p1$ | $p2$ | $p3$ | $p3$ | $p3$ |
| 17-18 | $p1$ | $p1$ | $p3$ | $p3$ | $p3$ | $p1$ | $p2$ | $p3$ | $p3$ | $p2$ |
| 18-19 | $p1$ | $p1$ | $p3$ | $p3$ | $p1$ | $p1$ | $p1$ | $p3$ | $p3$ | $p2$ |
| 19-20 | $p1$ | $p1$ | $p3$ | $p3$ | $p1$ | $p1$ | $p1$ | $p2$ | $p3$ | $p2$ |
| 20-21 | $p1$ | $p1$ | $p3$ | $p1$ | $p1$ | $p1$ | $p1$ | $p2$ | $p3$ | $p2$ |
| 21-22 | $p1$ | $p1$ | $p2$ | $p2$ | $p2$ | $p1$ | $p1$ | $p2$ | $p3$ | $p1$ |
| 22-23 | $p1$ | $p1$ | $p2$ | $p2$ | $p2$ | $p1$ | $p2$ | $p2$ | $p3$ | $p1$ |
| 23-24 | $p1$ | $p1$ | $p3$ | $p2$ | $p2$ | $p1$ | $p2$ | $p2$ | $p3$ | $p1$ |

$p1$ durumu, prize bağlı cihazın en yüksek önceliğini göstermektedir ve $p1$ önceliğine sahip prizlerin hiçbir surette gücü kesilmez. $p2$ ve $p3$ seçimleri ise ikinci ve üçüncü önceliğe sahip prizleri göstermektedir ve şartlı olarak bu prizlerin gücü kesilebilir. Bu üç farklı öncelik seçme durumu çizelge 3.2’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.2. Cihaz öncelik sınıfları ve açıklamaları

| Cihaz Öncelik Seçimi | Açıklama |
|------------------------|--|
| $p1$: Birinci Öncelik | $p1$ önceliğine sahip prizler her zaman aktif durumdadır. |
| $p2$: İkinci Öncelik | Tüm $p3$ prizleri kapatıldıktan sonra gerekli ise $p2$ önceliğine sahip prizler kapatılabilir. |
| $p3$: Üçüncü Öncelik | Gerektiğinde $p3$ önceliğine sahip prizler kapatılabilir. |

Bu algoritma, prizlere bağlı cihazların güç talebine ve cihazların kullanıcı tanımlı öncelik sırasına göre prizlerin açma/kapama işlemini gerçekleştirir. Önerilen yük atma algoritmasının akış şeması şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Önerilen yük atma yöntemi için geliştirilen algoritmanın akış şeması

p_1 , p_2 ve p_3 öncelik gruplarının toplam güç tüketimleri P_1 , P_2 ve P_3 ile ifade edilmiştir.

$$P_1(n) = \sum_{i \in p1} p_i(n) \quad (3.1)$$

$$P_2(n) = \sum_{i \in p2} p_i(n) \quad (3.2)$$

$$P_3(n) = \sum_{i \in p3} p_i(n) \quad (3.3)$$

Burada, $P_i(n)$, i prizinin n ayrıık örnekleme zamanında ölçülen güç tüketimini belirtmektedir. Bir priz, sadece ve sadece bir öncelik grubuna ait olmalıdır. Evin toplam güç tüketimi aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$p_{ev}(n) = \sum_{i \in p1 \cup p2 \cup p3} p_i(n) = P_1(n) + P_2(n) + P_3(n) \quad (3.4)$$

Algoritma, evin güç tüketimi olan P_{ev} değerini izin verilen maksimum tepe güç sınırı olan P_{max} değerinin altında tutar. Ancak, $p1$ önceliğine sahip kritik cihazlar asla kapatılmaz. Önerilen algoritmanın işleyişi hakkında önemli adımlar aşağıda özetlenmiştir:

1) Akıllı sayaç tarafından uygulanan algoritma, i prizlerinin güç tüketimlerini (P_i) periyodik olarak denetleyerek prizlerin açma/kapama durumlarına karar verir. Aynı zamanda algoritma evin toplam güç tüketimini $p_{max}(n) \geq p_{ev}(n) \geq P_1(n)$ şartı ile kontrol eder.

2) Yük atma işlemi, evin toplam güç tüketiminin maksimum dinamik tepe güç sınırını aşması durumunda gerçekleşir ($p_{ev}(n) > p_{max}(n)$). Akıllı sayaç, ilgili prizlerin güç değerlerine ve cihaz önceliğine bağlı olarak prizleri kapatmaya başlar. Evin toplam güç tüketimi, maksimum dinamik tepe güç sınırının altında olması durumunda ($p_{ev}(n) \leq p_{max}(n)$) yine akıllı sayaç, prizlerin güç değerine ve cihaz önceliğine göre gerekli prizleri devreye alır.

3) $p_{ev}(n) > p_{max}(n)$ durumunda, algoritma aynı öncelik grubundaki en yüksek güce sahip ve daha düşük öncelikli olan prizden başlayarak yük atma işlemini gerçekleştirir. En fazla güç çeken prizlerin öncelikli olarak kapatılmasının tercih edilmesi ile yük atma işlemi sırasında daha fazla priz

çalışmasına izin verilmesi durumu ortaya çıkar. Bu da daha az cihazın devre dışı bırakılmasını sağlayarak kullanıcı rahatsızlıklarını azaltır.

4) $p1$ önceliğine sahip prizler hiçbir zaman devre dışı bırakılmaz. Bu nedenle önemli cihazların bağlı olduğu prizler $p1$ önceliğine sahip prizler olarak düzenlenmelidir. Algoritma, $P_{ev} > P_{max}$ ve $P_{max} > P_1$ şartları ile yük atma işlemine izin verebilir.

5) Bu algoritma, gerçek zamanlı elektrik fiyatlandırma durumunda elektrik giderlerini uyarlamalı olarak dengeleyebilir. Tüketici, evin maksimum elektrik maliyetini belirler ve akıllı sayaç $P_{max}(t) = c_{max}/c(t)$ formülü ile en fazla izin verilen tepe gücünü hesaplar. Burada $c(t)$, akıllı sayaç tarafından dinamik fiyat yayın sunucusundan alınan çevrimiçi birim elektrik fiyatı (TL/kW), c_{max} ise tüketici tarafından belirlenen maksimum elektrik maliyetidir.

Önerilen yük atma algoritması, elektrik yüklerini açma/kapama yaparken aşağıda belirtilen iki kurala uymak durumundadır:

i) Birinci kural kritik yükler ile ilgilidir.

$$\sum_{i \in p1 \cup p2 \cup p3} P_i(n) - \sum_{i \in p1} P_i(n) \geq 0 \quad (3.5)$$

ii) İkinci kural önemsiz yükler ile ilgilidir.

$$\frac{c_{max}}{c(n)} - \sum_{i \in p1 \cup p2 \cup p3} P_i(n) \geq 0 \quad (3.6)$$

Denklem (3.5) ve (3.6) incelendiğinde kritik ve önemsiz yükler hakkında fikir elde edilmektedir. Kritik yükler gerektiğinde atılabilecek potansiyele sahip yüklerdir. Önemsiz yükler ise ev için belirlenen maksimum güç değerinin, evin o andaki yerel güç tüketiminden fazla olduğu durumda ortaya çıkmaktadır. Bu da yük atma işlemine gerektirecek bir durumun bulunmadığı anlamına gelmektedir.

Benzetim işleminden gerçek modele daha yakın sonuçlar elde etmek amacıyla Gokcol vd. tarafından raporlanan Gebze evine ait talep profili, ev cihazlarının güç talebini modellemek için kullanılmıştır [97]. Elektrikli ev cihazları ve bu cihazların ortalama güç talepleri çizelge 3.3'te listelenmiştir.

Çizelge 3.3. Benzetimde kullanılan elektrikli ev cihazlarının güç talepleri [97]

| Cihaz No | Ev cihazları | Ortalama Güç Talepleri (Watt) |
|----------|-----------------------|-------------------------------|
| 1 | Buzdolabı | 57 |
| 2 | Aydınlatma | 250 |
| 3 | Çamaşır makinesi | 500 |
| 4 | Bulaşık makinesi | 500 |
| 5 | Mutfak gereçleri | 100 |
| 6 | TV | 200 |
| 7 | Bilgisayar | 300 |
| 8 | Yatak odası gereçleri | 200 |
| 9 | Banyo gereçleri | 200 |
| 10 | Salon gereçleri | 100 |

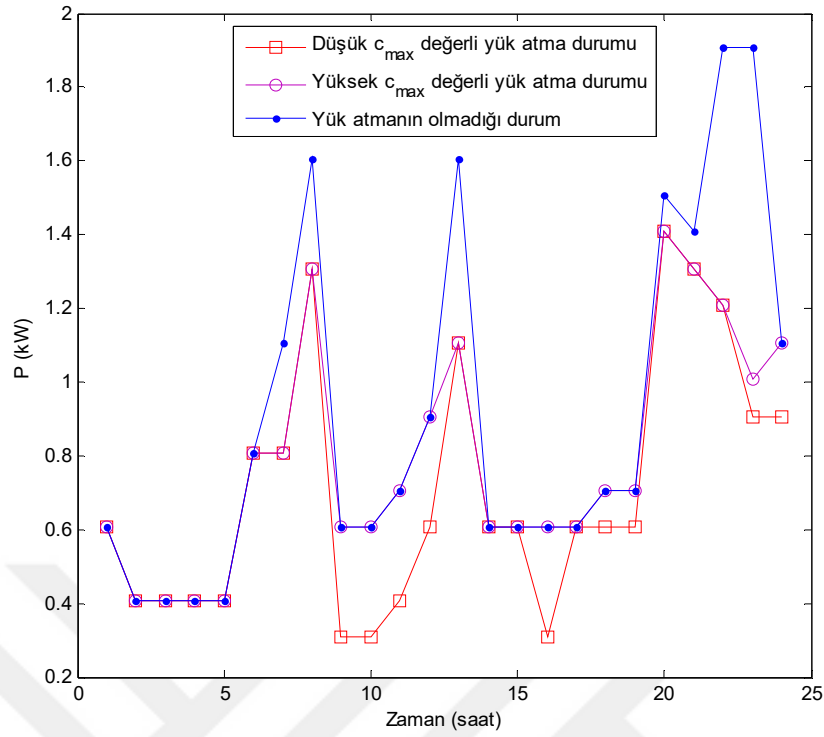
Benzetimlerde, çizelge 3.2’de belirtilen öncelik atama durumu kullanılmıştır. Ev tüketimi için elektrik birim fiyatı 21.376 kr/kWh (100 kr=1TL) olarak alınmıştır.

3.4. Farklı c_{max} Durumları İçin Yerel Yük Atma Analizi

Bu bölümde c_{max} değeri ayarlanarak yük atmanın çeşitli dereceleri için önerilen yük atma yönteminin etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Burada gerçek zamanlı elektrik fiyatlandırma tarifesi için evin elektrik maliyeti ve güç tüketimi üzerinde yük atma metodunun etkisinin gösterilmesi için üç benzetim senaryosu ele alınmıştır:

- i) Yük atmanın olmadığı durum,
- ii) Düşük gelirli tüketiciler için talep tarafı yük yönetiminin benzetimi amacıyla düşük c_{max} değerli yük atma durumu,
- iii) Orta gelirli tüketiciler için talep tarafı yük yönetiminin benzetimi amacıyla yüksek c_{max} değerli yük atma durumu.

Şekil 3.3’te farklı yük atma senaryoları için yerel güç tüketiminin karşılaştırılması gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Farklı yük atma durumları için yerel güç tüketiminin karşılaştırılması (Yük atmanın olmadığı durum, düşük enerji maliyetinde yük atma (düşük gelirli tüketici), orta dereceli enerji maliyetinde yük atma (orta gelirli tüketici))

Çizelge 3.4, önerilen yük atma algoritmasının elektrik maliyetini orta ölçekli c_{max} ayarı için 18.94 kr/saat'ten 16.32 kr/saat'e, düşük c_{max} ayarı için 18.94 kr/saat'ten 14.47 kr/saat'e indirdiğini göstermektedir.

Çizelge 3.4. Farklı c_{max} ayarı için senaryolardan elde edilen yük atma oranı (S_h) ve ortalama elektrik maliyeti (E_c)

| Benzetim Senaryosu | c_{max} Ayarı | Yük Atma Oranı (S_h) | Ortalama Elektrik Maliyeti (E_c) (kr/saat) |
|--|-----------------|--------------------------|--|
| (i) Yük atmanın olmadığı durum | 100 | 0 | 18.94 |
| (ii) Düşük enerji maliyeti için yük atma | 13.89 | %10.80 | 14.47 |
| (iii) Orta değerli enerji maliyeti için yük atma | 20.83 | %6.20 | 16.32 |

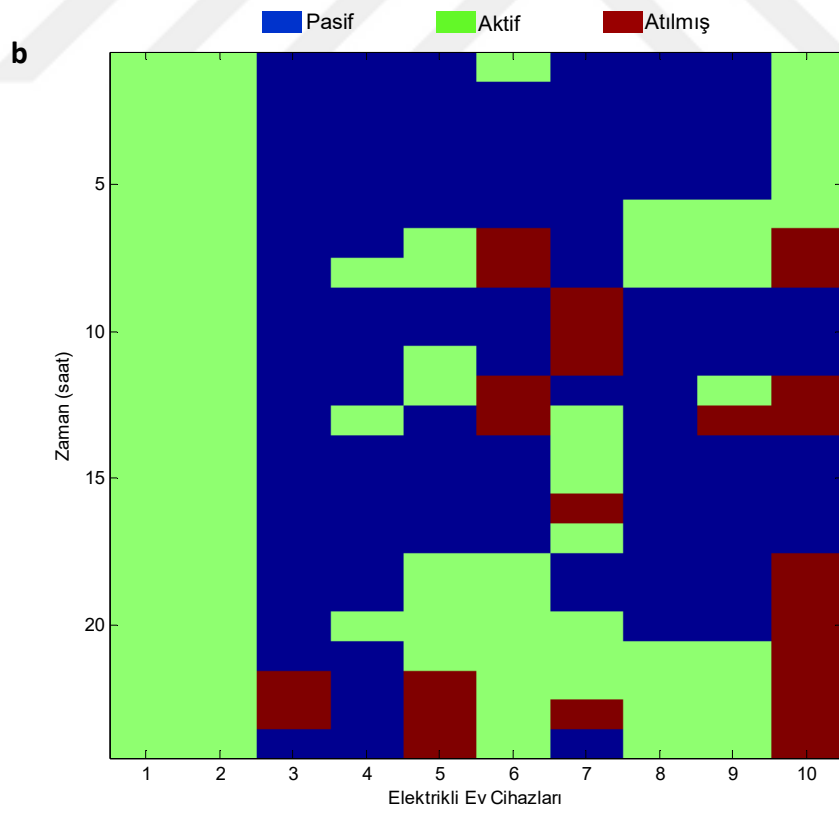
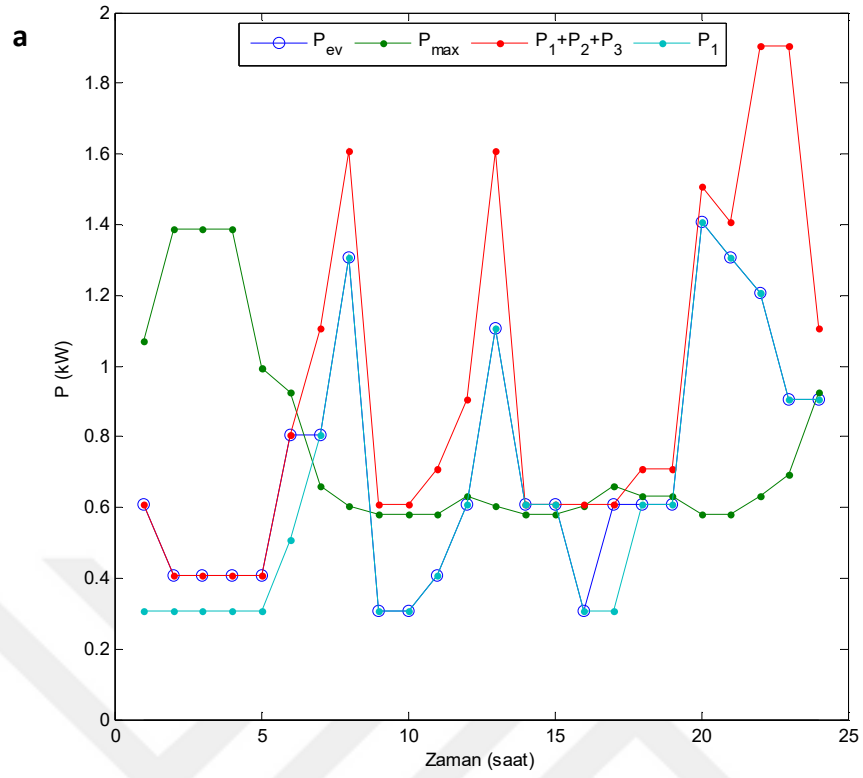
Yük atma oranı, atılan yüklerin saatlerinin günün toplam saatine oranı ile hesaplanmıştır:

$$S_h = \frac{T_S}{24N_H} \quad (3.7)$$

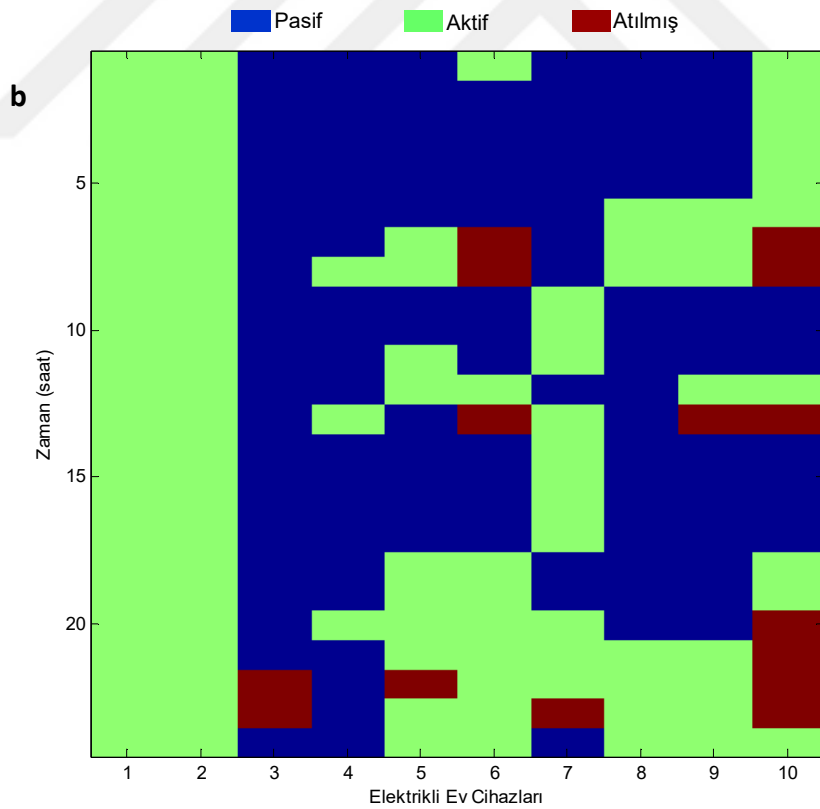
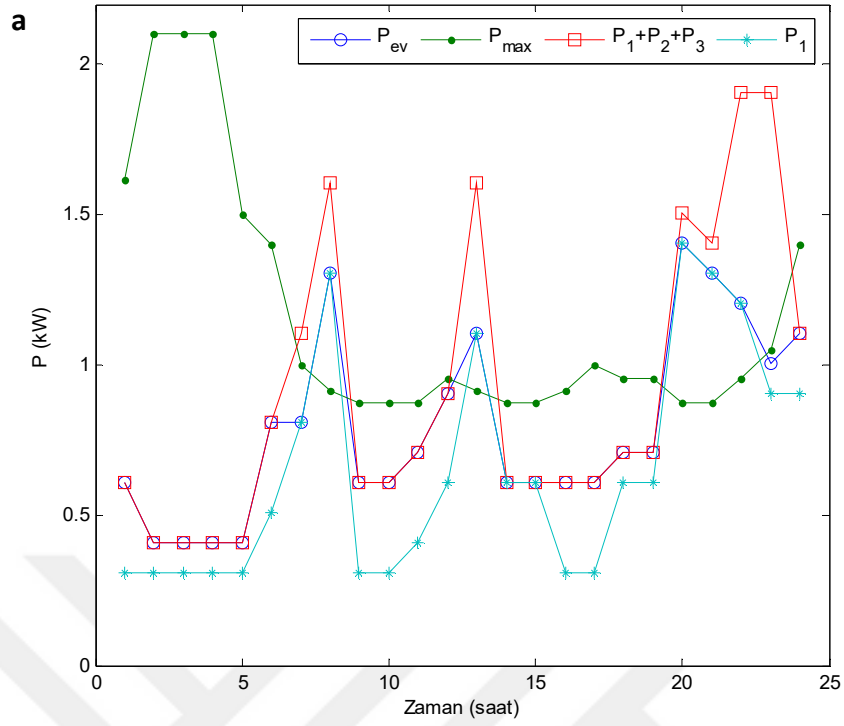
Burada N_H , yük atma algoritmasının denetlediği prizlerin toplam sayısını, T_S ise yük atma algoritması tarafından kapatılan cihazların devre dışında kaldığı süreyi göstermektedir. S_h değerinin artması, cihazların yük atma sebebiyle devre dışında bulunma süresinin uzadığını gösterir. Yüksek S_h değeri, tüketici rahatsızlıklarına sebep olabilir. Ancak, denklem (3.5) ile hesap edilen kritik yükler için temel kural, S_h değerinin artmasını sınırlamak ve kritik yüklerin kapanmasını önlemektir.

Şekil 3.4 ve şekil 3.5, düşük enerji maliyeti (ii) ve orta ölçekli enerji maliyeti (iii) senaryoları için yük atma işleminin benzetim sonuçlarını göstermektedir.

Şekil 3.4(a) ve şekil 3.5(a)'da, yük atma algoritması tarafından hesaba katılan güç parametrelerinin saatlik değişimi görülmektedir. Bu şekillerde, evin toplam güç tüketiminin maksimum dinamik tepe güç sınırından düşük olduğu durumda ($P_{ev}(n) \leq P_{max}(n)$) algoritmanın 01:00-07:00 saatleri arasında tüm cihazların çalışmasına ve evin toplam güç tüketiminin $P_1(n) + P_2(n) + P_3(n)$ olmasına izin verdiği görülmektedir. $P_{ev}(n) > P_{max}(n)$ olduğu saatlerde, algoritma $p1$ önceliğine sahip cihazların çalışmaya devam etmesini sağlamakta ve evin toplam güç talebini $P_1(n)$ 'e düşürmektedir. Şekil 3.4(b) ve şekil 3.5(b)'de yük atma algoritması tarafından yönetilen cihazların saatlik çalışma durumları gösterilmiştir. Şekil 3.4(b)'deki düşük c_{max} düzenlemesinde şekil 3.5(b)'deki orta ölçekli c_{max} düzenlemesine göre daha fazla cihazın devre dışı bırakıldığı görülmektedir.

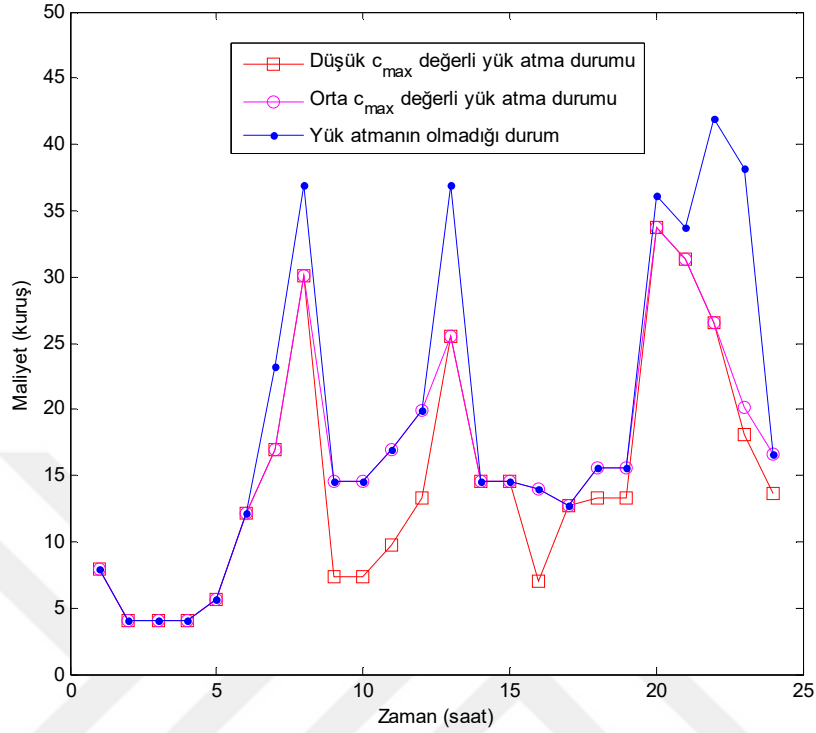


Şekil 3.4. Düşük c_{max} düzenlemesinde yük atma benzetim sonuçları. (a) Güç parametrelerinin (kW) değişimi. (b) Cihazların saatlik çalışma durumları



Şekil 3.5. Orta ölçekli c_{max} düzenleminde yük atma benzetim sonuçları. (a) Güç parametrelerinin (kW) değişimi. (b) Cihazların saatlik çalışma durumları

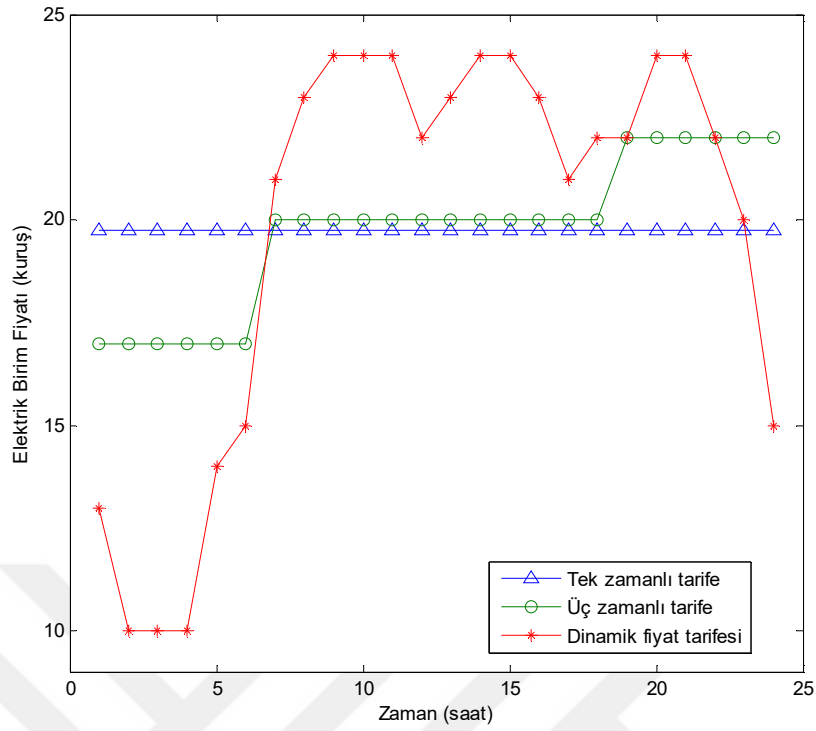
Şekil 3.6’da farklı yük atma durumları için saatlik elektrik maliyetinin karşılaştırılması gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Farklı yük atma durumları için saatlik enerji maliyetinin karşılaştırılması

3.5. Farklı Elektrik Fiyatlandırma Tarifeleri İçin Yerel Yük Atma Analizi

Bir önceki bölümde gerçek zamanlı dinamik elektrik fiyat tarifesi için önerilen yük atma algoritmasının performansı gösterilmiştir. Bu bölümde, önerilen yük atma yönteminin üç zamanlı ve tek zamanlı fiyat tarifelerindeki çalışma durumu sayısal olarak örneklerle açıklanacaktır. Şekil 3.7’de farklı tarifeler için benzetim esnasında kullanılan elektrik fiyatlarının saatlik değişimi gösterilmiştir.



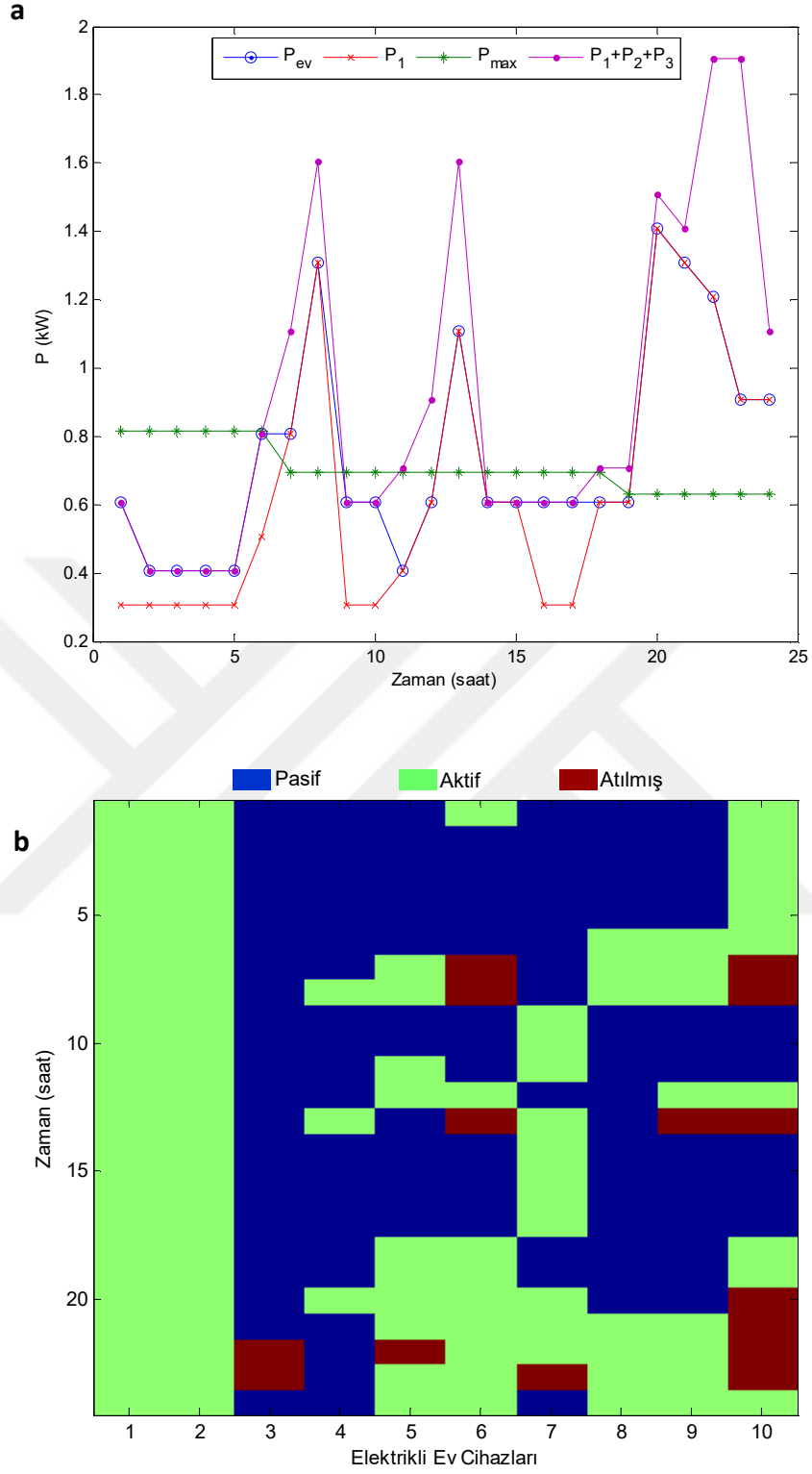
Şekil 3.7. Benzetimde kullanılan tarifelerin elektrik birim fiyatının saatlik değişimi

Çizelge 3.5, algoritmanın üç zamanlı ve tek zamanlı fiyat tarifelerinde uygulanabilir olduğunu ve elektrik maliyetini düşürdüğünü göstermektedir.

Çizelge 3.5. Farklı tarife uygulamaları için c_{\max} ayarı, senaryolardan elde edilen yük atma oranı (S_h) ve ortalama elektrik maliyeti (E_c)

| Tarife | c_{\max} Ayarı | Yük atma oranı | Ortalama elektrik maliyeti (kr/saat) |
|--------------------------|------------------|----------------|--------------------------------------|
| Tek zamanlı tarife | 13.89 | %10.42 | 14.45 |
| Üç zamanlı tarife | 13.89 | %9.50 | 15.03 |
| Dinamik fiyat tarifesini | 13.89 | %10.80 | 14.47 |

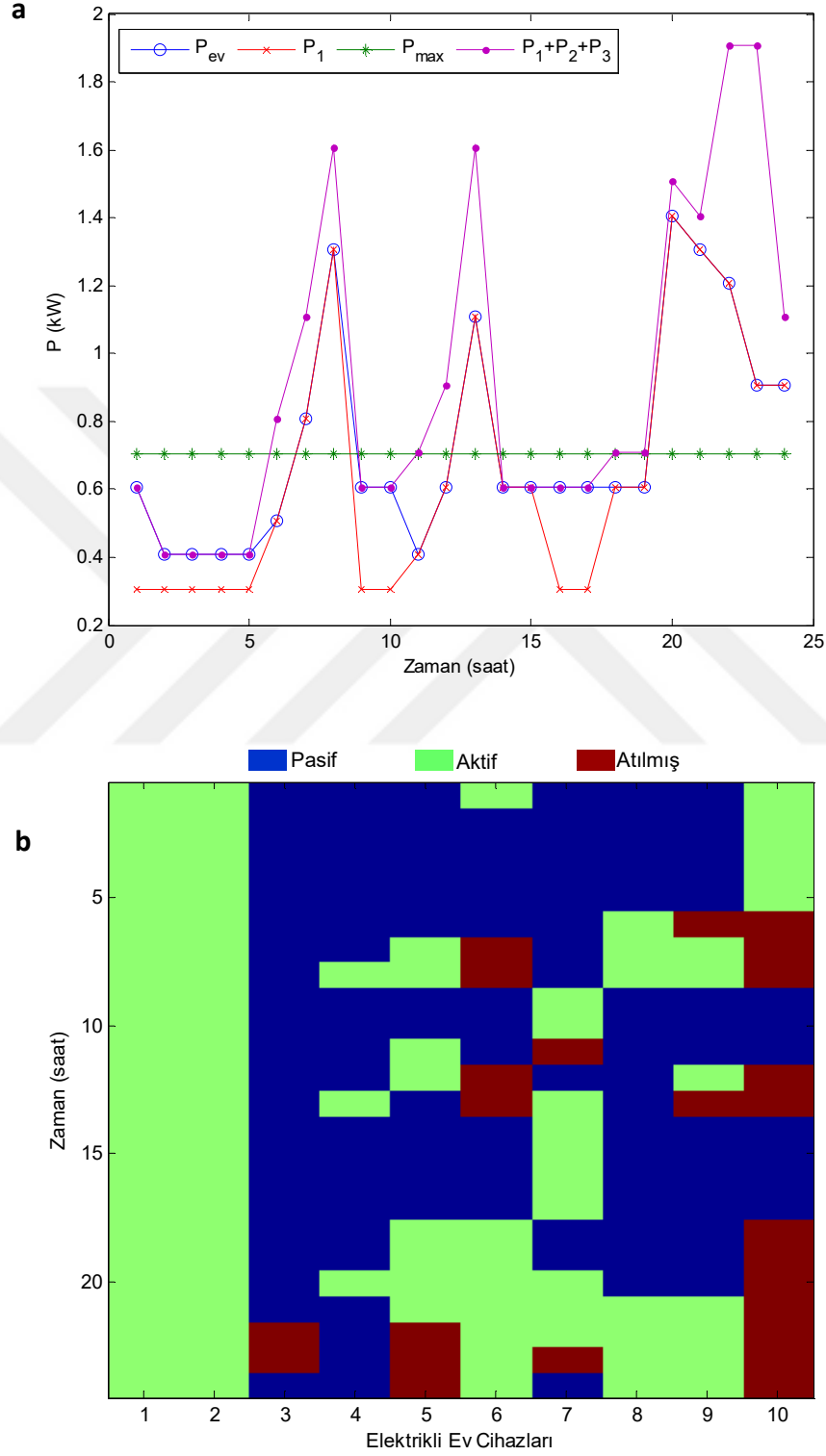
Şekil 3.8 ve şekil 3.9’da, üç zamanlı ve tek zamanlı tarife durumlarında düşük enerji fiyat ayarı için elde edilen benzetim sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Üç zamanlı tarife için yük atma benzetim sonuçları. (a) Güç parametrelerinin (kW) değişimi. (b) Cihazların saatlik çalışma durumları

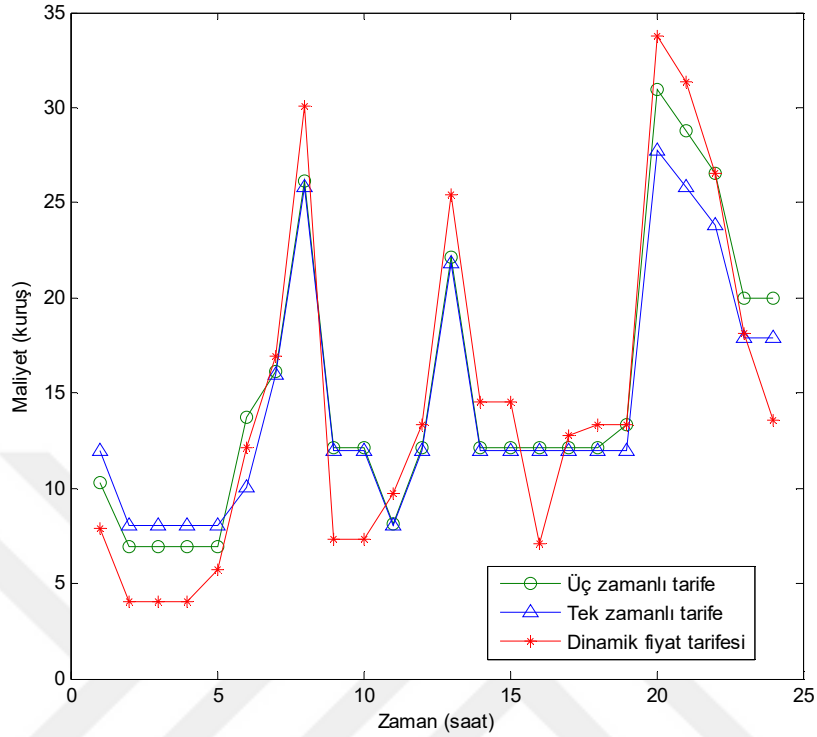
Önerilen yük atma algoritması gerçek zamanlı, üç zamanlı ve tek zamanlı fiyat tarifeleri ile uyumlu çalışabilmektedir. Bu durum, yöntemin enerji

piyasasının farklı fiyatlandırma tarifeleri için uyarlanabilir olması ile geleceğin akıllı şebekelerinin enerji piyasaları için tarife esnekliği sağlayabileceğini göstermektedir.



Şekil 3.9. Tek zamanlı fiyat tarifesini için yük atma benzetim sonuçları. (a) Güç parametrelerinin (kW) değişimi. (b) Cihazların saatlik çalışma durumları

Şekil 3.10’da gerçek zamanlı, üç zamanlı ve tek zamanlı fiyat tarifeleri durumlarında evin saatlik elektrik maliyetlerindeki değişim karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.10. Üç zamanlı, tek zamanlı ve dinamik fiyat tarifeleri için evin saatlik elektrik maliyetlerinin karşılaştırılması

Çizelge 3.6’da üç farklı elektrik tarifesinde yük atmanın olmadığı ve düşük c_{max} ayarı için (13.89 kr/saat) yük atmanın olduğu durumlarda kullanıcının enerji tasarruf oranı verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü üzere, tüketicinin enerji kullanım alışkanlığına göre en düşük enerji maliyeti üç zamanlı tarifede olmasına rağmen en fazla enerji tasarrufu dinamik fiyat tarifesinde gerçekleşmiştir.

Çizelge 3.6. Düşük c_{max} ayarında yük atma işleminin varlığına göre farklı tarife uygulamaları için ortalama elektrik maliyeti (E_c) ve enerji tasarrufu oranları

| Tarife | E_c (kr/saat) Yük atma yok | E_c (kr/saat) Yük atma var | Enerji tasarrufu oranı |
|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------|
| Tek zamanlı tarife | 18.55 | 15.03 | %18.97 |
| Üç zamanlı tarife | 17.99 | 14.45 | %19.67 |
| Dinamik fiyat tarifesini | 18.94 | 14.47 | %23.60 |

3.6. Sonuç

Akıllı şebekelerde talep tarafı yük yönetim uygulamaları önemli konulardan biridir [7]. Evlerde talep tarafı yük yönetimi, önemli ölçüde talep esnekliği sağlamaktadır. Bu nedenle yerel talep tarafı yük yönetimi araçları şebeke esnekliğini önemli ölçüde arttırmaktadır. Talep esnekliği, kesintili üretimi olan yenilenebilir enerji kaynaklarının güç sistemlerine dahil edilmesine olanak sağlamada önemli faktörlerden biri olarak değerlendirilmektedir [98]. Yerel talep tarafı yük yönetim sistemleri, yük kaydırma, yük programlama ve yük atma algoritmalarının uygulanmasını mümkün hale getirmektedir. Bu nedenle yük yönetim sistemleri tepe talep zamanlarında önemli olmayan taleplerin ertelenmesi veya atılması anlamına gelen tepe tıraşlama işlemini gerçekleştirir [92]. Böylece talep eğrileri düzleştirilir [93, 94, 99, 100] ve fazla enerji üretim durumu azaltılır.

Bu bölümde, evler için elektrik harcamalarını dengede tutmak amacıyla fiyat denetimli güç sınırlama programına dayalı yük atma algoritması geliştirilmiştir. Önerilen algoritma, cihazların güç talebine ve kullanıcı tanımlı öncelik programına göre cihazları devre dışı bırakmaktadır. Bununla birlikte, önerilen algoritma karmaşık optimizasyon tekniklerini içermemektedir. Ev kullanıcıları için güvenilir yerel talep tarafı yük yönetim işlemi, düşük hesap karmaşıklığı ve doğruluk sağlamaktadır. Benzetim sonuçları, önerilen algoritmanın tek zamanlı, üç zamanlı ve gerçek zamanlı tarifeler gibi farklı elektrik fiyatlandırma politikaları altında kullanıcı tanımlı maksimum elektrik harcamalarını karşılamak için evin enerji giderlerini sınırlayabildiğini göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, önerilen yöntemin yerel yük atma işlemi ile tepe talep tıraşlamasına olanak sağladığını göstermektedir. Önerilen algoritma, birinci öncelik grubundaki ($p1$) kritik cihazların enerjisini hiçbir surette kesmediği için güvenli bir yük atma işlemi gerçekleştirmektedir. Yük atma algoritması, prizleri doğrudan denetleyebilen, enerji piyasasından fiyat bilgileri alabilen programlanabilir akıllı sayaç kullanılarak uygulanabilir.

4. ÜRETKEN-TÜKETİCİ OLAN AKILLI EVLERDE YÜK YÖNETİMİNİN VE DOĞRU AKIM ENERJİ DAĞITIMININ MODELLENMESİ

4.1. Özet

Güç elektroniği teknolojisindeki son gelişmelerle birlikte, elektrik dağıtım sistemlerinde DA bara kullanımının arttığı gözlemlenmektedir. DA dağıtım sistemlerinin AA dağıtım sistemlerine göre enerji verimliliği, güvenlik, elektromanyetik uyumluluk ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu gibi birçok konuda üstünlüğü söz konusudur. Bu bölüm, geleceğin akıllı evleri için akıllı priz içeren yerel DA dağıtım sistemine dayalı enerji yönetim sistemi kavramını sunmaktadır. Akıllı evlerde ve binalarda entegre edilmiş enerji yönetim sistemi için enerji verimliliğinin artırılması; akıllı sayaç, akıllı priz, yenilenebilir enerji üretimi ve enerji depolama sistemlerinin uyumlu çalışması ile mümkündür. Bu entegre sistem, geleceğin akıllı şebekelerinin talep tarafı yük yönetimi, dağıtık üretim ve dağıtık depolama koşullarını desteklemektedir. Akıllı şebeke çağında, akıllı prizlerin yerel DA kavramı üzerinde etkileri bulunmaktadır. Bu bölümde, bina enerji yönetim otomasyonunun önemli bir parçası olan akıllı prizlerin modellenmesi ve kullanımı tanımlanmıştır. Ayrıca priz yük denetimi için bir önceki bölümde önerilen yük atma algoritmasının yerel üretim ve depolama koşulları altında performansı incelenmiştir. Benzetim çalışmaları önerilen sistem bileşenlerinin performansını göstermektedir.

4.2. Giriş

Günümüzde güç dağıtım sistemleri DA ve AA güç dağıtım şebekesi olarak adlandırılan iki temel yapıdadır. Son yüzyılda akkor lambalarda ve AA transformatörlerdeki gelişmeler nedeniyle AA güç dağıtım sisteminin kullanımı tercih edilmiştir. Güç elektroniğindeki gelişmeler nedeniyle bugünkü durum farklılık arz etmektedir. DA güç dağıtım sistemi birçok alanda kullanılmaktadır [101]: Güneş panelleri, düşük güçlü rüzgar enerjisi sistemleri, yakıt hücreleri gibi birçok yenilenebilir enerji sistemleri DA elektrik enerjisi üretmektedir [102].

İkincil bir güç kaynağı olarak kullanılan enerji depolama sistemleri de DA güce dayanmaktadır [103]. Ayrıca televizyon, bilgisayar gibi elektrikli ev cihazları DA güce ihtiyaç duyar [104]. Deniz ve uzay uygulamalarındaki duyarlı yükler kesintisiz güç kaynağına ihtiyaç duymaktadır [105, 106]. Günümüzde DA dağıtım kullanımını mümkün olup, AA güç dağıtımını ile karşılaştırıldığında birçok avantaja sahiptir.

Son birkaç on yılda DA güç dağıtım ve tüketim üzerindeki araştırmalar için giderek artan bir eğilim söz konusudur. DA dağıtım sistemlerinin avantajları birçok açıdan tespit edilmiştir [107-113]. AA sistemler, DA sistemlere göre sağlık üzerinde daha fazla olumsuz etkiye sahiptir [107]. Elektrikli ev cihazlarında DA-DA dönüştürücüleri DA-AA dönüştürücülere göre daha verimli olduğundan, DA sistemi, elektrikli ev cihazları için daha verimli enerji dağıtımını sağlar [104, 108, 109]. Mevcut geleneksel AA dağıtım sistemleri için yenilenebilir enerji kaynaklarının DA entegrasyonu, yüksek gerilim kararlılığı, kolay denetim ve yönetim seçenekleri gibi önemli avantajlar sunmaktadır [110]. Nitekim DA dağıtım sistemi ile tüm elektrikli ev cihazlarının enerji ihtiyacının karşılanması mümkündür [111, 112]. Ayrıca DA dağıtımda reaktif güç problemleri ve harmonikler de bulunmaz [113]. Bu nedenle DA dağıtım sistemlerinde enerji kalitesi, AA dağıtım sistemlerine göre daha iyidir.

DA dağıtımının birçok avantajı olmasına rağmen, günümüzde yerel güç dağıtım sistemlerinde yaygın bir kullanım alanı henüz bulamamıştır. Bunun temel sebebi, geleneksel güç üretim, iletim ve dağıtım altyapılarının AA güç standartlarında inşa edilmiş olmasıdır. Ancak, akıllı şebeke çağı, DA dağıtım sistemlerinin uygulanması için bir fırsat oluşturmaktadır. Elektrikli ev aletlerinin çalıştırılması için ortak elektrik standartlarının bildirilmesi suretiyle, yerel doğru akım dağıtım sisteminin uygulanması yerinde ve etkili olacaktır. Örneğin, tüm cep telefonları ve diğer düşük güçlü cihazlar için 5V standart bir gerilimdir. 24V ve 48V, dizüstü bilgisayar ve bilgisayar ekranı gibi orta güçlü cihazlar için kullanılabilir. Uluslararası Elektroteknik Komisyonu tarafından insanlar için güvenli gerilim sınırı olarak kabul edilen 120V gerilim ise fırın, çamaşır makinesi ve ütü gibi yüksek güçlü ev cihazları için kullanılabilir. Standart hale getirilen çoklu gerilim DA dağıtım, elektronik cihazlar için şebeke enerjisini DA güce çeviren adaptör kullanımını azaltır. Böylece tüketicilerin güç adaptörlerine bağımlılığı ortadan kalkacak ve cihazların maliyetleri düşecektir.

Ofis ve ev uygulamaları için tüketici standartlarının geliştirilmesi amacıyla akıllı prizler içeren DA dağıtım sistemi bir adım olarak düşünülebilir. Akıllı prizler, otomasyon teknolojileri seçeneklerini kullanarak talep tarafı yük yönetimini gerçekleştiren ev enerji yönetim sisteminin tamamlayıcı bir parçası olarak çalışmaktadır. Bu bölümde geleneksel ev cihazlarının uyumluluğu için AA priz ve DA güç dağıtım için çoklu DA prizleri içeren akıllı priz modeli geliştirilmiştir.

4.3. DA Dağıtım Sistemi Olan Üretken-Tüketici Akıllı Ev Modeli

İşlevsel otomasyon sistemleri, akıllı evlerin çok önemli bir unsurudur [114, 115]. De Silva ve diğerleri; güvenlik uygulamaları, yaşlı ve çocuk bakım uygulamaları gibi bazı akıllı ev uygulamalarını otomasyon sistemlerini kullanarak önermiştir [114]. Bununla birlikte, akıllı şebeke uygulamalarında akıllı evler için tartışılan en önemli konulardan biri enerji verimliliği ve yerel enerji-yük yönetimi araçlarıdır. Bu amacı gerçekleştirmek için son yıllarda akıllı enerji yönetim otomasyonu üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır. Talep tarafı yük yönetimi, dağıtık yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ve dağıtık enerji depolama uygulamaları; yerel güç yönetim işlemlerine ve merkezi olmayan denetim ve iletişim tekniklerinin kullanımına dayanmaktadır. Kostkova ve diğerleri, yük yönetim tekniği ve programları için kapsamlı bir çalışma önermiş olup, yük yönetim metodlarının sınıflandırılmasını vermiştir [99]. Doğrudan yük kontrolüne dayalı son çalışmada kontrol edilebilen yüklere sahip DA akıllı evler, yenilenebilir enerji kaynakları ve yüklerin neden olduğu güç dalgalanmaları durumunda güç sisteminin arz-talep dengesinin yönetimi için önerilmiştir [116]. Doğrudan yük kontrolünün bir diğer gerçekleşme yöntemi priz yük kontrol uygulamalarıdır [117-119]. Priz yük kontrolü, akıllı priz adı verilen özel prizler aracılığıyla cihazların açma/kapama işlemlerinin uzaktan kontrolünü gerçekleştirir. Günümüzde talep tarafı yük yönetimi için ev enerji yönetim sistemlerindeki akıllı prizlerin entegrasyonu, birçok akademik çalışma ve ticari uygulamalarda pratik olarak uygulanmıştır. Wi-Fi ve Zigbee gibi kablosuz iletişim protokollerine sahip priz yük kontrolü için akıllı priz gibi birçok ürün ticari olarak elde edilebilir.

Bu tez çalışmasında önerilen akıllı ev enerji yönetim sistemleri ile akıllı priz uygulaması, aşağıdaki yenilikleri sunmaktadır [120]:

- Akıllı şebekelerde yenilenebilir enerji entegrasyonu ve denetim kolaylığı, sağlanan gerilim kararlılığı, insan sağlığı için daha güvenli olması, elektrikli ev cihazlarının güç gereksinimi ile daha uyumlu olması gibi DA dağıtım sisteminin üstünlüklerine sahip yerel DA dağıtım, akıllı priz teknolojisi ile talep tarafı yük yönetiminin uygulanmasını sağlar. Önerilen akıllı priz, gönderilen sinyal yoluyla cihazların açma/kapama durumuna bağlı olan doğrudan yük denetim yöntemini desteklemektedir.

- Önerilen sistem, dinamik elektrik fiyatlandırma koşullarında yerel yenilenebilir dağıtık üretim ve depolama sistemleri ile uyumlu bir şekilde çalışabilmektedir. Bu durum, geleceğin akıllı şebeke uygulamaları için oldukça önemlidir.

- Akademik ve ticari uygulamalarda dağıtık priz yük çalışmaları için önerilen iletişim sistemlerinde baskın eğilim kablosuz iletişim olmasına rağmen, cihazlar arası iletişim için burada yerel DA dağıtım üzerinden güç hattı haberleşmesi önerilmiştir. Çünkü güç hatları üzerinden haberleşme tekniği, ev içerisindeki elektromanyetik girişimi ve emisyonları azaltarak daha sağlıklı bir çözüm sunmaktadır.

- Bu bölümde DA akıllı prizlerde altı nokta üzerinde üç priz gerilim seviyesi önerilmiştir. Elektrikli ev cihazlarının üreticileri tarafından bu gerilim seviyeleri standart olarak alındığında sözkonusu cihazların beslenmesi için herhangi bir dönüştürücüye ihtiyaç kalmayacaktır. Böylelikle elektrikli ev cihazlarının yapısında güç dönüştürücü birimi bulunmayacağından daha ucuz, daha hafif ve daha basit bir yapıya sahip olacaktır. Priz tasarımı, aynı zamanda geleneksel elektrikli ev cihazları için standart AA priz içermektedir.

- Önerilen DA akıllı priz, mikrodenetleyici ve iletişim teknolojisi sayesinde gömülü programlama ile güç tüketim izleme ve arıza önleme amaçlarını gerçekleştirmektedir. Elektrikli ev cihazlarının DA ve AA prizlerinin aşırı yüklenmesi veya yüksüz olması durumlarında, akıllı priz gücü kesmektedir. Bu durum evin enerji ve yük dağıtımını daha güvenli ve verimli olmasını sağlamaktadır.

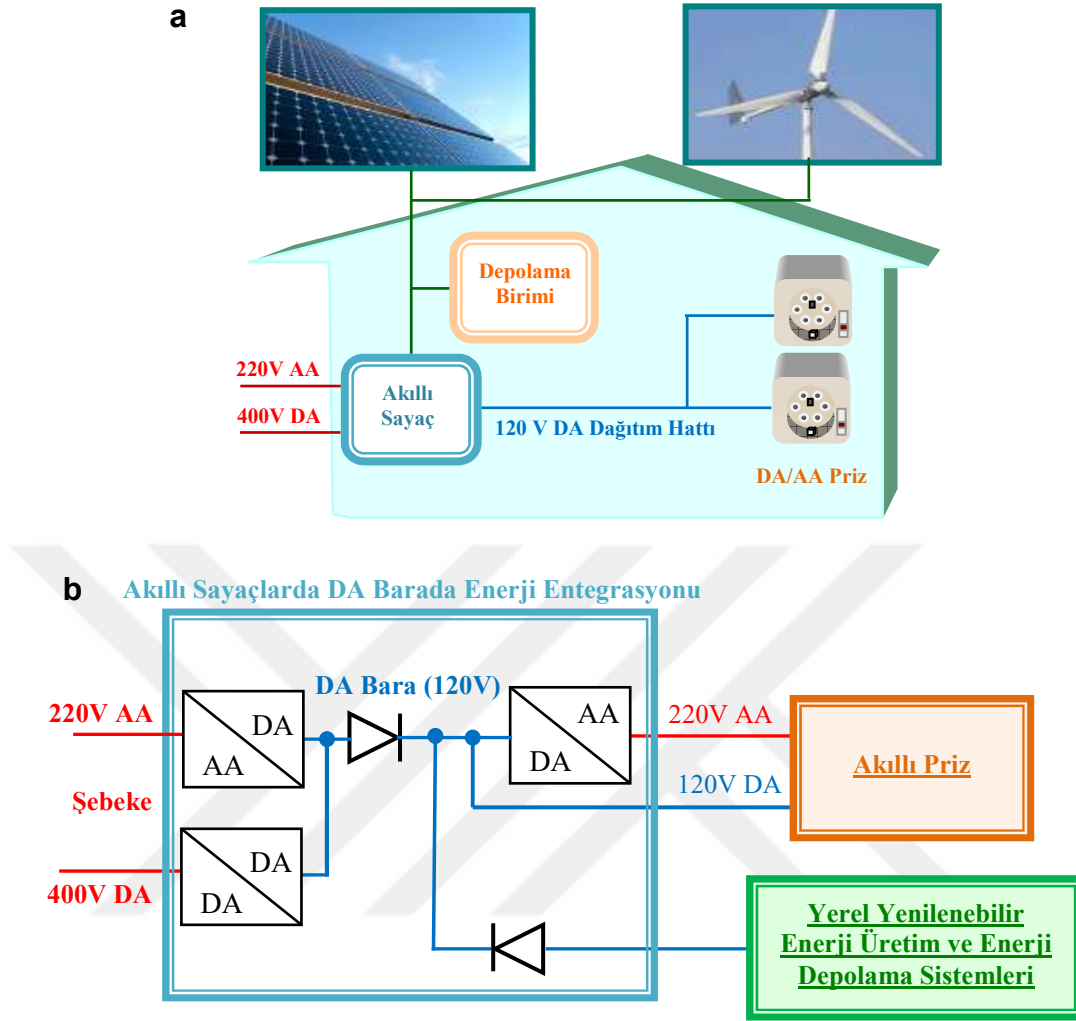
- Önerilen priz yük kontrol teknolojisi, ekonomik kısıtlamalar ve tüketici konforu arasında dengenin sağlanması için yük atma algoritmasına ihtiyaç duymaktadır. Dinamik elektrik fiyatlandırma koşullarında önerilen akıllı prizlerin yük atma işlemlerini gerçekleştirmesi ve yerel güç talebinin sınırlandırılması için

uyarlamalı yük atma algoritması önerilmiştir. Önerilen algoritma bir önceki bölümde detaylı olarak anlatılmıştı. Bu bölümde yerel üretim ve depolama birimini de içeren, aynı zamanda şebekeye bağlı akıllı ev için yük atma algoritmanın performansı incelenmiştir. Önerilen sistem, evin enerji talebini karşılamak amacıyla yerel yenilenebilir üretim ve depolama birimi enerjisinin kullanımını destekler ve şebekeden enerji alınması için yük priz gerçekleştirmesini yerine getirir.

Güç dağıtım sisteminde beklenmedik durumların meydana gelmesiyle oluşan üretim ve tüketim dengesizliklerinin üstesinden gelmek için temel olarak yük atma işlemleri kullanılmaktadır. Güç sistem arızaları, anlık yük değişimleri ve yetersiz üretim; arz ve talep arasındaki güç uyumsuzluklarının hem nedenleri hem de sonuçları olabilmektedir.

Yük atma yöntemleri, jeneratör ve yük baralarını içeren güç dağıtım sisteminin beklenmedik durum yönetimi için geliştirilmiş olmasına rağmen, günümüzde akıllı binalarda talep tarafı yük yönetim işleminin gerçekleştirilmesinde de kullanılmaktadır [117-119]. Ekonomik sınırlamalar, güç güvenilirliği, tüketici konforu ve verimlilik kayıpları yük kontrol stratejileri olarak düşünülmektedir [90, 119].

Bu bölümde, şekil 4.1(a)'da gösterildiği gibi akıllı sayaç, yenilenebilir enerji üretim ve depolama sistemleri ile akıllı prizleri bulunduran yerel DA dağıtım sistemi kavramını içeren akıllı ev modeli sunulmaktadır. Bu kavram, doğrudan yük denetim tekniği üzerinden elektrik fiyatlandırma uyarlamalı yük atma algoritması uygulanarak talep esnekliği sağlamaktadır. Aynı zamanda akıllı evlerde güneş ve düşük güçlü rüzgar türbinleri gibi yerel yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunu desteklemektedir. Prizin DA çıkışları, elektrikli ev cihazlarının güç gereksinimlerinin düşük-orta-yüksek olmak üzere üç tipi için DA güç sağlaması amacıyla tasarlanmıştır. Akıllı priz, akıllı sayaçların güç hatları üzerinden haberleşme teknolojisini kullanarak iletişimini sağlamaktadır [121] ve böylelikle akıllı priz, ucuz şebeke enerjisi veya verimli yenilenebilir enerji üretimi ve depolama durumlarına göre talep tarafı yük yönetimi işlemlerini gerçekleştirir. Şekil 4.1(b)'de DA enerji entegrasyonunun elektrik şeması gösterilmektedir.



Şekil 4.1. (a) Doğru akım enerji dağıtımına dayalı akıllı ev kavramı (b) Akıllı sayaçlarda doğru akım enerji karıştırma yöntemi ile enerji entegrasyonunun elektriksel şeması [120]

4.4. Şebekeye Bağlı Akıllı Evlerde Yerel Üretim ve Depolama Koşullarında Enerji ve Talep Tarafı Yük Yönetiminin Analizi

Bu bölümde yerel üretim ve depolama birimlerinin mevcut olduğu akıllı evlerin enerji maliyetlerini dengelemek amacıyla maksimum güç denetim şemasına dayalı yük atma algoritması önerilmiştir. Bu bölümde önerilen algoritmanın çalışma durumu, önceki bölümde tanıtılan algoritma ile aynı olup, akıllı evlerde bulunan yerel enerji üretim ve depolama birimlerinin etkisi ile algoritmanın performansı incelenmiştir. Algoritma, bu bölümde akıllı prizlerin doğrudan denetimi ile elektrikli ev cihazlarının güç seviyelerine ve kullanıcı

önceliklerine göre cihazları kapatmaktadır. Önerilen algoritma, hem ekonomik hem de teknik sınırlamalar göz önünde bulundurularak optimum yük denetimini sağlamaktadır. Basit ve yüksek uygulanabilirlik, düşük hesaplama yöntemi ile kullanıcı önceliklerine göre maksimum sayıdaki cihazların çalışmasını sağlayabilmektedir. Önerilen algoritma, gerçek zamanlı fiyatlandırma durumunda binanın enerji maliyetini kullanıcı tanımlı enerji tüketim sınırının altında tutmaktadır. Kesintisiz DA enerji karıştırma yöntemi, 120V DA barada gerçekleştirilmiş ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu için bu gerilim seviyesi kullanılmıştır [95]. Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerjisinin kullanımına öncelik vermek amacıyla yenilenebilir enerji sisteminin çıkışı 130V DA gerilimi olarak ayarlanmıştır. Yenilenebilir enerji sistemlerinin verimli olduğu saatlerde, yenilenebilir enerji kaynakları 120V'tan daha büyük bir DA gerilimi sağladığından evin enerji talebi yenilenebilir enerji sisteminden karşılanır. Eğer yenilenebilir enerji üretimi evin talebini karşılamak için yeteri kadar verimli değilse, meydana gelen arz eksikliği şebekeden karşılanır. Kesintisiz DA enerji karıştırma yöntemi, yenilenebilir enerji kaynaklarının aralıklı ve dalgalı enerji üretim durumlarında yeterli AA gerilim kararlılığı sağlamaktadır [95].

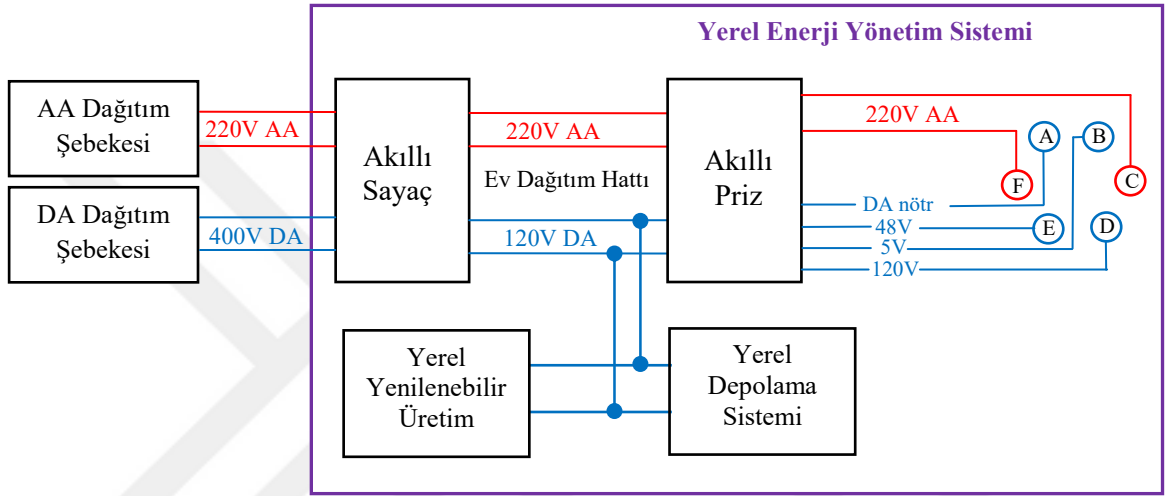
4.5. Akıllı Evler İçin Akıllı Enerji Yönetimi ve DA Dağıtım

Günümüzde DA dağıtımda farklı gerilim seviyeleri ve güç oranlarında çok sayıda uygulama bulunmaktadır. DA dağıtım sistemleri yüksek gerilim doğru akım sistemleri [122] gibi iki dönüştürücü ve bir DA bağlantı içeren basit bir yapıya sahip olabilir. Bununla birlikte, DA dağıtım sistemleri, gemi güç sistemlerinde [123-125] ve hibrit elektrikli araçlarda [126, 127] hem enerji kaynağına bağlanma hem de yükleri besleme amaçlı kullanılan paralel bağlı dönüştürücüleri içeren karmaşık bir yapıya da sahip olabilir. Yüksek hızlı anahtarlama teknolojisi ile güç dönüştürücüler daha karmaşık DA dağıtım sisteminin geliştirilmesini sağlamaktadır. Dönüştürücüler, dağıtım şebekesi boyunca gerilim seviyelerini ayarlamak ve kararlı hale getirmek için DA dağıtım sistemlerinin temel bileşenleri olarak kullanılmaktadır [128].

Evlerde ağ yönetim cihazı vasıtasıyla doğrudan denetim yöntemleri kullanılarak oluşturulan yerel enerji yönetim sistemi son yıllarda birçok çalışmada önerilmiştir [117-119, 129-136]. Mikrodenetleyici tabanlı akıllı enerji yönetim

cihazları, açma/kapama yaparak kolayca güç akışının kontrolü için kullanılmaktadır [133, 134]. Başka bir teorik çalışmada akıllı sayaç, akıllı priz/anahtar, cihaz denetleyici, akıllı enteraktif terminal ve diğer akıllı cihazları içeren birçok dağıtım sistemi elemanlarına dayalı bir akıllı ev enerji yönetim sistemi kavramı sunulmuştur [135].

Bu bölümde akıllı prizleri içeren yerel DA güç dağıtım kavramı sunulmuştur. Şekil 4.2’de akıllı evler için önerilen yerel DA güç dağıtım sisteminin şematik diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Akıllı evlerde yerel enerji yönetim sisteminin şematik diyagramı [120]

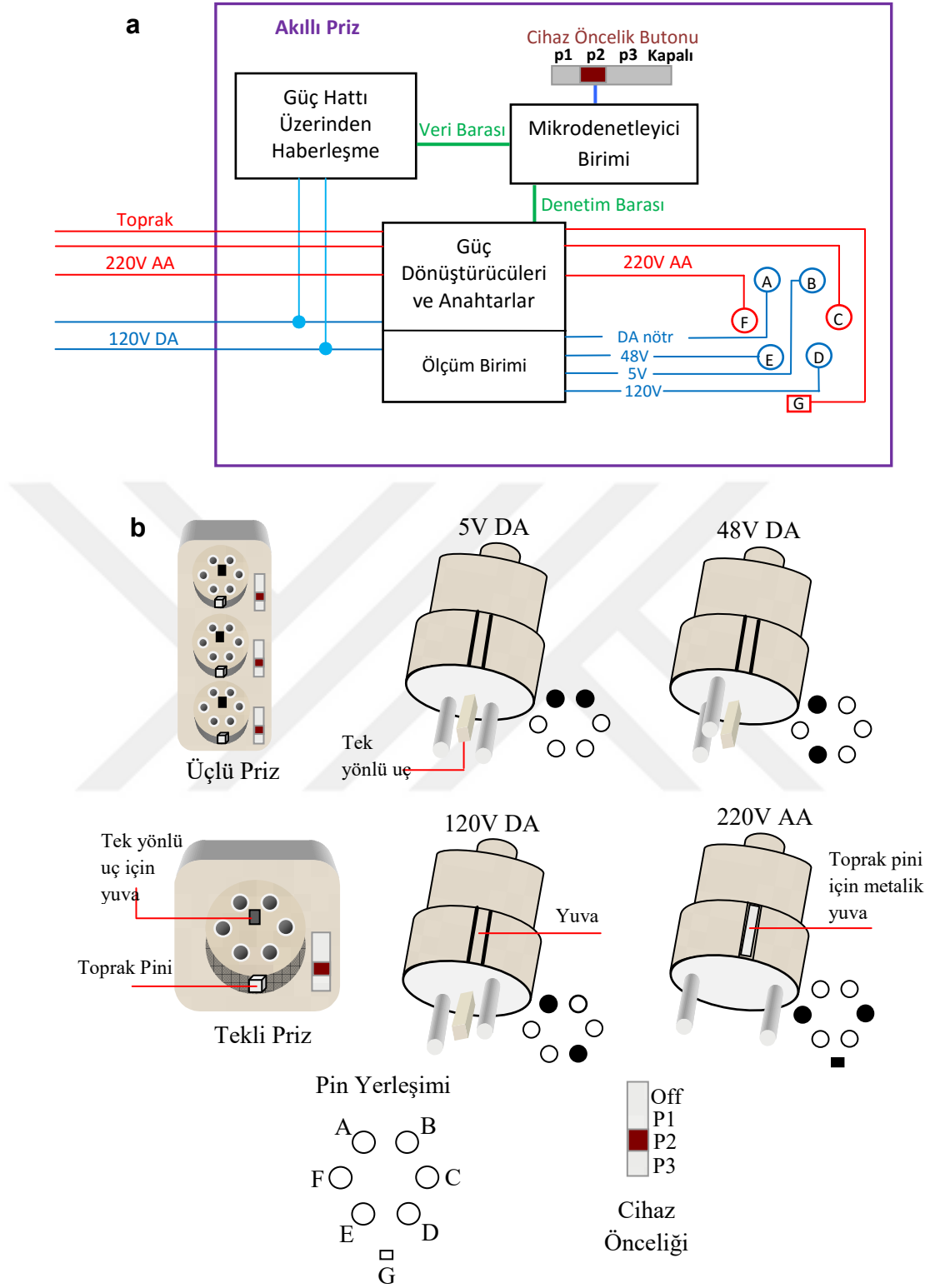
Akıllı sayaçlar, yerel dağıtım ve enerji yönetim sisteminin en önemli unsurlarından biri olup sistemin merkezinde çalışmaktadır [137]. Akıllı sayaçlar; güç hatları üzerinden haberleşme birimi, denetleyiciler, ölçüm birimleri, doğrultucular ve dönüştürücüler içeren akıllı cihazlar olarak düşünülmüştür. Akıllı sayaçlar, yerel enerji yönetim ile ilgili tüm denetleme ve haberleşme işlemlerini gerçekleştirebilmektedir. Bu durumda bir akıllı sayaç akıllı şebekelerde temel yerel güç yönetim cihazı olarak çalışmaktadır. Önerilen DA/AA çıkışlı akıllı prizler güç hatları üzerinden haberleşme yolu ile evin akıllı sayacı tarafından kontrol edilmektedir. Günümüzde akıllı sayaç ve akıllı prizler veri tabanlı kontrol ve izleme sistemi (SCADA) teknolojisi kullanılarak uygulanabilir. Böylece akıllı sayaçlar yerel-alan ağına sahip merkezi olmayan yük kontrol şemasının dağıtık çevre birimi haline gelerek akıllı ev enerji yönetim sistemi için temel unsurlardan biri olabilir. Bu haberleşme, denetim ve güç altyapısı; enerji verimliliği, güç güvenilirliği ve talep esnekliği için akıllı şebeke uygulamalarının gelişmesine

olanak sağlamaktadır. Yük atma algoritmasının uygulandığı akıllı evlerde doğrudan yük kontrolü akıllı prizler aracılığıyla gerçekleştirilebilir. Akıllı prizler, şebeke enerjisinin pahalı ve yerel üretimin yetersiz olduğu zaman dilimleri için yük atma işlemini mümkün hale getirir. Tüketici talebindeki bu esneklik, şebekedeki aralıklı üretime sahip olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına önemli ölçüde olanak tanır [98]. Önerilen prizler, elektrikli ev cihazları için gerekli gerilim seviyelerine göre DA/DA güç dönüşümünü içermektedir. Böylece güç dönüşümü standart hale getirilmiş, daha kontrol edilebilir ve yönetilebilir olması sağlanmıştır. Yerel DA dağıtım, güneş ve rüzgar gibi yerel hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin entegrasyonu ve kontrolüne olanak sağlar ve bu sistemler doğrudan DA dağıtım sistemlerine entegre olabilir [138]. Böylece, geleceğin akıllı şebekeleri için DA dağıtım; verimli, temiz, merkezi olmayan mikro üretimi destekler [139].

4.5.1. Akıllı Evlerde Akıllı Priz Modeli

Şekil 4.3(a)'da bu tezde önerilen akıllı priz kavramının fonksiyonel blok diyagramı gösterilmiştir. Güç hatları üzerinden haberleşme modülü, akıllı sayacın haberleşme özelliğini sağlar ve akıllı sayaçların komutlarını mikrodenetleyiciye iletir.

Mikrodenetleyici, güç dönüştürme modülünün ölçme ve kontrol işlemleri ile akıllı sayacın komutlarını gerçekleştirir. Şekil 4.3(b)'de bir akıllı priz tasarım örneği görülmektedir. DA fişlerin üzerinde dikdörtgen şeklinde plastik uç bulunmaktadır. Bu uç, priz üzerinde yer alan dikdörtgen yuvaya karşılık gelir. Bu birleşme, her bir DA gerilim seviyesi için muhtemel yanlış bağlantının önlenmesini sağlar. Güvenlik açısından sistemde DA nötr hattı topraklanabilir. Aynı zamanda prizin alt tarafında bulunan metal uç, toprak bağlantısı sağlamaktadır. 220V AA gerilim seviyesinde yanlış bağlantıyı önlemek için metal uç, AA fişte bulunan metalik boşlukla birleşmesi sağlanır. A, B, C, D, E, F ve G ile adlandırılan priz çıkışları, güç dönüştürme ve anahtarlama modülüne bağlanmıştır. $p1$, $p2$ ve $p3$ ile gösterilen üç durumlu cihaz öncelik butonları manuel olarak cihazın öncelik konfigürasyonu için prizin üzerine yerleştirilmiştir.



Şekil 4.3. (a) DA dağıtım akıllı priz kavramının blok diyagramı (b) Akıllı priz ve fişler için örnek tasarım modeli [120]

Enerji dağıtımında AA dalga şekli ve gerilim seviyeleri, yerel güç dağıtımı için günümüz standartlarıdır. Bu nedenle, akıllı prizler geleneksel elektrikli ev cihazlarına uyumlu olmalıdır. Bu çalışmada DA enerji dağıtım sisteminde

elektrikli ev cihazları için üç farklı DA gerilim seviyesi ele alınmıştır. 120V gerilim, bina içerisinde DA güç dağıtımını için tercih edilmiştir. Bu gerilim seviyesi ev yüklerini beslemek amacıyla yeterli bir değer olup olası güvenlik risklerini önlemek için yeteri kadar düşüktür. DA prizlerde düşük DA gerilim seviyeleri (5V ve 48V) 120V yerel enerji dağıtım hattından DA/DA dönüştürücüler vasıtasıyla elde edilmektedir.

Önerilen akıllı prizlerin DA çıkışları için minimum gerilim seviyelerinin değerleri çizelge 4.1’de gösterilmiştir. Bununla birlikte gelecekte yeni DA gerilim seviye gereksinimlerine cevap verebilmek için DA güç prizlerinin çıkış uçlarının sayısı artırılabilir. Akıllı prizde 5V DA gerilim seviyesi, telefon şarj cihazı gibi düşük güçlü cihazlar için düşünülmüştür. 48V DA gerilim seviyesi, bilgisayar, televizyon, dizüstü bilgisayar gibi orta güçlü ev cihazları için kullanılabilir. 120V DA gerilim seviyesi ise bulaşık makinesi, çamaşır makinesi, klima, fırın gibi yüksek güçlü ev cihazları için kullanılır. 120V DA gerilim seviyesi, 12V ve 24V gibi panel çıkış gerilim seviyelerinin katı olduğundan, aynı zamanda güneş panel sistemi gibi yerel yenilenebilir enerji sistemleri için çıkış standardını desteklemektedir. Bu sistemler, uygun sayıda güneş panelinin seri-paralel bağlanması ile 120V DA ev dağıtım hattına doğrudan bağlantısı sağlanabilir. Bu gerilim seviyesi standardı, geleceğin akıllı şebekelerinde yeşil bina ve akıllı ev uygulamaları için uygundur.

Çizelge 4.1. Evin giriş gerilim tipine göre DA prizde kullanılan gerilim noktaları ve değerleri [120]

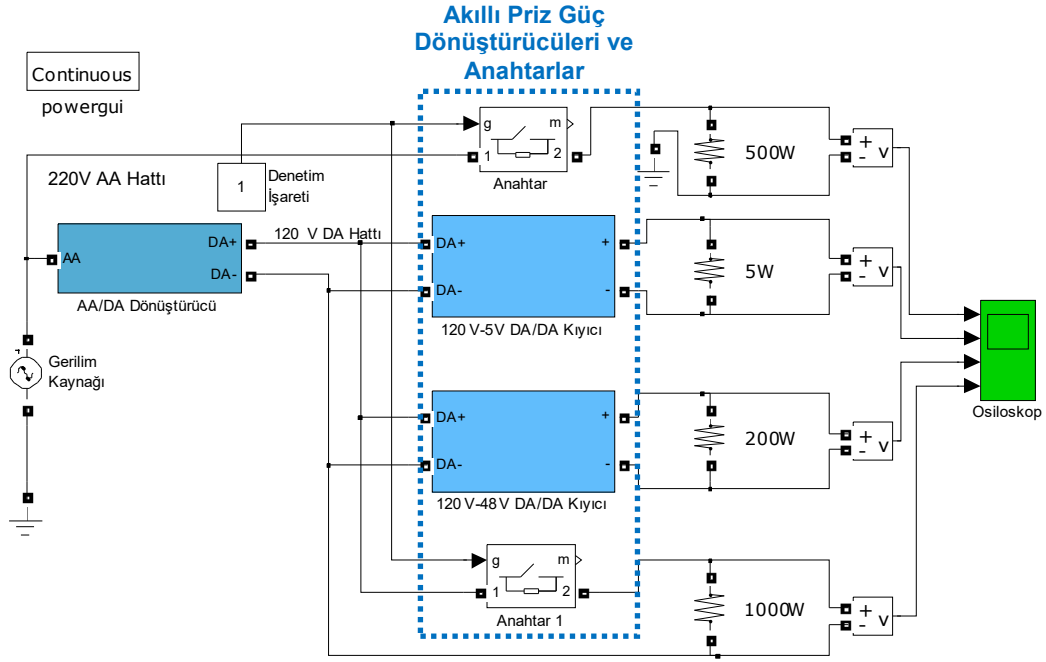
| AA & DA Giriş ve AA & DA Çıkış | | | | | | | |
|--------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|------------------------|---------|-----|-------|
| Şebeke Dağıtım Gerilimi | | Ev Dağıtım Gerilimi | | DA Priz Çıkış Gerilimi | | | |
| Transformatör YEK | 220 V AA 400 V DA | Akıllı Sayaç | 220 V AA 120 V DA | DA Priz | Gerilim | Tip | Nokta |
| | | | | | 5 V | DA | B-A |
| | | | | | 48 V | DA | D-A |
| | | | | | 120 V | DA | E-A |
| 220 V | AA | C-F-G | | | | | |

Şekil 4.2’de gösterilen ev dağıtım sisteminin şematik blok diyagramında görüldüğü üzere, akıllı sayacın kontrolünde ev dağıtım sistemi, şebekeye 220V AA ve 400V DA gerilimde bağlanabilir. 120V DA gerilime ve 220V AA gerilime sahip iki hat, evdeki prizleri beslemektedir. Her bir priz 5V, 48V ve 120V DA ve

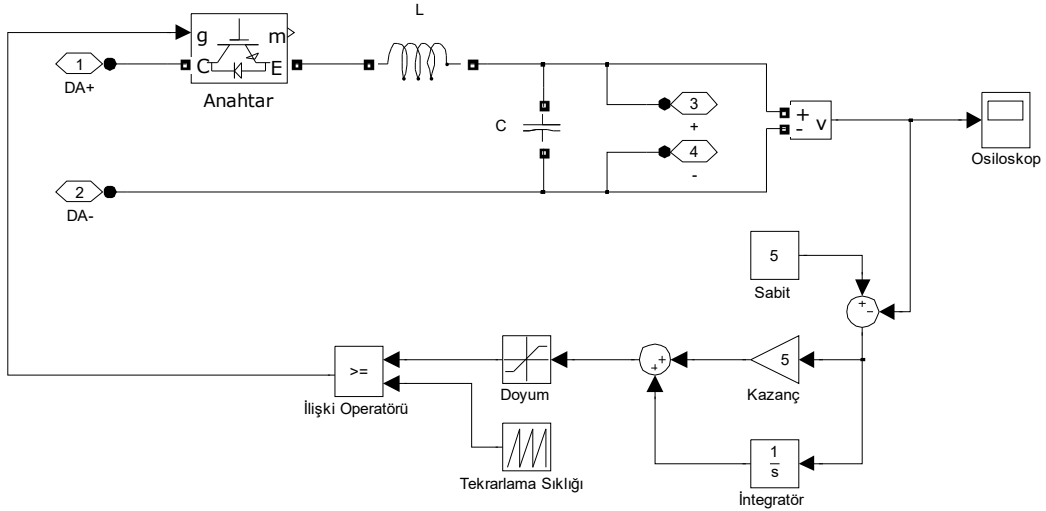
geleneksel 220V AA gerilim sağlar. Geleneksel AA fişler akıllı prizlerin C-F girişlerine bağlanır ve akıllı prizler geleneksel 220V AA elektrikli ev aletleri standardı ile uyumlu olur. Çizelge 4.1’de tanımlandığı üzere, priz altı noktaya, üç farklı DA gerilim seviyesine ve bir tane AA gerilim değerine sahiptir.

Şekil 4.4’te, önerilen yerel DA dağıtım sisteminin Matlab/Simulink modeli görülmektedir. 120V DA ev dağıtımı, 5V ve 48V çıkış gerilimi için DA/DA dönüştürücüleri içeren prizleri beslemektedir. Şekil 4.5, benzetimlerde kullanılan DA/DA dönüştürücü tasarımlarını göstermektedir. DA/DA dönüştürücüler, DA/DA kıyıcı devreden [140] ve şekil 4.5’teki gibi Darbe Genişlik Modülasyonunu (DGM) süren yapıdan oluşur. PI denetleyici yük üzerinde görülen gerilim seviyesini kontrol ederek gerilim kararlılığını sağlamaktadır. Şekil 4.6’da yerel DA dağıtım sisteminin Matlab/Simulink benzetim modelinden elde edilen sonuçlar görülmektedir. Şekilden prizlerde 220V AA, 5V-48V-120V DA gerilimlerinin elde edildiği görülmektedir. Benzetimlerde akıllı prizlerin içerisinde yer alan DA/DA dönüştürücülerin çeşitli yükler altında (5W, 200W ve 1 kW) oldukça tutarlı DA gerilim sağladığı görülmüştür.

Güç dağıtımında DA üretim, iletim ve dağıtım kullanıldığında hibrit DA/AA çıkışlı akıllı prizler, geleceğin akıllı evlerinde akıllı sayaçlarla uyumlu bir şekilde çalışan temel birimler olacaktır. DA dağıtımın avantajlarından faydalanan bu evler, basit bir DA/AA dönüşümü ile geleneksel ev cihazlarının beslenmesi için gerekli AA gerilimi aynı zamanda sağlayabilecektir.

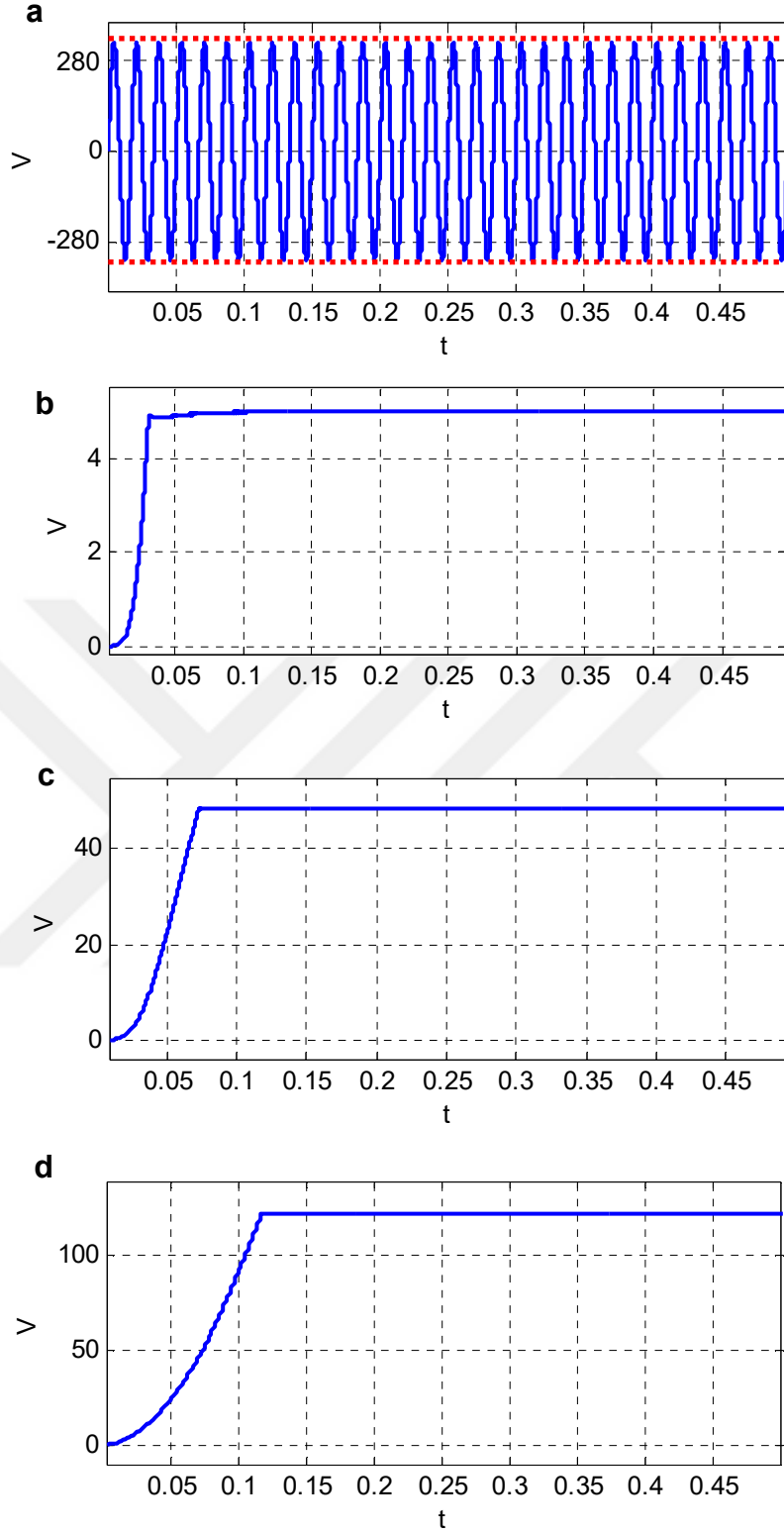


Şekil 4.4. DA akıllı prizlerin güç dönüştürücü ve anahtarlama sistemlerinin benzetim modeli [120]



Şekil 4.5. DA/DA kıyıcı devresinin benzetim modeli [120]

DA ve AA prizlerin ev cihazlarının bağlı olmadığı yüksüz durumda veya aşırı yüklü olduğu durumda, mikrodenetleyici birimi, prizlin yük durumunu tespit edebilir ve koşulları değerlendirerek bekleme durumundaki cihazları kapatmak suretiyle enerji kayıplarını azaltır. Böylece güç dağıtımını daha güvenli ve verimli hale gelir [141].



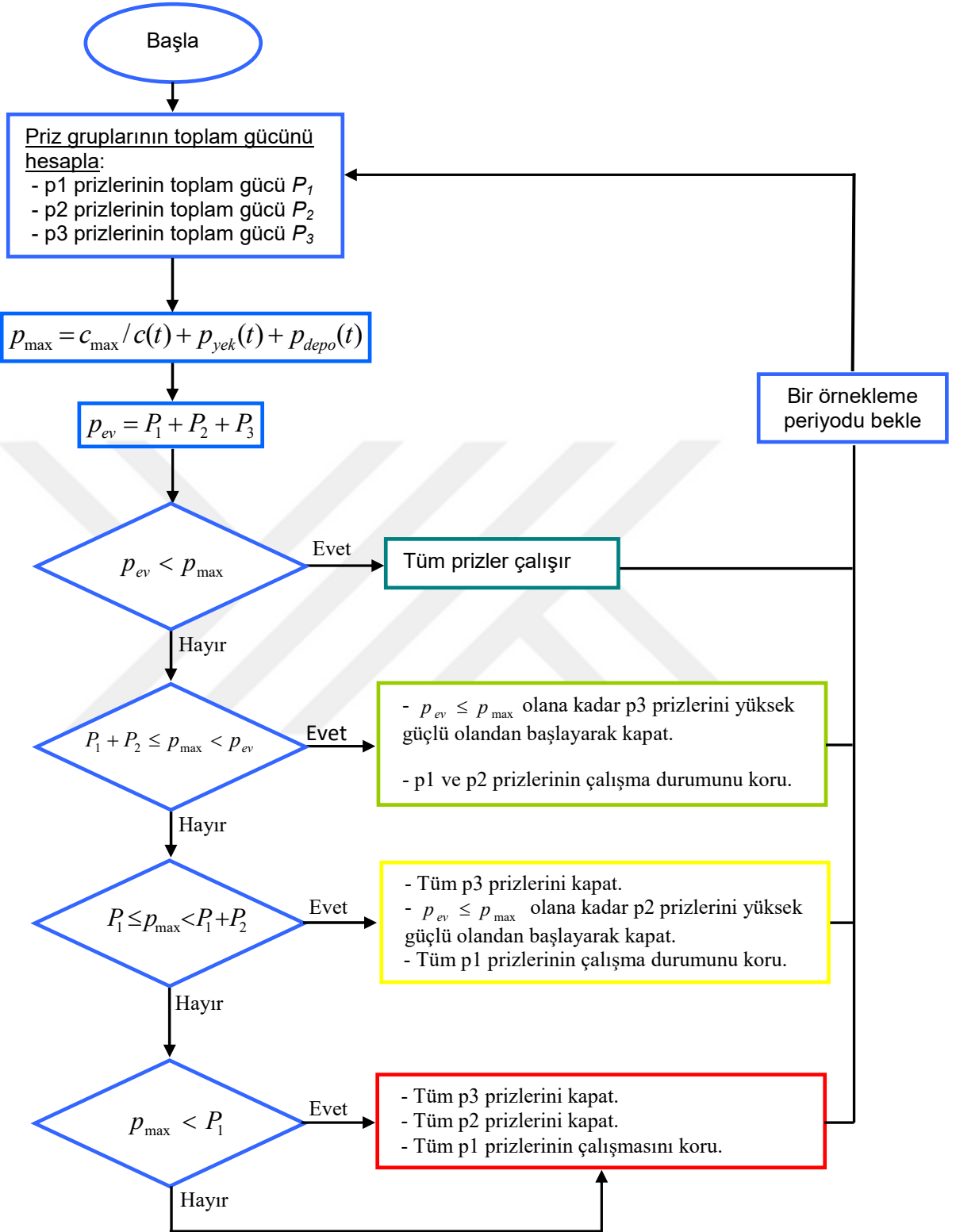
Şekil 4.6. Yerel DA dağıtım sisteminin benzetim modeli (a) 311 V AA (220 V etkin) şebeke gerilimi (b) 5 W yük için DA prizden alınan 5 V DA gerilim (c) 200 W yük için DA prizden alınan 48 V DA gerilim ve (d) 1 kW yük için DA prizden alınan 120 V DA gerilim

4.6. Akıllı Evlerde Akıllı Priz İle Talep Tarafı Yük Yönetiminin Analizi

Tezin 3. bölümünde kullanıcıların fiyat tarifeleri tercihlerine göre tepe güç tüketimini sınırlamak amacıyla cihaz önceliğine dayalı doğrudan yük kontrol uygulaması gösterilmiştir. Kullanıcı tercihleri; çevresel, sosyal ve ekonomik şartlara bağlı olarak değişmesi nedeniyle akıllı evin tüketimi yerel kullanıcılar tarafından ayarlanmalıdır [92-94, 142]. Denetimi gerçekleştirilen prizler ise mevcut geleneksel prizleri kapsamaktadır.

Tezin bu bölümünde yerel üretim ve depolama sistemlerinin varlığı durumunda önerilen algoritmanın performansı incelenmiştir. Algoritmanın çalışma durumu bu bölümde tanıtılan akıllı priz ile birlikte değerlendirilmiştir. Önerilen akıllı priz, şekil 4.3'te sunulduğu gibi, akıllı priz üzerinde bulunan öncelik seçim butonu ile $p1$, $p2$ ve $p3$ ile gösterilen üç cihaz öncelik seçimi için tasarlanmıştır. Öncelik seçimi, akıllı prize bağlanan ev cihazlarının çalışma önceliğini göstermektedir. Yük atma işlemi gerçekleştirilirken kullanıcı önceliği göz önünde bulundurulmaktadır.

Akıllı sayaç, prizler üzerindeki akıllı anahtarların cihaz öncelik ayarına göre denetimini gerçekleştirir. Yerel üretim ve depolama birimlerini içeren akıllı evlerde maksimum güç sınırlamalı kontrol şeması uygulayan yük atma algoritması şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Maksimum güç tüketim denetimi şemasına dayalı yük atma algoritması [120]

Algoritma, evin izin verilen maksimum tepe güç sınırı olan P_{\max} 'a kadar evin güç tüketimini (P_{ev}) sınırlar. Akıllı sayacın uyguladığı algoritma evin tüketimini ve prizlerin cihaz öncelik durumunu (p_i) periyodik olarak kontrol eder. Evin toplam güç tüketimini $P_{\max} \geq P_{ev} \geq P_1$ sınırında tutmak için akıllı prize açma/kapama isteklerini gönderir. Akıllı sayaç, evin toplam güç tüketiminin maksimum tepe güç sınırını aştığı durumda ($P_{ev} > P_{\max}$) prizlerin önceliğine ve güç oranlarına uygun olarak yükleri devre dışı bırakır. Algoritma, düşük öncelik seviyesine ve yüksek güce sahip prizlerden başlayarak kapatma isteklerini gönderir. Bu durum, öncelik seviyesine göre daha fazla ev cihazının çalışmaya devam etmesini sağlar. Böylece yük atma nedeniyle oluşabilecek olan kullanıcı rahatsızlıklarının da önüne geçilmiş olur.

$P_{ev} > P_{\max}$ olduğu durumda bile $p1$ önceliğine sahip priz kapatılmadığından, sürekli çalışan önemli cihazların prizleri $p1$ önceliğine ayarlanmalıdır. Algoritma $P_{ev} > P_{\max}$ ve $P_{\max} > P_1$ olduğu sürece ev tüketimini azaltma işlemini gerçekleştirir. Algoritma yüksek öncelikli ve düşük güçlü prizlerden itibaren devreye almaya başlar.

Şekil 4.8, maksimum güç sınırlamalı kontrol algoritmasından elde edilen saatlik yük atma işleminin benzetim sonuçlarını göstermektedir. Bu algoritma geleceğin akıllı şebekelerinin değişen elektrik fiyatlandırma koşulları altında elektrik maliyetini uyarlamalı şekilde kararlaştırabilir. Benzetimlerde, kullanıcılar evin maksimum elektrik maliyeti için üst sınırı belirlemektedir. Akıllı sayaç izin verilen maksimum tepe gücünü denklem (4.1) ile hesaplamaktadır.

$$P_{\max}(t) = c_{\max} / c(t) + P_{yek}(t) + P_{depo}(t) \quad (4.1)$$

Daha önce açıklandığı üzere burada $c(t)$ iletim veya dağıtım sistem operatörlerinden akıllı sayaç vasıtasıyla alınan çevrimiçi birim elektrik fiyatını göstermektedir. c_{\max} ise kullanıcı tarafından belirlenen maksimum elektrik maliyetidir. $P_{yek}(t)$ parametresi yenilenebilir enerji üretim sisteminin anlık gücünü, $P_{depo}(t)$ parametresi ise enerji depolama sisteminin anlık gücünü göstermektedir. DA enerji entegrasyonu, evin enerji talebinin karşılanmasında

yenilenebilir enerji ve depolama biriminin enerjisinin kullanımını tercih eder. Yenilenebilir enerji üretiminin yetersiz olması durumunda, enerji talebinin geri kalan kısmı şebekeden karşılanır. Akıllı sayaç, DA enerji entegrasyon metoduna uygun olarak aşağıdaki işlemleri gerçekleştirir:

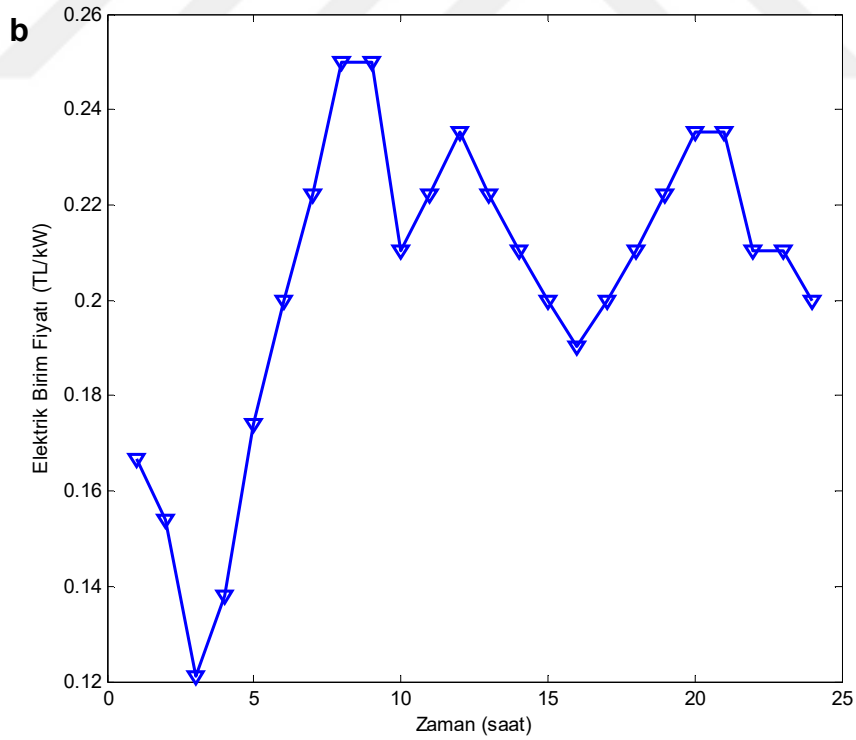
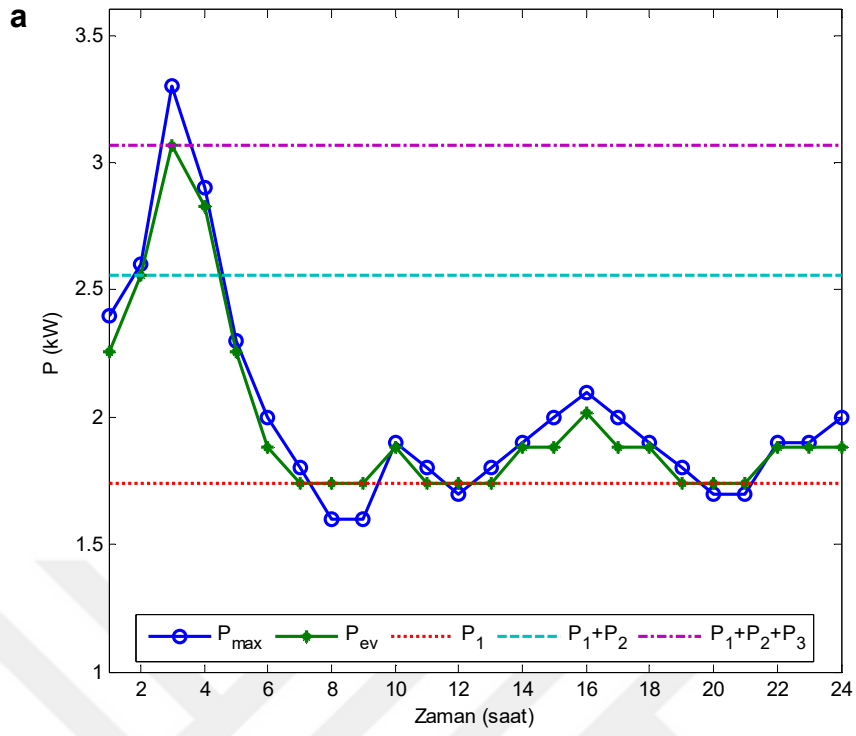
(i) $P_{yek} + P_{depo} > P_{ev}$ olana kadar, akıllı sayaç enerjinin tamamını yenilenebilir enerji ve depolama sistemlerinden karşılar. $P_{max} > P_{ev}$ olduğundan algoritma herhangi bir yük atma işlemi gerçekleştirmez.

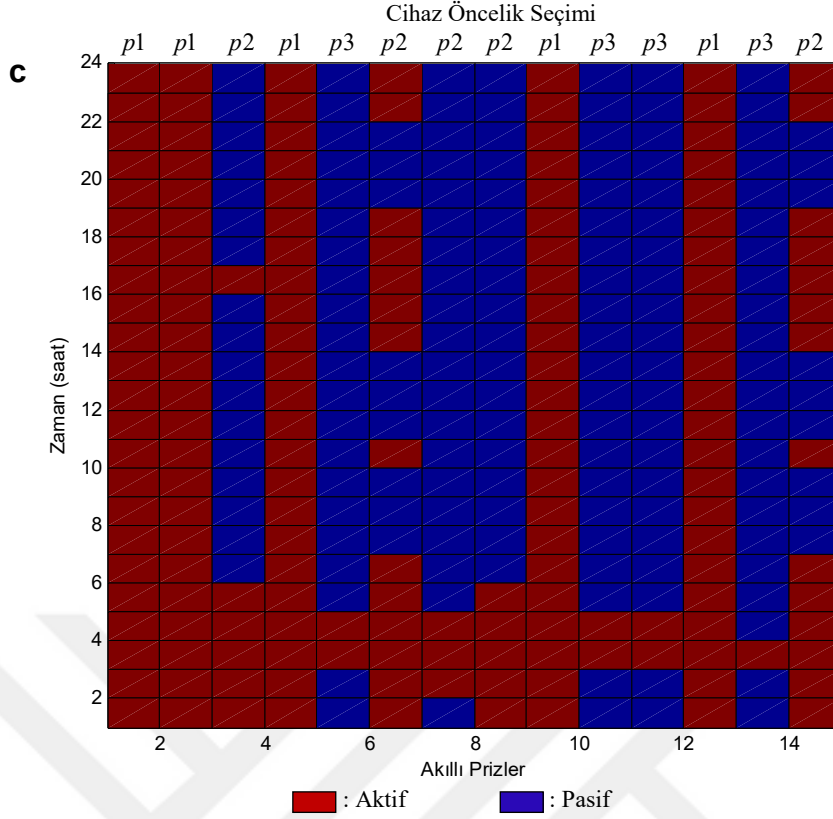
(ii) Eğer $P_{yek} + P_{depo} < P_{ev} < P_{max}$ ise, akıllı sayaç talebin üretim ve depolama sistemlerinin enerjisinden geriye kalan kısmını şebekeden karşılar ve algoritma herhangi bir yük atma işlemi gerçekleştirmez.

(iii) $P_{yek} + P_{depo} < P_{max} < P_{ev}$ durumunda, akıllı sayaç gerekli olan enerjiyi şebekeden karşılar. Prizin cihaz öncelik durumuna ve güç gereksinimine göre algoritma yük atma işlemini gerçekleştirir.

Benzetim senaryosunda, 01:00-05:00 saatleri arasında düşük enerji talebi nedeniyle enerji fiyatının düştüğü kabul edilmiştir. Şekil 4.8(a)'da görüldüğü üzere bu saatlerde p_{max} değeri 3 kW'ın üzerine çıkmaktadır ve bu nedenle şekil 4.8(c)'de tüm prizlerin saat 03:00'te çalıştığı görülmüştür. Buna rağmen şekil 4.8(b)'de görüldüğü üzere gündüz saatlerinde elektrik fiyatının artması nedeniyle p_{max} değeri azalarak 1.5-2 kW seviye bandına gelir ve akıllı sayaç aşırı tüketimi önlemek amacıyla şekil 4.8(c)'de görüldüğü üzere düşük öncelikli ($p2, p3$) prizleri kapatır. Ancak 08:00-20:00 saatleri arasında $p_{max} < P_1$ olsa bile $p1$ öncelikli prizlerin hiçbiri kapatılmamıştır. Diğer bir ifade ile akıllı sayaç $p1$ önceliğine sahip tüm cihazların çalışmasına izin verir ve tüm gerekli ev cihazları için $P_{ev} > P_1$ şartını yerine getirir. Böylece güç yönetimi kullanıcılar için işlevsel olarak sürdürülür.

Bu algoritma, akıllı şebekelerin haberleşme altyapısında dinamik elektrik fiyatlandırma yayın sağlayıcısı yolu ile toplam yerel talebin uyarlamalı kontrolüne imkan vererek şebeke esnekliğinin artmasına katkı sağlar. Talep esnekliği, güç sistemlerinde kesintili üretime sahip yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını destekleyen önemli faktörlerden biridir [98].





Şekil 4.8. Maksimum güç tüketimi denetim algoritması tarafından elde edilen saatlik yük atma benzetim sonuçları (a) P_{max} ve P_{ev} profilleri (kW); (b) Çevrimiçi elektrik birim fiyatı ($C_{max}=40$ kr/saat için). (c) Akıllı prizlerin saatlik çalışma durumları

4.7. Sonuç

Bu bölümde akıllı evler için DA dağıtım sistemi kavramı verilmiştir. Bu kavram talep tarafı yük yönetimi özellikli enerji verimli yeşil binalar için bir bakış açısı sunmaktadır. Burada elektrikli ev cihazlarının güç oranlarına göre uygun DA gerilim seviye standardizasyonu tartışılmıştır. Akıllı sayaç, yerel DA dağıtım sistemi ve akıllı prizler gibi akıllı DA güç yönetim sistemi için gerekli temel elemanlar ortaya konulmuştur. Evlerde akıllı prize sahip DA güç dağıtımının avantajları, yerel yenilenebilir enerji ve depolama birimlerinin entegrasyonu ve talep tarafı yük yönetimi ile bağlantılı olarak üzerinde durulmuştur.

DA prizler, anahtarlama modlu besleme teknolojisini kullanarak dönüştürme kayıplarının azaltılması suretiyle elektrikli ev cihazlarının kullanımını daha enerji verimli ve güvenli yapmaktadır. Evlerde DA dağıtımın uygulanması için elektrikli ev cihazlarının DA tüketim seviyelerindeki çeşitliliğin sağlanması

ve karşılanması amacıyla modern bir DA prizinin tasarımı yapılmıştır. Aynı zamanda akıllı sayaç tarafından kontrol edilen akıllı DA prizler doğrudan yük kontrol yöntemi için bir çözüm sağlamakta ve akıllı şebeke uygulamalarında talep tarafı yük yönetim uygulamasını yerine getirmektedir. Dinamik enerji fiyat kontrollü yük atma algoritması akıllı prizler tarafından priz yük kontrol uygulaması için tanımlanmıştır. Akıllı sayaçlara gömülü yük atma programı, priz önceliğine ve güç tüketimine uygun olarak yük atma işlemlerini yönetmek için tasarlanmıştır. Maksimum elektrik maliyeti ile ilgili olarak akıllı evin toplam enerji tüketimi kullanıcı tarafından belirlenmesine rağmen, algoritma, elektrik fiyatına bağlı olmadan önemli cihazların çalışma durumunu korur. Böylece bu yöntem dinamik enerji fiyatlandırma koşulları altında işlevsel olarak doğrudan yük kontrol metodolojisine dayalı güvenli yük atma işlemine olanak sağlar.

5. AKILLI EVLERDE YEREL ÜRETİM SEVİYESİNE GÖRE GELENEKSEL ALTERNATİF AKIM YÜKLERİNİN YÖNETİMİ

5.1. Özet

Talep tarafı yük yönetimi uygulamaları, şebeke esnekliğini sağlayarak tüketimde yenilenebilir enerji kullanımını desteklemektedir. Bu bölümde, yerel ölçekte talep tarafı yük yönetim uygulamaları için depolama birimi olmayan ve yenilenebilir enerji üretimi sistemi içeren akıllı evlerde güç sınırlamalı yük atma algoritmasının rolü incelenmiştir. Bu algoritma, düşük öncelikli elektrikli ev cihazlarını kapatarak dinamik elektrik fiyat sinyali ve yenilenebilir enerji üretim seviyesine göre yerel enerji tüketimini sınırlandırmaktadır. Önceki bölümlerde önerilen yük atma algoritması, cihazların güç gereksinimlerine ve kullanıcı önceliğinin önceden belirlenmesine bağlı olarak yük atma işlemini gerçekleştirir. Burada güç sınırlamalı yük atma algoritması, şebeke modu, ada modu ve şebeke+yenilenebilir enerji modu olan çalışma durumları dikkate alınarak geliştirilmiş ve önerilen algoritmanın ev tüketimine ve enerji maliyetine olan etkileri benzetim sonuçları değerlendirilerek tartışılmıştır.

5.2. Giriş

Günümüz elektrik dağıtım altyapısı eski teknolojiye sahip olup 21. yüzyıl ihtiyaçlarına cevap verememektedir. Yavaş cevap veren mekanik anahtarlar, otomatik analiz eksikliği, zayıf gözlemlenebilirlik ve durumsal farkındalık eksikliği geleneksel güç sistemlerinin bazı eksiklikleri olarak gösterilebilir [143]. Yeni nesil elektrik şebekelerinin geliştirilmesinin anlaşılabilirliği amacıyla gerekli olan bazı ek faktörleri şöyle sıralayabiliriz: enerji talebindeki artış, iklim değişikliği, donanım arızaları, enerji depolama problemleri, fosil kaynaklı yakıt rezervlerinin azalması, çift yönlü enerji akışının gerekliliği, elektrik üretim kapasitesi sınırlamaları ve esneklik problemleri [144]. Buna ek olarak, elektrik ve ulaşım sektörlerinin neden olduğu sera gazı salınımları yeryüzü üzerinde büyük olumsuzluklara sebep olmaktadır [145].

Elektrik sisteminde, güvenilir işletme koşullarına bağlı olarak herhangi bir anda üretim kapasitesi tüketimi karşılamalıdır. Bu nedenle, tepe yük tahminleri

göz önünde bulundurularak, ilerleyen zamanlarda artan enerji talebini karşılamak için yeni enerji üretim santralleri kurulmaktadır [146, 147]. Kullanıcıların enerji kullanım alışkanlıkları günlük, aylık ve yıllık olarak zamana göre değişiklik göstermektedir. Bu değişiklik nedeniyle enerji talebi bazen ortalama enerji talebinin altında kalmakta, bazen de kesintilere neden olabilecek çok yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Gelecekteki sorunları elimine etmek ve günümüz elektrik şebekesinin problemlerini çözmek amacıyla şebeke yönetimi ve yapısı ile ilgili yeni yaklaşımlar üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır [148]. Bu yaklaşımlardan birisi de talep tarafı yük yönetim uygulamalarıdır.

Talep tarafı yük yönetim uygulamalarından birisi doğrudan yük kontrolüdür. Bu yöntem, yükün yerel veya merkezi kontrolörler aracılığıyla doğrudan kontrolüne dayanmaktadır. Aynı zamanda elektrik tarifesi ve ek ödeme gibi dolaylı yük kontrol yöntemleri kullanılarak da iyi sonuçlar elde edilebilmektedir [149]. Talep tarafı yük yönetim metotlarının başarısı kullanıcıların alışkanlıklarının uyumuna ve yüksek katılım oranına bağlıdır. Kullanıcıların bu uygulamaya yüksek katılımının sağlanması için, kullanıcılara bazı kolaylık ve avantajlar sağlamalıdır. Bu sistemler; geri besleme mekanizması ile çalışan, yük yönetimini en düşük hesaplama ve kontrol yöntemi ile tüketicilerin konforunu ve alışkanlıklarını olumsuz etkilemeden gerçekleyen sistemlerdir. Bu yapılar ileri yük yönetim sistemleri olarak adlandırılmakta olup, geleneksel talep tarafı yük yönetim metotlarının dezavantajlarını azaltır, kullanım ve faydalarını artırmaya da yardımcı olur.

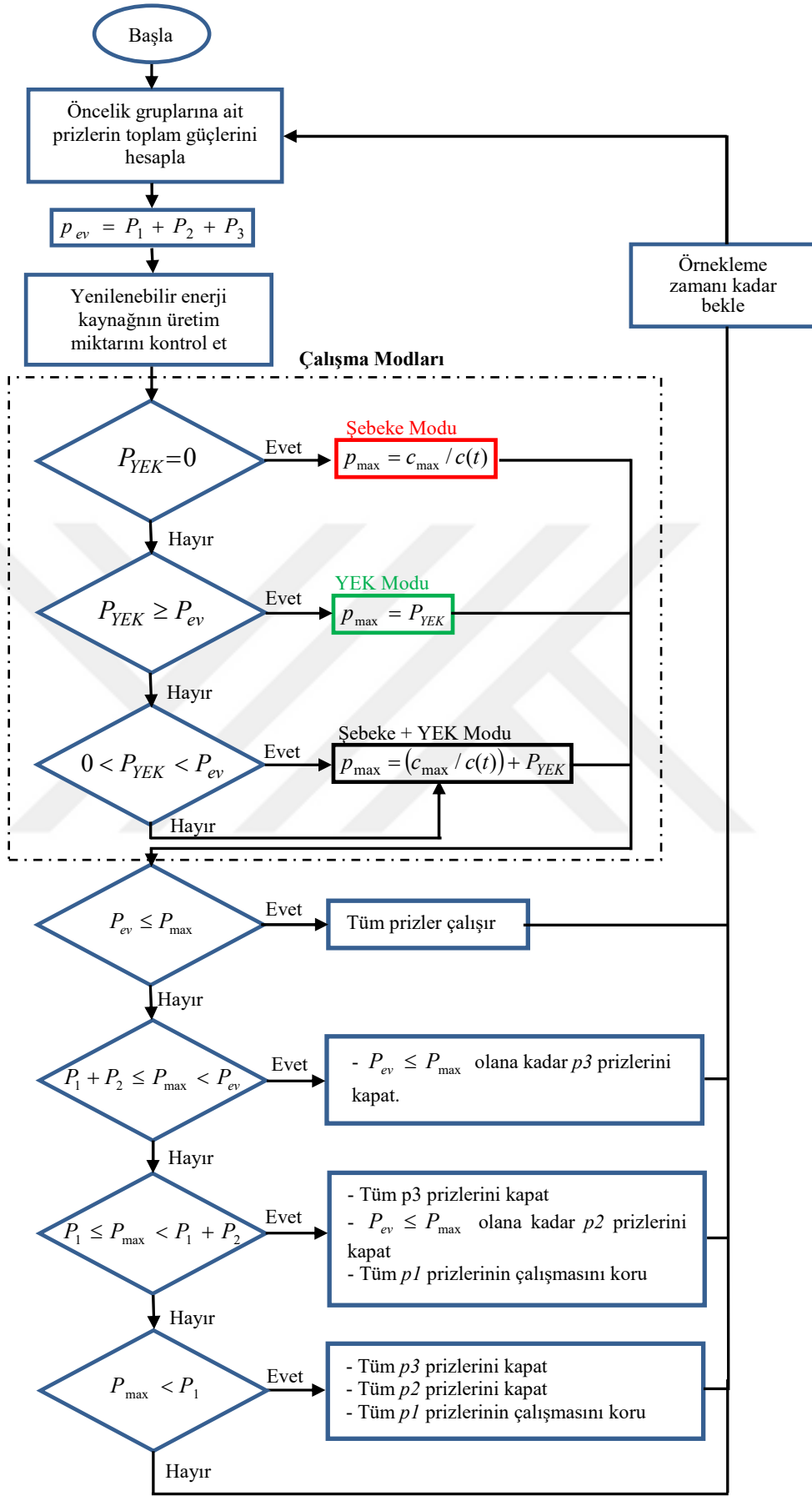
En iyi bilinen doğrudan yük kontrol metotlarından biri olan yük atma yöntemi, genellikle yük baraları ve jeneratörleri içeren güç dağıtım sistemlerinin yönetimi için geliştirilmesine rağmen, talep tarafı yük yönetimini gerçeklemek amacıyla ev ölçekli sistemlerde de uygulanabilmektedir [86, 150]. Bu yöntem, anlık üretim ve talep koşullarını dikkate alarak gereksiz yükleri atar. Yük atma yöntemi; hem anlık yük değişimleri, sistem arızaları ve yetersiz üretim nedeniyle oluşan arz-talep dengesizlikleri gibi istenmeyen hem de tahmini zor olan ve enerji maliyetlerinin azaltılması, daha verimli enerji kullanımının artırılması gibi istenen koşullarda çalışabilmektedir. Tezin bu bölümünde yük atma algoritması diğer bölümlerde olduğu gibi akıllı sayaç tarafından kontrol edilmektedir. Akıllı sayaç, fiyat yayın kuruluşu tarafından gönderilen enerji fiyat bilgisini alarak evde prizlerin açma-kapama işlemini gerçekleştirmektedir. Yük atma algoritması, akıllı

priz uygulaması için bir önceki bölümde önerilmişti. Bu algoritma, cihaz önceliğine göre evsel yükleri devre dışı bırakmaktadır. Cihaz önceliği, toplam talebin anlık enerji fiyatına bağlı olarak hesaplanan dinamik güç sınırını aşması durumunda ev cihazlarının güç gereksinimine ve kullanıcıların isteklerine göre belirlenir. Bu çalışmada dinamik güç tüketim sınırı, anlık enerji fiyatı ve yerel yenilenebilir enerji üretim durumuna göre güncellenmektedir. Yenilenebilir enerji üretim sisteminin verimine bağlı olarak seçilen üç farklı çalışma modu için yük atma algoritmasına mod kontrol kodu eklenmiştir. Bu çalışma modları; şebeke modu, yenilenebilir enerji kaynağı (YEK) modu, şebeke+YEK modudur [151].

5.3. Çalışma Modu Seçimli Güç Sınırlamalı Yük Atma Algoritması

Burada ele alınan yük atma algoritması bir önceki bölümde akıllı evlerin talep tarafı yük yönetimi amacıyla akıllı prizlerin kontrolü için geliştirilmişti. Bu bölümde ise üç çalışma modu için algoritmanın performansı değerlendirilmiştir. Şebeke modunda, yenilenebilir enerji üretimi çok düşük seviyededir ve ev cihazları şebeke tarafından beslenmektedir. YEK modunda, yenilenebilir enerji üretimi verimli olup ev cihazları yerel yenilenebilir enerji sistemi tarafından beslenmektedir. Şebeke+YEK modunda, yenilenebilir enerji sistemi ev talebini tamamen karşılayamadığından talebin geri kalan kısmı şebekeden karşılanmaktadır.

Akıllı sayaç, geleneksel alternatif akım prizlerinin açma-kapama işlemlerini doğrudan gerçekleştirdiği kabul edilmiştir. Diğer bölümlerde olduğu gibi bu bölümde de herbir priz, üç öncelik seviyesine ($p1$, $p2$ ve $p3$) sahiptir. Şekil 5.1'de gösterilen algoritmada prizlerin anahtarlama durumları gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Yük atma algoritmasının akış diyagramı [151]

YEK modunda maksimum tepe güç sınırı denklem (5.1) ile hesaplanır. Yenilenebilir enerji üretimi evin anlık tüketiminden düşük ise şebeke+YEK modunda maksimum tepe güç sınırı denklem (5.2) ile hesaplanır. Diğer durumda yenilenebilir enerji üretim miktarı sıfır ise maksimum tepe güç sınırı şebeke modunda denklem (5.3) ile hesaplanır.

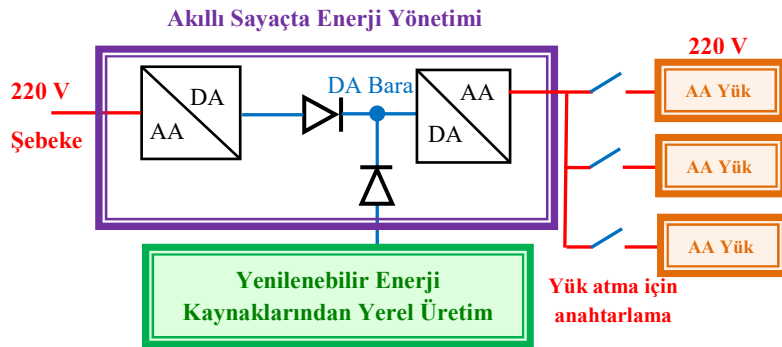
$$p_{\max}(t) = P_{YEK}(t) \quad (5.1)$$

$$p_{\max}(t) = c_{\max}/c(t) + P_{YEK}(t) \quad (5.2)$$

$$p_{\max}(t) = c_{\max}/c(t) \quad (5.3)$$

Burada $c(t)$ akıllı sayacın dinamik fiyat sağlayıcı tarafından aldığı çevrimiçi elektrik birim fiyatıdır. c_{\max} ise tüketici tarafından tanımlanmış maksimum elektrik maliyetidir. $P_{YEK}(t)$, yenilenebilir enerji kaynağının anlık güç üretim miktarını göstermektedir.

Şekil 5.2'de akıllı sayaçlarda yenilenebilir üretimin ve şebekenin DA entegrasyonu tanımlanmıştır. Burada YEK ve şebekenin entegrasyonu için DA enerji entegrasyonu kullanılmıştır [95]. Yük atma için geleneksel AA yüklerin doğrudan kontrolü amacıyla prizlerdeki güç anahtarları kullanılmıştır.



Şekil 5.2. Yükün anahtarlar vasıtasıyla doğrudan kontrolü ve enerji entegrasyonunun blok diyagramı [151]

DA enerji entegrasyonu, evin enerji talebinin yenilenebilir enerjiden karşılanmasına öncelik tanımaktadır. Yenilenebilir enerji üretiminin yetersiz olduğu durumlarda enerji eksikliği şebekeden karşılanmaktadır [95].

Akıllı sayaç aşağıdaki koşulları gerçekleştirerek çalışır:

i) Eğer $P_{YEK}(t) \geq P_{ev}(t)$ ise, akıllı sayaç yüklerin tamamını yenilenebilir enerji kaynaklarından besler ve $P_{max}(t) > P_{ev}(t)$ olduğundan hiçbir yük atılmaz.

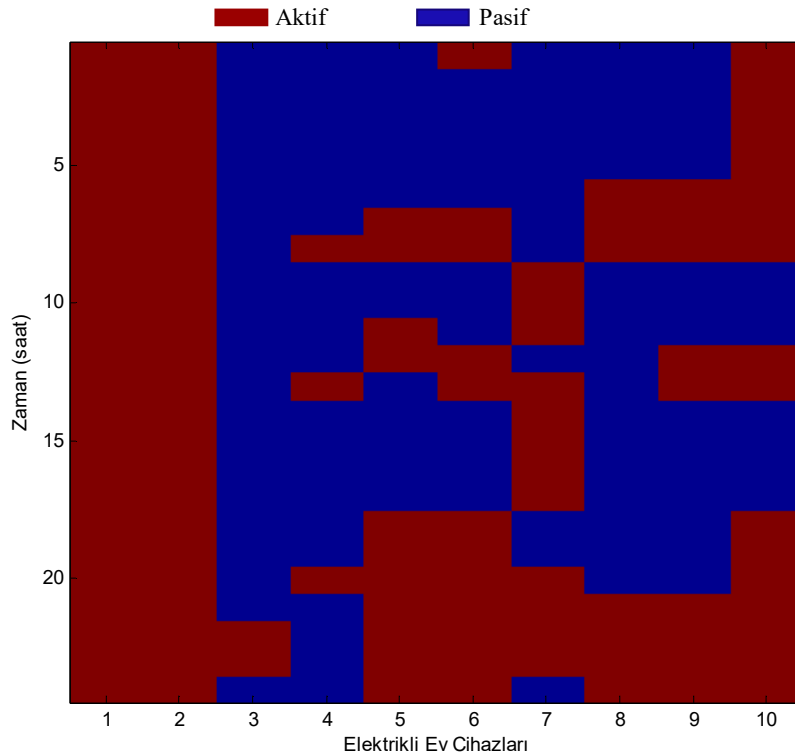
ii) Eğer $P_{YEK}(t) < P_{ev}(t) < P_{max}(t)$ ise, akıllı sayaç yenilenebilir enerji karşıladıktan sonra geriye kalan enerjiyi şebekeden karşılar ve yine hiçbir yük atılmaz.

iii) Eğer $P_{YEK}(t) < P_{max}(t) < P_{ev}(t)$ ise, akıllı sayaç gerekli olan enerjiyi şebekeden karşılar. Güç gereksinimine ve işletme önceliğine göre yük atma işlemini gerçekleştirir.

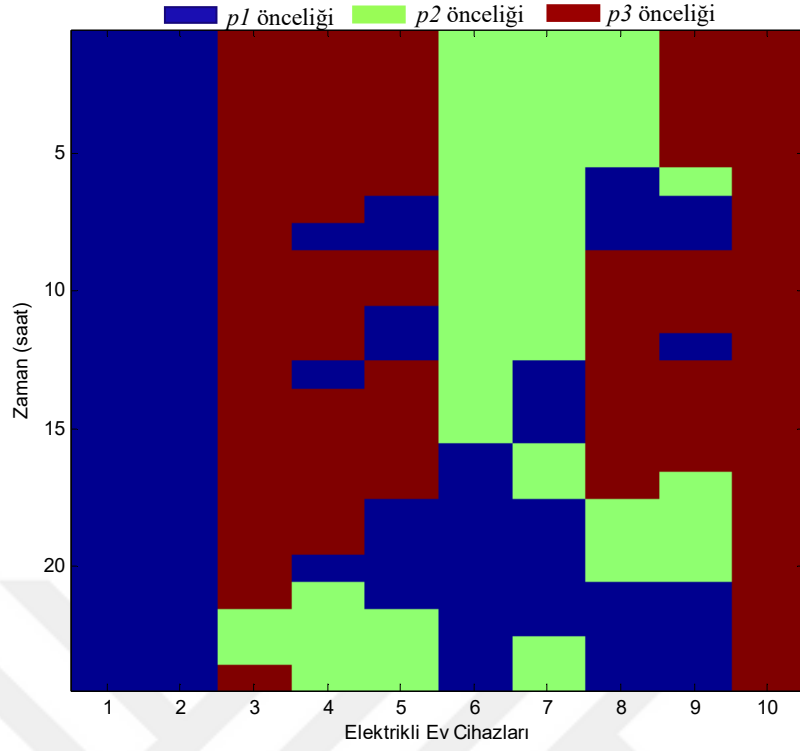
5.4. Dinamik Enerji Fiyatlandırma Tarifesi İçin Yerel Yük Atma Analizi

Bu bölümde üç çalışma modunun işletilmesini test etmek amacıyla yeterli YEK üretimi ve çevrimiçi saatlik enerji birim fiyatı altında önerilen yük atma metodunun etkileri incelenmiştir. Benzetimlerde geleneksel alternatif akım yükler için farklı elektrikli ev aletleri kullanılmıştır.

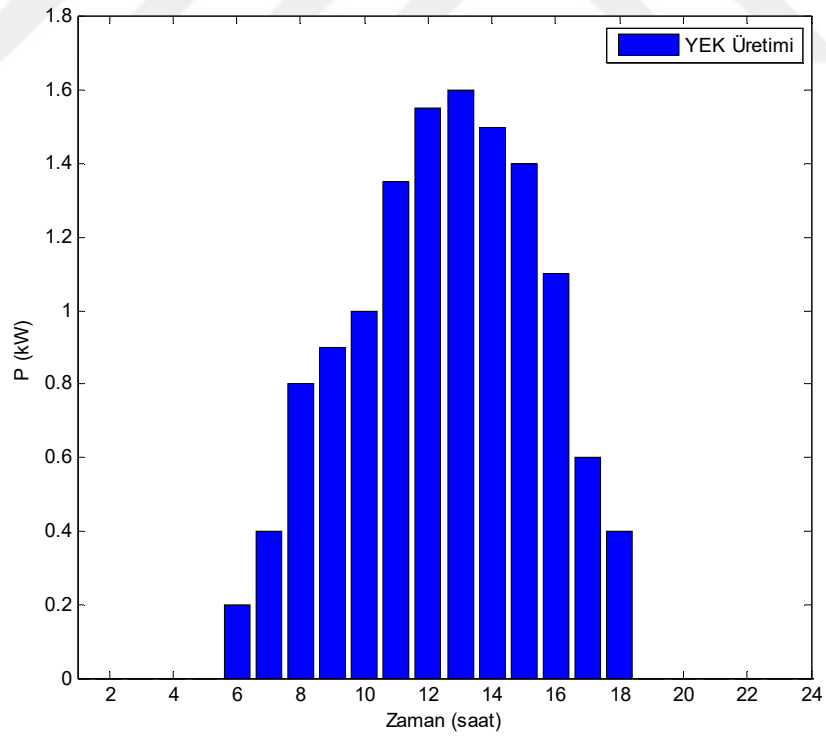
Çizelge 3.3'te verilen cihazların saatlik çalışma durumu ve öncelik programı sırası ile Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Şekil 5.5 ise yerel yenilenebilir enerji sisteminin (güneş enerjisi) üretim profili gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Elektrikli ev aletlerinin günlük çalışma durumları

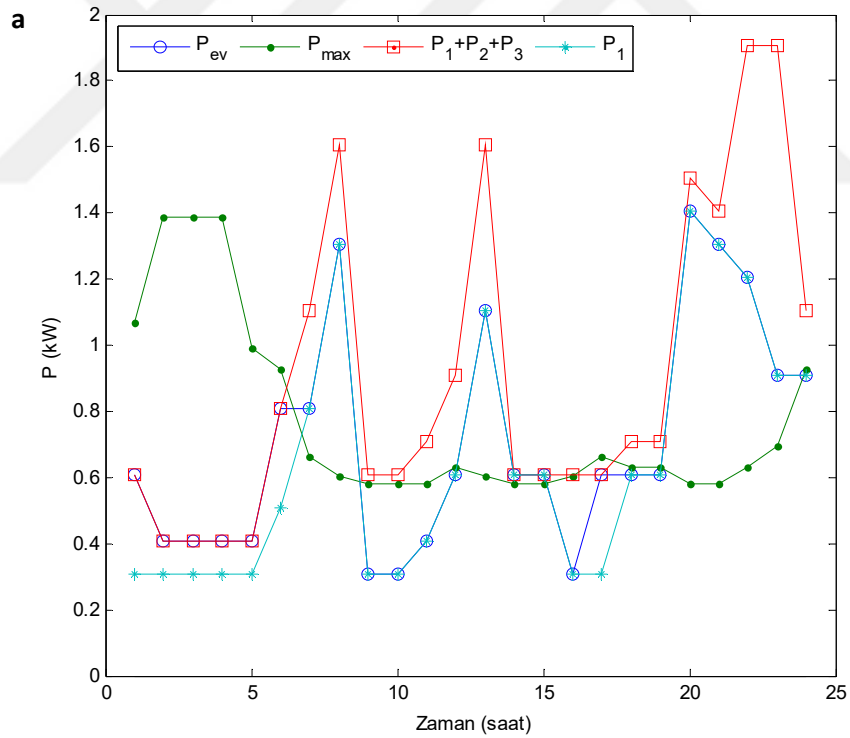


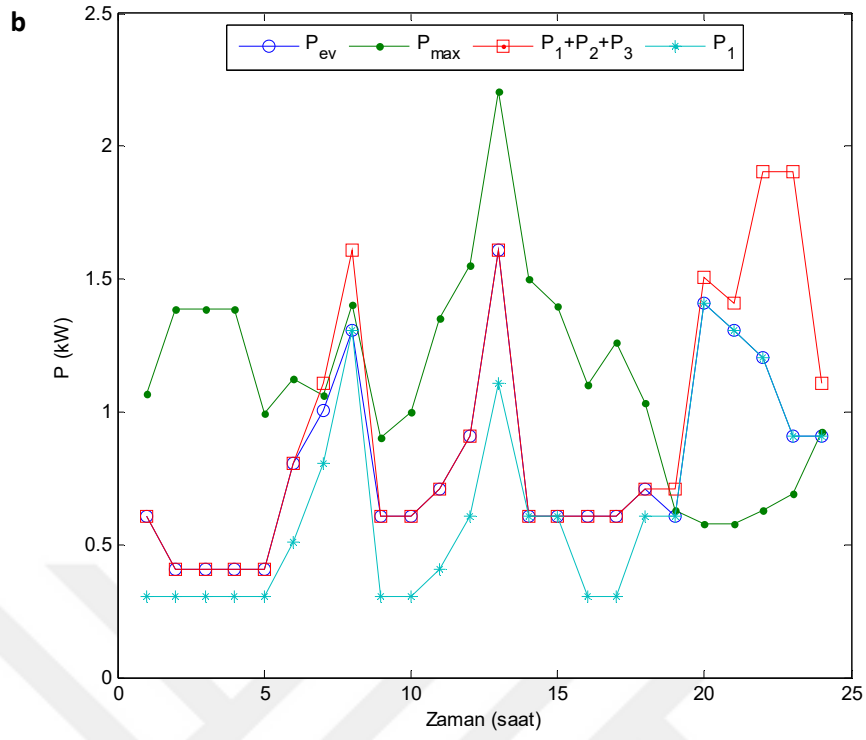
Şekil 5.4. Elektrikli ev aletlerinin günlük öncelik durumları



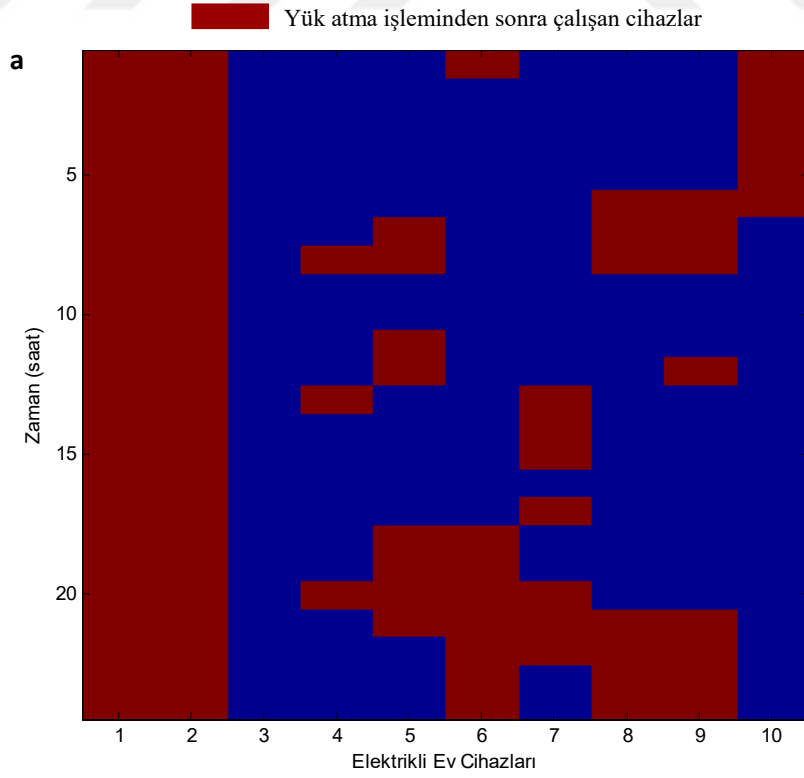
Şekil 5.5. Yenilenebilir enerji kaynağının günlük enerji üretim profili

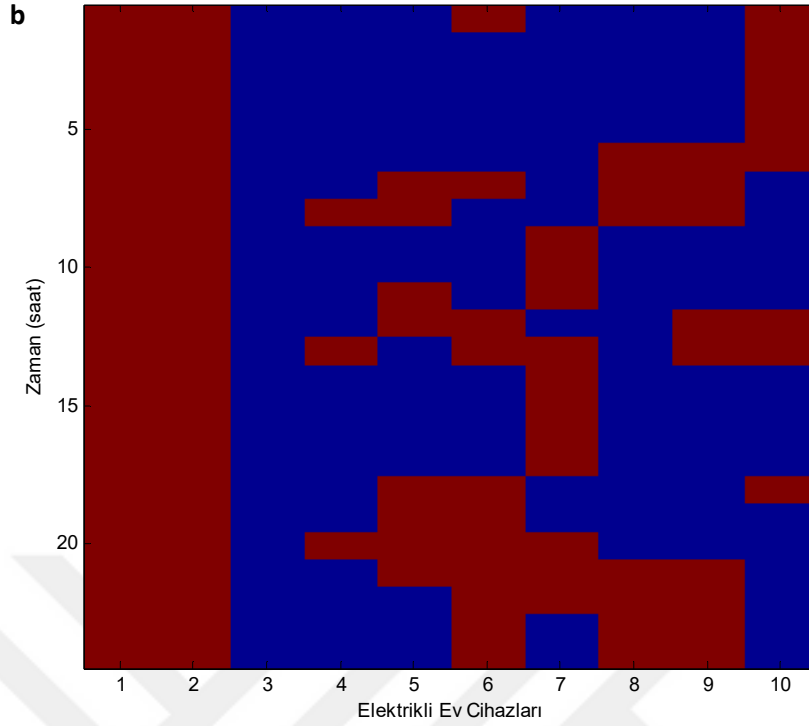
Şekil 5.6, benzetimde elde edilen önemli güç parametrelerinin saatlik değişimini göstermektedir. Şekil 5.6(a)'da yenilenebilir enerji üretimi sıfır kabul edilmiştir. Şekil 5.6(b)'de yerel yenilenebilir enerji üretiminin dahil edilmesi ile güç değerlerinin zamana bağlı değişimi görülmektedir. Her iki şekilde de gözlemlenen sonuçlara göre maksimum tepe güç sınırının evin toplam güç tüketiminden yüksek olduğu zamanlarda, $p_{ev}(t) \leq p_{max}(t)$, algoritma cihazların tümünün çalışmasına izin verir ve evin toplam güç tüketimi $P_1(t)+P_2(t)+P_3(t)$ olur. $p_{ev}(t) > p_{max}(t)$ olduğunda algoritma $p1$ önceliğine sahip prizlerin çalışmasını korur ve evin toplam güç tüketimini $P_1(t)$ oluncaya kadar düşürebilir. Şekil 5.7(b)'den açıkça görüldüğü üzere maksimum tepe güç sınırı yenilenebilir enerji üretimine bağlı olarak artar ve bu nedenle algoritmanın yük atma oranı azalır. Şekil 5.7'de evin çalışan cihazlarının yenilenebilir enerji üretiminin (a) olmadığı ve (b) olduğu durumları verilmiştir.





Şekil 5.6. Yenilenebilir enerji üretiminin olmadığı (a) ve olduğu (b) durumlarda yük atma algoritmasının çalışma durumu ile ilgili güç parametrelerinin değişimi



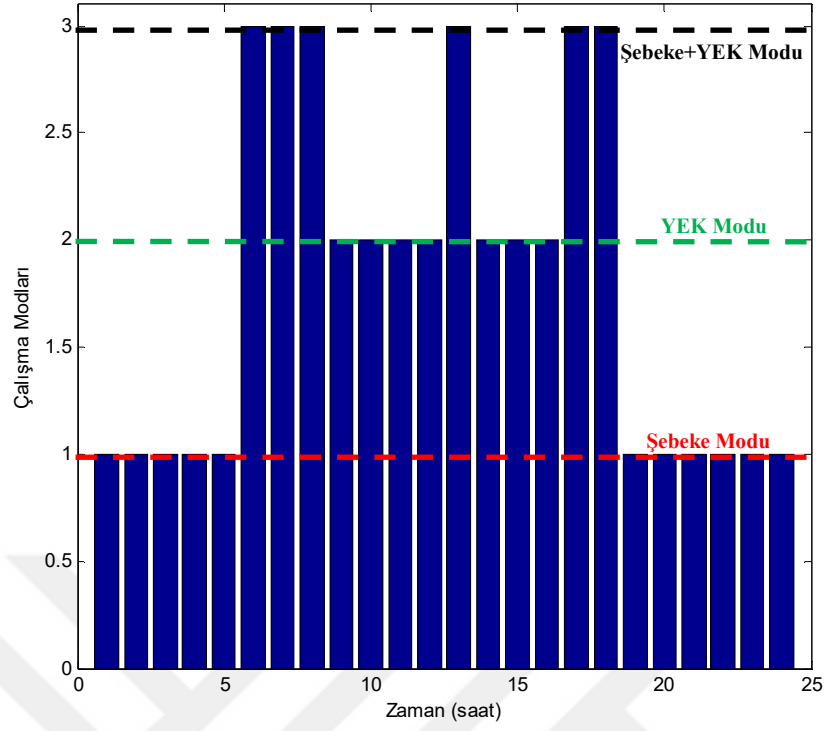


Şekil 5.7. Yük atma işleminden sonra cihazların çalışma durumu (a) YEK üretimi yokken, (b) YEK üretimi varken

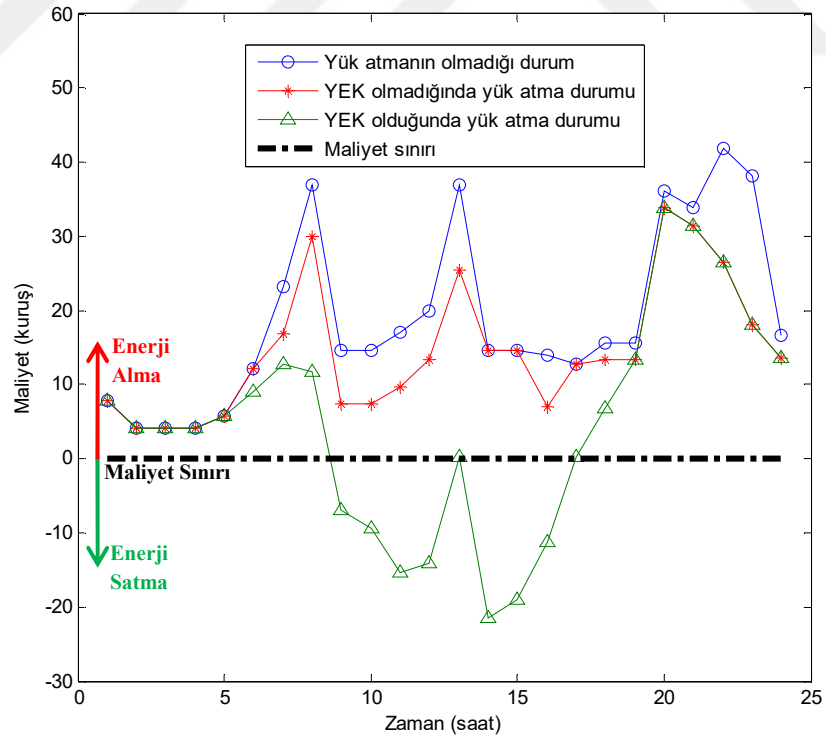
Bu algoritma, yük atma esnasında üç faktörü değerlendirmektedir: (1) yenilenebilir enerji sisteminin üretim seviyesi, (2) çevrimiçi elektrik birim fiyatı, (3) kullanıcı tanımlı maksimum elektrik maliyeti.

Şekil 5.8'de yenilenebilir enerji üretim potansiyeline bağlı olarak çalışma modlarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Şekilde sistemin maksimum güç sınırlamalı yük atma algoritmasına ve yerel yenilenebilir enerji üretimine bağlı olarak şebeke enerjisine bağımlılığı azalttığı ve YEK modunda çalışma durumu görülmektedir.

Şekil 5.9'da farklı durumlar kullanılarak evin saatlik enerji maliyetindeki değişiklikler karşılaştırılmıştır. Şekilden, yerel yenilenebilir enerji üretiminin ve yük atma algoritmasının enerji maliyetleri üzerindeki avantajları açıkça görülmektedir. Saat 08:30-17:00 arasında evin anlık talebi karşılandıktan sonra yenilenebilir enerji üretiminin fazlasının satılabileceği görülmektedir. Kullanıcı ve dağıtıcı firma arasındaki enerji alımı ve enerji satımı olarak adlandırılan çift yönlü enerji marketi geleceğin akıllı şebeke kullanıcıları için mümkün olacaktır.



Şekil 5.8. Yenilenebilir enerji üretim durumunda çalışma modları



Şekil 5.9. Farklı durumlarda evin saatlik enerji maliyeti

5.5. Sonuç

Bu bölümde anlık yerel yenilenebilir enerji üretim potansiyeline bağılı olarak çalışma modu kontrolünü içeren maksimum güç sınırlamalı yük atma algoritması geliştirilmiştir. Yük atmaya dayalı talep tarafı yük yönetimi üzerinde yerel yenilenebilir enerji üretim potansiyelinin etkilerinin nümerik analizi yapılmıştır. Benzetim sonuçları açıkça gösteriyorki, yenilenebilir enerji üretimi yük atma oranını düşürür ve cihazların kapatılması sonucu oluşan kullanıcı rahatsızlıklarını azaltır. Buna ek olarak yenilenebilir enerjinin verimine bağılı olarak, evin şebeke enerjisine bağılılığının azaldığı sonuçlardan görülmektedir. Yerel yenilenebilir enerji üretimi ve talep tarafı yük yönetimi birbirini destekler. Çevrimiçi elektrik fiyat tarifesi uygulanarak geleceğin akıllı şebekelerinde evin enerji faturasının ve şebeke enerji kullanımının azaltılması için yenilenebilir enerji üretim sisteminin ve talep tarafı yük yönetim sisteminin birlikte çalışabilmesi gereklidir.

6. ÇOK KAYNAKLI YEREL ÜRETİME SAHİP AKILLI EVLERDE ENERJİ YÖNETİMİ İÇİN ENERJİ KARIŞTIRMA İŞLEMİNİN ANALİZİ

6.1. Özet

Akıllı şebeke uygulamaları, optimal enerji yönetimi için birçok optimizasyon ve yapay zeka yöntemlerini kullanma amacındadır. Bu algoritmaların pratikte güç sistemleri tarafından uygulanabilir olması gerekmektedir. Tezin önceki bölümlerinde talep tarafı yük yönetimi için yük atma algoritmaları önerilmiştir. Tezin bu bölümünde, şebekeye bağlı, çoklu yerel enerji üretim sistemlerini ve depolama birimlerini içeren geleceğin akıllı evlerinde enerji yönetim sistemi incelenmiştir. Bu işlem için dayanıklı sistemde zaman oranlı çoklu darbe genişliği modülasyonu yöntemi, DA şebekeler için enerji karışımı yapmak amacıyla sunulmuştur. DA mikroşebekeler, birden fazla yenilenebilir enerji kaynağının entegrasyonunu içerir. Bu bölümde Matlab/Simulink ortamında güneş ve rüzgar enerji sistemi, batarya sistemi ve şebekeden gelen enerjinin entegrasyonu için zaman oranlı çoklu darbe genişlik modülasyonlu (ZOÇ-DGM) çok kaynaklı enerji karıştırıcı bileşen uygulanmıştır. Benzetim sonuçları; önerilen enerji karıştırıcı bileşenin, farklı kaynaklardan alınan enerji miktarlarını karıştırma oranlarına göre ayarlayabildiğini göstermektedir. Bu bileşen kullanılarak optimizasyon ve yapay zeka metotları tarafından yönetilen en uygun enerji karıştırma oranları akıllı şebeke uygulamaları için gerçekleştirilebilir.

6.2. Giriş

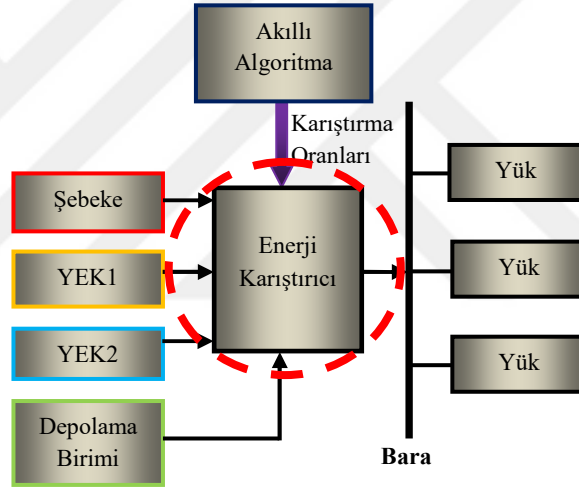
Geleneksel merkezi elektrik üretim yaklaşımı; artan enerji talebi, güvenlik, güvenilirlik ve çevresel etkiler nedeniyle ihtiyaca cevap verememektedir [46]. Aynı zamanda, enerji talebindeki artış ve sınırlı enerji kaynakları enerji fiyatlarının artmasına neden olmaktadır [62]. Bu sebeple son yapılan çalışmalar; var olan şebekelere yenilenebilir enerji kaynakları ve depolama birimlerinin entegrasyonu için bilgi, haberleşme ve kontrol teknolojilerini kullanan ve akıllı şebekeler adı verilen yeni elektrik şebekeleri üzerinde yoğunlaşmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının ve depolama sisteminin kullanımının yaygınlaşması; enerji entegrasyonu, yönetimi ve işletme koşulları için arz-talep

güvenilirliği ve optimal elektrik birim maliyeti elde etmek amacıyla strateji geliştirmeyi gerekli kılmaktadır [152]. Birçok yenilenebilir enerji kaynağı (güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle, hidroelektrik, dalga) bulunmaktadır. Batarya ve yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş paneli ve rüzgar türbinleri kullanım kolaylığı ve yerel ölçekte kullanılabilirliği bakımından evlerde tercih edilmektedir. Buna rağmen, güneş ışınması ve rüzgar hızındaki değişimler sebebiyle bu yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi kesintili olmaktadır. Bu nedenle depolama birimleri şebekeden pahalı enerji kullanımı ve aşırı yenilenebilir enerji üretimi koşullarında kullanılmaktadır [153]. Ancak, geleneksel merkezi elektrik üretim sistemi ile karşılaştırıldığında yenilenebilir enerji kaynakları her zaman ekonomik ve güvenilir olmadığı dikkate alınmalıdır [154, 155]. Buna ilaveten hem rüzgar türbinleri hem de güneş sistemlerinin üretimleri çevresel faktörlerden önemli ölçüde etkilenmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları kolayca ulaşılabilir olmasına rağmen yatırım, kurulum ve koruma maliyetleri gibi belirli giderleri bulunmaktadır. Bu nedenle akıllı şebeke araştırma çalışmalarının bir dalı; hibrit güç üretim sistemine bağlı maliyet etkili ve güvenilir şebekenin gerçekleşmesi için uygun oranlarda yenilenebilir enerji kaynaklarının, depolama biriminin ve şebeke gücünün entegre edilmesine odaklanmalıdır. Bu güç kaynaklarının uygun şekilde ayarlanması, tüm sistemin güvenliğinin artırılmasının yanı sıra üretim maliyetlerinin de azaltılmasını sağlayacaktır [153, 156].

Güç elektroniği cihazları teknolojisindeki gelişmeler, dağıtık üretim sistemlerinin gelişmesinde ve yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonunda çok önemli bir rol oynamaktadır. Çünkü sadece bir kaynaktan sağlanan enerji, maliyet etkili ve güvenilir bir güç sağlama özelliği taşımamaktadır. Çoklu güç kaynaklarının beraber kullanımı; düşük maliyet, daha az emisyon ve yüksek güvenilirlik gibi oldukça önemli özellikleri sağlamak için uygun bir yöntem olabilir [157]. Çok kaynaklı sistemlerde enerji karıştırma, mikroşebekelerde optimal enerji yönetimi için anahtar bir işlemdir. Literatürde hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin enerji yönetimi için genetik algoritma, benzetilmiş tavlama, parçacık sürü optimizasyonu gibi farklı optimizasyon tekniklerinden bahsedilmiş ve bu optimizasyon algoritmalarının optimal enerji entegrasyonu sağladığı görülmüştür [156, 158-160]. Bu algoritmalar optimal yenilenebilir enerji üretim kapasitesi, bataryanın şarj durumu, çevrimiçi elektrik

birim fiyatı vb. sistem parametrelerinin korunması için kontrol parametrelerinin değerlerini hesaplayabilir. Kaynakların optimal enerji yönetimi için, çok kaynaklı sistemin akıllı algoritmalar vasıtasıyla tanımlanabilen enerji karıştırma oranları güç sistemleri tarafından uygulanmalıdır. Bu nedenle, çok kaynaklı güç sistemlerinin algoritma tarafından sağlanan kontrol parametrelerine göre enerji kaynaklarından en uygun enerji karıştırma işlemini gerçekleştirmek için enerji karıştırma birimine gereksinimi vardır. Şekil 6.1’de yenilenebilir enerji kaynakları, şebeke, batarya, yükler, akıllı algoritma ve enerji karıştırma bileşenini içeren optimal mikroşebeke yönetim sisteminin blok diyagramı gösterilmiştir. Bu sistem, maliyet etkili, çevre dostu ve enerji güvenli akıllı mikroşebeke sisteminin tanımıdır. Bu bölümde ele alınan kısım şekil 6.1’de kesik çizgi ile gösterilmiştir [161].



Şekil 6.1. Optimal mikroşebeke enerji yönetim sisteminin genel bir mimarisi

Bu bölümde akıllı enerji şebekelerinde optimizasyon ve yönetim algoritmasının sonuçlarının pratikte gerçekleştirilmesi için ZOÇ-DGM tekniği tabanlı çok kaynaklı enerji karıştırma metodu önerilmiştir. Bu tekniğin performansı şekil 6.1’de verilen sistemle eşdeğer mikroşebeke sisteminin benzetimi ile gösterilmiştir.

6.3. ZOÇ-DGM Yöntemi İle Çok Kaynaklı Enerji Karıştırma

DGM, anahtarlama için güç elektroniği uygulamalarında kullanılan yaygın tekniklerden biridir [162]. Çok kaynaklı mikroşebekelerde yenilenebilir enerji

kaynaklarının optimal yönetimi için enerji karışımının kontrolü gerekmektedir. Birçok çalışmada kaynakların optimal enerji entegrasyon oranlarını belirlemek için optimizasyon algoritmaları geliştirilmiştir. Ancak, kaynak entegrasyon cihazı, optimal enerji entegrasyon oranlarına göre farklı kaynaklardan gelen enerji akışını ayarlamak ve karışımını sağlamak için tasarlanmalıdır. Özellikle mikroşebekelerde düşük güçlü DA bara entegrasyonu için anahtarlama güç karıştırmanın uygun olacağı düşünülmektedir.

Güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, batarya enerjisi ve şebeke enerjisinin entegrasyonu amacıyla güneş sistemi için α_g , rüzgar sistemi için α_r , batarya için α_d ve şebeke için α_s karıştırma oranlarını varsayalım. Bu durumda kaynaklardan şebeke yüklerine gönderilen toplam enerji şu şekilde yazılabilir:

$$E_T = \alpha_g E_g + \alpha_r E_r + \alpha_d E_d + \alpha_s E_s \quad (6.1)$$

Burada E_g, E_r, E_d ve E_s sırasıyla güneş, rüzgar, batarya ve şebekeden gelen anlık enerjiyi göstermektedir. DA bara entegrasyonunda, DA bara gerilimi önceden sabit bir V_{da} gerilim seviyesine ayarlanır. Böylece Δt zaman aralığında kaynaklardan enerji akışı ($E = V_{da} I \Delta t$) yaklaşık olarak akım ve zaman ile orantılı olur. Katı hal anahtarlama durumu için anahtarlar akım kaynağı modunda çalışır ve anahtar akımı kısa zaman aralığı için yaklaşık olarak sabit kabul edilebilir. Bu nedenle, enerji akışının miktarı, Δt zaman aralığı ile orantılı olur. Anahtarlama Δt zaman aralığı anahtarın devrede olduğu durumdaki zaman aralığıdır. Enerji kaynaklarının çıkış gücü eşit kabul edilerek ($P = V_{da} I$), denklem (6.1) aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$E_T = P(\alpha_g \Delta t + \alpha_r \Delta t + \alpha_d \Delta t + \alpha_s \Delta t) \quad (6.2)$$

Daha sonra $\Delta t_g = \alpha_g \Delta t$, $\Delta t_r = \alpha_r \Delta t$, $\Delta t_d = \alpha_d \Delta t$, $\Delta t_s = \alpha_s \Delta t$ yazılırsa, denklem (6.2) aşağıdaki şekilde yeniden düzenlenebilir:

$$E_T = P(\Delta t_g + \Delta t_r + \Delta t_d + \Delta t_s) \quad (6.3)$$

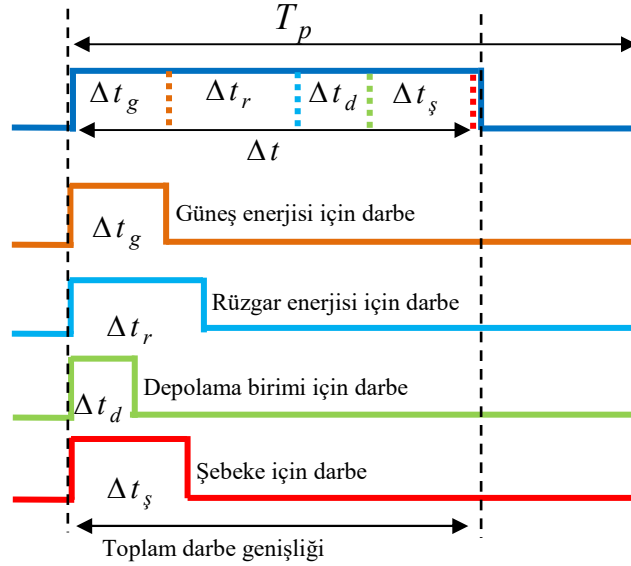
Burada toplam darbe genişliği şu şekilde yazılabilir:

$$\Delta t = \Delta t_s + \Delta t_w + \Delta t_b + \Delta t_g \quad (6.4)$$

Darbe genişlik modülasyonunun ürettiği darbe genişliği, kaynaklardan istenilen enerji karıştırma için enerji karıştırma oranlarına göre çoklu darbe genişliği modülasyonuna ayrıştırılabilir. Şekil 6.2 istenilen karıştırma oranlarına göre çoklu kaynak durumunda tam darbe genişliğinin bölünmesini göstermektedir.

Şekil 6.3, genliği 1 ve periyodu T_p olan testere dişi dalga ve y eşik seviyesine sahip nicemleyici (quantizer) kullanılarak darbe üretimini göstermektedir. İstenilen darbe genişliği üretimi için y eşik değeri şöyle tanımlanabilir:

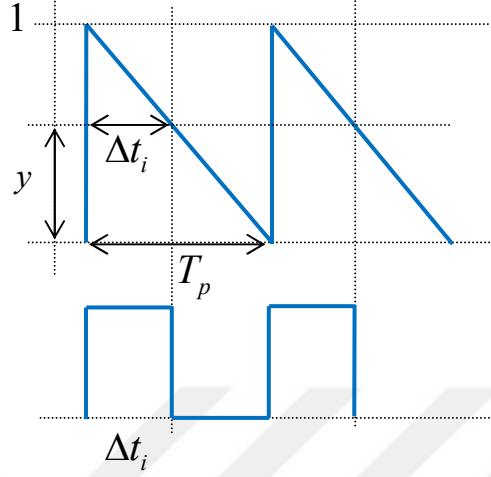
$$y_i = 1 - \frac{\Delta t_i}{T_p} = 1 - \alpha_i \frac{\Delta t}{T_p} \quad (6.5)$$



Şekil 6.2. ZOÇ-DGM denetimi ile çoklu kaynaktan enerji karışımı için darbe genişliği dağılımı

Daha sonra her bir enerji kaynağının darbe üretimi için eşik değerleri şu şekilde ifade edilebilir:

$$y_g = 1 - \alpha_g \frac{\Delta t}{T_p}, y_r = 1 - \alpha_r \frac{\Delta t}{T_p}, y_d = 1 - \alpha_d \frac{\Delta t}{T_p}, y_s = 1 - \alpha_s \frac{\Delta t}{T_p} \quad (6.6)$$



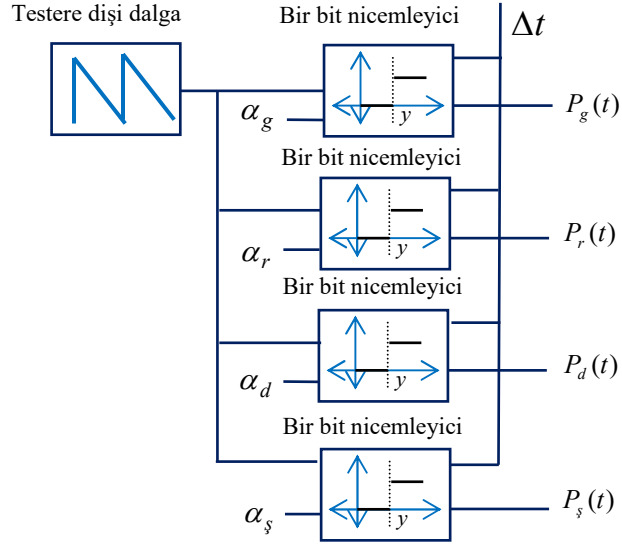
Şekil 6.3. Genliği 1 ve periyodu T_p olan testere dişi dalga kullanılarak darbe üretimi ve DGM için bir bit nicemleyici

Çok kaynaklı enerji karıştırma için ZOÇ-DGM üretimi şekil 6.4'te verilmiştir. Δt parametresi, V_{da} DA bara gerilimini elde etmek için kapalı çevrim PI kontrol sistemi tarafından üretilmektedir. Bu kapalı çevrim sistemi için hata, ölçülen anlık bara gerilimi $V(t)$ ile hesaplanabilir:

$$e(t) = V_{da} - V(t) \quad (6.7)$$

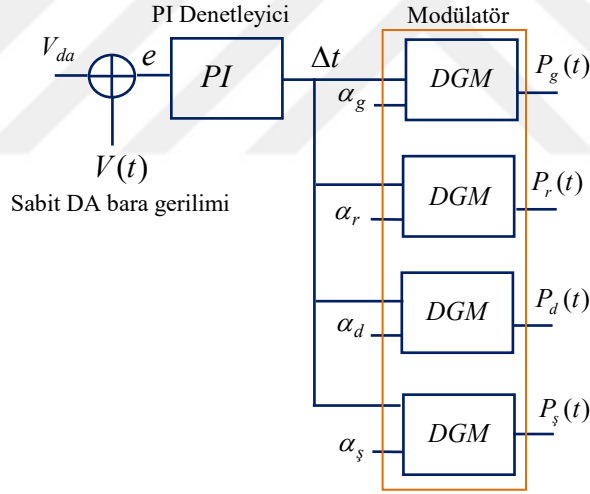
PI kontrolörün çıkışı, tam darbe genişliği Δt 'yi sağlar ve aşağıdaki gibi zaman domeninde ifade edilebilir.

$$\Delta t = k_p e(t) + k_i \int e(t) dt \quad (6.8)$$



Şekil 6.4. Çok kaynaklı enerji karıştırma için ZOÇ-DGM sinyal üretimi

Şekil 6.5, ZOÇ-DGM sinyal üretimi için tasarlanan kontrol sistemini göstermektedir.

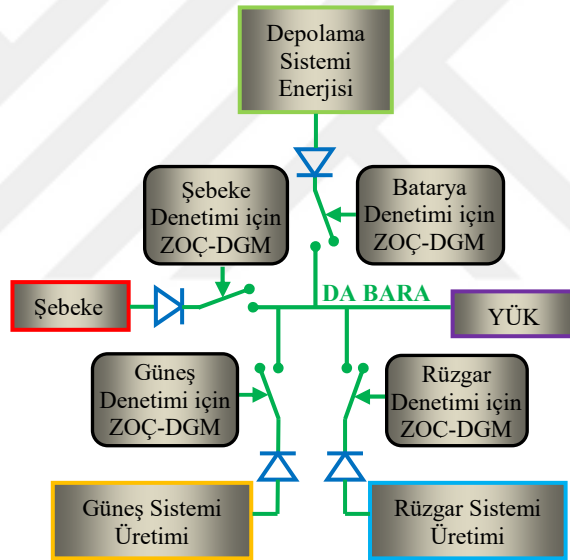


Şekil 6.5. ZOÇ-DGM sinyal üretimi için denetim sistemi tasarımı

6.4. ZOÇ-DGM Yönteminin Akıllı Evlerde Enerji Karıştırma İşlemine Uygulanması

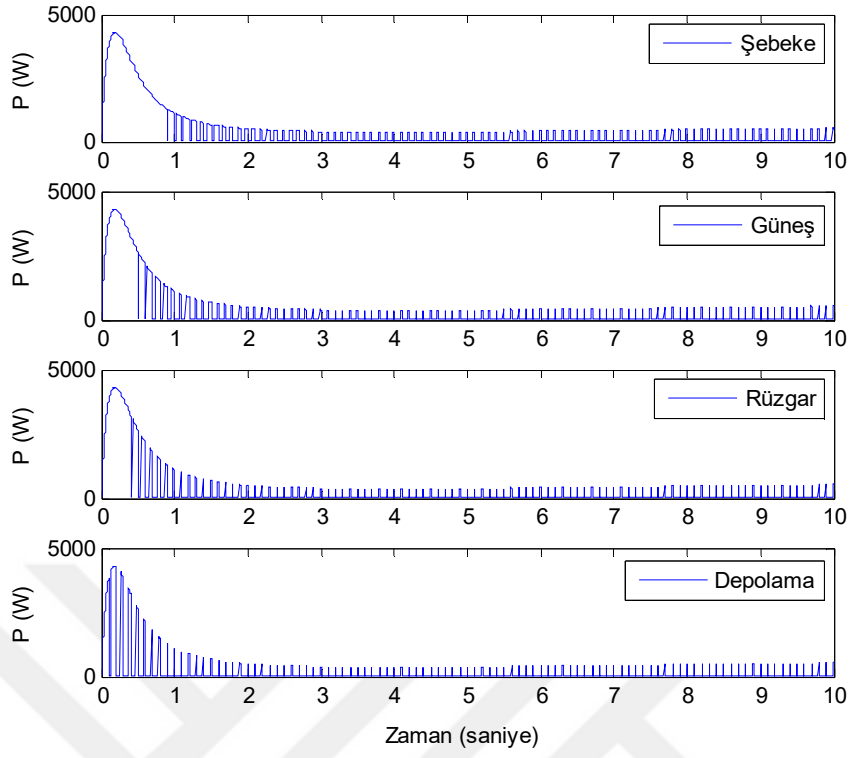
Bu bölümde, şekil 6.1'de verilen yenilenebilir enerji mikroşebeke mimarisine sahip akıllı evlerde çok kaynaklı enerji karıştırma için önerilen ZOÇ-DGM yöntemi test edilmiştir. Şekil 6.6'da Matlab/Simulink ortamı kullanılarak önerilen çok kaynaklı enerji karıştırma mimarisinin modeli gösterilmiştir. Burada

yenilenebilir enerji kaynakları, batarya ve şebeke DA barada birleştirilmiştir. DA baralar farklı karakteristiklere sahip kaynakların entegrasyonunu kolaylaştırmaktadır. Çünkü bu durumda frekans kontrol problemleri bulunmamaktadır. DA barada, sadece DA gerilim kararlılığının sağlanması gerekmektedir. Bu da her bir kaynağın AA barada entegrasyonunda AA frekans kontrolünden daha kolay sağlanmaktadır. Benzetim modelinde DA bara geriliminin 400 V'ta kararlılığı sağlamak için PI kontrolör ($T_p = 0.1$ s için $k_p = 0.005$, $k_i = 0.001$) kullanılmıştır. PI kontrolörün çıkışı, istenilen enerji karıştırma oranları için anahtarlamayı gerçekleştirmek amacıyla ZOÇ-DGM sistemini sürmektedir. DA bara geriliminin kararlılığı, ZOÇ-DGM metodunun performansı için önemlidir.



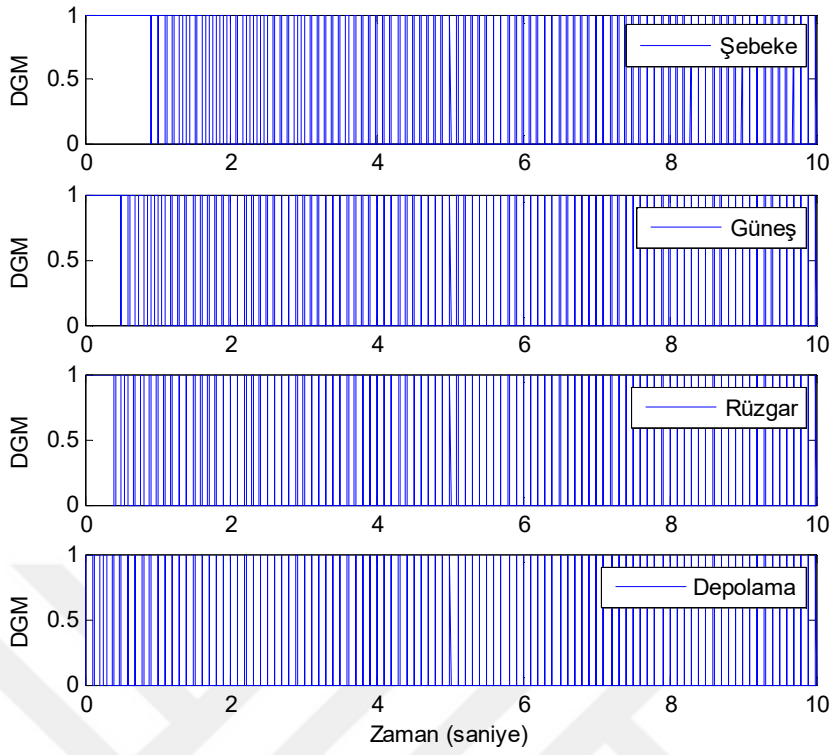
Şekil 6.6. Çok kaynaklı enerji karıştırma işlemi için benzetim modeli

Şekil 6.7'de test edilen mikroşebekelerde şebekeden, yenilenebilir enerji kaynaklarından ve bataryadan enerji karışımının anlık değerlendirilmesi gösterilmiştir.



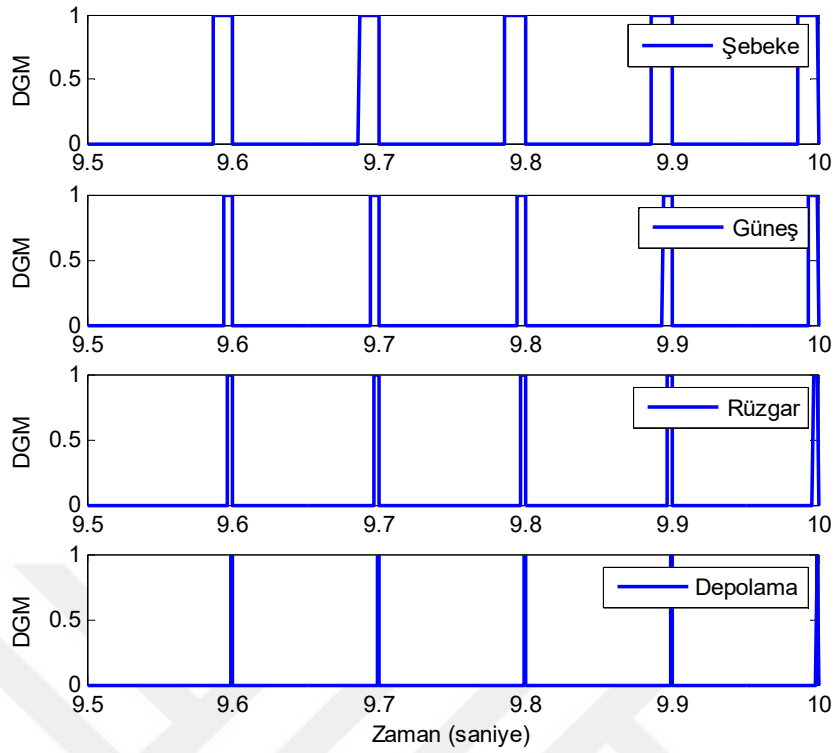
Şekil 6.7. Şebeke, yenilenebilir enerji kaynakları ve depolama birimlerinin enerji karışımı durumları

Şekil 6.8’de ZOÇ-DGM kontrol bileşeni tarafından üretilen ilgili anahtarlama darbeleri gösterilmiştir.



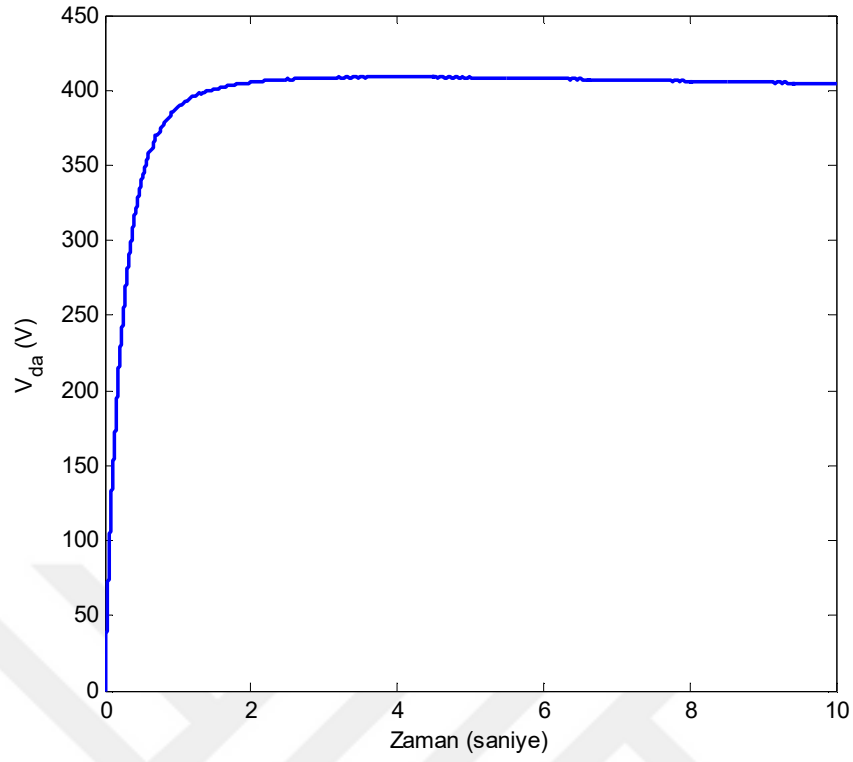
Şekil 6.8. ZOÇ-DGM denetim birimi tarafından üretilen anahtarlama darbeleri

Şekil 6.9'da, şebeke için $\alpha_s = 0.55$, güneş sistemi için $\alpha_g = 0.25$, rüzgar sistemi için $\alpha_r = 0.15$ ve batarya sistemi için $\alpha_d = 0.05$ karıştırma oranlarına göre darbe genişliklerini karşılaştırmak amacıyla şekil 6.8'in yakın görünümü verilmiştir.

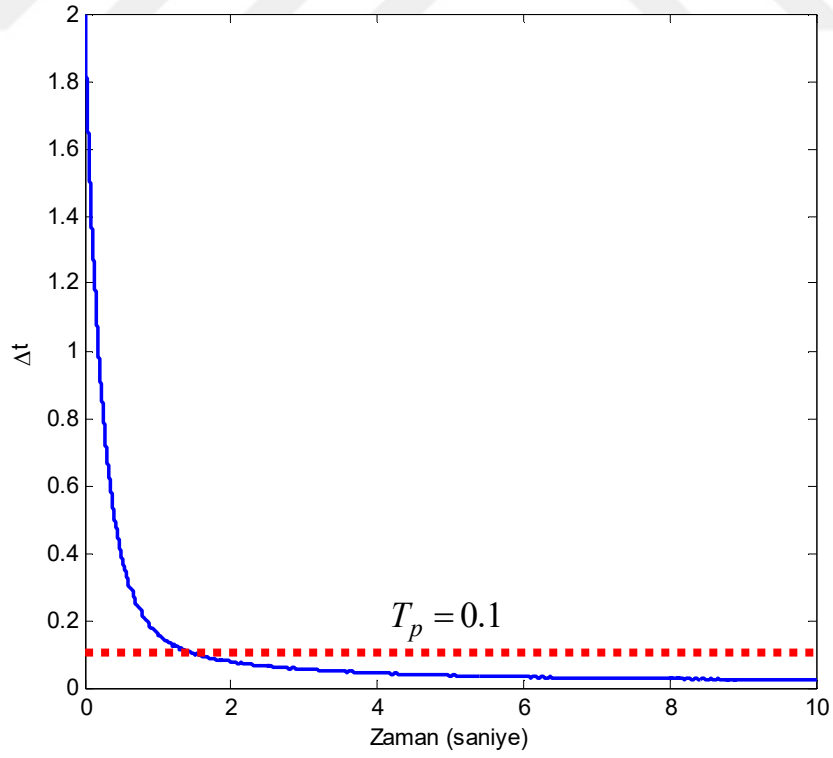


Şekil 6.9. ZOÇ-DGM denetim birimi tarafından üretilen anahtarlama darbelerinin yakın görünümü

Şekil 6.10, DA baranın gerilim kararlılığını göstermektedir. ZOÇ-DGM'nun işletilmesi ve DA baranın gerilim kararlılığı için, PI kontrolör tarafından kontrol edilen tam darbe genişliği Δt , zaman içerisinde tam darbe periyodunun (T_p) altına düşürülmelidir. Şekil 6.11'de Δt değerinin zamana göre değişimi verilmiştir.

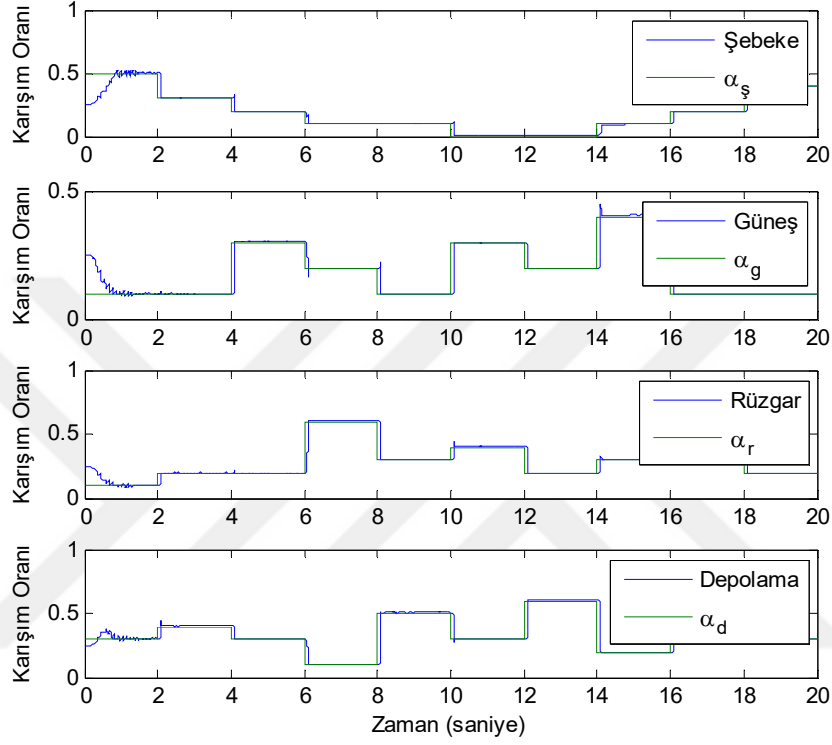


Şekil 6.10. Δt değerinin değişimine göre DA barasının gerilim kararlılığı



Şekil 6.11. Δt değerinin zamana göre değişimi

α_g , α_r , α_d , α_s anlık karıştırma oranlarına göre ZOÇ-DGM'nun ürettiği enerji karıştırma oranlarının karşılaştırılması şekil 6.12'de göstermektedir. Buradan ZOÇ-DGM'nun enerji karıştırma oranlarının anlık α_g , α_r , α_d ve α_s değerleri ile oldukça uyumlu olduğu görünmektedir.



Şekil 6.12. α_g , α_r , α_d , α_s değişimlerine göre ZOÇ-DGM enerji karıştırma oranlarının karşılaştırılması

Çizelge 6.1, istenen α_g , α_r , α_d ve α_s enerji karıştırma oranları ile ZOÇ-DGM tarafından elde edilen enerji karıştırma oranlarının nicel olarak karşılaştırmasını vermektedir.

Çizelge 6.1. Bazı istenen ve ZOÇ-DGM'ndan elde edilen enerji karıştırma oranları

| İstenen Enerji Karıştırma Oranları | | | | Elde Edilen Enerji Karıştırma Oranları | | | |
|------------------------------------|------------|------------|------------|--|-------|--------|----------|
| α_s | α_g | α_r | α_d | Şebeke | Güneş | Rüzgar | Depolama |
| 0.0 | 0.4 | 0.6 | 0.0 | 0.000 | 0.396 | 0.601 | 0.000 |
| 0.6 | 0.0 | 0.2 | 0.2 | 0.605 | 0.000 | 0.196 | 0.196 |
| 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.302 | 0.197 | 0.197 | 0.302 |
| 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.5 | 0.096 | 0.198 | 0.198 | 0.507 |

6.5. Sonuç

Bu bölümde, DA enerji dağıtım sistemine sahip akıllı evlerde çok kaynaklı enerji karıştırma işlemi için ZOÇ-DGM tekniği tanıtılmıştır. DA bara, yenilenebilir enerji kaynakları, batarya sistemi ve DA yüklere sahip mikroşebeke benzetiminde bu yöntem test edilmiştir. DA bara gerilimini kararlı yapmak için PI kontrolör ayarlandığında istenilen enerji karıştırma oranına göre ZOÇ-DGM tekniğinin enerji karıştırma işlemini gerçekleştirdiği gösterilmiştir. Önerilen ZOÇ-DGM sistemi, akıllı yönetim algoritması tarafından hesaplanan optimal enerji karıştırma oranlarını uygulayabilmektedir. Çünkü benzetim modelinin ilgili enerji kaynaklarından gelen enerjilerin enerji karıştırma oranlarındaki anlık değişiklikleri takip ederek karışımı sağladığı görülmektedir.

Sonuç olarak, farklı optimizasyon teknikleri tarafından hesaplanan optimal enerji karıştırma oranlarının ZOÇ-DGM bileşeni vasıtasıyla mikroşebeke uygulamalarında gerçekleştirilebildiği sonucuna varılmıştır. Böylece, geleceğin akıllı şebekeleri için elektrik maliyetlerinin düşürülmesi ve enerji güvenliğinin sağlanması için bu sistemin katkıda bulunması beklenmektedir.

7. ÇOK KAYNAKLI YEREL ÜRETİME SAHİP AKILLI EVLERDE ENERJİ YÖNETİMİ İÇİN ENERJİ KARIŞTIRMA ORANLARININ OPTİMİZASYONU

7.1. Özet

Akıllı şebekeler, talep ve üretim belirsizliği altında optimum enerji yönetimi için akıllı hesaplama yöntemlerine ihtiyaç duymaktadır. Tezin bu bölümünde, yenilenebilir enerji kaynakları ve depolama sistemi içeren şebekeye bağlı akıllı evler için maliyet etkin enerji yönetimi sağlamak için enerji karıştırma oranlarının hesaplanması sorunu ele alınmaktadır. Akıllı evlerde zaman oranlı çoklu darbe genişliği modülasyonu (ZOÇ-DGM) kullanılarak enerji karıştırıcıları için düşük maliyetli enerji karıştırma oranlarını bulmak amacıyla ayrık stokastik optimizasyon tekniklerine dayanan bir rastgele arama algoritması (random search algorithm) önerilmiştir. Burada, çok kaynaklı yerel enerji sisteminin güneş enerji sistemi, rüzgar enerji sistemi, batarya sistemi ve dinamik enerji fiyatlandırması uygulayan şebeke bağlantısını içerdiği kabul edilmektedir. Benzetim sonuçları, enerji yönetimi için önerilen rastgele arama algoritmasının, şebekenin değişen enerji fiyat koşulları altında çok kaynaklı akıllı evler için düşük maliyetli enerji karıştırma sağlayabileceğini göstermektedir. Rastgele arama yöntemi, algoritmanın düşük hesaplama karmaşıklığına bağlı olarak, geleceğin akıllı şebekelerinin yerel enerji yönetimi için geliştirilmiş olan dağıtık sistem programlarında akıllı hesaplama uygulamaları için kullanılabilir.

7.2. Giriş

Günümüzün tek yönlü enerji akışını sağlayan elektrik şebekesi, eski bir yapıya ve teknolojiye sahiptir. Fosil yakıt kaynaklarının rezervlerinin azalması, artmakta olan enerji talebi ve enerji maliyetleri nedeniyle mevcut elektrik şebekesinin iyileştirilmesi ve alternatif enerji kaynaklarının kullanılması gerekmektedir. Küçük veya büyük ölçekli dağıtık enerji kaynaklarının ve enerji depolama ünitelerinin şebekeye entegrasyonu için geleceğin elektrik şebekesi olarak kabul edilen akıllı şebekenin bilgi, iletişim ve kontrol teknolojileri kullanarak sürdürülebilirlik, gözlenebilirlik, güvenilirlik, kontrol edilebilirlik ve

etkili enerji yönetimi sağlaması beklenmektedir [153]. Akıllı şebeke uygulamalarının çoğunlukla optimal enerji yönetimi ve enerji dengeleme problemlerini çözmesi için yapay zeka ve optimizasyon yöntemlerine ihtiyacı vardır. Akıllı algoritma uygulamaları, hem enerji piyasası yönetimi [163] ve enerji sevkiyatı yönetimi gibi geniş alan yönetimi [164] için hem de mikro şebekeler, akıllı binalar [95] ve akıllı evler [150] gibi yerel enerji yönetimi için gerekmektedir.

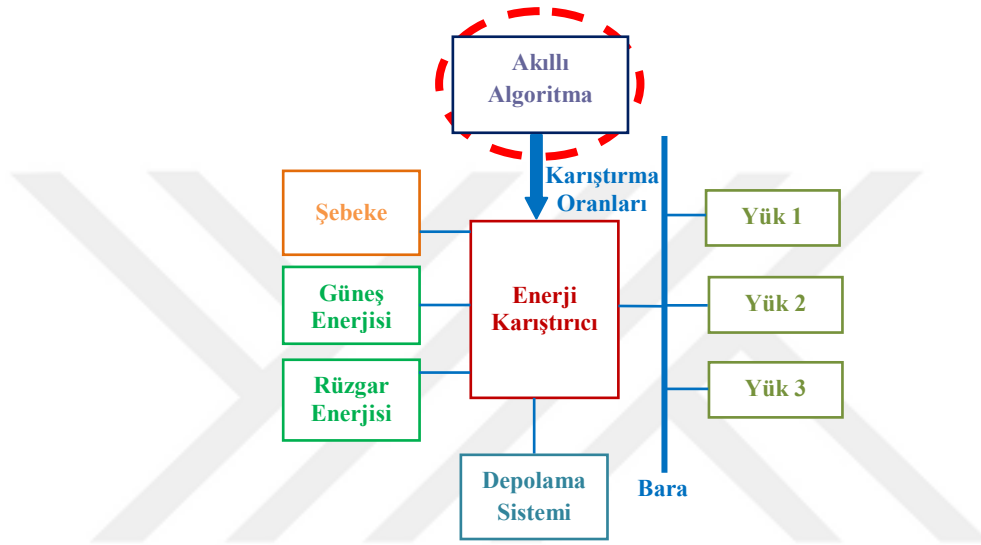
Akıllı enerji yönetimi için geliştirilen optimizasyon yöntemi, analitik optimizasyon yöntemleri [165-168] ve sezgisel optimizasyon yöntemleri [169-172] olmak üzere iki grupta toplanabilir. Analitik yöntem, enerji yönetim sistemlerinin tam bir analitik modelini gerektirir. Enerjinin üretiminden tüketimine kadar olan enerji sistemi; aktif katılımcıların ve güç sistemi elemanlarının çeşitlilik içermesi, karmaşık bir yapıda olması, meteorolojik, sosyolojik, hatta ekonomik koşullara bağlı olması nedeniyle doğrusal olmayan yüksek belirsizlik özelliği göstermektedir. Bu nedenle, gerçek uygulamalarda analitik yöntemin performansı düşebilmektedir. Bu tür karmaşık problemlerde, sezgisel optimizasyon yöntemleri esas olarak deneme tekniğine dayandığından bazı avantajlar sağlamaktadır. Yöntemin bu özelliği, sistemlerin tam modellenmesi ve karmaşık analitik denklemlerin çözümü ihtiyacını azaltır.

Bu bölümde, çok kaynaklı akıllı evlerin düşük maliyetli enerji karıştırma işlemi için rastgele arama yöntemi kullanılmıştır. Rastgele arama yönteminin en önemli avantajı algoritmasının basit olmasıdır. Dolayısıyla, düşük hesaplama karmaşıklığının bir zorunluluk olduğu sistemlerde uygulanabilmektedir. Örneğin akıllı şebekelerde bir işlevi de yerel enerji yönetim birimi olan programlanabilir akıllı sayaçlarda kullanımı mümkündür. Önerilen algoritma, Ç-DGM tekniği kullanılan enerji karıştırma bloğu ile birlikte çalışmak üzere tasarlanmıştır [161].

7.3. Çoklu DGM İle Enerji Karıştırma İşlemi

Şekil 7.1, yenilenebilir enerji kaynakları, şebeke, enerji depolama birimi, yükler, akıllı algoritma ve enerji karıştırıcı bileşenlerini içeren optimum mikro şebeke yönetim sisteminin blok diyagramını göstermektedir. Tezin 6. Bölümünde, karıştırma oranlarına göre farklı kaynakların enerjisini karıştırmak için ZOÇ-DGM sinyali kullanarak enerji karıştırıcı bloğu uygulanmış olup, akıllı algoritma

uygulaması olmayan benzetim çalışmasının tasarım ve kontrol şeması sunulmuştur [161]. 6. bölümde, zaman içinde karıştırma oranlarında keyfi bir dalgalanma için önerilen enerji karıştırıcısının çalışma performansı değerlendirilmiştir. Bu bölümde ise, bir önceki bölümdeki mimarinin akıllı algoritma kısmı üzerinde çalışılmış olup mikro şebekenin toplam enerji maliyetini düşürebilen optimum enerji karıştırma oranlarını bulan sezgisel bir optimizasyon yöntemi önerilmiştir. Bu bölümde ele alınan kısım şekil 7.1'de kesik çizgi ile gösterilmiştir [173].



Şekil 7.1. Optimal mikro şebeke yönetim sistemlerinin genel bir mimarisini [173]

7.4. Enerji Karıştırma Oranlarının Belirlenmesi Probleminin Tanımı

Güneş panelleri, rüzgar türbinleri, batarya sistemi ve elektrik şebekesinden gelen enerjilerin güneş sistemi için α_g , rüzgar sistemi için α_r , depolama sistemi için α_b ve şebeke için α_d karıştırma oranlarına göre birleştirildiğini varsayalım. Bu durumda, kaynaklardan mikro şebeke yüklerine gönderilen toplam enerji denklem (6.1)'deki gibi hesaplanır.

Güneş sistemi için c_g , rüzgar sistemi için c_r , batarya sistemi için c_d ve elektrik şebekesi için c_s kaynakların birim enerji maliyetlerini göstermektedir. Bu durumda, kaynakların maliyet etkin bir şekilde kullanılması için optimize edilecek sistemin maliyet fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$F = \alpha_g c_g E_g + \alpha_r c_r E_r + \alpha_d c_d E_d + \alpha_s c_s E_s \quad (7.1)$$

Karıştırma oranı katsayıları her Δt zaman aralığında optimizasyon algoritması tarafından güncellenmektedir. En aza indirgenecek maliyet fonksiyonu, Δt zaman aralığında kaynakların ortalama çıkış güçleri ile şu şekilde ifade edilebilir:

$$F(\alpha) = \alpha_g c_g P_g \Delta t + \alpha_r c_r P_r \Delta t + \alpha_d c_d P_d \Delta t + \alpha_s c_s P_s \Delta t \quad (7.2)$$

Burada, P_g , P_r , P_d ve P_s sırasıyla, güneş, rüzgar, depolama sisteminin ortalama çıkış güçlerini ve şebekeden çekilen ortalama gücü ifade etmektedir. Karıştırma oranı vektörü $\alpha = [\alpha_g \alpha_r \alpha_d \alpha_s]$ ile gösterilir. Öte yandan, enerji dengeleme problemlerini ve muhtemel kesintileri önlemek için, mikro şebekede enerji üretimi (E_T) ile enerji talebini (E_D) dengelemek oldukça önemlidir. Dolayısıyla, enerji dengesi, $E_D = E_T$ koşulunu yerine getirerek korunmalıdır. Her Δt zaman aralığında enerji dengesi kontrol edildiğinde, şebekedeki enerji talebinin ve üretimin dengelenmesi için aşağıdaki durum yazılabilir:

$$\gamma P_D = P_T = \alpha_g P_g + \alpha_r P_r + \alpha_d P_d + \alpha_s P_s \quad (7.3)$$

Burada P_T parametresi, kaynakların toplam ortalama çıkış gücünü, P_D parametresi ise toplam talep gücünü ifade eder. $\gamma > 1$ değerleri, bir miktar fazla üretime izin vererek enerji yetersizliğini azaltmak için sanal bir talep sağlar [163].

7.5. Enerji Karıştırma Oranı Optimizasyonu için Rastgele Arama Algoritmasının Uygulanması

Ayrık stokastik optimizasyon için geliştirilen rastgele arama algoritmaları iki türde sınıflandırılmıştır: birinci sınıf rastgele arama tipi algoritmaları ve ikinci sınıf rastgele arama tipi algoritmaları [174]. İki sınıf arasındaki temel fark, hedef

fonksiyonun değerlendirilmesi için kullanılan noktaların sayısıdır. Birinci sınıf rastgele arama tipi algoritmalarında sadece bir aday çözüm noktası ve mevcut çözüm noktası göz önüne alınmaktadır. Ancak ikinci sınıf rastgele arama tipi algoritmaları objektif değerlendirmeler için bir aday noktaları kümesi ele alınmaktadır [174]. Birinci sınıf algoritma grubunda eşzamanlı pertürbasyon yöntemi [175], modifiye benzetilmiş tavlama algoritması [176] gibi daha gelişmiş rastgele arama algoritmaları vardır.

Bununla birlikte, yerel mikro şebekelerin yenilenebilir enerji yönetimi için temel rastgele arama algoritmalarının kullanılabilir olduğunu göstermek kayda değerdir. Yerel uygulamalardaki kontrol kartlarının düşük hesaplama kapasitesinden dolayı, bu sistemlerde düşük hesaplama karmaşıklığı olan algoritmaların uygulanması gereklidir.

Bu bölümde, maliyet fonksiyonunun küçültülmesi için birinci sınıf rastgele arama algoritmasının [174]'te tanımlanan temel bir formu kullanılmıştır. Önerilen algoritma, aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

Adım 1: $\tilde{\alpha}^0$ mevcut noktaya bir başlangıç değeri belirle ve $F(\tilde{\alpha}^0)$ amaç fonksiyonuna uygula.

Adım 2: Rastgele bir aday nokta ($\alpha^{(n)}$) belirle ve $F(\alpha^{(n)})$ değerini hesapla.

Adım 3: Aday ve mevcut noktaları karşılaştır. Eğer $F(\alpha^{(n)}) - F(\tilde{\alpha}^{(n)}) < 0$ ise mevcut çözüm noktasını $\tilde{\alpha}^{(n)} = \alpha^{(n)}$ olarak güncelle.

Adım 4: Eğer $F(\tilde{\alpha}^{(n)}) < \varepsilon$ ise arama işlemini durdur, değilse iterasyon sayısını artır ($n = n + 1$) ve Adım 2'ye git.

Bu çalışmada, aşağıdaki parametre güncelleme denklemleri kullanılmıştır:

$$\alpha_g = \tilde{\alpha}_g + \mu \eta_g \quad (7.4)$$

$$\alpha_r = \tilde{\alpha}_r + \mu \eta_r \quad (7.5)$$

$$\alpha_d = \tilde{\alpha}_d + \mu \eta_d \quad (7.6)$$

$$\alpha_s = (\gamma P_D - \tilde{\alpha}_g P_g - \tilde{\alpha}_r P_r - \tilde{\alpha}_d P_d) / P_s \quad (7.7)$$

Burada μ güncelleme hızını, η_g , η_r , η_d parametre numaraları $[-0.5,0.5]$ aralığındaki rastgele sayıları göstermektedir. Denklem (7.7), mikro şebekedeki enerji dengesini korumak için yazılmıştır.

Karıştırma oranlarının sınırlandırılması için aşağıdaki kısıtlamalar uygulanır. Bu kısıtlamalara göre, enerji karışma oranları $[0,1]$ aralığında sınırlıdır ve kaynağın çıkış gücü minimum çalışma sınırından P_{\min} düşük olduğunda, algoritma bu kaynağı ihmal eder.

$$\tilde{\alpha}_g = \begin{cases} \alpha_g & 0 \leq \alpha_g \leq 1 \\ 0 & \alpha_g < 0 \\ 1 & \alpha_g > 1 \\ 0 & P_g < P_{\min} \end{cases} \quad (7.8)$$

$$\tilde{\alpha}_r = \begin{cases} \alpha_r & 0 \leq \alpha_r \leq 1 \\ 0 & \alpha_r < 0 \\ 1 & \alpha_r > 1 \\ 0 & P_r < P_{\min} \end{cases} \quad (7.9)$$

$$\tilde{\alpha}_d = \begin{cases} \alpha_d & 0 \leq \alpha_d \leq 1 \\ 0 & \alpha_d < 0 \\ 1 & \alpha_d > 1 \\ 0 & P_d < P_{\min} \end{cases} \quad (7.10)$$

$$\tilde{\alpha}_s = \begin{cases} \alpha_s & 0 \leq \alpha_s \leq 1 \\ 0 & \alpha_s < 0 \\ 1 & \alpha_s > 1 \\ 0 & P_s < P_{\min} \end{cases} \quad (7.11)$$

Enerji denge hatası aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

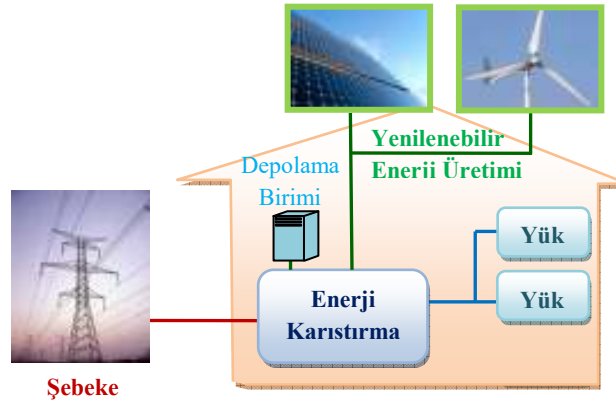
$$E_b = P_D \Delta t - P_T \Delta t \quad (7.12)$$

Karıştırma oranlarını referans kontrol sinyalleri olarak Ç-DGM enerji karıştırma bloğuna uygulamak amacıyla, Ç-DGM enerji karıştırıcısında $\tilde{\alpha}_g + \tilde{\alpha}_r + \tilde{\alpha}_d + \tilde{\alpha}_s = 1$ koşulunu sağlamak için aşağıdaki normalizasyon uygulanmalıdır.

$$\hat{\alpha}_n = \frac{\tilde{\alpha}_n}{\sum_{i=\{g,r,d,s\}} \alpha_i}, \quad n = \{g,r,d,s\} \quad (7.13)$$

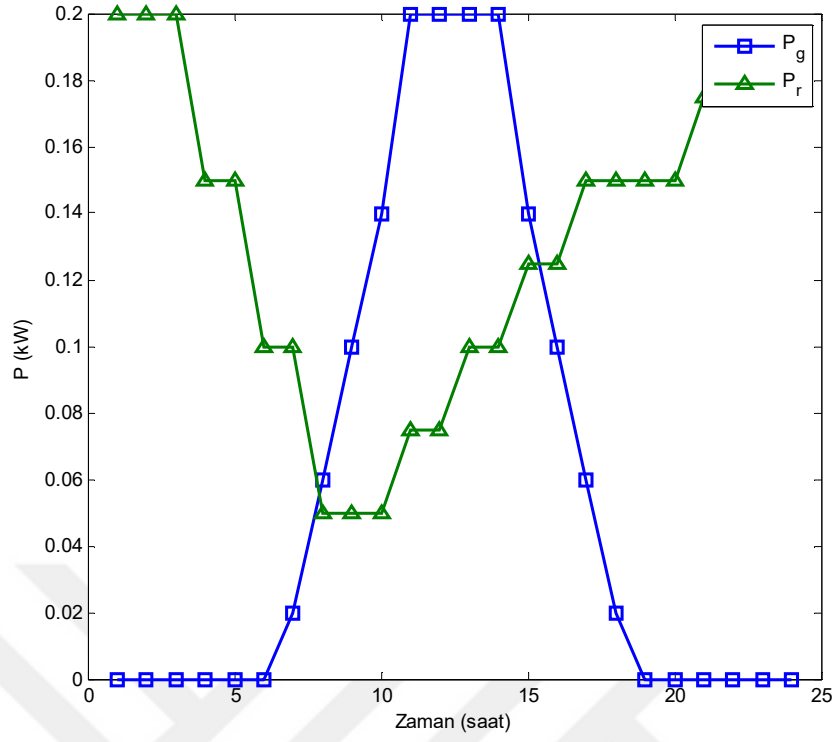
7.6. Yenilenebilir Enerji Kaynakları İçeren Elektrik Şebekesinin Yönetimi Senaryosu İçin Benzetim Örneği

Bu bölümde, şekil 7.2'de gösterilen bir ev enerji yönetim sisteminde maliyet etkin yenilenebilir enerji karıştırma işlemi için önerilen algoritma test edilmektedir. Benzetim modeli, güneş sistemi, rüzgar sistemi, 1 kW çıkış gücündeki batarya sistemi ve 2 kW güç sınırlamalı elektrik şebekesi olmak üzere dört enerji sistemi içermektedir.

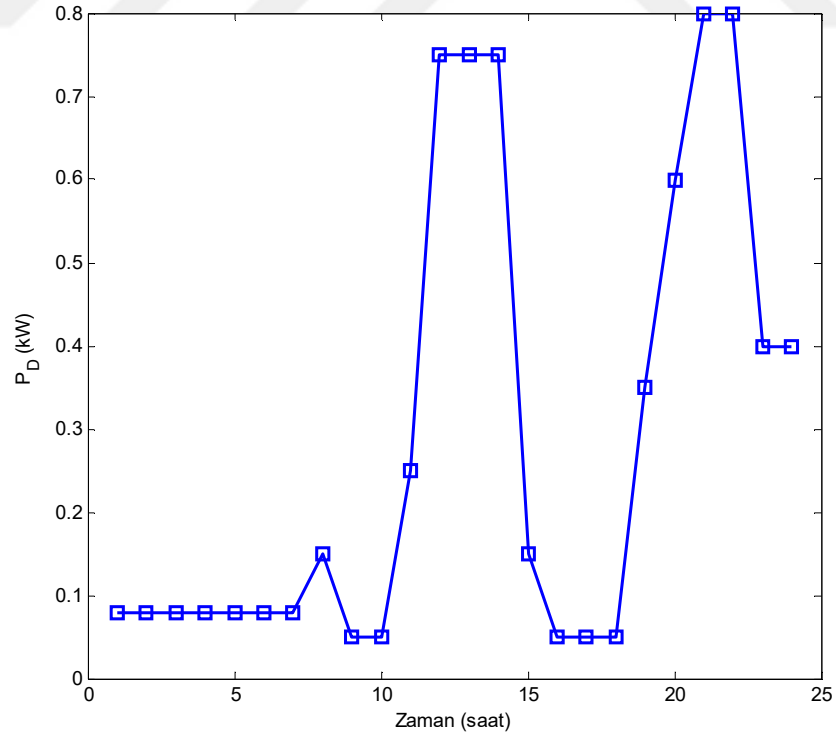


Şekil 7.2. Evlerde maliyet etkin yerel enerji yönetimi için yenilenebilir enerji karıştırma [173]

Bu senaryoda, güneş ve rüzgar enerjisi sistemlerinin şekil 7.3'te gösterilen ortalama üretim profillerine sahip oldukları varsayılmıştır. Evin enerji talebi için, şekil 7.4'teki ortalama talep profili [97] kullanılmıştır.

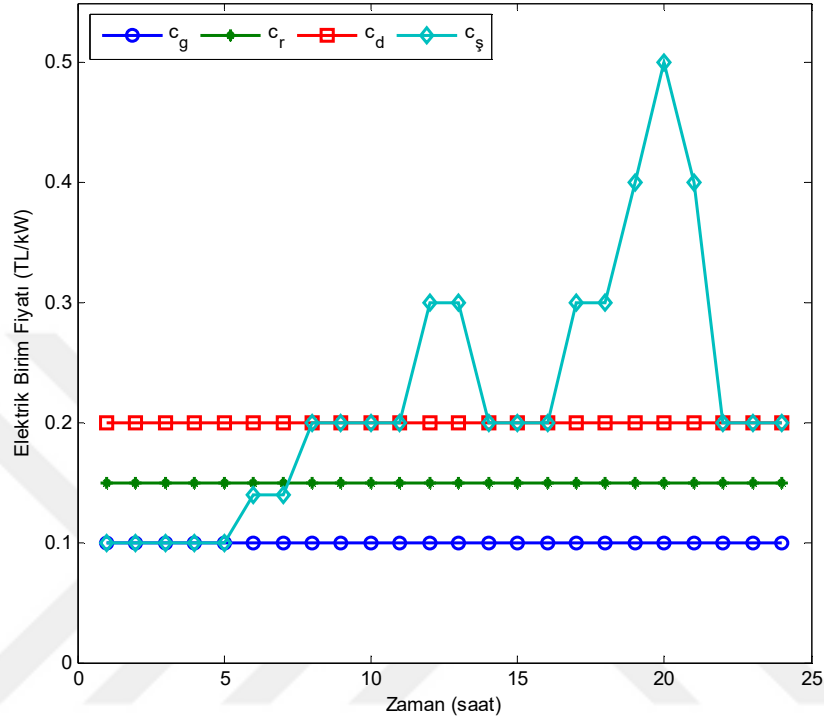


Şekil 7.3. Benzetimde kullanılan güneş ve rüzgar enerjisi sisteminin üretim profilleri



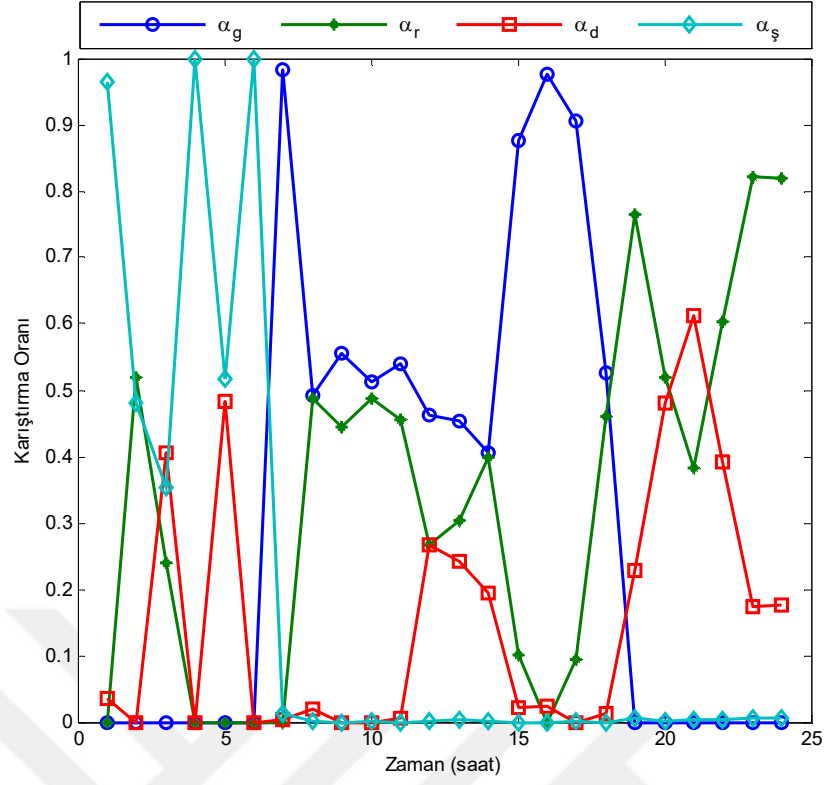
Şekil 7.4. Evin saatlik talep profili [97]

Dinamik elektrik fiyat tarifesi, akıllı şebekelerde talep esnekliği ve yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme dahil edilmesini desteklemek için oldukça gereklidir [163]. Benzetimde, şebekenin enerji fiyatının şekil 7.5'te gösterildiği gibi değiştiği varsayılmıştır.

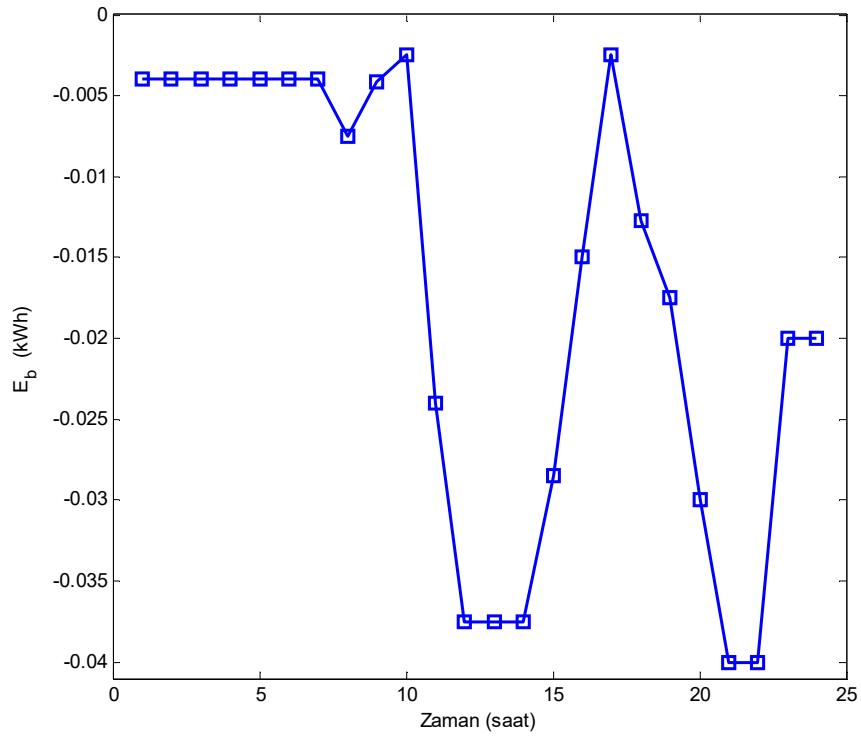


Şekil 7.5. Güneş, rüzgar, depolama birimi elektrik birim fiyatları ve elektrik şebekesi için dinamik elektrik fiyatlandırma profili

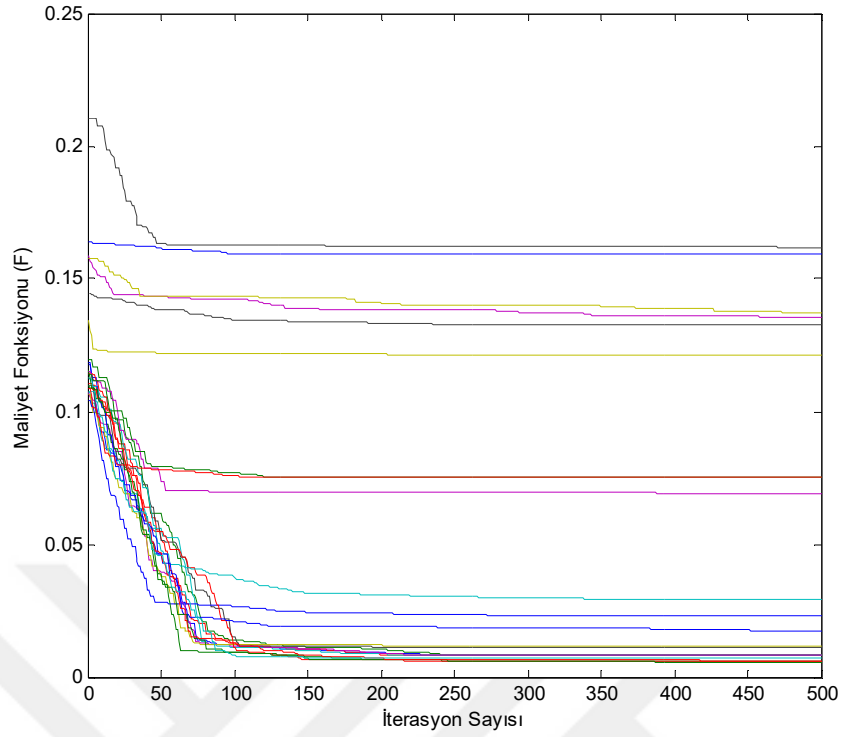
Şekil 7.6, önerilen rastgele arama algoritması tarafından kaynakların günün her saati için hesaplanan karıştırma oranlarını göstermektedir. Şekil 7.7'deki denge hatası, optimizasyon algoritmasının, güneş ve rüzgar enerjisi kaynaklarındaki üretim dalgalanmaları ve şebekenin dinamik enerji fiyatı uygulaması altında enerji dengesini koruyabileceğini göstermektedir. $\gamma = 1.05$ ile gösterilen sanal talep, enerji darlığı durumlarından kaçınmak amacıyla düşük oranda fazla üretim için yapılandırılmıştır. Bu fazlalık, şekil 7.7'de negatif küçük değerler olarak görülmektedir. Şekil 7.8'de güncelleme yapılan her bir örnekleme zamanı için rastgele arama iterasyonu sırasında maliyet fonksiyonunun değişimi gösterilmiştir. Şekil 7.9 ise iterasyon sayısı ve güncelleme saatlerine bağlı olarak maliyet fonksiyonunun değişimini göstermektedir.



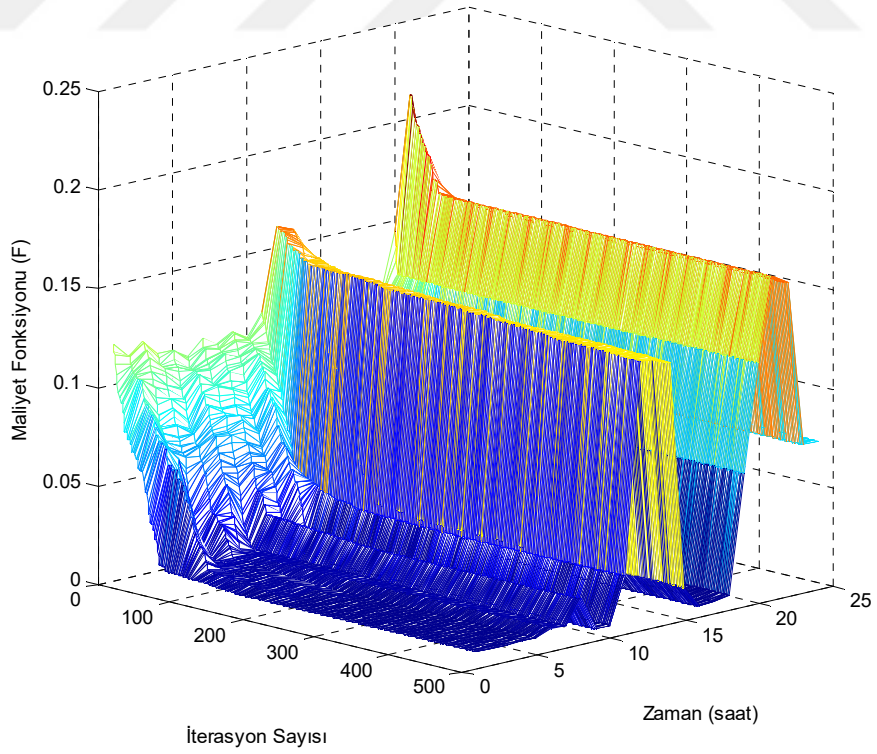
Şekil 7.6. Önerilen rastgele arama algoritması tarafından hesaplanan maliyet etkin saatlik karıştırma oranları



Şekil 7.7. Şebekenin enerji denge hatası



Şekil 7.8. Her güncelleme zamanı için rastgele arama iterasyonu sırasında maliyet fonksiyonunun değişimi



Şekil 7.9. İterasyon sayısı ve güncelleme saatlerine bağlı olarak maliyet fonksiyonunun değişimi

7.7. Sonuç

Bu b6l6m, enerji verimli çok kaynaklı enerji karıştırma probleminin 6z6m6 için rastgele arama algoritmasının bir uygulamasını g6stermektedir. 6nerilen algoritma çok kaynaklı yerel akıllı ev benzetiminde test edilmiştir. Sonuçlar, 6nerilen algoritmanın yenilenebilir enerji kaynaklarında enerji 6retim dalgalanmaları ve şebekenin dinamik elektrik fiyat tarifesi uygulaması durumlarında evin saatlik değişen talebini karşılamak amacıyla uygun şekilde tepki vereceğini g6stermiştir. Bu y6ntem, akıllı evlerde enerji dengesini koruyarak maliyet verimliliği sağlayabilmektedir. Y6ntemin algoritmik basitliği nedeniyle, d6ř6k maliyetli, akıllı ve yerel enerji y6netimi uygulamaları için bir 6z6m sunmaktadır.

8. TARTIŞMA VE SONUÇ

8.1. Bu Tez Çalışmasında Elde Edilen Sonuçlar

Bu tez çalışmasında elektrik enerjisi sisteminde zincirin son halkası konumunda bulunan evlerde enerji ve yük planlamasının yapılabilmesi için geliştirilen enerji ve yük yönetim sistemlerinin tasarımı ve çalışma performansı analiz edilmiştir. Söz konusu enerji kullanıcıları, yeni nesil elektrik şebekesi olarak adlandırılan akıllı şebekelerde artık üretken-tüketici olarak anılmaktadır. Bilgi, iletişim ve kontrol teknolojileri ile donatılmış akıllı şebekelerde yenilenebilir enerji kaynaklarının ve enerji depolama sistemlerinin kullanımının mümkün olması ve yaygınlaşması ile birlikte enerji ve bilgi akışının çift yönlü gerçekleştirilmesi ihtiyacı oluşmuştur. Tüm bu ihtiyacın karşılanabilmesi için enerji ve yük yönetim sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemler sayesinde akıllı ev olarak adlandırılan üretken-tüketiciler enerji sisteminde aktif bir rol üstlenmektedir.

Enerji kullanım durumu değerlendirildiğinde büyük bir paya sahip olan evlerde kullanılan elektrikli cihazlar, enerji yönetim sistemi tarafından denetlenip optimize edilmesi gereken en önemli yüklerden biridir. Bununla birlikte, mevcut sistem sadece zamanlama, sabit sıcaklık denetimi ve sabit fiyatlandırma gibi akıllı tarife ile uyumlu olmayan temel denetim özelliklerine sahiptir. Yeni nesil elektrik sistemi dinamik, üç zamanlı, tepe yük tarifesi gibi farklı elektrik fiyat tarifelerinin kullanımını mümkün kılmaktadır.

Bir evin eksiksiz bir enerji yönetim sistemi çözümü için, tüm denetlenebilir yükler ve dağıtık enerji kaynakları göz önüne alınmalıdır. Enerji yönetim sisteminin gerçek zamanlı kontrol yaklaşımı ile yük planlamada sadece tahmin edilen veriler değil aynı zamanda sensör ağı tarafından toplanan bilgiler de dikkate alınmalıdır. Yüklerin hızlı bir şekilde değiştirilmesi ve dağıtık enerji kaynaklarının durumlarıyla ilgili olarak, enerji yönetim sisteminin optimizasyon hızı ve doğruluğu dikkate alınması gereken kritik faktörlerdendir.

Bu tez çalışmasında ev enerji ve yük yönetim sisteminde kullanıcıların yaşam konforlarını fazla olumsuz etkilemeden modern değişken elektrik tarifeleri dikkate alınarak, enerji ve yükün yönetimi için bir algoritma geliştirilmiştir. Önerilen algoritma, cihazların güç talebine ve kullanıcı tanımlı öncelik

programına göre cihazları devre dışı bırakmaktadır. Bununla birlikte, önerilen algoritma karmaşık optimizasyon tekniklerini içermediğinden basit, anlaşılabilir ve kolaylıkla uygulanabilir bir yapıya sahiptir. Elde edilen sonuçlar, önerilen algoritmanın tek zamanlı, üç zamanlı ve gerçek zamanlı tarifeler gibi farklı elektrik fiyatlandırma politikaları altında kullanıcı tarafından tanımlanan maksimum talebi karşılamak için evin enerji masraflarını sınırlayabildiğini göstermiştir. Bu sonuç, önerilen yöntemin yerel yük atma işlemi ile tepe talep artışına olanak sağladığını göstermektedir. Önerilen algoritmada, öncelik seçme butonu vasıtasıyla atılabilecek yükler kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Birinci öncelik grubundaki ($p1$) kritik cihazların enerjisi hiçbir surette kesilmediği için güvenli bir yük atma işlemi gerçekleşmektedir. Yük atma algoritması, prizleri doğrudan denetleyebilen, enerji piyasasından fiyat bilgileri alabilen programlanabilir akıllı sayaç kullanılarak uygulanabilmektedir.

Bu tez çalışmasında ele alınan akıllı evlerde yerel enerji dağıtım sistemi için DA yapısı düşünülmüştür. Buna göre tüm yenilenebilir enerji kaynaklarının, depolama biriminin ve şebekenin enerjisi DA dağıtım sisteminde birleştirilmiştir. Bu sayede gerilim ve frekans uyumsuzluklarının önüne geçilmiştir. Akıllı sayaç, yerel DA dağıtım sistemi ve akıllı prizler gibi akıllı DA güç yönetim sistemi için gerekli temel elemanlar ortaya konulmuştur.

DA prizler, anahtarlama tekniğine dayalı besleme teknolojisini kullanarak dönüştürme kayıplarının azaltılması suretiyle elektrikli ev cihazlarının kullanımını daha enerji verimli ve güvenli yapmaktadır. Bu tez çalışmasında, evlerde DA dağıtımın uygulanması için elektrikli cihazların DA tüketim seviyelerindeki çeşitliliğin sağlanması ve karşılanması amacıyla modern bir DA prizinin tasarımı yapılmıştır. Aynı zamanda akıllı sayaç tarafından kontrol edilen akıllı DA prizler doğrudan yük kontrol yöntemi için bir çözüm sağlamakta ve akıllı şebeke uygulamalarında talep tarafı yük yönetim uygulamasını yerine getirmektedir. Dinamik enerji fiyat kontrollü yük atma algoritması akıllı prizler tarafından priz yük kontrol uygulaması için tanımlanmıştır. Akıllı sayaçlara gömülü yük atma programı, priz önceliğine ve güç tüketimine uygun olarak yük atma işlemlerini yönetmektedir. Maksimum elektrik maliyeti ile ilgili olarak akıllı evin toplam enerji tüketimi kullanıcı tarafından belirlenmesine rağmen, algoritma, elektrik fiyatına bağlı olmadan önemli cihazların çalışma durumunu korumaktadır. Böylece bu yöntem dinamik enerji fiyatlandırma koşulları altında işlevsel olarak

doğrudan yük kontrol metodolojisine dayalı güvenli yük atma işlemine olanak sağlamaktadır.

Ayrıca akıllı evlerde kullanılacak olan ve tasarımı yapılan DA prizlerin bu dağıtım sistemi ile uyumlu çalışması sağlanmıştır. DA prizler, hem geleneksel AA yükleri hem de gelecekte kullanımı artacak olan kontrol edilebilir DA yüklerin standart gerilim seviyelerini besleyebilecek şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca, tasarlanan bu prizler kullanıcılara öncelik seviyesini belirleme imkanı sunduğundan kullanıcı konforunu olumsuz etkileme probleminin de önüne geçilmiştir.

Tezde anlık yerel yenilenebilir enerji üretim potansiyeline bağlı olarak YEK modu, şebeke modu ve YEK+şebeke modu olmak üzere üç farklı çalışma modunun kontrolünü içeren maksimum güç sınırlamalı yük atma algoritmasının performansı incelenmiştir. Yük atmaya dayalı talep tarafı yük yönetimi üzerinde yerel yenilenebilir enerji üretim potansiyelinin etkilerinin nümerik analizi yapılmıştır. Çevrimiçi elektrik fiyat tarifesi uygulanarak geleceğin akıllı şebekelerinde evin enerji faturasının ve şebeke enerji kullanımının azaltılması için yenilenebilir enerji üretim sisteminin ve talep tarafı yük yönetim sisteminin birlikte çalışabilmesi gereklidir. Benzetim sonuçları, beklendiği üzere yenilenebilir enerji üretiminin yük atma oranını düşürdüğünü ve cihazların kapatılması sonucu oluşan kullanıcı rahatsızlıklarını azalttığını göstermiştir. Buna ek olarak elde edilen sonuçlardan yenilenebilir enerjinin verimine bağlı olarak, evin şebekeye bağımlılığını düşürdüğü görülmüştür.

Tek bir ev için yüklerin ve dağıtık enerji kaynaklarının yönetimi, enerji yönetim sistemi ile karşılaştırıldığında daha karmaşık olduğu söylenebilir. Karmaşıklık, yük ve dağıtık enerji kaynaklarının işletme planının yapılmasının yanı sıra kullanıcı gereksinimlerinin ve koşulların çeşitliliğinden kaynaklanmaktadır. Bu sorunu çözmek için tezde evlerdeki dağıtık enerji kaynaklarını, depolama sistemini ve şebekeden alınacak olan enerjiyi koordine ve optimize eden bir enerji karıştırma algoritması geliştirilmiştir. DA enerji dağıtım sistemine sahip akıllı evlerde çok kaynaklı enerji karıştırma işlemi için ZOÇ-DGM yöntemi tanıtılmıştır. Önerilen yöntem, yenilenebilir enerji üretimi, şebekenin elektrik birim fiyatı ve yük tüketimi gibi bilgilerden elde edilen sonuçlara göre şebekenin, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve depolama birimlerinin enerji kullanım miktarlarını belirlemektedir. DA bara, yenilenebilir

enerji kaynakları, batarya sistemi ve DA yüklere sahip mikroşebeke benzetiminde bu yöntem test edilmiştir. DA bara gerilimini kararlı yapmak için PI kontrolör ayarlandığında istenilen enerji karıştırma oranına göre ZOÇ-DGM tekniğinin enerji karıştırma işlemini gerçekleştirdiği gösterilmiştir. Önerilen ZOÇ-DGM sistemi, akıllı yönetim algoritması tarafından hesaplanan optimal enerji karıştırma oranlarını uygulayabilmektedir. Çünkü benzetim modelinin ilgili enerji kaynaklarından gelen enerjilerin enerji karıştırma oranlarındaki anlık değişiklikleri takip ederek karışımı sağladığı görülmektedir.

Sonuç olarak, farklı optimizasyon teknikleri tarafından hesaplanan optimal enerji karıştırma oranlarının ZOÇ-DGM bileşeni vasıtasıyla mikroşebeke uygulamalarında gerçekleştirilebildiği sonucuna varılmıştır. Böylece, geleceğin akıllı şebekeleri için elektrik maliyetlerinin düşürülmesi ve enerji güvenliğinin sağlanması için bu sistemin katkıda bulunması beklenmektedir.

Bu tezde ayrıca enerji verimli çok kaynaklı enerji karıştırma probleminin çözümü için rastgele arama algoritmasının bir uygulaması yapılmıştır. Önerilen algoritma çok kaynaklı yerel akıllı ev benzetiminde test edilmiştir. Sonuçlar, önerilen algoritmanın yenilenebilir enerji kaynaklarında enerji üretim dalgalanmaları ve şebekenin dinamik elektrik fiyat tarifesi uygulaması durumlarında evin saatlik değişen talebini karşılamak amacıyla uygun şekilde tepki vereceğini göstermiştir. Bu yöntem, akıllı evlerde enerji dengesini koruyarak maliyet verimliliği sağlayabilmektedir. Yöntemin algoritmik basitliği nedeniyle, düşük maliyetli, akıllı ve yerel enerji yönetimi uygulamaları için bir çözüm sunmaktadır.

8.2. Gelecekteki Çalışmalar İçin Öneriler

Enerji karıştırma işlemi için popüler sezgisel yöntemler ile önerilen rastgele arama yöntemi karşılaştırılabilir. Elde edilen sonuçlar analiz edilerek, yöntemin üstünlük ve eksiklikleri değerlendirilebilir.

Enerji karıştırma probleminin çözümü için geliştirilen yöntemde değişen üretim ve yük koşulları dikkate alınmış olup yük olarak DA yükler tercih edilmiştir. Burada amaçlanan önerilen sistemin bu koşullar altında istenilen veya belirlenen karışım oranlarında enerji karıştırma işlemini yapabilmesinin test edilmesidir. DA dağıtım sistemlerinde tasarımı yapılan akıllı priz kullanılmadığı

durumlarda enerji sistemin AA yükleri beslemesi için DA/AA dönüştürücülere ihtiyaç duyulacaktır. Bu tür dönüştürücülerin kullanılması ile DA dağıtım barasında gerilim kararsızlığına neden olan durumlar ortaya çıkabilecektir. Bu sistemin bu koşullar altında çalışabilmesi için gerekli olan iyileştirme ve geliştirme işlemleri ele alınabilir.

Bu tezde enerji ve yük yönetimi araçları için önerilen yük atma algoritması, enerji karıştırma algoritması, yerel DA dağıtım yapısı, akıllı priz modeli, akıllı sayaç yapısı ve bileşenleri, yenilenebilir enerji kaynakları ve depolama birimi modelleri benzetim çalışmaları ile sunulmuştur. Önerilen tüm bu yerel enerji sistemi bileşenlerinin gerçek sistemde de bir arada uyumlu ve sorunsuz işletilebilmesinde doğabilecek muhtemel sorunları çözmek için gerekli işlem ve uygulamalar bir sonraki çalışmalara bırakılmıştır.

9. KAYNAKLAR

- [1] Y. Lia, Y. Rezguia, H. Zhu, *District heating and cooling optimization and enhancement – Towards integration of renewables, storage and smart grid*, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 72 (2017) 281–294.
- [2] A.R. Khan, A. Mahmood, A. Safdar, Z.A. Khan, N.A. Khan, *Load forecasting, dynamic pricing and DSM in smart grid: A review*, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 54 (2016) 1311–1322.
- [3] A. Ipakchi, F. Albuyeh, *Grid of the future*, **IEEE Power and Energy Magazine**, 7:4 (2009) 52–62.
- [4] A.J. Conejo, J.M. Morales, L. Baringo, *Real-time demand response model*, **IEEE Transactions on Smart Grid** 1 (2010) 120–33.
- [5] M. Rastegar, M.F. Firuzabad, *Outage management in residential demand response programs*, **IEEE Transactions on Smart Grid** 6:3 (2015) 1453–1462. <http://dx.doi.org/10.1109/TSG.2014.2338794>.
- [6] Anonymous. (2017). <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/energy-management-systems-ems-market-1189.html> (on-line access on 13 July, 2017).
- [7] M. Pipattanasomporn, M. Kuzlu, S. Rahman, *An algorithm for intelligent home energy management and demand response analysis*, **IEEE Transactions on Smart Grid**, 3:4 (2012) 2166–2173.
- [8] F. Fernandes, H. Morais, Z. Vale, C. Ramos, *Dynamic load management in a smart home to participate in demand response events*, **Energy and Buildings**, 82 (2014) 592–606.
- [9] S. Shafiee, M.F. Firuzabad, M. Rastegar, *Investigating the impacts of plug-in hybrid electric vehicles on power distribution systems*, **IEEE Transactions on Smart Grid**, 4:3 (2013) 1351–1360.
- [10] M. Rastegar, M.F. Firuzabad, H. Zareipour, *Home energy management incorporating operational priority of appliances*, **Electrical Power and Energy Systems**, 74 (2016) 286–292.
- [11] J. Roos and I. Lane, *Industrial power demand response analysis for one-part real-time pricing*, **IEEE Transactions on Power Systems**, 13 (1998) 159-164.
- [12] H. Jiayi, J. Chuanwen, X. Rong, *A review on distributed energy resources and MicroGrid*, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 12 (2008) 2472-2483.
- [13] P. De Martini, K.M. Chandy, N. Fromer, *Grid 2020: Towards a policy of renewable and distributed energy resources*, Technical Report, 2012.
- [14] A.A. Bayod-Rújula, *Future development of the electricity systems with distributed generation*, **Energy**, 34 (2009) 377-383.
- [15] S. Galli, A. Scaglione, Z. Wang, *For the grid and through the grid: The role of power line communications in the smart grid*, **Proceedings of the IEEE**, 99 (2011) 998-1027.
- [16] J. Bergmann, C. Glomb, J. Gotz, J. Heuer, R. Kuntschke, M. Winter, *Scalability of smart grid protocols: Protocols and their simulative evaluation for massively distributed DERs*, in: First IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm), (2010), pp. 131-136.
- [17] A. K. Basu, A. Bhattacharya, S. Chowdhury, S. Chowdhury, *Planned scheduling for economic power sharing in a CHP-based micro-grid*, **IEEE Transactions on Power Systems**, 27 (2012) 30-38.

- [18] A. Mohd, E. Ortjohann, A. Schmelter, N. Hamsic, D. Morton, Challenges in integrating distributed energy storage systems into future smart grid, in: IEEE International Symposium on Industrial Electronics, (2008), pp. 1627-1632.
- [19] Y. Strengers, *Smart Energy Technologies in Everyday Life: Smart Utopia?* Palgrave Macmillan, UK, 2013, 95-98.
- [20] M. Lunde, E. Heiskanen, I. Røpke, *Smart grid: Hope or hype?*, **Energy Efficiency**, 9:2 (2015) 545-562.
- [21] F. Gangale, A. Mengolini, I. Onyeji, *Consumer engagement: An insight from smart grid projects in europe*, **Energy Policy**, 60 (2013) 621-628. doi:10.1016/j.enpol.2013.05.031.
- [22] G.P.J. Verbong, S. Beemsterboer, F. Sengers, *Smart grids or smart users? Involving users in developing a low carbon electricity economy*, **Energy Policy**, 52 (2013) 117-125. doi:10.1016/j.enpol.2012.05.003.
- [23] S. Darby, *Smart metering: What potential for householder engagement?*, **Building Research and Information**, 38:5 (2010) 442-457.
- [24] Sophie Nyborg. *Smart homes in transition – investigating the role of households in the development of smart grids in Denmark*, PhD Thesis, Aalborg University, Denmark, 2015.
- [25] F. Karmali, M. Polak, and A. Kostov, "Environmental control by a brain-computer interface," Engineering in Medicine and Biology Society, in: Proceedings of the 22nd Annual International Conference of the IEEE, (2000), pp. 2990-2992.
- [26] X. Feng, *Home Networking*, Technical Report, 16, 1999.
- [27] T. Yamazaki, Beyond the smart home, in: International Conference on Hybrid Information Technology, ICHIT'06, (2006), pp. 350-355.
- [28] P. Fox-Penner, *Smart power: climate change, the smart grid, and the future of electric utilities*, Island Press, 2010, 80-85.
- [29] S.D. Ramchurn, P. Vytelingum, A. Rogers, N. Jennings, Agent-based control for decentralised demand side management in the smart grid, in: The 10th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, (2011), pp. 5-12.
- [30] M.E. Kantarci and H.T. Mouftah, *Wireless Sensor Networks for Cost-Efficient Residential Energy Management in the Smart Grid*, **IEEE Transactions on Smart Grid**, 2 (2011) 314-325.
- [31] Suyang Zhou. *Design and Development of Energy Management System for Smart Homes & Buildings*, PhD Thesis, The University of Birmingham, United Kingdom, 2014.
- [32] G. Powells, H. Bulkeley, S. Bell, E. Judson, *Peak electricity demand and the flexibility of everyday life*, **Geoforum**, 55 (2014) 43-52. doi:10.1016/j.geoforum.2014.04.014
- [33] L. Schick, B.R. Winthereik, *Innovating relations - or why the smart grid is not too complex for the public*, **Science & Technology Studies**, 26:3 (2013) 82-102.
- [34] F. Lamberti, C. Dong, V. Calderaro, and L. F. Ochoa, Estimating the load response to voltage changes at UK primary substations, in: 4th IEEE/PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT EUROPE), (2013), pp. 1-5.

- [35] H. Saele and O. S. Grande, *Demand response from household customers: Experiences from a pilot study in Norway*, **IEEE Transactions on Smart Grid**, 2 (2011) 102-109.
- [36] H. Sæle and O.S. Grande, *Demand response from household customers:experiences from a pilot study in Norway*, **IEEE Transactions on Smart Grid**, 2 (2011) 102-109.
- [37] S. Ghosh, X. Sun, and X. Zhang, Consumer profiling for demand response programs in smart grids, in: *IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia)*, (2012), pp. 1-6.
- [38] H. Zhong, L. Xie, Q. Xia, *Coupon incentive-based demand response: Theory and case study*, **IEEE Transactions on Power Systems**, 28 (2013) 1266-1276.
- [39] C. Chen, J. Wang, S. Kishore, *A distributed direct load control approach for jarge-scale residential demand response*, **IEEE Transactions on Power Systems**, 29:5 (2014) 2219-2228.
- [40] N.S. Nafi, K. Ahmed, M.A. Gregory, M. Datta, *A survey of smart grid architectures, applications, benefits and standardization*, **Journal of Network and Computer Applications**, 76 (2016) 23–36.
- [41] F. Fernandes, H. Morais, Z. Vale, C. Ramos, *Dynamic load management in a smart home to participate in demand response events*, **Energy and Buildings**, 82 (2014) 592–606.
- [42] E. Shirazi, A. Zakariazadeh, S. Jadid, *Optimal joint scheduling of electrical and thermal appliances in a smart home environment*, **Energy Conversion and Management**, 106 (2015) 181–193.
- [43] W. El-Baz, P. Tzscheutschler, *Short-term smart learning electrical load prediction algorithm for home energy management systems*, **Applied Energy**, 147 (2015) 10–19.
- [44] R. Missaoui, H. Joumaa, S. Ploix, S. Bacha, *Managing energy smart homes according to energy prices: Analysis of a building energy management system*, **Energy and Buildings**, 71 (2014) 155–167.
- [45] I.S. Bayram, T.S. Ustun, *A survey on behind the meter energy management systems in smart grid*, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, (Accepted manuscripts).
- [46] D. Zhang, N. Shah, L.G. Papageorgiou, *Efficient energy consumption and operation management in a smart building with microgrid*, **Energy Conversion and Management**, 74 (2013) 209–22.
- [47] J.H. Yoona, R. Bladicka, A. Novoselac, *Demand response for residential buildings based on dynamic price of electricity*, **Energy and Building**, 80 (2014) 531–541.
- [48] A.H. Mohsenian-Rad, V.W.S. Wong, J. Jatskevich, R. Schober, A. Leon-Garcia, *Autonomous demand-side management based on game-theoretic energy consumption scheduling for the future smart grid*, **IEEE Transactions on Smart Grid**, 1:3 (2010) 320–331.
- [49] M.C. Bozchalui S.A. Hashmi, H. Hassen, K. Bhattacharya, *Optimal operation of residential energy hubs in smart grids*, **IEEE Transactions on Smart Grid**, 3:4 (2012) 1755–1766.
- [50] T. Hubert, S. Grijalva, *Modeling for residential electricity optimization in dynamic pricing environments*, **IEEE Transactions on Smart Grid**, 3:4 (2012) 2224–2231.

- [51] C. Wang, Y. Zhou, B. Jiao, Y. Wang, W. Liu, D. Wang, *Robust optimization for load scheduling of a smart home with photovoltaic system*, **Energy Conversion and Management**, 102 (2015) 247–257.
- [52] A. Mohsenian-Rad, A. Leon-Garcia, *Optimal residential load control with price prediction in real-time electricity pricing environments*, **IEEE Transactions on Smart Grid**, 1:2 (2010) 120–133.
- [53] C.O. Adika, L. Wang, *Autonomous appliance scheduling for household energy management*, **IEEE Transactions on Smart Grid**, 5:2 (2014) 673–682.
- [54] A. Agnetis, G. de Pascale, P. Detti, A. Vicino, *Load scheduling for household energy consumption optimization*, **IEEE Transactions on Smart Grid**, 4:4 (2013) 2364–2373.
- [55] G.T. Costanzo, G. Zhu, M.F. Anjos, G. Savard, *A system architecture for autonomous demand side load management in smart buildings*. **IEEE Transactions on Smart Grid**, 3:4 (2012) 2157–2165.
- [56] P. Samadi, H. Mohsenian-Rad, V.W.S. Wong, R. Schober, *Tackling the load uncertainty challenges for energy consumption scheduling in smart grid*, **IEEE Transactions on Smart Grid**, 4:2 (2013) 1007–1016.
- [57] Z. Zhao, W.C. Lee, S. Yoan, S. Kyung-Bin, *An optimal power scheduling method applied in home energy management system based on demand response*, **ETRI Journal**, 35:4 (2013) 677–686.
- [58] P. Constantopoulos, F. Schwegge, R. Larson, *Estia: a realtime consumer control scheme for space conditioning usage under spot electricity pricing*, **Computers & Operations Research**, 18:8 (1991) 751–765.
- [59] D. Livengood, R. Larson, *The energy box: locally automated optimal control of residential electricity usage*, **Service Science**, 1:1 2009 1-16.
- [60] M. Ilic, J. Black, J. Watz, *Potential benefits of implementing load control*, in: Proc. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, (2002) pp. 177–182.
- [61] J. Laurent, G. Desaulniers, R. Malhame, F. Soumis, *A column generation method for optimal load management via control of electric water heaters*, **IEEE Transactions on Power Systems**, 10:3 (1995) 1389–1400.
- [62] M. Beaudin, H. Zareipour, *Home energy management systems: A review of modelling and complexity*, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 45 (2015) 318–335.
- [63] X. Wu, X. Hu, S. Moura, X. Yin, V. Pickert, *Stochastic control of smart home energy management with plug-in electric vehicle battery energy storage and photovoltaic array*, **Journal of Power Sources**, 333 (2016) 203–212.
- [64] M. Shakeri, M. Shayestegan, H. Abunima, S.M.S. Reza, M. Akhtaruzzaman, A.R.M. Alamoud, K. Sopian, N. Amin, *An intelligent system architecture in home energy management systems (HEMS) for efficient demand response in smart grid*, **Energy and Building**, 11 (2017) 154-164.
- [65] S. Rajalingam, V. Malathi, *HEM algorithm based smart controller for home power management system*, **Energy and Buildings**, 131 (2016) 184–192.
- [66] B. Zhou, W. Li, K.W. Chan, Y. Cao, Y. Kuang, X. Liu, X. Wang, *Smart home energy management systems: Concept, configurations, and scheduling strategies*, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 61 (2016) 30–40.

- [67] H.C. Sun, Y.C. Huang, *Optimization of power scheduling for energy management in smart homes*, **Procedia Engineering**, 38 (2012) 1822–1827.
- [68] F.I. Vázquez, W. Kastner, S.C. Gaceo, C. Reinisch, Electricity load management in smart home control, in: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, (2011), pp. 957-964.
- [69] M.C. Mozer, The neural network house: An environment that adapts to its inhabitants, in: Proc. AAAI Spring Symp. Intelligent Environments, (1998), pp. 110-114.
- [70] L. Hurtado, P. Nguyen, W. Kling, Agent-based control for building energy management in the smart grid framework, in: IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe), (2014), pp. 1-6.
- [71] S. Misák, J. Stuchly, J. Platos, P. Krömer, *A heuristic approach to Active Demand Side Management in Off-Grid systems operated in a Smart-Grid environment*, **Energy and Buildings**, 96 (2015) 272–284.
- [72] D. Zhang, S. Evangelisti, P. Lettieri, L.G. Papageorgiou, *Economic and environmental scheduling of smart homes with microgrid: DER operation and electrical tasks*, **Energy Conversion and Management**, 110 (2016) 113–124.
- [73] H.A. Özkan, *Appliance based control for home power management systems*, **Energy**, 114 (2016) 693-707.
- [74] H.A. Özkan, *A new real time home power management system*, **Energy and Buildings**, 97 (2015) 56–64.
- [75] M.O. Oseni, M.G. Pollitt, *The prospects for smart energy prices: Observations from 50 years of residential pricing for fixed line telecoms and electricity*, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 70 (2017) 150–160.
- [76] N. Gayathri, V.V. Vineeth, N. Radhika, *A novel approach in demand side management for smart home*, **Procedia Technology**, 21 (2015) 526–532.
- [77] A. Mahmood, I. Khan, S. Razzaq, Z. Najam1, N. A. Khan, M. A. Rehman, N. Javaid, *Home appliances coordination scheme for energy management (HACS4EM) using wireless sensor networks in smart grids*, **Procedia Computer Science**, 32 (2014) 469 – 476.
- [78] P. Finn, C. Fitzpatrick, M. Leahy, L. Relihan, Increased penetration of renewable energy using demand side management: Immersion heater analysis, in: International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'10), Granada, Spain, (2010), pp. 1–6.
- [79] W. Zhou, C. Lou, Z. Li, L. Lu, H. Yang, *Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar–wind power generation systems*, **Applied Energy**, 87:2 (2010) 380–389.
- [80] P. Nema, R.K. Nema, S. Rangnekar, *A current and future state of art development of hybrid energy system using wind and PV-solar: A review*, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 13:8 (2009) 2096–2103.
- [81] R. Yumurtacı, *Role of energy management in hybrid renewable energy systems: case study-based analysis considering varying seasonal conditions*, **Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences**, 21 (2013) 1077–1091.
- [82] A. Pina, C. Silva, P. Ferrao, *The impact of demand side management strategies in the penetration of renewable electricity*, **Energy**, 41:1 2011 128–137.

- [83] L.D. Arya, P. Singh, L.S. Titare, *Differential evolution applied for anticipatory load shedding with voltage stability considerations*, **Electrical Power and Energy Systems**, 42 (2012) 644–652.
- [84] R. Hooshmand, M. Moazzami, *Optimal design of adaptive under frequency load shedding using artificial neural networks in isolated power system*, **Electrical Power and Energy Systems**, 42 (2012) 220–228.
- [85] J.A. Laghari, H. Mokhlis, A.H.A. Bakar, H. Mohamad, *Application of computational intelligence techniques for load shedding in power systems: A review*, **Energy Conversion and Management**, 75 (2013) 130–140.
- [86] S. Abras, S. Pesty, S. Ploix, M. Jacomino, Advantages of MAS for the resolution of a power management problem in smart homes, in: 8th International Conference on Practical Applications of Agents and Multiagent Systems, (2010), pp. 269–278.
- [87] B. Delfino, S. Massucco, A. Morini, P. Scalera, F. Silvestro, Implementation and comparison of different under frequency load-shedding schemes, in: Power Eng Soc Summer Meeting, Vancouver, BC, Canada, (2001), pp. 307–312.
- [88] Amraee T, Mozafari B, Ranjbar AM. An improved model for optimal under voltage load shedding: particle swarm approach, in: IEEE Power India Conference, New Delhi, India, (2006), pp: 723–728.
- [89] Y. Tang, G. Zheng, S. Zhang, *Optimal control approaches of pumping stations to achieve energy efficiency and load shifting*, **Electrical Power and Energy Systems**, 55 (2014) 572–580.
- [90] Q. Pang, P. Su, B. Sun, Real-time price based home appliances intelligent control, in: Third International Conference on Digital Manufacturing and Automation (ICDMA), Guilin, China, (2012) pp. 634–637.
- [91] P. Wang, J.Y. Huang, Y. Ding, P. Loh, L. Goel, Demand side load management of smart grids using intelligent trading/metering/billing system, in: IEEE Power and Energy Society General Meeting, Trondheim, Norway, (2010), pp. 1–6.
- [92] K. Spees, L.B. Lave, *Impacts of responsive load in PJM: load shifting and real time pricing*, **Energy Journal**, 29:2 (2008) 101–122.
- [93] S. Gottwalt, W. Ketter, C. Block, J. Collins, C. Weinhardt, *Demand side management—A simulation of house hold behavior under variable prices*, **Energy Policy**, 39:12 (2011) 8163–8174.
- [94] G. Wood, M. Newborough, *Dynamic energy-consumption indicators for domestic appliances: environment, behaviour and design*, **Energy and Buildings**, 35:8 (2003) 821–841.
- [95] A. Kaygusuz, C. Keles, B.B. Alagoz, A. Karabiber, *Renewable energy integration for smart sites*, **Energy and Buildings**, 64 (2013) 456–462.
- [96] K. Sharma, L.M. Saini, *Power-line communications for smart grid: Progress, challenges, opportunities and status*, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 67 (2017) 704–751.
- [97] C. Gokcol, E. Sunan, B. Dursun, Wind energy usage in a house in Gebze, in: Electrical-Electronics-Computer Engineering Symposium and Exhibition, ELECO'08, Bursa, (2008), pp. 1-5.
- [98] P. Finn, C. Fitzpatrick, D. Connolly, M. Leahy, L. Relihan, *Facilitation of renewable electricity using price based appliance control in Ireland's electricity market*, **Energy**, 36:5 (2011) 2952–2960.

- [99] K. Kostkova, L. Omelina, P. Kycina, P. Jamrich, *An introduction to load management*, **Electric Power Systems Research**, 95 (2013) 184–191.
- [100] V.E. Gomez, A. Ramos, *Optimal energy management of an industrial consumer in liberalized markets*, **IEEE Transactions on Power System**, 18:2 (2003) 716–723.
- [101] D. Nilsson, *DC distribution systems*, Technical Report, Chalmers University of Technology. Chalmers University of Technology Goteborg, Sweden, (2005), p. 3–15.
- [102] E. Cetin, A. Yilanci, H.K. Ozturk, M. Colak, I. Kasikci, S. Iplikci, *A micro-DC power distribution system for a residential application energized by photovoltaic wind/fuel cell hybrid energy systems*, **Energy and Buildings**, 42:8 (2010) 1344–1352.
- [103] N.K.C. Nair, N. Garimella, *Battery energy storage systems: assessment for smallscale renewable energy integration*, **Energy and Buildings**, 42:11 (2010) 2124–2130.
- [104] D.J. Hammerstrom, AC versus DC distribution systems—did we get it right?, in: IEEE power engineering society general meeting, Florida, USA, (2007) pp. 1–5.
- [105] H. Hamilton, DC protection on the electric ship, in: IEEE 2nd electric ship technologies symposium, Arlington, Virginia, (2007) pp. 294–300.
- [106] R.M. Nelms, L.L. Grigsby, *Simulation of DC spacecraft power systems*, **IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems**, 25:1 (1989) 90–95.
- [107] K. Fitzgerald, I. Nair, M. Granger, *Electromagnetic fields: the jury's still out*, **IEEE Spectrum**, 27 (1990) 23–35.
- [108] H. Kakigano, M. Nomura, T. Ise, Loss evaluation of DC distribution for residential houses compared with AC system, in: International power electronics conference, Sapporo, Japan, (2010), pp. 480–486.
- [109] M. Amin, Y. Arafat, S. Lundberg, S. Mangold, Low voltage DC distribution system compared with 230V AC, in: IEEE electrical power and energy conference, Winnipeg, Canada, (2011), pp. 340–345.
- [110] A. Karabiber, C. Keles, A. Kaygusuz, B.B. Alagoz, *An approach for the integration of renewable distributed generation in hybrid DC/AC microgrid*, **Renewable Energy**, 52 (2013) 251–259.
- [111] W. Li, X. Mou, Y. Zhou, C. Marnay, On voltage standards for DC home microgrids energized by distributed sources, in: IEEE 7th international power electronics and motion control conference, Harbin, China, (2012), pp. 2282–2286.
- [112] K. Techakittiroj, S. Patumtaewapibal, V. Wongpaibool, W. Threevithayanon, Roadmap for implementation of DC system in future houses, in: 13th International conference on harmonic and quality of power, Wollongong, Australia, (2008), pp. 1–5.
- [113] K. Techakittiroj, V. Wongpaibool, Co-existence between AC-distribution and DC-distribution: in the view of appliances, in: 2nd International conference on computer and electrical engineering, Dubai, United Arab Emirates (2009) pp. 421–425.
- [114] L.C. DeSilva, C. Morikawa, I.M. Petra, *State of the art of smart homes*, **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, 25:7 (2012) 1313–1321.

- [115] A.H.G. Hoseinia, ND Dahlana, U. Berardib, A.G. Hoseinia, N. Makaremia, *The essence of future smart houses: from embedding ICT to adapting to sustainability principles*, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 24 (2013) 593–607.
- [116] K. Tanaka, A. Yoza, K. Ogimi, A. Yona, T. Senjyu, T. Funabashi, et al., *Optimal operation of DC smart house system by controllable loads based on smart grid topology*, **Renewable Energy**, 39:1 (2012) 132–139.
- [117] D. Arnold, M. Sankur, D.M. Auslander, An architecture for enabling distributed plug load control for commercial building demand response, in: IEEE PES innovative smart grid technologies (ISGT), (2013), pp. 1–6.
- [118] M. Sankur, D. Arnold, D. Auslander, An architecture for integrated commercial building demand response, in: IEEE power and energy society general meeting (PES), (2013), pp. 1–5.
- [119] T. Weng, B. Balaji, S. Dutta, R. Gupta, Y. Agarwal, Managing plug-loads for demand response within buildings, in: Proceedings of the ACM workshop on embedded sensing systems for energy-efficiency in buildings, Seattle, Wa, (2011), pp. 1-6.
- [120] C. Keles, A. Karabiber, M. Akcin, A. Kaygusuz, B. B. Alagoz, O. Gul, *A smart building power management concept: Smart socket applications with DC distribution*, **International Journal of Electrical Power Energy Systems**, 64 (2015) 679-688.
- [121] F. Al-Naima, R. Ali, A. Abid, Z. Ghassemlooy, Z. Gao, *A new power line communication modem design with applications to vast solar farm management*, **Innovative Systems Design and Engineering**, 4:14 (2013) 34–48.
- [122] M. Chaves, E. Margato, J.F. Silva, S.F. Pinto, J. Santana, *HVDC transmission systems: bipolar back-to-back diode clamped multilevel converter with fast optimum predictive control and capacitor balancing strategy*, **Electric Power Systems Research**, 81:7 (2011) 1436–1445.
- [123] R. Limpacher, Novel converters for electric ship propulsion system and shipboard power distribution, in: 24th Power modulator symposium, Norfolk, VA, USA, (2000), pp. 89–96.
- [124] S.J. Dale, Ship power system testing and simulation, in: IEEE electric ship technologies symposium, Philadelphia, USA, (2005), pp. 202–205.
- [125] B. Song, R. McDowell, A. Bushnell, *A three-level DC–DC converter with wideinput voltage operations for ship-electric-power-distribution systems*, **IEEE Transactions on Plasma Science**, 32:5 (2004) 1856–1863.
- [126] C. Chan, *An overview of electric vehicle technology*, **Proceedings of IEEE**, 81:9 (1993) 1202–1213.
- [127] K. Clement-Nyns, E. Haesen, J. Driesen, *The impact of vehicle-to-grid on the distribution grid*, **Electric Power Systems Research**, 81:1 2011185–92.
- [128] E. Pouresmaeil, O.G. Bellmunt, D.M. Miracle, J.B. Jané, *Multi level converters control for renewable energy integration to the power grid*, **Energy**, 36:2 (2011) 950–963.
- [129] P. Ren, Z. Xiang, Z. Qiu, *Intelligent domestic electricity management system based on analog-distributed hierarchy*, **International Journal of Electrical Power Energy Systems**, 46 (2013) 400–404.
- [130] Y.K. Jeong, I. Han, K.R. Park, *A network level power management for home network devices*, **IEEE Transactions on Consumer Electronics**, 54:2 (2008) 487–493.

- [131] G. Song, F. Ding, W. Zhang, A. Song, *A wireless power outlet system for smart homes*, **IEEE Transactions on Consumer Electronics**, 54:4 2008 1688–1691.
- [132] D.M. Han, J.H. Lim, *Design and implementation of smart home energy management systems based on ZigBee*, **IEEE Transactions on Consumer Electronics**, 56:3 (2010) 1417–1425.
- [133] I.H. Choi, J.H. Lee, Development of smart controller with demand response for AMI connection, in: International conference on control Automation and systems, Gyeonggi-do, Korea, (2010), pp. 752–755.
- [134] I.H. Choi, J.H. Lee, S.H. Hong, Implementation and evaluation of the apparatus for intelligent energy management to apply to the smart grid at home, in: IEEE instrumentation and measurement technology conference, Hangzhou, China, (2011), pp. 1–5.
- [135] Y. Zhao, W. Sheng, J. Sun, W. Shi, Research and thinking of friendly smart home energy system based on smart power, in: International conference on electrical and control engineering, Yichang, China, (2011), pp. 4649–4654.
- [136] N.G. Dlamini, F. Cromieres, *Implementing peak load reduction algorithms for household electrical appliances*, **Energy Policy**, 44 (2012) 280–290.
- [137] I. Sadinezhad, V.G. Agelidis, *Slow sampling on-line harmonics/interharmonics estimation technique for smart meters*, **Electric Power Systems Research**, 81:8 (2011) 1643–1653.
- [138] A. Mohamed, O. Mohammed, *Real-time energy management scheme for hybrid renewable energy systems in smart grid applications*, **Electric Power Systems Research**, 96 (2013) 133–143.
- [139] J.N. Fidalgo, B.M.M. Fontes Dalila, *Fostering microgeneration in power systems: the effect of legislative limitations*, **Electric Power Systems Research**, 84:1 (2012) 181–186.
- [140] M.B. Shagar, S. Vinod, S. Lakshmi, Design of DC–DC converter for hybrid wind solar energy system, in: International conference on computing, electronics and electrical technologies, Tamil Nadu, India, (2012), pp. 429–435.
- [141] J. Heo, C.S. Hong, S.B. Kang, S.S. Jeon, *Design and implementation of control mechanism for standby power reduction*, **IEEE Transactions on Consumer Electronics**, 54:1 (2008) 179–185.
- [142] M.H. Nehrir, B.J. LaMeres, V. Gerez, A customer-interactive electric water heater demand-side management strategy using fuzzy logic, in: IEEE power engineering society, Winter Meeting, (1999), pp. 433–436.
- [143] V.C. Güngör, D. Sahin, T. Kocak, S. Ergüt, C. Buccella, C. Cecati, G.P. Hancke, *Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards*, **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, 7:4 (2011) 529–539.
- [144] J.S. Vardakas, N. Zorba, C.V. Verikoukis, *Performance evaluation of power demand scheduling scenarios in a smart grid environment*, **Applied Energy**, 142 (2015) 164–178.
- [145] A.Y. Saber, G.K. Venayagamoorthy, *Plug-in vehicles and renewable energy sources for cost and emission reductions*, **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 58:4 (2011) 1229–1238.
- [146] K.S. Reddy, M. Kumar, T.K. Mallick, H. Sharon, S. Lokeswaran, *A review of integration, control, communication and metering (ICCM) of renewable*

- energy based smart grid*, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 38 (2014) 180-192.
- [147] C.A. Dortolina, R. Nadira, Estimating future demand a top down/bottom up approach for forecasting annual growths, in: Power Engineering Society General Meeting, Houston, USA, (2005).
- [148] M. Marwan, F. Kamel, *Demand side response to mitigate electrical peak demand in eastern and southern Australia*, **Energy Procedia**, 12 (2011) 133-142.
- [149] C.O. Adika, L. Wang, *Smart charging and appliance scheduling approaches to demand side management*, **International Journal of Electrical Power Energy Systems**, 57 (2014) 232-240.
- [150] C. Keles, A. Karabiber, M. Akcin, A. Kaygusuz, B. B. Alagoz, O. Gul, *A smart building power management concept: Smart socket applications with DC distribution*, **International Journal of Electrical Power Energy Systems**, 64 (2014) 679-688.
- [151] C. Keles, B.B. Alagoz, A. Kaygusuz, A note on demand side load management by maximum power limited load shedding algorithm for smart grids. in: 3rd International Istanbul Smart Grid Congress and Fair (ICSG), Istanbul, Turkey, (2015). Doi: 10.1109/SGCF.2015.7354917.
- [152] J.M. Carrasco, J.T. Bialasiewicz, R.C.P. Guisado, J.I. León, *Power-electronic systems for the grid integration of renewable energy sources: A survey*, **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 53:4 (2006) 1002-1016.
- [153] L. Wang, C. Singh, Compromise between cost and reliability in optimum design of an autonomous hybrid power system using mixed-integer PSO algorithm, in: International Conference on Clean Electrical Power, ICCEP '07, Capri, (2007), pp. 682-689.
- [154] H. Lund, *Large-scale integration of wind power into different energy systems*, **Energy**, 30 (2005) 2402–2412.
- [155] M.R. Patel, *Wind and solar power systems: Design, analysis, and operation*, Second Edition, Boca Raton: CRC Press, 2006, 75-81.
- [156] M.S. Kandil, S.A. Farghaland, A.E. EL-Alfy, *Optimum operation of an autonomous energy system suitable for new communities in developing countries*, **Electric Power Systems Research**, 21 (1991) 137–146.
- [157] L. Wang, C. Singh, PSO-based multi-criteria optimum design of a grid-connected hybrid power system with multiple renewable sources of energy, in: IEEE Swarm Intelligence Symposium, Honolulu, HI, (2007), pp. 250-257.
- [158] O. Erdinc, M. Uzunoglu, *Optimum design of hybrid renewable energy systems: Overview of different approaches*, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 16 (2012) 1412–1425.
- [159] E. Barklund, N. Pogaku, M. Prodanovic, C.H. Aramburo, T.C. Green, Energy management in autonomous microgrid using stability-constrained droop control of inverters, **IEEE Transactions on Power Electronics**, 23:5 (2008) 2346–2352.
- [160] M. Beccali, S. Brunone, M. Cellura, V. Franzitta, *Energy, economic and environmental analysis on RET-hydrogen systems in residential buildings*, **Renewable Energy**, 33 (2008) 366–382.
- [161] C. Keles, A. Kaygusuz, B.B. Alagoz, Multi-source energy mixing by time rate multiple PWM for microgrids, in: 4th International Istanbul Smart Grid

- Congress and Fair (ICSG), Istanbul, Turkey, (2016), pp. 11-15. Doi: 10.1109/SGCF.2016.7492416.
- [162] X. Geng, P.T. Krein, Multi-signal pulse width modulation for multi-output inverters, in: IEEE Workshop on Computers in Power Electronics, (2002), pp. 138–143.
- [163] B.B. Alagoz, A. Kaygusuz, *Dynamic energy pricing by closed-loop fractional-order PI control system and energy balancing in smart grid energy markets*, **Transactions of the Institute of Measurement and Control**, 38:5 (2016) 565–578.
- [164] M. Akçin, B.B. Alagöz, C. Keleş, A. Karabiber, A. Kaygusuz, *Dağıtık kontrol ile akıllı şebekelerde geniş-alan yönetimi ve geleceğe dönük projeksiyonlar*, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 17:3 (2013) 457-470.
- [165] A. Raziei, K.P. Rallinan, R.J. Brecha, Cost optimization with solar and conventional energy production, energy storage, and real time pricing, in: IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference, Washington DC, USA, (2014), pp. 1-5.
- [166] S. Sharma, S. Bhattacharjee, A. Bhattacharya, *Grey wolf optimisation for optimal sizing of battery energy storage device to minimize operation cost of microgrid*, **IET Generation, Transmission & Distribution**, 10:3 (2016) 625-637.
- [167] P. Sharma, V. Agarwal, Optimization of Operational energy cost in a hybrid distributed generation system, in: IEEE Region 10 Colloquium and the Third International Conference on Industrial and Information Systems, Kharagpur, India, (2008).
- [168] A. Kumar, B. Sah, Y. Deng, X. He, R.C. Bansala, P. Kumar, Autonomous hybrid renewable energy system optimization for minimum cost, in: International Conference on Renewable Power Generation, Beijing, China, (2015), pp. 1-6.
- [169] M. Rouholamini, M. Mohammadian, *Heuristic-based power management of a grid-connected hybrid energy system combined with hydrogen storage*, **Renewable Energy**, 96 (2016) 354-365.
- [170] S. Chakraborty. *Control and intelligent optimization of distributed renewable energy sources integrated in a single phase high frequency AC microgrid*, PhD Thesis, Colorado School of Mines, Golden, CO, 2007.
- [171] S. Chakraborty, M.G. Simoes, PV-microgrid operational cost minimization by neural forecasting and heuristic optimization, in: IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Edmonton, Alberta, Canada, (2008), pp. 1-8.
- [172] N. Gudi, L. Wang, V. Devabhaktuni, S.S.S.R. Depuru, Demand response simulation implementing heuristic optimization for home energy management, in: North American Power Symposium, Arlington, TX, USA, (2010), pp. 1-6.
- [173] C. Keles, B.B. Alagoz, A. Kaygusuz, S. Alagoz, Cost efficient multi-source energy mixing for renewable energy microgrids by random search optimization, in: International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP), Malatya, Turkey, (2016), pp. 29-33.
- [174] Q. Wang. *Optimization with discrete simultaneous perturbation stochastic approximation using noisy loss function measurements*, PhD Thesis, Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland, 2013.

- [175] C.J. Spall, Stochastic optimization and the simultaneous perturbation method, in: Proceedings of the 31st conference on Winter simulation (ACM) (1999), pp.101-109.
- [176] M. H. Alrefaei, S. Andradóttir, *A simulated annealing algorithm with constant temperature for discrete stochastic optimization*, **Management Science**, 45:5 (1999) 748–764.



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Cemal Keleş

Doğum Yeri ve Tarihi: Yeşilyurt, 1985

Adres: İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 44280, Malatya/Türkiye

E-Posta: cemal.keles@inonu.edu.tr, cekeles@gmail.com,

Lisans: İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik-Elektronik Mühendisliği

Yüksek Lisans: İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

- İl Emniyet Müdürlüğü, İnşaat-Emlak Şube Müdürlüğü, Elektrik-Elektronik Mühendisi, Diyarbakır/Türkiye, 2010-2011.
- Genç Araştırmacı En İyi Bildiri Ödülü (Üçüncülük), 3. Uluslararası Akıllı Şebekeler Kongre ve Fuarı, İstanbul, 2015.

Yayın Listesi:

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

1. B.B. Alagoz, C. Keles, A. Kaygusuz, Y. Kaplan, A. Karabiber, *Power regulated DC/DC driver design by hierarchical control*, **Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences**, 24 (2016) 1325-1339, Doi: 10.3906/elk-1312-19.
2. M.S. Mamiş, C. Keleş, M. Arkan, R. Kaya, *Lightning surge analysis of Faraday cage using alternative transient program-electromagnetic transients program*, **IET Generation, Transmission & Distribution**, 10:4 (2016) 1016-1022, Doi: 10.1049/iet-gtd.2015.0794.
3. B.B. Alagoz, N. Tan, F.N. Deniz, C. Keles, *Implicit disturbance rejection performance analysis of closed loop control systems according to communication channel limitations*, **IET Control Theory & Applications**, 9:17 (2015) 2522-2531, Doi: 10.1049/iet-cta.2015.0175.
4. B.B. Alagoz, F.N. Deniz, C. Keles, N. Tan, *Disturbance rejection performance analyses of closed loop control systems by reference to disturbance ratio*, **ISA Transactions**, 55 (2015) 63-71, Doi: 10.1016/j.isatra.2014.09.013.
5. C. Keles, A. Karabiber, M. Akcin, A. Kaygusuz, B.B. Alagoz, O. Gul, *A smart building power management concept: Smart socket applications with*

- DC distribution*, **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, 64 (2015) 679-688. Doi: 10.1016/j.ijepes.2014.07.075.
6. A. Kaygusuz, B.B. Alagoz, M. Akcin, **C. Keles**, A. Karabiber, O. Gul, *Monte Carlo Simulation-Based Planning Method for Overload Safe Electrical Power System*, **Journal of Electrical Engineering**, 14:1 (2014) 328-335.
 7. **C. Keles**, A. Kaygusuz, *Damping Inter-Area Oscillations in Power Systems Using a CDM-based PID Controller*, **Journal of Electrical Engineering**, 1:14 (2014) 355-362.
 8. M.S. Mamiş, M. Arkan, **C. Keleş**, *Transmission Lines Fault Location Using Transient Signal Spectrum*, **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, 53 (2013) 714-718, Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijepes.2013.05.04>.
 9. A. Kaygusuz, **C. Keles**, B.B. Alagoz, A. Karabiber, *Renewable Energy Integration for Smart Sites*, **Energy and Buildings**, 64 (2013) 546-462, Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.05.031>.
 10. A. Karabiber, **C. Keles**, A. Kaygusuz, B.B. Alagoz, *An approach for the integration of renewable distributed generation in hybrid DC/AC microgrids*, **Renewable Energy**, 52 (2013) 251-259, Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2012.10.041>.

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında (proceedings) basılan bildiriler:

11. F. Oztemiz, **C. Keles**, S.E. Hamamci, A. Kaygusuz, *The Performance Analysis of Data Mining Approach for Energy Cost Reduction in Smart Grids*, in: ENTECH '16 IV. International Energy Technologies Conference, Istanbul, Turkey, (2016), pp. 82-93.
12. **C. Keles**, B.B. Alagoz, A. Kaygusuz, S. Alagoz, *Cost efficient multi-source energy mixing for renewable energy microgrids by random search optimization*, in: International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP), Malatya, Turkey, (2016), pp. 29-33.
13. M. Akcin, A. Kaygusuz, A. Karabiber, S. Alagoz, B.B. Alagoz, **C. Keles**, *Opportunities for energy efficiency in smart cities*, in: 4th International Istanbul Smart Grid Congress and Fair (ICSG), Istanbul, Turkey, (2016), pp. 64-68. Doi: 10.1109/SGCF.2016.7492425.
14. **C. Keles**, A. Kaygusuz, B.B. Alagoz, *Multi-source energy mixing by time rate multiple PWM for microgrids*, in: 4th International Istanbul Smart Grid Congress and Fair (ICSG), Istanbul, Turkey, (2016), pp. 11-15. Doi: 10.1109/SGCF.2016.7492416.
15. B.B. Alagoz, **C. Keles**, A. Kaygusuz, M. Akcin, *Frequency deviation indicators for estimation of energy balance state in smart AC grids*, in: 4th International Istanbul Smart Grid Congress and Fair (ICSG), Istanbul, Turkey, (2016), pp. 112-116. Doi: 10.1109/SGCF.2016.7492417.
16. A. Karabiber, **C. Keles**, A. Kaygusuz, B.B. Alagoz, M. Akcin, *Power converters modeling in Matlab/Simulink for microgrid simulations*, in: 4th International Istanbul Smart Grid Congress and Fair (ICSG), Istanbul, Turkey, (2016), pp. 99-103. Doi: 10.1109/SGCF.2016.7492418.
17. M. Akcin, **C. Keles**, A. Kaygusuz, A. Karabiber, B.B. Alagoz, *Recent energy trends in energy policies: Clean and renewable energies*, in: ENTECH'15 III. Energy Technologies Conference, Istanbul, Turkey, (2015), pp.8-17.

18. **C. Keles**, A. Kaygusuz, Communication opportunities in smart grids, in: 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Malatya, Turkey, (2015), pp. 1782-1785. Doi: 10.1109/SIU.2015.7130226.
19. B.B. Alagoz, **C. Keles**, A. Kaygusuz, Towards energy webs: Hierarchical tree topology for future smart grids, in: 3rd International Istanbul Smart Grid Congress and Fair (ICSG), Istanbul, Turkey, (2015). Doi: 10.1109/SGCF.2015.7354931.
20. **C. Keles**, B.B. Alagoz, A. Kaygusuz A note on demand side load management by maximum power limited load shedding algorithm for smart grids, in: 3rd International Istanbul Smart Grid Congress and Fair (ICSG), Istanbul, Turkey (2015). Doi: 10.1109/SGCF.2015.7354917.
21. F.N. Deniz, B.B. Alagoz, **C. Keles**, N. Tan, Design of fractional-order PI controllers for disturbance rejection using RDR measure, in: ICFDA'14 International Conference on Fractional Differentiation and Its Applications, Catania, Italy, (2014). Doi: 10.1109/ICFDA.2014.6967446.
22. **C. Keles**, B.B. Alagoz, M. Akcin, A. Kaygusuz, A. Karabiber, A photovoltaic system model for Matlab/Simulink simulations, in: 4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives, Istanbul, Turkey, (2013), pp.1643-1647. Doi: 10.1109/PowerEng.2013.6635863.
23. M.S. Mamiş, **C. Keleş**, M. Arkan, R. Kaya. ATP Simulation of A faraday cage for the analysis of lightning surges, in: European EMTP-ATP Conference, Zwickau, Germany (2012), pp. 30-39.

Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

24. F.N. Deniz, **C. Keleş**, B.B. Alagoz, N. Tan, *Kapalı çevrim PID kontrolör tasarımı birim basamak cevabı çoklu ölçüt performans haritalaması*, **SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 18:3 (2014) 157-165.
25. M. Akçin, B.B. Alagöz, **C. Keleş**, A. Karabiber, A. Kaygusuz, *Dağıtık kontrol ile akıllı şebekelerde geniş-alan yönetimi ve geleceğe dönük projeksiyonlar*, **SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 17:3 (2013) 457-470.

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler:

26. **C. Keleş**, S.E. Hamamcı, A. Kaygusuz, Bir su türbini güç sisteminin yük frekans kontrolü, in: TOK 2015 Türk Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, Denizli, Türkiye, (2015).
27. B.B. Alagöz, **C. Keleş**, A. Kaygusuz, Y. Kaplan, A. Karabiber, Hiyerarşik kontrol ile güç regülasyonlu DC/DC sürücü tasarımı. in: 15. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı ve Sergisi, Malatya, Türkiye, (2013), s. 2-7.
28. M. Akçin, A. Kaygusuz, **C. Keleş**, A. Karabiber, B.B. Alagöz. Akıllı şebekelerde kontrol ve haberleşme: Günümüzden geleceğe fırsatlar, in: 15. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı ve Sergisi, Malatya, Türkiye, (2013), s. 8-13.
29. F.N. Deniz, **C. Keleş**, B.B. Alagöz, N. Tan, Görüntü işleme ile PID kararlılık bölgesi kontrolör performansı haritalaması, in: 15. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı ve Sergisi, Malatya, Türkiye, (2013), s. 874-878.
30. H. Alisoy, G.T. Alisoy, **C. Keleş**, F. Nur Deniz, İ. Işık, Y. İçel, Darbe generatörünün maksimum enerjisi hakkında varyasyonel problem, in: 15. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı ve Sergisi, Malatya, Türkiye, (2013), s. 1272-1276.

31. E. Erdem, **C. Keleş**, Serdar E. Hamamcı, Nusret Tan, Eğitim amaçlı SCADA kontrollü elektrik dağıtım otomasyonu, in: 15. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı ve Sergisi, Malatya, Türkiye, (2013), s. 50-55.
32. T. Abbasov, **C. Keleş**, Elektromanyetik filtrelerin tasarımı ve çalışma karakteristiklerinin hesaplanması, in: Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, Türkiye (2012), s. 280-284.
33. **C. Keleş**, A. Kaygusuz, Güç sistemlerinde güç bölgeleri arasında meydana gelen salınımların kontrolü. in: Fırat Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Elazığ, Türkiye, (2011), s. 212-216.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

1. **C. Keles**, B.B. Alagoz, A. Kaygusuz, A. Karabiber, M. Akcin, *Power limited domestic load shedding in smart residences for various income level consumers and electricity tariffs*, **The Electricity Journal**, (in review).
2. **C. Keles**, A. Karabiber, M. Akcin, A. Kaygusuz, B.B. Alagoz, O. Gul, *A smart building power management concept: Smart socket applications with DC distribution*, **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, 64 (2015) 679-688, Doi: 10.1016/j.ijepes.2014.07.075.
3. **C. Keles**, B.B. Alagoz, A. Kaygusuz, S. Alagoz, Cost efficient multi-source energy mixing for renewable energy microgrids by random search optimization, in: International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP), Malatya, Turkey, (2016), pp. 29-33.
4. **C. Keles**, A. Kaygusuz, B.B. Alagoz, Multi-source energy mixing by time rate multiple PWM for microgrids. in: 4th International Istanbul Smart Grid Congress and Fair (ICSG), Istanbul, Turkey, (2016), pp. 11-15. Doi: 10.1109/SGCF.2016.7492416.
5. **C. Keles**, B.B. Alagoz, A. Kaygusuz, A note on demand side load management by maximum power limited load shedding algorithm for smart grids. in: 3rd International Istanbul Smart Grid Congress and Fair (ICSG), Istanbul, Turkey, (2015). Doi: 10.1109/SGCF.2015.7354917.