

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında

Efe İsa TEZDE Tarafından Hazırlanan

**AKILLI ŞEBEKE BAĞLANTILI KARMA ENERJİ SİSTEMİ
İÇİN OPTİMİZASYON TABANLI GÜÇ YÖNETİMİ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 10 /12/2019 gün ve 1831 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

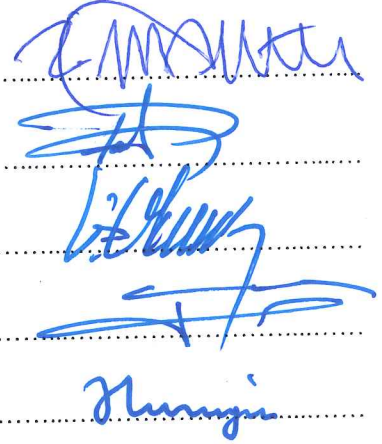
Başkan : Prof. Dr. İsmail Haklı ALTAŞ

Üye : Prof. Dr. Ahmet Faruk BAKAN

Üye : Prof. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ

Üye : Doç. Dr. Cenk YAVUZ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin PEHLİVAN



Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Akıllı Şebeke Bağlantılı Karma Enerji Sistemi için Optimizasyon Tabanlı Güç Yönetimi adındaki doktora tezi Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik Mühendisliği Doktora Programı'nda yürütülen bilimsel bir çalışmadır.

Öncelikle doktora tez danışmanlığımı üstlenerek, konu seçimi ve çalışmaların yürütülmesi sürecinde değerli zamanını ayırarak gösterdiği ilgi, verdiği destek ve yönlendirmeler için sayın hocam Prof. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ'a teşekkür ederim.

Yoğun çalışmalarının arasında zamanlarını ayırarak doktora tezimi değerlendiren ve beni yönlendiren Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ, Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin PEHLİVAN, Prof. Dr. Ahmet Faruk BAKAN ve Doç. Dr. Cenk YAVUZ hocalarıma teşekkür ederim.

Eşim ve aileme teşvikleri, destekleri ve fedakarlıkları için teşekkür ederim. Onların desteklerini ve yanımda olmalarını bilmek benim en büyük motivasyon kaynağı olmuştur.

Bu tez çalışması içerisinde yürütülen "FHD-7320 Çift Yönlü Güç Dönüştürücü Tasarımı ve Kontrol Algoritmalarının Geliştirilmesi" projesini destekleyen KTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri birimine teşekkürlerimi sunarım.

Efe İsa TEZDE

Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora tezi olarak sunduğum “Akıllı Şebeke Bağlantılı Karma Enerji Sistemi için Optimizasyon Tabanlı Güç Yönetimi” başlıklı bu çalıŐmayı baŐtan sona kadar danıŐmanım Prof. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ’un sorumluluğunda tamamladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 26/12/2019

Efe İsa TEZDE

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	X
SUMMARY	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
TABLolar DİZİNİ.....	XVI
SEMBOLLER DİZİNİ	XVII
1. GENEL BİLGİLER.....	2
1.1. Giriş.....	2
1.1.1. Akıllı Şebeke	2
1.1.2. Talep Tarafı Yönetimi (TTY).....	5
1.1.3. Talep Yanıtı.....	7
1.1.3.1. Fiyat Tabanlı TY Programı	7
1.1.3.2. Teşvik Tabanlı TY Programı.....	7
1.1.4. Talep Yönetimi Avantajları.....	9
1.1.4.1. Konut Sektörü.....	9
1.1.4.2. Ticari Sektör	10
1.1.4.3. Endüstriyel Sektör	10
1.1.4.4. Ulaşım sektörü.....	10
1.1.5. Mikro Şebeke	11
1.1.6. Akıllı Konut.....	11
1.1.7. Konut Enerji Yönetim Sistemi	12
1.1.8. Mahalle Enerji Yönetim Sistemi (MEYS)	13
1.2. Tezin Amacı	13
1.3. Literatür Araştırması	14
1.3.1. Dağıtık Üretim Sistemleri	15
1.3.2. Enerji Depolama Sistemi.....	16
1.3.3. Elektrikli Araçlar	17

1.3.4.	Elektrikli Cihazlar	18
1.3.5.	Elektrik Fiyat Tarifeleri.....	19
1.3.6.	Belirsizlikler	20
1.3.7.	Amaç Fonksiyonları	21
1.3.8.	KEYS için Planlama ve Kontrol Teknikleri.....	23
1.3.8.1.	Kural Tabanlı Yöntemler.....	23
1.3.8.2.	Yapay Zekâ Tabanlı Kontrol Yöntemleri.....	24
1.3.8.3.	Optimizasyon Tabanlı Kontrol Yöntemleri.....	25
1.4.	Tezin Ana Hatları	27
2.	ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ MODELİ	28
2.1.	Konut Enerji Yönetim Sistemi Modeli.....	28
2.1.1.	Veri Toplama.....	29
2.1.2.	İşleme Süreci	30
2.1.3.	Kontrol Birimi	31
2.2.	Elektrikli Cihazların Sınıflandırılması	31
2.2.1.	Kesilemez ve Ertelenemez Yükler	32
2.2.2.	Kesilemez ve Ertelenebilir Yükler	33
2.2.3.	Kesilebilir ve Ertelenebilir Yükler	34
2.2.4.	Sıcaklık Kontrollü Yükler	34
2.3.	Konut Enerji Yönetim Sisteminin Matematiksel Modeli.....	35
2.3.1.	Elektrikli Cihazların Çalışma Kısıtlamaları	36
2.3.2.	Sıcaklık Kontrollü Cihazlar.....	38
2.3.3.	Elektrikli Aracın Şarj ve Deşarj Kısıtlamaları	40
2.3.4.	EDS Şarj ve Deşarj Kısıtlamaları.....	43
2.3.5.	Dağıtık Üretimin Çalışma Kısıtlaması	44
2.4.	Amaç Fonksiyonu ve Kontrol Stratejileri	46
2.4.1.	Elektrik Tüketim Maliyetini Azaltmak	46
2.4.2.	Tüketici Yük Profilini (Eğrisini) Düzleştirmek.....	46
2.4.3.	Enerji Yönetiminde Çok Amaçlı Fonksiyonlar.....	47
2.5.	Mahalle Enerji Yönetim Sistemi (MEYS) Modelinin Geliştirilmesi.....	48
2.5.1.	MEYS Modelinin İşlevi	49
2.5.2.	MEYS'te Güç Geçişlerinin Yumuşatılması Stratejisi.....	49
2.5.3.	MEYS'in Bayesyen Oyun Teoremi Koordinasyonu.....	51

3.	ENERJİ YÖNETİMİNDE OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ.....	53
3.1.	Giriş.....	53
3.2.	Genetik Algoritma Yöntemi.....	53
3.2.1.	Genetik Algoritma Süreçlerinin Tanımlanması	55
3.2.1.1.	Başlangıç Popülasyonu.....	55
3.2.1.2.	Uygunluk Değerleri Hesaplaması	55
3.2.1.3.	Seçim.....	56
3.2.1.4.	Çaprazlama.....	56
3.2.1.5.	Mutasyon.....	56
3.3.	Gri Kurt Optimizasyon (GKO) Algoritması	58
3.3.1.	Gri Kurt Sürüsü Avlanmasının Matematiksel Modellemesi	59
3.4.	Bayesyen Oyun Teorisi	63
4.	DAĞITIK ÜRETİM VE DEPOLAMA SİSTEMLERİ	66
4.1.	Rüzgâr Türbin Modeli	66
4.2.	FV Enerji Dönüşümü.....	68
4.3.	Yapay Sinir Ağları.....	72
4.3.1.	Çok Katmanlı İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları	73
4.3.2.	Geri Yayılım Algoritması.....	73
4.3.3.	YSA ile FV Modülün Üretim Tahmini	74
4.3.4.	YSA ile Rüzgâr Hızı Tahmini	76
4.4.	Bataryalar	78
4.4.1.	Batarya Modellemesi.....	79
4.4.2.	Batarya Şarj Durumu (SOC)	80
5.	DENEY MODÜLÜNÜN OLUŞTURULMASI	83
5.1.	Elektrikli Cihazların Modellenmesi ve Tasarımı	83
5.2.	Kontrol İşaretinin Üretilmesi.....	86
5.3.	Çift Yönlü DA/AA Dönüştürücü Tasarımı	88
5.3.1.	Çift Yönlü DA-DA Dönüştürücü	89
5.3.1.1.	Çift Yönlü DA-DA Dönüştürücü Parametrelerinin Hesaplanması	90
5.3.2.	DA-DA Dönüştürücünün Denetimi.....	94
5.3.3.	Bataryanın Şarj ve Deşarjı İçin DA-DA Dönüştürücü Kontrol Yöntemi	95
5.3.3.1.	Sabit Akımla Şarj/Deşarj Yöntemi.....	96
5.3.3.2.	Sabit Gerilimle Şarj/Deşarj Yöntemi	97

5.3.3.3.	DA-DA Dönüştürücü Sabit Akım ve Gerilimle Şarj/Deşarj Benzetimi.....	98
5.4.	Bir Fazlı Tam Köprü Evirici	100
5.4.1.	DA Bara Kapasite Değerinin Belirlenmesi	103
5.4.2.	Evirici Çıkış Filtresi Tasarımı	103
5.4.3.	Şebeke Gerilimi Ölçümü ve Ölçeklendirme Devresi	105
5.4.4.	DA Bara Geriliminin Ölçülmesi ve Ölçeklenmesi.....	107
5.4.5.	Sıfır Geçiş Dedektörü.....	108
5.4.6.	Akım Sensörü Devresi.....	108
5.4.7.	Bir Fazlı Tam Köprü Evirici Kontrol Algoritması.....	110
5.4.7.1.	Şebeke Bağlantısız Çalışma Durumu	110
5.4.7.2.	Şebeke Bağlantılı Çalışma Durumu	111
5.4.8.	Bir Fazlı Evirici Modeli İçin Benzetim Çalışmaları	114
5.5.	Bir Fazlı Evirici Modeli İçin Deneysel Çalışmalar	118
6.	BENZETİM VE DENEYSEL SONUÇLAR	122
6.1.	Konut Düzeyinde Enerji Yönetimi.....	122
6.1.1.	Tüketici Kullanım Alışkanlıklarının Belirlenmesi	125
6.1.2.	Genetik Algoritma Yöntemiyle Cihaz Planlaması	126
6.1.3.	Gri Kurt Optimizasyon Yöntemiyle Cihaz Planlaması	126
6.1.4.	KEYS Çalışma Senaryoları	126
6.1.4.1.	Dağıtık Üretimin Cihaz Çalışma Zamanı Planlamasına Etkisi	127
6.1.4.2.	Konuttaki Sabit Bir EDS'nin Cihaz Planlamasına Etkisi.....	130
6.1.4.3.	Konuttaki EA Kapasitesinin Cihaz Planlamasına Etkisi.....	132
6.1.4.4.	EA Batarya Şarj Cihazı Şarj Oranlarının Cihaz Planlamasına Etkisi	134
6.1.4.5.	EA Şarj Cihazı G2V ve V2G Özelliklerinin Cihaz Planlamasına Etkisi	136
6.1.4.6.	Fiyat Tarifesinin Cihaz Çalışma Zamanı Planlamasına Etkisi.....	137
6.2.	Mahalle Genelinde Enerji Yönetimi.....	138
6.2.1.	MEYS Çalışma Senaryoları	141
6.2.1.1.	EA Bataryasının Çift Yönlü Güç Aktarımı Durumunun Mahalleye Etkisi.....	143
6.2.1.2.	EA Bataryasının Tek Yönlü Güç Aktarımı Durumunun Mahalleye Etkisi.....	146
6.2.1.3.	EA Bataryasının Güç Aktarımı Durumunun Karşılaştırılması	148
6.3.	Konut Düzeyinde Enerji Yönetimi Deneysel Çalışmalar.....	149
7.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	154
7.1.	Sonuçlar.....	154

7.2.	Öneriler.....	155
8.	KAYNAKLAR.....	157
9.	EKLER.....	173
ÖZGEÇMİŞ		



Doktora Tezi

ÖZET

AKILLI ŞEBEKE BAĞLANTILI KARMA ENERJİ SİSTEMİ İÇİN OPTİMİZASYON
TABANLI GÜÇ YÖNETİMİ

Efe İsa TEZDE

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ
2019, 172 Sayfa, 15 Ek Sayfa

Bu tez çalışması dağıtık üretim ve depolamaya sahip akıllı konutların güç tüketimini planlamak için yeni iki aşamalı karma bir optimizasyon algoritması sunmaktadır. İlk aşamada konut düzeyinde konut enerji yönetimi sistemi (KEYS) modellenmiştir. KEYS fotovoltaik, rüzgâr türbini, elektrikli taşıt, enerji depolama sistemi ve elektrikli cihazlar gibi güç bileşenlerinden bazılarını veya tümünü içerebilir. KEYS kullanıcı tercihlerini, üretilen / depolanan enerji miktarını ve dinamik elektrik fiyatlarını göz önünde bulundurarak kontrol edilebilir cihazların çalışmalarını programlamaktadır. KEYS son kullanıcıların elektrik maliyetini en aza indirmek ve yük eğrilerini düzleştirmek için Genetik Algoritma (GA) ve Gri Kurt Optimizasyonu (GKO) yöntemlerini kullanmaktadır. Önerilen KEYS algoritması 5 kez çalıştırılarak her akıllı konut için farklı çalışma planları hazırlanmıştır. İkinci aşamada mahalle genelinde bir mahalle enerji yönetim sistemi (MEYS) tasarlanmıştır. KEYS'lerin çalışma planlarını kullanarak mahalle yük profilini düzleştirmek için Bayesyen oyun teorisi (BOT)'ne dayanan bir MEYS algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma dağıtım trafosunun aşırı yüklenmesini önlemek ve akıllı konutların güç taleplerini kararlı şekilde sağlamak için mahalle genelinde güç akışını adil şekilde koordine etmiştir. KEYS ve MEYS algoritmaları farklı senaryolarda test edilmiştir. Tüketici alışkanlıklarını belirlemek için 50 kişilik bir anket yapılmıştır. Önerilen KEYS algoritmasının sonuçları karşılaştırıldığında GA, GWO ve tüketici anketi arasından GA en başarılı olmuştur. MEYS algoritmasında, konutlar bireyselden ziyade birlikte hareket ederse, optimum mahalle yükü profili elde edilir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Şebeke, Konut Enerji Yönetim Sistemi, Mahalle Enerji Yönetim Sistemi, KEYS, MEYS, Talep Yanıtı, Genetik Algoritma, GA, Gri Kurt Optimizasyonu, GKO, Bayesyen Oyun Teorisi.

PhD Thesis
SUMMARY

OPTIMIZATION BASED POWER MANAGEMENT FOR A SMART GRID
CONNECTED HYBRID ENERGY SYSTEM

Efe İsa TEZDE

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electrical and Electronics Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ
2019, 172 Pages, 15 Appendix Pages

This thesis presents a new two-stage hybrid optimization algorithm to plan the power consumption of households with distributed generation and storage. In the first stage, home energy management system (HEMS) was modeled at the residential level. HEMS may include some or all of power components such as photovoltaic, wind turbine, electric vehicle, energy storage system and electrical appliances. HEMS schedules controllable appliances by considering user preferences, amount of energy generated/stored and dynamic electricity prices. HEMS is used Genetic Algorithm (GA) and Gray Wolf Optimization (GWO) methods to minimize the electricity cost of end users and flatten their load curve. Optimal operation schedules have been obtained for each smart home by running the proposed HEMS algorithm 5 times. In the second stage, a neighborhood energy management system (NEMS) has been designed throughout the neighborhood. A NEMS algorithm based on Bayesian Game Theory (BGT) has been developed to flatten the neighborhood load profile using scheduling plans of HEMSs. The developed algorithm coordinates the power flow throughout the neighborhood fairly to prevent overloading of the distribution transformer and to supply power demands of the smart homes stably. HEMS and NEMS algorithms have been tested in different scenarios. A survey of 50 people was conducted to determine consumer habits. When the simulation results of the proposed HEMS algorithm are compared, GA was the best among GA, GWO and consumer survey. In NEMS algorithm, the neighborhood load profile is obtained when homes act together rather than individual.

Key Words: Smart Grid, Home Energy Management System, Neighborhood Energy Management System, HEMS, NEMS, Demand Response, Genetic Algorithm, GA, Gray Wolf Optimization, GWO, Bayesian Game Theory.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Akıllı şebeke kavramsal modeli	3
Şekil 1.2. Yük profilinde ördek eğrisi [14].....	4
Şekil 1.3. TTY yaklaşımları (a) yük kaydırma, (b) puant talebi azaltma,.....	6
Şekil 2.1. KEYS modeli genel yapısı	28
Şekil 2.2. KEYS modelinin temel işlevleri	29
Şekil 2.3. KEYS modeli veri toplama birimi işlevi.....	30
Şekil 2.4. KEYS modeli veri işleme birimi işlevi	30
Şekil 2.5. KEYS modeli veri işleme birimi işlevi	31
Şekil 2.6. Kesilemez ve ertelenemez yüklerin gösterimi	32
Şekil 2.7. Kesilemez ve ertelenebilir yükün zaman eksenindeki gösterimi	33
Şekil 2.8. Kesilebilir ve ertelenebilir yüklerin gösterimi.....	34
Şekil 2.9. Sıcaklık kontrollü yüklerin zamanla değişimi.....	35
Şekil 2.10. Elektrikli su ısıtıcı akış diyagramı.....	38
Şekil 2.11. Konut ısıtma soğutma sistem modeli	39
Şekil 2.12. EA'nın gün içerisindeki konumu ve işlevleri.....	41
Şekil 2.13. EA'nın şarj ve deşarj durumları	41
Şekil 2.14. EDS'nin şarj ve deşarj durumları	43
Şekil 2.15. Güneş panelinin gün içerisindeki elektrik üretim durumu	45
Şekil 2.16. Rüzgâr türbininden gün içerisindeki elektrik üretim durumu	45
Şekil 2.17. Mahalle Enerji Yönetim Sistemi (MEYS) modeli genel yapısı.....	48
Şekil 2.18. MEYS modelinin temel işlevi	49
Şekil 2.19. Zamanla değişen fiyat sinyali.....	50
Şekil 3.1. Genetik Algoritma akış diyagramı	57
Şekil 3.2. Gri Kurt sosyal hiyerarşisi.....	58
Şekil 3.3. GKO konum güncellemesi	60
Şekil 3.4. GKO konum güncellemesi	61
Şekil 3.5. GKO akış diyagramı.....	63
Şekil 4.1. RT Matlab/Simulink modeli.....	66
Şekil 4.2. Rüzgâr santral modeli.....	67
Şekil 4.3. Rüzgâr türbini çıkış büyüklükleri.....	67

Şekil 4.4. Rüzgâr türbini MGNT tabanlı regülatör devresi modeli.....	68
Şekil 4.5. FV modül eşdeğer devresi.....	68
Şekil 4.6. FV modül ve MNGT tabanlı regülatör tasarımı.....	70
Şekil 4.7. FV modülün 1000W/m ² ışınım ve farklı sıcaklıklardaki karakteristikleri.....	70
Şekil 4.8. FV modülün 25°C sıcaklık ve farklı ışınımlardaki karakteristikleri	71
Şekil 4.9. Tezde kullanılan FV modül bağlantısı	71
Şekil 4.10. Bir nöron yapısının görseli.....	72
Şekil 4.11. Tek gizli katmanlı ÇKİB-YSA modeli.....	73
Şekil 4.12. Beş günlük ışınım ve sıcaklık grafikleri.....	75
Şekil 4.13. Ertesi gün için YSA kullanılarak ışınım ve sıcaklık tahmini	76
Şekil 4.14. YSA ile güç tahmini ve ölçüm sonuçları	76
Şekil 4.15. 5 Günlük rüzgâr hızı grafiği.....	77
Şekil 4.16. Ertesi gün için YSA ile rüzgar hızı ve güç tahmini ve gerçek ölçüm sonuçları	78
Şekil 4.17. Thevenin eşdeğer batarya modeli.....	79
Şekil 4.18. VRLA (Jel AKÜ) deşarj eğrileri	80
Şekil 4.19. Batarya gerilim-SOC değişimi.....	82
Şekil 5.1. Yüklerin paralel bağlanması.....	83
Şekil 5.2. Yük kontrol devresi.....	84
Şekil 5.3. Yükler için matris bağlantı modeli.....	85
Şekil 5.4. Yük bankası tasarımının üstten görünümü.....	86
Şekil 5.5. Cihazların optimal kontrol işaretinin üretilmesi.....	87
Şekil 5.6. Çift Yönlü Güç Dönüştürücü modülü	88
Şekil 5.7. DA-DA Dönüştürücü yarım köprü topolojisi.....	89
Şekil 5.8. Manyetik nüve seçim grafiği [17]	93
Şekil 5.9. DA-DA dönüştürücü devre topolojisi	94
Şekil 5.10. Şarj/deşarj yöntemi seçim algoritması	95
Şekil 5.11. Sabit akım ve gerilim denetimli anahtarlama işaretinin üretimi	96
Şekil 5.12. Sabit akım denetimli anahtarlama işaretinin oluşturulması	97
Şekil 5.13. Sabit gerilim denetimli anahtarlama işaretinin oluşturulması.....	97
Şekil 5.14. Arttıran DA-DA ile bataryanın sabit gerilimle deşarj işlemi	98
Şekil 5.15. Arttıran DA-DA ile bataryanın sabit akımla deşarj işlemi.....	98
Şekil 5.16. Azaltan DA-DA ile bataryanın sabit akımla şarj işlemi.....	99
Şekil 5.17. Azaltan DA-DA ile bataryanın sabit gerilimle şarj işlemi	100
Şekil 5.18. Tam köprü evirici topolojisi.....	101

Şekil 5.19. SDGM işaretinin oluşturulması.....	102
Şekil 5.20. Evirici çıkış gerilimi ve akımının filtrelenmiş hali	105
Şekil 5.21. Şebeke gerilimi ölçme ve ölçeklendirme devresi.....	106
Şekil 5.22. DA Bara gerilimi ölçme ve ölçeklendirme devresi	107
Şekil 5.23. Sıfır geçiş dedektörü devresi	108
Şekil 5.24. LA25-NP akım sensörü iç yapısı.....	109
Şekil 5.25. Akım ölçme ve ölçeklendirme devresi	109
Şekil 5.26. Şebeke bağlantısız çalışma için evirici kontrol blok şeması	111
Şekil 5.27. Şebeke bağlantılı çalışma durumu için evirici kontrol blok şeması.....	111
Şekil 5.28. Şebeke gerilimine göre açısız frekansın tespiti	112
Şekil 5.29. Ek ortogonal faz oluşturma, normalize akım ve gerilim d, q parametreleri....	113
Şekil 5.30. Bir fazlı evirici kontrol modeli.....	113
Şekil 5.31. Şebeke bağlantılı evirici matlab modeli	114
Şekil 5.32. Şebeke bağlantısız eviriciden 585W aktif güç talebi	114
Şekil 5.33. Şebeke bağlantısız eviriciden 585W aktif ve 195Var reaktif güç talebi	115
Şekil 5.34. Şebeke bağlantılı eviriciden aktarılan 778W aktif güç talebi.....	115
Şekil 5.35. Şebeke bağlantılı evirici ile 778W aktif ve 195Var reaktif güç talebi	116
Şekil 5.36. Şebeke bağlantılı evirici ile yük ve şebekeye güç aktarımı.....	116
Şekil 5.37. Aktif cihazların güç talebi ve batarya şarjının şebekeden karşılanması.....	117
Şekil 5.38. Şebekeden aktif ve reaktif güç talebi ve batarya şarjının karşılanması.....	117
Şekil 5.39. Cihazların sadece güç şebekesinden beslenmesi.....	118
Şekil 5.40. Eviricide dönüştürülen gücün sadece şebekeye aktarımı	119
Şekil 5.41. Eviricide dönüştürülen fazla gücün şebekeye aktarımı	119
Şekil 5.42. Cihaz güç talebinin evirici üzerinden ve şebekeden karşılanması	120
Şekil 5.43. Cihaz güç talebinin evirici ve şebekeden karşılanması	120
Şekil 5.44. Güç talebinin evirici üzerinden ve şebekeden karşılanması.....	121
Şekil 5.45. Şebeke bağlantısız çalışmada cihazları evirici ile beslenmesi	121
Şekil 6.1. Sabit cihazların toplam güç tüketim.....	122
Şekil 6.2. Sıcaklık denetimli cihazların güç tüketimi.....	123
Şekil 6.3. Dağıtık üretim sistemlerinin günlük güç üretim miktarları	125
Şekil 6.4. Dağıtık üretimsiz cihazların güç tüketimi	127
Şekil 6.5. FV üretim bulunduğu cihazların güç tüketimi.....	128
Şekil 6.6. RT'den üretilen enerjinin konuttaki cihaz planlamasına etkisi	129
Şekil 6.7. Dağıtık üretimin katkısı ile konutun güç tüketimi	130

Şekil 6.8. EDS kullanımının konutta cihazların güç tüketim çizelgesine etkisi.....	131
Şekil 6.9. EA Batarya kapasitesinin KEYS üzerindeki etkisi	133
Şekil 6.10. EA batarya şarj ve deşarj oranlarına göre konut yük profilleri	135
Şekil 6.11. Şarj cihazının G2V ve V2G özelliklerine göre konut yük profili	137
Şekil 6.12. Elektrik fiyat tarifesine dayalı konut yük profili	138
Şekil 6.13. Mahalledeki konutların dağıtık üretim ve sabit yük profilleri	142
Şekil 6.14. EA şarj cihazının çift yönlü güç aktarımı için mahalle yük profili	145
Şekil 6.15. EA şarj cihazının tek yönlü güç aktarımı için mahalle yük profili	148
Şekil 6.16. 0-300 s arasındaki aktif ve reaktif güç değişimi.....	151
Şekil 6.17. 300s-600s arasındaki aktif ve reaktif güç değişimi	151
Şekil 6.18. 600s-900s arasındaki aktif ve reaktif güç değişimi	152
Şekil 6.19. 900s-1200s arasındaki aktif ve reaktif güç değişimi	153

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1. SR-M540100 FV modülün parametreleri	71
Tablo 5.1. Bir fazlı tam köprü evirici anahtarlama durumları ve çıkış gerilimi.....	101
Tablo 6.1. Cihazların çalışma parametreleri.....	123
Tablo 6.2. Çamaşır ve bulaşık makinasının çalışma parametreleri	124
Tablo 6.3. Elektrikli araç bataryası çalışma parametresi.....	124
Tablo 6.4. EDS çalışma parametreleri.....	125
Tablo 6.5. Konuttaki dağıtık üretim sistemlerinin kurulu güçleri	125
Tablo 6.6. Dağıtık üretimin konutta cihaz planlamasındaki amaç fonksiyonu sonuçları	130
Tablo 6.7. EDS kullanım durumunun cihaz çalışma zamanı etkisi.....	131
Tablo 6.8. EA bataryalarının kapasite bilgileri.....	132
Tablo 6.9. EA batarya kapasitesinin cihaz çalışma zamanı planlamasına etkisi.....	134
Tablo 6.10. EA batarya şarj ve deşarj oranlarının konut yük profiline etkileri.....	134
Tablo 6.11. EA şarj cihazının güç akışı yönü özelliğinin konut yük profiline etkileri	136
Tablo 6.12. Elektrik fiyat tarifesinin konut yük profiline etkileri	137
Tablo 6.13. Konutlardaki elektrikli cihazların çalışma parametreleri	139
Tablo 6.14. Konutlardaki çamaşır makinalarının çalışma parametreleri.....	139
Tablo 6.15. Konutlardaki bulaşık makinalarının çalışma parametreleri	140
Tablo 6.16. Konutlardaki dağıtık üretim sistemlerinin kurulu güçleri	140
Tablo 6.17. Konutlardaki enerji depolama birimlerinin çalışma parametreleri	141
Tablo 6.18. GA yöntemi kullanılarak belirlenen konut stratejileri (G2V ve V2G).....	144
Tablo 6.19. BOT ile en uygun konut stratejileri (G2V ve V2G).....	144
Tablo 6.20. Tüketici anketi ve BOT ile hesaplanan indikatör değerleri (G2V ve V2G)..	145
Tablo 6.21. Tüketici anketi ve BOT ile hesaplanan tüketim maliyetleri (G2V ve V2G)..	145
Tablo 6.22. GA yöntemi kullanılarak belirlenen konut stratejileri (G2V)	146
Tablo 6.23. BOT ile en uygun konut stratejileri (G2V)	147
Tablo 6.24. Tüketici anketi ve BOT ile hesaplanan indikatör değerleri (G2V)	147
Tablo 6.25. Tüketici anketi ve BOT ile hesaplanan tüketim maliyetleri (G2V)	147
Tablo 6.26. Tek ve çift yönlü güç aktarım özelliklerinin mahallede karşılaştırılması.....	149

SEMBOLLER DİZİNİ

AA	Alternatif Akım
BMD	Bulanık Mantık Denetimi
BOT	Bayesyen Oyun Teorisi
CDB	Cihaz Dizi Boyutu
CS	Cihaz Sayısı
ÇKİB-YSA	Çok Katmanlı İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları
ÇYGD	Çift Yönlü Güç Dönüştürücü
DA	Doğru Akım
DÜS	Dağıtık Üretim Sistemi
EA	Elektrikli Araç
EDS	Enerji Depolama Sistemi
EYS	Enerji Yönetim Sistemi
FV	Fotovoltaik
G2V	Şebekeden Araca
GA	Genetik Algoritma
GKO	Gri Kurt Optimizasyonu
H2V	Konuttan Şebekeye
KB	Kromozom Boyutu
KEYS	Konut Enerji Yönetim Sistemi
MEYS	Mahalle Enerji Yönetim Sistemi
OBN	Ortak Bağlantı noktası
POO	Pik Ortalama Oranı
RT	Rüzgar Türbini
SOC	Batarya Şarj Durum
TTY	Temel Tarafı Yönetimi
TY	Talep Yanıtı
V2G	Araçtan Şebekeye
V2H	Araçtan Konuta
YSA	Yapay Sinir Ağı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Enerji yönetim sistemi (EYS) elektrik şebekesi, güç santralleri, iletim ve dağıtım hatlarının performansını optimize etmek için şebeke operatörlerine yardımcı olan bir programdır. Aralıklı üretime sahip güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının artmasıyla birlikte talep ve arzın dengelenmesi konusunda güçlükler yaşanmaktadır. Aynı zamanda konutlarda çatı tipi dağıtık üretim sistemleri, enerji depolama sistemleri ve elektrikli araçların yaygınlaşması, yaşanan güç sistemimiz üzerinden güç akışı yönetimini zorlaştırmaktadır. Modern elektrik şebekesi olarak tanımlanan akıllı şebeke, elektrik şebekesine bilgi teknolojisi ve kontrol kabiliyeti eklemiştir. Geleneksel şebeke ile karşılaştırıldığında akıllı şebeke merkezi kontrolden ziyade, dağıtık kontrolü tercih etmektedir. Elektrik şebekesinin dağıtık topolojiye sahip olması dağıtım şebekesinin etkisini arttırmanın yanında tüketicilerin güç santralleri ve iletim şebekesine bağımlılıklarını azaltır.

Bilgi teknolojileri ve kontrol teknikleriyle desteklenen akıllı şebekede müşterilerin şebeke ile etkileşime girebilmesi ve daha aktif bir rol oynayabilmesi için konutların bilgi teknolojileri cihazları ile donatılması gerekir [1], [2]. Akıllı konutlar ve mahallede ortaya çıkan güç koordinasyonu sorunlarının giderilebilmesi amacıyla konut ve mahalle düzeyinde hem akademik hem de endüstri alanında EYS çalışmaları yürütülmektedir.

Son kullanıcıları temsil eden akıllı konutlardaki sensör ve haberleşme ağı, EYS faaliyetlerinin yürütülebilmesi için yeterlidir. Kişisel alan ağı teknolojilerinin gelişmesiyle, sensör ve kontrol sistemlerinin konutlarda kurulumu kolaydır. Ayrıca elektrik tarifeleri, talep yanıtı ve talep tarafı yönetim programları EYS'ye büyük fırsatlar sunmaktadır. EYS sadece yerel yükleri planlamakla sorumlu değil, aynı zamanda son kullanıcılarla enerji tedarikçisi arasında etkileşimi sağlayan bir aracı gibi hareket etmektedir. Örneğin çatı tipi fotovoltaik (FV) gibi yenilenebilir kaynaklara sahip konutlarda EYS geleneksel optimizasyon yöntemlerini kullanarak yüklerin çalışma zamanlarını planlar ve böylece FV üretimden mümkün olduğunca faydalanılır. Ancak talep yanıtı programları uygulamaya konulduktan sonra EYS, FV üretimi yerel olarak kullanmanın yanında iyi bir fiyata da satabilir. Ayrıca EYS'nin gerçek zamanlı iletişim ve kontrol kabiliyeti sayesinde değişken fiyatlı elektrik tarifelerinin kullanımı konutlara daha iyi bir esneklik getirir.

EYS içerisinde kontrol teknikleri, veri tahmini ve yanıt verme mekanizması, EYS araştırmasında önemli konular olarak ortaya çıkmaktadır. Kullanılan EYS iletişim altyapısı akıllı konutlar ve mahallede güç koordinasyonunu büyük ölçüde sağlayabilir [3]. Mahalle genelinde EYS ile akıllı konutların arz ve talepleri doğrultusunda güç akışı koordine edilerek enerji verimliliği artırılabilir.

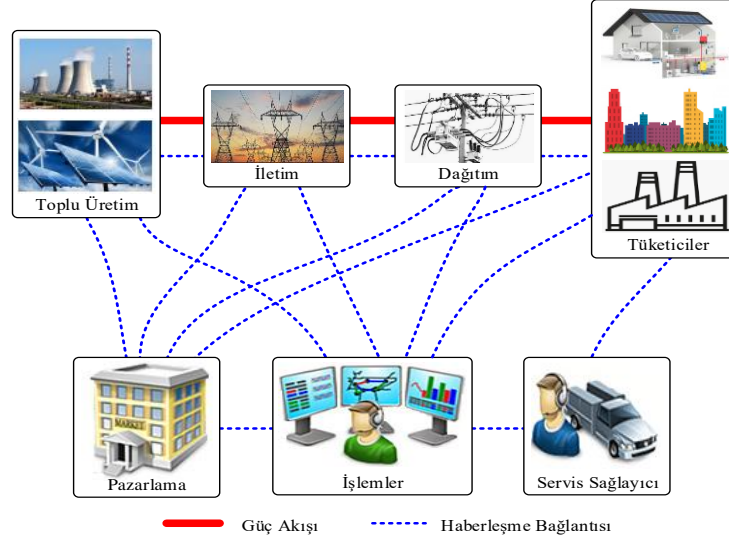
Bu tez çalışması kapsamında sık sık kullanılacak akıllı şebeke, mikro şebeke, akıllı konut, konut ve mahalle enerji yönetim sistemleri, talep tarafı yönetim, talep yanıtı programı ve elektrik tarifeleri gibi kavramların tanıtılması gerekmektedir.

1.1.1. Akıllı Şebeke

Elektrik şebekesi, üretim merkezleri ile milyonlarca abone arasında bağlantıyı sağlayan ve elektrik enerjisini taşıyan bir ağıdır. Elektrik şebekesinin rolü elektrik üretim santrallerinde elde edilen elektrik enerjisini kesintisiz ve kaliteli biçimde tüketicilere ulaştırmaktır. Şebekede oluşan kayıpların çoğu, iletkenlerin dirençlerinden kaynaklanan Joule kayıplarıdır. İletim kayıplarını azaltmak için en uygun çözüm gerilim seviyesini yükseltmektir. Santral çıkışlarında yükseltilen gerilim uzun mesafelerde yüksek gerilim iletim hatları ile taşınır ve daha sonra gerilim seviyesi düşürülerek dağıtım hatları üzerinden son tüketim noktalarına aktarılır. Elektrik şebekesi farklı gerilim seviyelerinde üretim, iletim, dağıtım ve tüketim olmak üzere dört alt sisteme ayrılmıştır [4].

Elektrik üretimi dönüştürülebilir enerjilerin farklı gerilim seviyelerinde elektrik enerjisine dönüştürülmesidir. Dönüştürülebilir enerjiler bir tarafta kömür, akaryakıt, fosil yakıtlar ve nükleer enerji gibi yenilenemeyen ve diğer tarafta güneş, rüzgâr, hidro ve dalga enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklardan oluşur [5]. İletim ve dağıtım şebekeleri elektrik üretim noktalarından tüketicilere yüksek, orta ve alçak gerilimde aktarır. Elektrik tüketicileri konut, ticari, endüstri ve ulaştırma sektörleri olmak üzere dört alana ayrılmıştır [6].

Fosil yakıtların azalması ve sera gazı emisyonlarının artması nedeniyle enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve tüketimin kontrol edilmesi son derece önemlidir. Bu olumsuzlukların üstesinden gelebilmek için yenilenebilir üretim son zamanlarda gündemde olan önemli bir kaynaktır [7]. Bunun yanında gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde güç talebi sürekli artmaktadır. Sürekli artan enerji talebine karşı mevcut üretim kısa sürede yetersiz kalacak ve fosil yakıtlardan kaynaklanan karbon emisyonları uzun vadede iklim değişikliklerine neden olacaktır [8].



Şekil 1.1. Akıllı şebeke kavramsal modeli

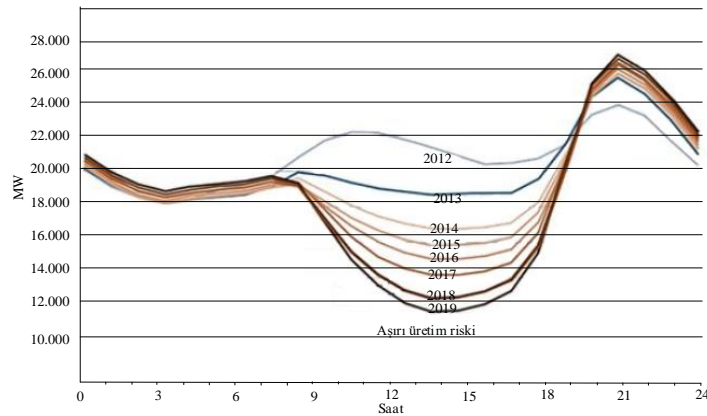
Dağıtık kontrol isteği, aralıklı üretimi arttırma, yoğun dönemlerde elektrik talebindeki artışlar sebebiyle şebeke altyapılarını yenileme ihtiyacı doğmuştur. Bu ihtiyaca cevap vermenin yollarından biri akıllı şebeke teknolojileriyle donatılmış bir elektrik şebekesi geliştirmektir. Akıllı şebeke sürdürülebilir, ekonomik ve güvenli elektrik kaynaklarını verimli bir şekilde tüketicilere iletmek için kendisine bağlı tüm kullanıcıların eylemlerini akıllıca entegre edebilen bir elektrik şebekesidir [9]. Bu kapsamda dijital kontrol ve bilgi teknolojilerinin kullanımını arttırmak, arz-talep dengesi ve şebeke işleyişiyle ilgili siber güvenliğin dinamik bir optimizasyonunu geliştirmek amaçlanmıştır. Talep yönetimi ve kontrolü, yenilenebilir enerji entegrasyonunun artması, merkezi olmayan üretim ve depolama birimlerinin artması, akıllı sayaçların konuşlandırılması, akıllı cihazların ve müşteri hizmetlerinin sağlanması amaçlanmaktadır.

Akıllı şebekelerde tüketiciler gerçek zamanlı bilgilere erişim sağlar ve iki yönlü iletişim, dağıtık üretim ve kontrol edilebilir yükler gibi teknolojilerden yararlanabilir. Böylece tüketiciler pasif katılımcı durumdan aktif hale geçebilir [10].

Elektrik şebekesi operatörleri tüketicilerin değişen taleplerine üretimi ayarlayarak yanıt verir. İletim ve dağıtım tesisleri tüketici taleplerini etkin ve güvenilir bir şekilde nominal değerleri aşmayacak şekilde karşılar. Santrallerin üretim kapasitesi maksimum pik taleplere uyum sağlayacak şekilde oluşturulmuştur. Ancak pik talepler nüfus artışı, yeni tüketim alışkanlıkları ve cihaz sayısındaki artışa bağlı olarak zamanla artma eğilimindedir. Artan elektrik talebi merkezi toplu üretim tesisleri tarafından karşılanabilse de bu yüksek kapasiteleri karşılamak için iletim ve dağıtım sisteminin yükseltilmesi gerekir. Ancak bu tür

bir yaklaşım pahalı ve çok yavaş olacaktır. Bunun yerine son kullanıcı yüklerine yakın bir konuma yerleştirilecek dağıtık üretim sistemleri (DÜS) inşa etmek iletim ve dağıtım sistemlerinin yükünü azaltacağından umut verici bir alternatif çözüm olarak sunulmaktadır [11]. Yenilenebilir kaynaklardan oluşan DÜS aralıklı üretim özelliğine sahip olması şebeke açısından bir belirsizlik oluşturmaktadır. Dağıtık üretimin stokastikliği tüketicinin belirsiz davranışı ile birleştiğinde, sistem operatörleri için üretim ve talep arasında gerçek zamanlı bir denge sağlamada daha büyük zorluklar oluşur. Üretim ve talep arasındaki bu belirsizlik, maliyetli bir yöntem olmasına rağmen enerji depolaması kullanılarak giderilebilir [12].

Öte yandan diğer bir yaklaşım da talep tarafı kaynakların esnekliğini arttırmaktır. Bu tür yaklaşımlar tüm sistem hakkında kapsamlı ve güvenilir bilgiler gerektirir. İletim ve dağıtım sistemi üzerinde bu bilgilere sensörler ve veri toplama kartları kullanılarak erişilebilir. Böylece DÜS ve enerji depolama gibi kaynaklar izlenerek ihtiyaç durumunda son kullanıcıdan şebekeye enerji akışı sağlanabilir. Bu tür yerel kaynaklar sayesinde son kullanıcıların elektrik şebekesine aktif katılımları sağlanabilir. Küçük ölçekli üreticilerin (tüketici üreticiler) şebekeye bağlanması, üretimin enerji üretim santrallerinden talep tarafına bir miktar kaymasına neden olur [13]. Bu durum iki yönlü bilgi ve güç alışverişi ile akıllı şebekelerin tüm seviyelerinde kaynakların daha iyi kullanılması için enerji verimliliğinin artırılmasını kolaylaştırır.



Şekil 1.2. Yük profilinde ördek eğrisi [14]

Geleneksel şebekeden akıllı şebekeye geçiş sonrasında merkezi kontrol ve üretimden tüketime doğru olan yaklaşım yerini, merkezi olmayan kontrol, dağıtık üretim, çift yönlü bilgi ve güç akışına bırakmıştır. Dağıtık üretimin şebekeye hızlı şekilde entegre olması hem iletim hem de dağıtım düzeyinde güç dalgalanmalarına ve şebekede belirsizliklere sebep

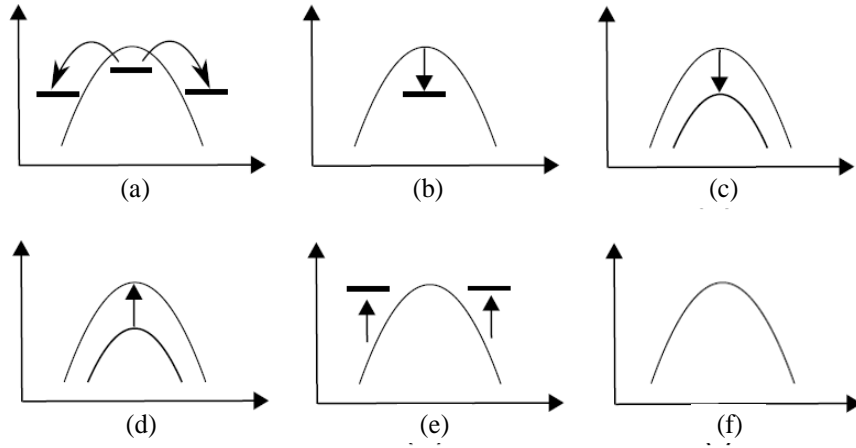
olmaktadır [15]. Ayrıca FV ve elektrikli araç kullanımı, konut ve ticari yük modellerinde kaymalara neden olmaktadır [16]. Şekil 1.2’de ördek eğrisi olarak tanımlanan grafikte FV üretimden dolayı yük profilinde derin bir vadi oluştuğu ve güneş ortadan kaybolduktan sonra normal yük profiline devam edildiği görülmektedir. FV yatırımlara bağlı olarak güneşten üretilen elektrik miktarının her geçen yıl artmasıyla vadi derinliği artar. Bu grafikte FV üretimin artmasına rağmen tüketicinin yük profilinde herhangi bir değişiklik olmamıştır. Bu eğri sadece bir bölge için değil, FV sistemlerin entegre olduğu çoğu bölge için geçerlidir. FV sistemlerin yoğun olduğu bölgelerde yük profilinin yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. Çünkü ördek eğrisi beraberinde güç sistemi işletmecileri ve planlamacılarına iki önemli sorun getirir. Bunlardan ilki FV üretim mevcut değilken, pik yükü karşılayacak kadar geleneksel üretim kapasitesini korumaktır. İkincisi hem yük hem de yenilenebilir üretim kaynaklarının neden olduğu değişimleri takip edebilecek kadar esnek rampa kaynakları sağlamaktır [17]. Yük profilinin yenilenebilir üretime göre düzenlenmesi ve oluşan pik yükleri güç içerisine yayılması için talep tarafı en uygun şekilde yönetilmelidir.

1.1.2. Talep Tarafı Yönetimi (TTY)

Talep Tarafı Yönetimi (TTY) güç sisteminin stresini hafifletmek için enerji dengeleme yöntemini kullanarak talep tarafında alternatif çözümler sunar. TTY; yük kayması [18], tepe tıraşlama [19], yük takibi [20], frekans tepkisi [21] ve aralıklı üretim kaynaklarının düzgünleştirilmesi [22] yaklaşımlarını içermektedir. TTY yaklaşımları tüketicilerin elektrik taleplerine göre üretimi ayarlamak yerine, tüketicilerin elektrik yüklerini azaltarak veya kontrol ederek enerji kaynaklarının kullanım etkinliğini arttırmayı amaçlar [23]. TTY programlarının en temel hedefi son kullanıcıların tüketim alışkanlıklarını şebekenin ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde planlamak, uygulamak ve değiştirmektir. TTY puant talebi azaltma, düşük talep zamanlarını doldurma, stratejik talep tasarrufu, stratejik talep büyümesi, yük öteleme ve esnek yük şekillendirme gibi amaçların gerçekleştirilmesinde kullanılabilir [24]. Şekil 1.3’te gösterilen TTY yaklaşımları ayrıntılı biçimde incelenmiştir.

- Puant talebi azaltma veya toplam pik yükün azaltılması işlemi yoğun saatlerdeki elektrik tüketiminin düşürülmesini amaçlamaktadır. Puant talebin azaltılması tüketimin pik kapasitesini düşürmeye yardımcı olur. Böylece işletme maliyetleri ve fosil yakıtlara bağımlılık azalır.

- Düşük talep zamanlarını doldurma işlemi ile düşük elektrik fiyatlarından yararlanılarak tüketimin az olduğu saatlerinde talebin artırılması ve böylece toplam maliyetin düşürmesi ve güç sistemi verimliliğinin artırılması amaçlanır.
- Yük kaydırma işlemi pik saatlerdeki taleplerin diğer saatlere erteleyerek pik taleplerin azaltılmasını sağlar. Bu bağlamda tüketim eğrisini düzleştirilmesi ve verimli kaynak kullanımının geliştirilmesi için yükün çalışma saatleri planlanır.
- Stratejik talep tasarrufu işlemi mevsimsel enerji tüketimini azaltılmasıyla enerji israfını azaltır ve tüketim verimliliğini artırır. Bu program oldukça kapsamlı ve teknolojik değişim için teşvikler içerir.
- Stratejik talep büyümesi işlemi ile düşük talep zamanlarını doldurmanın ötesinde toplam yükün akıllıca artırılması hedeflenmektedir. Söz konusu büyüme elektrikli araçların güç şebekesine entegrasyonundan kaynaklanabilir.
- Esnek yük şekillendirme işlemi sistem güvenilirliği ve planlama kısıtlamalarına dayalı şebekenin gereksinimine göre belirli saatlerde yükün sınırlandırılması veya tüketimin şekillendirilmesidir. Dağıtım trafolarının aşırı yüklenerek ömrünün kısalmasını önlemek için güç sınırlama stratejisi buna örnek bir uygulama olabilir.



Şekil 1.3. TTY yaklaşımları (a) yük kaydırma, (b) puant talebi azaltma, (c) stratejik talep tasarrufu, (d) stratejik talep büyümesi, (e) düşük talep zamanlarını doldurma, (f) esnek yük şekillendirme [25].

Yukarıda belirtilen puant talebi azaltma, stratejik talep tasarrufu ve yük kaydırma literatürde en çok kullanılan tekniklerdir. Bu tekniklerin başarılı şekilde gerçekleştirilmesi yüksek kapasiteli enerji hatları ve trafoların kurulmasını önler veya belirli bir süre erteler.

1.1.3. Talep Yanıtı

Talep Yanıtı (TY) programları akıllı şebeke tüketicilere etkili kontrol aracı sağlar. Tüketicilere elektrik tüketim maliyetlerini en aza indirmeleri için tüketimi izleme, azaltma veya değiştirme fırsatı sunar. Hem elektrik tarifeleri hem de TY programlarının tüm üretim, iletim ve dağıtım sistemleri verimliliğinde etkin bir rolü vardır. Bu bağlamda Pik tüketimin Ortalama tüketime Oranı (POO) azaltılarak güç sisteminin verimliliği artırılır. Böylece hem kamu kuruluşları elektrik arz ve talebini daha koordineli ve verimli şekilde yönetir hem de tüketiciler programın finansal teşviklerinden yararlanır. İki tür TY programı vardır.

1.1.3.1. Fiyat Tabanlı TY Programı

Fiyat tabanlı programlarda enerji tedarikçisi, talep yoğunluğunu en aza indirmek için zamana dayalı fiyatlandırma planlarını kullanarak son kullanıcıların tüketimlerini dolaylı yoldan etkiler. Böylece tüketici elektrik kullanım miktarı ve süresini tercihe bağlı değiştirebilir. Tüketicileri programa aktif biçimde katılmaya teşvik etmek için çeşitli fiyatlandırma algoritmaları kullanılmaktadır [26], [27].

- Kullanım süresi, gün içerisinde saatlere göre farklı fiyat oranlarının kullanıldığı bir fiyatlandırma mekanizmasıdır. Düşük, ortalama ve pik tüketimli dönemler olarak tanımlanabilir. Fiyatlandırma tüketimin en yoğun dönemlerde daha yüksek, düşük olduğu dönemlerde daha düşük olacak şekilde tasarlanır [28].
- Gerçek zamanlı fiyatlandırma, günün her saati için dinamik fiyat oranlarına sahiptir. Bu oranlara ilişkin tahminler, enerji tedarikçisi tarafından tüketicilere bir gün veya bir saat öncesinden verilir. Gerçek zamanlı fiyatlandırma, kullanım süresinden daha değişkendir ve arz-talep dengesini daha iyi yansıtır [29].
- Kritik pik fiyatlandırma, çalışma koşullarının kritik olduğu dönemlerde tüketicilere daha yüksek fiyatlar sunmak için kullanım süresine ilave bir fiyatlandırma mekanizmasıdır ve yılda sadece birkaç kez kullanılır [30].

1.1.3.2. Teşvik Tabanlı TY Programı

Teşvik tabanlı TY programlarında enerji tedarikçisi tüketicilere finansal teşvikler veya ödüller sunar. Bu programa katılan tüketiciler sözleşmede belirtilen şartlara bağlı kalarak

tüketimlerini değiştirmeleri durumunda finansal teşvik alır. Teşvik tabanlı TY programı kendi içerisinde altı farklı kategoriye ayrılabilir.

- Doğrudan yük kontrolünde, şebeke sorunları veya üretim kesintilerinin çözümü sırasında güç tüketimini azaltmak amacıyla tüketicilerin yüklerine uzaktan erişilir veya doğrudan kontrol edilir. Son kullanıcı doğrudan yük kontrol programlarına katıldığında daha düşük elektrik faturası ödemesine rağmen programa katılanların kontrol edilebilir yükleri sık sık kesintiye uğraması nedeniyle tüketici konforunu olumsuz etkilemektedir [31].
- Yük sınırlamada, enerji tedarikçisi son kullanıcılara kapatılabilecek cihazların belirlenmesinde esneklik sunar. Bu kapsamda tedarikçi tarafından belirlenen güç sınırına göre kullanıcılar cihazlarını kapatarak veya yeniden planlayarak güç tüketimini azaltmaları karşılığında teşvik alır, buna uymazlarsa cezalandırılır [32].
- Talep teklifinde, tüketiciler önceden belirlenen elektrik fiyatlarına göre yük azaltma için teklif sunar ve teklif onaylanırsa tüketiciler elektrik kullanımı azaltır, aksi takdirde enerji tedarikçisi tarafından cezalandırılırlar [33].
- Acil talep müdahale programları güç sisteminin güvenilirliği söz konusu olduğunda zamana dayalı TY programlarından daha çok tercih edilir. Çünkü güç sistemi stres koşulları altında tüketici (özellikle endüstriyel veya ticari tüketici) tesislerinde yük azaltma gereklidir [34].
- Kapasite pazarlama programları sistem koşullarında beklenmedik bir durum ortaya çıktığında son kullanıcıların aşırı yüklerini azaltacağı düzenlemeleri tanımlar. Programa katılanlar genellikle yük azaltma gerektiren olaylara ilişkin bildirim alır. Eğer programa katılanlar yüklerini azaltmada başarısız olurlarsa cezalandırılır. Teşvikler genellikle ön rezervasyon ödemelerinden oluşur [35].
- Yan hizmetler pazarı, elektrik enerjisinin güvenilirliği sağlayan ve tüketicilere iletilmesini destekleyen hizmetlerdir. Bu hizmetler enerji dengesizliği, işletme rezervleri, acil durum rezervleri, ek rezervler, reaktif besleme, frekans tepkisi, gerilim kontrolü ve düzenleme gibi işlevleri kapsar [36].

TY programları sadece elektrik maliyetini düşürmekle kalmayıp, aynı zamanda fosil yakıtlı santrallerin toplam üretimdeki payını düşürerek, karbon (CO₂) emisyonlarının azaltılmasında da önemli rol oynar. Sonuç olarak TY hem tüketiciler hem de enerji tedarikçisi için fayda sağlayabilir. Bir taraftan kullanıcıların tüketim alışkanlıklarını değiştirerek elektrik maliyetini azaltırken, öte yandan TY şebeke varlıklarında çalışma

stresini düşürerek, kesinti riskini en aza indirir. Böylece yenilenebilir üretimin etkin kullanımını sağlayarak, şebeke güvenilirliğini ve dengesini güvence altına alınmasında enerji tedarikçisine yardımcı olur.

1.1.4. Talep Yönetimi Avantajları

Son kullanıcıların yük karakteristikleri ve tüketim alışkanlıkları anlaşıldığında talep tarafı programları daha esnek seçimler yapabilir. Elektrik fiyatının değişken olması ve TY programlarına bağlı yük kontrol algoritmalarının yüklerin çalışmasında alternatif planlar oluşturması tüketicilere cihazlarını çalıştırmada daha esnek seçimler sunmaktadır. Bu esneklik cihaz türlerine ve enerjini kullandığı sektörler göre farklılık gösterebilir. Bu nedenle her bir sektörün yük profilleri, katılım fırsatları ve yük yönetimi modelleri araştırılarak sınıflandırılmalıdır. Talep yönetimi konut, ticari, endüstriyel ve ulaşım sektörü tüketicileri için kullanılmaktadır.

1.1.4.1. Konut Sektörü

Toplam enerji tüketiminin %30'unu temsil eden bu sektörde elektrikli cihazlar ana tüketim kaynaklarıdır. Bu sektördeki tüketicilerin gizlilik kaygıları, konfor seviyeleri, ev yapıları ve kullandığı cihazların çeşitlilikleri nedeniyle yük profilleri iyi analiz edilmelidir [37]. Bu sektörün her bir üyesi (konutlar) dağıtık üretim, enerji depolama, elektrikli araç (EA) ve elektrikli cihazlar gibi bileşenlerden bazılarını veya hepsini içerebilir. Konutlarda bulunan yönetim sistemi hava durumu, değişen elektrik fiyatları gibi gerçek zamanlı bilgilere erişim sağlar, değerlendirir ve güç bileşenlerini tüketici tercihleri doğrultusunda yönetir. Konutlarda yüklerin güç tüketimi akıllı prizle, sıcaklık ve ışınım gibi çevresel faktörler ise sensörle ölçülür [38]. Ölçülen bilgiler, kullanıcı tercihi ve fiyat sinyali iletişim ağı üzerinden enerji yönetim sisteminde toplanır . Bu tür bilgiler bilinçli kararlar vermek ve cihazları kullanma tercihlerine göre belirlemek için çok önemlidir. Konut sektöründe her kullanıcı coğrafi konuma, iklim koşullarına, kullanım zamanına (saat, mevsim vb.) ve ekonomiye bağlı olarak farklı enerji tüketim alışkanlığına sahiptir. Bu nedenle bir evin enerji tüketimi modellenirken son kullanıcı ile ilgili tarihsel bilgiler de dikkate alınmalıdır [39].

1.1.4.2. Ticari Sektör

Ticari sektör, kamu ve özel hizmet binalarından oluşur. Konut sektörü ile karşılaştırıldığında, ticari sektör yüksek enerji tüketimine sahip olduğundan daha merkezi bir yapıya sahiptir. Tüketim kaynaklarının çoğu konut sektörü ile aynı olmasına rağmen bu kaynaklar konutlara oranla daha fazladır. Ticari binaların yüksek güç tüketimine sahip yükler içermesi, dağıtım şebekesinde yük atma yöntemi kullanılarak pik taleplerin azaltılmasında enerji tedarikçisine önemli fırsatlar sunabilir. Talep tarafındaki yük yönetimi ve yenilebilir üretimin entegrasyonu gibi çözümlerin yanında ısıtma ve iklimlendirme cihazları gibi ünitelerin çalışmalarını erteleyerek, kritik koşullarda binaların en yüksek yük tüketimini azaltırken önemli miktarda işletme maliyeti düşürülebilir [40].

1.1.4.3. Endüstriyel Sektör

Endüstriyel yükler diğer sektörlerle oranla en fazla enerjiyi tüketmektedir. Bu sektördeki makinelerin çoğu karbon tabanlı enerji kaynakları (petrol) kullandığından tüm sektörler arasında çevreye zarar verme konusunda en büyük paya sahiptir. Bu sektör çok sayıda farklı sanayi tiplerini (örneğin otomotiv, tekstil, mobilya, elektronik) içerir ve çeşitli elektrik makineleri (örneğin motorlar, türbinler, vanalar, pompalar, kompresörler) bulundurulur. Bu yüzden sanayi sektörü elektrik şebekesinde talep tarafı yönetimi için çeşitli olanaklar sağlayabilir. Sanayi kuruluşları farklı üretim aşamalarına ve farklı tip makineler kullanıldığı için yük profilleri farklılık gösterir. Bu nedenle endüstriyel yükler için esneklik fırsatlarını kullanmak diğer sektörlerle kıyasla daha zordur [41]. Endüstri sektöründe imalatın belirli aşamalardan oluşması sebebiyle makinelerin çalışması kendi üretim planı içerisinde programlanarak yüklerin koordineli bir şekilde kontrol edilmesi sağlanabilir [42]. Ancak her tüketici için başarılı sonuçlar garanti etmez. Sonuç olarak talep yönetimi her tüketici için uyarlanmasına rağmen her tüketici tipi için genel bir çözüm bulmak zordur.

1.1.4.4. Ulaşım Sektörü

Tüm sektörler arasında en düşük elektrik tüketim miktarına sahip ulaşım sektörüdür. Ancak ulaşım sektöründeki araçların çoğu enerji ihtiyaçlarını petrol tüketerek sağladığından aslında tüm sektörler arasında en yüksek enerji tüketim sorumluluğu bu sektördedir. Elektrikli

araç, otobüs ve tren gibi birçok araç türünden oluşan ulaşım sektöründe fosil yakıtlar yaygın şekilde kullanıldığından karbon emisyonunu önemli miktarda etkilemektedir. Bu bağlamda çevresel kaygılar nedeniyle ve son birkaç on yılda elektrikli araçlara (EA) ilgi önemli oranda artmıştır. Ancak bu artış elektrik şebekesinin güvenilirliğini ve istikrarını tehdit etmektedir. Çünkü bir elektrikli aracın şarj edilmesi, tipik bir evin elektrik tüketimine kıyasla iki veya üç kat daha fazla güç gerektirmektedir [43]. Bu durum, iletim ve dağıtım sisteminin kapasitesi artırılarak şebekenin güçlendirilmesini gerektirmektedir. Aksi takdirde, şebeke güvenilirliğini ve tüketici konforunu korumak için akıllı şarj stratejileri kullanılmalıdır.

1.1.5. Mikro Şebeke

Mikro şebeke normalde elektrik şebekesine bağlı ve eşzamanlı olarak çalışan ancak elektrik şebekeden ayrıldığında (ada modunda çalışma) şebeke bağlantısı kesilen, fiziksel veya ekonomik koşullar gereği özerk olarak çalışmasını sürdüren yerel güç kaynakları ve yük grubudur. Mikro şebekenin temel amacı ticari, endüstriyel ve kırsal müşteriler gibi tüketicilere özerk, güvenilir, sürekli, güvenli ve yüksek kalitede enerji sağlamaktır [44]. Güç şebekesi gibi üretim ünitesi, dağıtım sistemi, gerilim ve frekans düzenleme, depolama, akıllı sayaç, kontrolsüz ve kontrol edilebilir yüklere sahiptir.

Mikro şebeke tüketicilerin güç tüketim miktarı ve zamanını ayarlama konusunda onlara karar vermelerinde yardımcı olabilir. Talep yanıtı programları, mikro şebeke operatörü ile tüketici arasındaki anlaşmalara dayanır [45]. Mikro şebekeler genellikle üniversite kampüslerinde, şantiye alanlarında, sanayi bölgelerinde, askeri üslerde, yerleşim alanlarında ve çiftliklerde kullanılmaktadır. Günümüzde gelişmiş ve gelişmekte olan birçok ülkelerde mikro şebeke örnekleri mevcuttur. Özellikle FV ve RT gibi dağıtık üretim tesisleri ve depolama sistemleri kullanarak elektrik maliyetlerini önemli oranda düşürmektedir [46].

1.1.6. Akıllı Konut

Teknolojide çığır açan değişiklikler günlük yaşantıyı kolaylaştırmaktadır. Başlangıçta elle açık/kapalı olarak çalışan birçok cihaz günümüzde çoklu duruma veya fonksiyona sahiptir. Özellikle yapay zekâ alanındaki gelişmeler cihazların insanlarla etkileşimini mümkün kılmaktadır.

Akıllı konut hem donanım hem de yazılım bileşenlerinden oluşan teknolojik bir platformdur. Konut otomasyon sistemi internet bağlantısı kullanılarak cihazlara uzaktan erişme ve kontrol etme imkânı sunmaktadır. Tüketiciler önceden belirledikleri programa göre bir cihazı açıp kapatma, ortam sıcaklığına göre klimayı çalıştırma, EA şarj zamanını belirleme imkanını sahiptir. Aynı zamanda konut otomasyon sistemi elektrik maliyetinin önemli oranda azaltılmasına yardımcı olur. Ancak akıllı konutlarda elektrik maliyeti başlangıçta belirli bir süre standart konuttan daha yüksek olabilir. Tüketicilerin konuttaki otomasyon ve kontrol sistemine alışması, enerji tüketimlerini düzenlemeleri için teşvik ve promosyonlar almaları elektrik maliyetini kademeli olarak düşürecektir.

Akıllı şebeke bileşenlerinden biri olan akıllı sayaçlarla elektrik tüketimini izleme, kaydetme ve faturalama birimine bilgi aktarma işlemleri yapılabilmektedir. Elektrik arz ve talebini dengelemek için gerçek zamanlı tüketim verilerini ölçmesi, tüketicilerin elektrik faturalarını düşürmelerine yardımcı olmak için geri bildirim olabilir [47].

Akıllı prizler hem bağlı buldukları cihazların akım, gerilim veya gücünü ölçer hem de ev içi ağırlara bağlanarak cihazları uzaktan izleme ve kontrol edebilir [48]. Sıradan bir konutu akıllı konuta dönüştürmenin en kolay ve en uygun yolu konutu akıllı prizlerle donatmaktır. Konutları akıllı özelliği kazandıran bir başka faktör de konuttaki cihazlardır. Günümüzde akıllı uygulamaların çoğu aydınlatma, ısıtma veya iklimlendirme kontrollerini içermesine rağmen yakın gelecekte hemen hemen tüm cihazları kapsayacaktır .

1.1.7. Konut Enerji Yönetim Sistemi

Konut enerji yönetimi sistemi (KEYS) akıllı bir konutta giriş parametrelerine göre güç bileşenleri hakkında tüm kararları veren bir algoritmadır. Akıllı konut ve KEYS kavramları pratikte birbirinin yerine kullanılmasına rağmen birbirinden farklıdır. Akıllı konut üretim, depolama, elektrikli cihazlar, elektrikli araç ve KEYS gibi donanımsal bileşenlere sahipken, KEYS bu bileşenlerin çalışmaları için kararlar destek sistemi olarak çalışır [49]. Böylece konut sakinlerinin enerji tüketimini azaltmak, tüketim alışkanlıklarını değiştirmek suretiyle enerji kaynaklarını yönetmek konusunda daha iyi kararlar alabilir.

KEYS tüketicinin elektrik üretimi ve tüketimini verimli bir şekilde izlemesini, kontrol etmesini ve yönetmesini sağlayan yazılım arayüzüdür. KEYS dahil olduğu talep yanıtı programı doğrultusunda talep yükü yoğunluğunu azaltabilir ve konutta cihazların çalışma sürdürülebilirliğini sağlayabilir. Öte yandan yenilenebilir kaynakları ve elektrikli araçları

kullanılarak, kişi başına düşen karbon salınımının düşürülmesi, enerji tüketiminin azaltılması ile birleştirildiğinde yaşanabilir bir çevre için önemli bir başarıdır [50].

KEYS güç tüketimini ve elektrik faturasını en aza indirirmenin yanında tüketicinin konfor düzeyini en üst seviyeye çıkarır. Elektrik şebekesinden satın alınan enerji ve tüketicinin şebekeye sattığı gerçek zamanlı miktarları, elektrik fiyatları, dağıtık üretim miktarı, cihazların durumlarını dikkate alarak elektrik kullanımını gösterir ve tahmin eder. Ayrıca konutta üretimden tüketime güç akışının her evresini izleyerek konuttaki her cihazın kullandığı enerjiyi ve toplam elektrik maliyetini belirler [51]. Konut sakinlerine bilgi vererek enerji tasarrufu yapmalarını sağlar.

1.1.8. Mahalle Enerji Yönetim Sistemi (MEYS)

Akıllı mahalle elektrik ve iletişim ağı ile ortak bir bağlantı noktasından akıllı konutlara bağlanır. Akıllı konutların eylemlerini gerçekleştirmek amacıyla MEYS ile iletişimi mahalle alan ağı üzerinden kurulur. Mahalle alan ağı üzerinden akıllı konutların iletişim ve güç akışı koordine edilerek mahalle genelinde enerji yönetimi sağlanır. Konutlardaki dağıtık üretim, depolama ve yükler hakkındaki bilgiler akıllı sayaçlar üzerinden alınır. Bu bilgiler genellikle trafo noktasına yakın bir yerde konuşlanan MEYS tarafından toplanır [52].

MEYS akıllı konutlar ile enerji tedarikçisi arasında köprü görevini üstlenir. MEYS konutlardaki KEYS'in çalışma planlarına bakarak mahallenin ortak çıkarlarını gözetir ve onlara uygulamaları gereken stratejileri söyler. MEYS birçok müşteriye yük azaltması için yönlendirme yapar ve onların azaltıkları yük kapasitelerini toplayarak, enerji tedarikçisinin bu kapasiteleri başkalarına satmasına aracı olur. Böylece katılımcılar gelir sağlar [53], [54].

MEYS konutların yük profillerini değerlendirerek optimum mahalle yük profili oluşturur. Böylece dağıtım trafosunun aşırı yüklenmesini, dağıtım şebekelerinde gerilim düşümlerini, frekans kaymasını ve iletim aşamasında güç kayıpları en aza indirir. Ayrıca bunları yaparken kullanıcıların elektrik masraflarını düşürmeyi de göz ardı etmez [55], [56].

1.2. Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı, iki aşamalı bir EYS algoritması geliştirmektir. İlk aşamada konut düzeyinde bir KEYS modeli, ikinci aşamada ise mahalle genelinde bir MEYS modeli

geliştirmektedir. KEYS algoritması konutlardaki elektrikli cihazları optimum şekilde programlama ve elektrik şebekesinden elektrik alımı veya şebekeye elektrik satımı, enerji depolama (EA ve batarya) sistemlerinin şarj ve deşarj edilmesi ile ilgili en uygun kararların alınmasından sorumlu iken, MEYS algoritması aynı dağıtım trafosundan beslenen konutların bilgi ve güç akışının koordine edilmesini sağlar.

KEYS modeli elektrik fiyatlarını, dağıtık elektrik üretimini, konuttaki her cihazın elektrik talebini, batarya depolama kapasitesini ve şebeke kısıtlamaları dikkate alınarak bir planlama problemini çözmektedir. Geliştirilen KEYS modelinde planlama problemini çözmek için Genetik Algoritma (GA) ve Gri Kurt Optimizasyonu (GKO) yöntemleri kullanılmıştır. Planlama problemi son kullanıcıların konfor kısıtlamalarını ihlal etmeden minimum tüketim maliyeti ödemesini amaçlar. KEYS modeli çok sayıda çalıştırılarak farklı çalışma planları üretilir.

MEYS modelinde elektrik fiyatları, indikatör indisi ve konutların çalışma planları doğrultusunda mahalle yük profilini en uygun şekilde düzenlemektir. MEYS dağıtım trafosunun aşırı yüklenmemesi, enerji tedarikçisinin kararlı bir şekilde enerji sağlaması, iletim ve dağıtım kayıplarının en aza indirilmesi için mahalle yük eğrisinin düzleştirilmesini amaçlar. Bu bağlamda geliştirilen MEYS Bayesyen Oyun Teorisi (BOT) yöntemini kullanarak konutların hangi planlarını uygulamalarını karar verir.

İki aşamalı EYS algoritması geliştirilerek aşağıdaki hedefler gerçekleştirilmiştir.

- Dağıtık üretim sistemlerinin elektrik üretimini tahmin etmek.
- Elektrikli cihazları matematiksel olarak modellemek ve kontrol etmek.
- Dağıtık üretim ve depolama sistemlerini etkim şekilde kullanmak.
- Farklı çalışma senaryoları altında KEYS ve MEYS modellerini analiz etmek.
- Konut sakinlerinin konforunu ihlal etmeden tüketim maliyetlerini düşürmek.
- Konutların ve mahallenin yük profilini düzleştirmek.

1.3. Literatür Araştırması

Konut ve mahalle düzeyinde EYS çalışmalarını kapsayan bir literatür araştırması yapıldığında, farklı isimler altında birçok çalışma bulunmasına rağmen bunların çoğunun benzer işlemlere sahip olduğu görülmüştür. Öncelikle çalışmaların temelini konut düzeyinde EYS oluşturmaktadır. Çünkü bir konutun enerji yönetimi sağlanmadan bir mahallenin enerji

yöneyimi yapılamaz. Bu bağlamda son yıllarda konutların enerji yönetim problemini çözmek için güç tüketim maliyeti, çevresel faktörler, yük profilleri ve tüketici konfor seviyesi dikkate alınarak çeşitli çalışmalar sunulmuştur.

Geliştirilen KEYS modelleri; elektrikli cihaz türleri, enerji depolama sistemlerinin kullanılabilirliği, elektrikli araçların varlığı, klima ve su ısıtıcı kullanımı, yenilenebilir enerji kaynakları veya çeşitli şebeke işlemlerine bağlı olarak değişmektedir. Bu bağlamda literatür, tezin bu bölümünde dağıtık üretim sistemleri, enerji depolama sistemleri, elektrikli araçlar, elektrikli cihazlar, elektrik fiyat tarifeleri, belirsizlikler, amaç fonksiyonları, planlama ve kontrol teknikleri olarak alt bölümler halinde incelenmiştir.

1.3.1. Dağıtık Üretim Sistemleri

Merkezi olmayan, küçük, modüler ve ihtiyaç duyulduğunda elektrik enerjisi sağlayabilen enerji kaynaklarına dağıtık üretim sistemi (DÜS) denir. Dağıtık üretim alçak gerilim seviyesinde üretilen elektrik enerjisini şebekeye, konutlara veya ticari binalara aktaran bir güç sistemi bileşenidir. Dağıtık üretimde birincil enerji olarak güneş, rüzgâr, gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesinin nedenleri, onların ücretsiz olması, doğada rahatlıkla bulunabilmesi ve enerji üretimi sırasında çevreye zarar vermemesidir. Dağıtık üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinde güç akışını azaltarak iletim ve dağıtım kayıplarını ve maliyetlerini düşürür [57]. Ayrıca güç sisteminin mikro şebeke (ada) modunda çalışmasına izin verir. Bütün bu avantajları dikkate alındığında son yıllarda rüzgâr ve güneş enerjisi teknolojilerinin gelişimiyle birlikte bu üretim sistemlerinin toplam elektrik enerjisi üretimindeki payı artmaktadır. Avrupa çapında küçük ölçekli güneş enerjisi santralleri için tüketicilere pek çok teşvik programı sunulmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları büyük ölçüde doğa olaylarına dayanmaktadır. Bu nedenle FV ve RT üretim tahminini doğru şekilde belirleyebilmek için panel büyüklüğü, RT çapı, verimlilik gibi panel ve RT'nin özelliklerinin yanı sıra güneş ışınımı, sıcaklık, rüzgâr hızı gibi parametrelerin doğru şekilde tahmin edilmesi gerekir. Literatürde FV üretim tahmini için k-NN ve YSA yöntemleri önerilmiştir [58], [59].

Yenilenebilir enerji sistemleri şebeke bağlantısız (off-grid) ve şebeke bağlantılı (on-grid) olarak çalışabilir. Yerleşim yerlerinden uzakta bulunan konutlar için elektrik şebekesi tesis etmek masraflı olacağından daha çok buralarda şebeke bağlantısız DÜS tercih edilir [60]. Öte yandan dağıtım sistemi alt yapısı olan yerleşim yerlerinde DÜS genellikle şebeke

bağlantılı olarak çalışır. Şebeke bağlantılı çalışmada üretim ile talep arasında eksik veya fazla enerji olursa, şebeke ile konut arasında enerji alışverişi olduğu anlamına gelir. İhtiyaç fazlası üretilen elektrik enerjisi tüketim tarafında depolama sistemlerinde saklanır veya şebekeye satılır [61], [62].

1.3.2. Enerji Depolama Sistemi

Enerji depolama sistemi (EDS) çeşitli enerji türlerini (elektrik, termal, kinetik) daha sonra kullanılmak üzere fiziksel olarak depolayan bir düzendir. EDS konutlarda, dağıtım sisteminin farklı noktalarında ve enerji üretim sistemlerinde farklı depolama uygulamalarıyla karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca akıllı şebekelerin talep tarafında şebekenin istikrarını sağlamaya yardımcı olur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonunda ve tüketici cihazlarının planlamasında önemli rol oynar.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen aralıklı (kesintili) elektrik enerjisinin miktarını tahmin ederek yükü veya şebekeyi kararlı bir şekilde beslemek zordur. Yenilenebilir kaynakların toplam üretimdeki payı arttırıldığında üretimdeki değişiklikler güç dalgalanması, frekans kayması ve diğer sorunlara neden olabilir [63]. Bu nedenle bu kaynaklardan üretilen enerjinin bir EDS ile birlikte kullanılarak şebekeye entegre edilmesi güç sisteminin güvenilirliği açısından önem arz etmektedir [64]. Bununla birlikte talebin en yoğun dönemlerde bu kaynaklardan üretilen enerji, toplam talebi karşılamada yetersiz kalabilir. Bu yüzden gün içerisinde talep fazlası yenilenebilir kaynaklı enerji, yoğun talep dönemlerinde kullanılmak üzere EDS’de depolanabilir. Böylece EDS ile aktif ve pasif güç kontrolü, yük kayması, talep fazlası enerjinin depolanması sayesinde güç şebekesinin kararlılığı ve kullanım verimliliği arttırılabilir [65]. Ayrıca şebekelerde ve konutlarda basınçlı hava deposu, volanlar, pompalı su deposu, süper iletken manyetik enerji deposu gibi çeşitli enerji depolama teknolojileri kullanılmaktadır.

Dağıtık üretim yaygınlaşmadan önce, değişken fiyatlı tarifelerde enerji depolaması yapılarak kazanç sağlanmıştır. Elektrik fiyatının düşük ucuz dönemlerde şebekeden şarj edilen EDS, elektriğin pahalı olduğu dönemlerde kullanılarak tüketicilerin elektrik faturaları düşürülmüştür [66]. Karma güç sistemlerinde (şebeke, güneş, rüzgâr vb.) tüketici faturalarını düşürmenin yanında yük profilini düzleştirme ve enerjinin daha etkin kullanılmasına katkı sağlanmaktadır [67]. Aynı zamanda tüketiciler cihazlarının çalışma zamanlarının belirlenmesinde yönetim sistemine esneklik sağlar [68].

EYS algoritması geliştirilirken EDS için şarj ve deşarj oranları, depolanan enerji için maksimum ve minimum kapasiteler, batarya şarj cihazlarının şarj ve deşarj verimlilikleri gibi parametreler kullanılarak çalışma kısıtları tanımlanmalıdır [69]. Ayrıca batarya ömrünün kısalması için batarya parametrelerine dikkat edilmelidir [70].

1.3.3. Elektrikli Araçlar

Elektrikli Araçlar (EA)'lar başlangıçta sadece ulaşım hizmetinde kullanılırken daha sonra mobil enerji depolama özelliği sayesinde konutlarda elektrik enerjisi depolaması için ideal bir alternatif olmuştur. EA'lar bu özellikleri sayesinde sahiplerine hem ulaşım hem de evde buldukları dönemlerde yedek enerji kaynağı imkânı sunmaktadır [71]. Enerji depolama işlemi maliyetli olduğundan konut sakinleri eve küçük kapasiteli sabit bir batarya almak yerine EA bataryasını kullanmaları onları yüksek maliyetten kurtaracaktır [72]. EA evde bulunduğu sürede elektrik fiyatının düşük dönemlerde şarj edilerek gün içerisinde ulaşım hizmeti sunar, depoladığı fazla enerjiyi evde bulunduğu sürede fiyatının pahalı veya talebinin yoğun (puant saatlerde) olduğu dönemlerde konutlarda kullanılması için aktarılır. Böylece EA ulaşım hizmetinin yanında konutun işletme maliyetinin düşürülmesinde aktif bir role sahiptir [73]. Araç bataryasındaki fazla enerji sadece konutun elektrik maliyetini düşürmek için değil aynı zamanda güç dağıtım sisteminde şebeke sorunlarının giderilmesi için şebekeye güç akışı sağlanabilir [74]. EA'lar sadece şebekeden (evde veya şarj istasyonunda) değil, evde veya işyeri otoparkında yenilenebilir enerji kaynaklarından da şarj edilebilir. Bu yüzden mobil depolama sistemi olan EA yenilenebilir kaynakların entegrasyonuna dolaylı yoldan katkı sağlar [75]. Kısacası şebeke veya yenilenebilir enerji kaynaklarından şarj olan EA evde veya mikro şebekede enerji yönetimi açısından çeşitli maliyet avantajları sunar [76].

Araç bataryasında depolanan ihtiyaç fazlası enerjiyi şebekeye aktarabilmek veya konutlardaki cihazlarda kullanabilmek için EA şarj cihazının çift yönlü güç akışı özelliği bulunmalıdır. Çift yönlü güç transferinden yola çıkarak şebekeden araca (G2V), evden araca (H2V), araçtan şebekeye (V2G) ve araçtan eve (V2H) olmak üzere farklı çalışma durumları ortaya çıkmıştır [77]. EA bataryası G2V ve H2V çalışmalarda şarj olurken, V2G ve V2H çalışmalarda deşarj olmaktadır. Son zamanlarda giderek yaygınlaşan EA'lar, V2G durumunda çalışarak şebekeyi destekleme konusunda büyük potansiyele sahiptir [78].

Böylece. Özellikle gerilim düşmesi, frekans kayması ve şebeke kesintisi gibi şebekede oluşabilecek sorunların giderilmesi için araçtan şebekeye güç transferi gerçekleştirilir [79].

EA batarya kapasitesi üretici firmaya, araç modeline, aracın motor gücüne, tüketici tercihinine bağlı olarak değişmektedir. Aracın batarya kapasitesi arttıkça beraberinde batarya maliyeti de artmasına rağmen büyük kapasiteli bataryalar araç sahibine kullanım esnekliği sağlar [80]. Bu bağlamda maliyeti minimize etmek için tüketicinin günlük aktiviteleri ve tercihleri göz önünde bulundurularak bir batarya kapasite optimizasyon çalışması yapılabilir [81]. Böylece tüketici hem büyük kapasite bir batarya seçip yüksek depolama maliyeti ödemez hem de belirlediği günlük aktivitelerini rahatlıkla gerçekleştirebilir.

EA şarj cihazı konusunda literatürde güç dönüştürücü topolojisi bulunmaktadır. Aktarılan gücün akış yönüne, gerilim seviyesine, akım taşıma kapasitesine, dönüştürücünün yalıtım durumuna, faz sayısına, aktarılan güç miktarına, gerilim türüne (AA veya DA), şarj cihazının bulunduğu yere (araç üzerinde veya araç haricinde) göre topolojiler farklılık göstermektedir [82]. Seçilen şarj topolojisine bağlı olarak şarj süresi değişmektedir. Şarj cihazları seviye-1, seviye-2 ve seviye-3 olarak üç farklı kategoride sınıflandırılmıştır. Bunlardan seviye-1 şarj cihazı araç üzerinde (on-board) iken diğerleri harici cihazlardır. Seviye-3 tipi şarj cihazı DA şarj işlemi gerçekleştirirken diğerleri AA şarj işlemi gerçekleştirir. Seviye-3 şarj istasyonlarında, diğerleri konut, işyeri ve AVM'de bulunabilir. Şarj cihazı topolojileri üzerine literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır [83].

EA bataryalarında ağırlık ve yüksek güç yoğunluğu göz önünde bulundurulması gereken önemli bir kriterdir. Sürüş sırasında duruş ve kalkış, konutlarda yedek kaynak olarak kullanılırken ani yük değişimlerinde sert geçişlerden dolayı deşarj akımlarında pik artışlara ve bataryanın ısınmasına neden olur [84]. Termal sorunlardan dolayı batarya ömrünün kısılmasını önlemek için araç bataryalarını daha yüksek güç yoğunluğuna sahip ve güvenilir ultra kapasite ile birlikte kullanılması en etkili çözümdür [85].

1.3.4. Elektrikli Cihazlar

Konut sakinlerinin tercihlerine göre konutlardaki elektrikli cihazlar denetlenebilirliği açısından kontrol edilebilir ve kontrol edilemez olarak sınıflandırılmıştır. Çalışma özelliklerine göre kontrol edilebilir cihazlar ertelenebilir, kesilebilir, sıcaklığa duyarlı olarak üç gruba ayrılmıştır [86]. Talep yönetiminde kaynak ve elektrik fiyatına bağlı cihazların çalışmaları hakkında karar verilirken kontroledilebilir özelliklerinden yararlanır.

Ertelenemeyen veya çalıştırması gereken cihazlar doğrudan müşteriler tarafından çalıştırılır ve otomatik bir KEYS algoritması tarafından kontrol edilmemektedir. Bu cihazların kullanımı tamamen son kullanıcı davranışına bağlı olduğundan, bunlar için kesin bir işlem zaman aralığı yoktur [87]. Aydınlatma, bilgisayar, televizyon, fırın, müzik çalar ve diğer elektronik cihazlar temel yüklerle örnektir. Bunun yanında aşırı güç tüketimini farklı bir zamana kaydırmadan belirli oranda azaltılan aydınlatma gibi yüklerde bulunmaktadır.

Aynı zamanda ertelenebilir veya kaydırılabilir olarak da adlandırılan planlanabilir yükler cihazın teknik özellikleri tarafından tanımlanan belirli bir enerji tüketimi ve çalışma zaman aralıklarına sahiptir. Bu yükler zaman içerisinde kaydırılabilir ve önceden tanımlanmış döngü zamanlarında duraklatılabilir [88]. Bu özelliğiyle enerji tüketiminde büyük bir esneklik sağlar. Örneğin, bir çamaşır makinesi çevrimi birkaç faz içerir. Her fazın sonunda, makine birkaç dakika sonra durabilir ve döngüsünü devam ettirebilir [89]. Benzer şekilde çamaşır kurutma makinesi genellikle çamaşır makinesi görevini tamamladıktan sonra çalışır. Bu nedenle çamaşır kurutma çalışması da değiştirilebilir [90].

Kesilebilir cihazlar kaynağın durumuna veya fiyata göre çalışması dururularak farklı bir zamanda devam edilebilen yük grubudur. Yük profilinin düzleştirilmesinde etkin bir role sahip cihazlara en iyi örnek EA bataryasıdır [91].

Termal kontrollü veya sıcaklık denetimli cihazlar çeşitli çalışma döngülerine sahip ve çevresel koşullardan etkilenen düzenli aralıklarla çalışan yüklerdir. Bu yükler son kullanıcı tercihlerine bağlı olarak kısa sürede kesilebilir ve yönetilebilir olabilir. Elektrikli su ısıtıcıları ve klima gibi termal yükler bu kategoriye dahildir [92], [93].

Birçok KEYS algoritmasında çalışma periyodu boyunca cihazların güç tüketimleri sabit kabul edilmiştir. Halbuki cihazların çoğu doğrusal olmadığından anlık güç tüketimleri değişkendir. Bu nedenle çalışmalarda daha çok ortalama güç tüketimleri değerlendirilmiştir.

1.3.5. Elektrik Fiyat Tarifeleri

Elektrik piyasası fiyat tarifesi sabit, kullanım süresi, kritik tepe, gerçek zamanlı, tüketime dayalı ve ödül olmak üzere farklı kategorilere ayrılmıştır. Sabit fiyat tarifesinde yoğun ve yoğun olmayan süreler olmadığından fiyat zamana bağlı değişmez. Ülkemizde de kullanılan tarifede elektrik fiyatı değişmediğinden günün belli saatlerinde talep yığılması meydana gelebiliyor. Sabit fiyat tarifesinde birim fiyat gün içerisinde saatlik ortalama enerji tüketim miktarına göre belirlenmektedir [94]. Herkes aynı zamanda her zaman aynı bedeli

ödersen, düşük talepli dönemlerde yoğun şekilde elektrik kullananlar, yüksek talepli dönemlerde yoğun elektrik kullananlara etkin bir şekilde sübvansen etmiş olurlar [95]. Ortaya çıkan bu adaletsizliği gidermek için dinamik fiyat tarifesine ihtiyaç duyulmuştur.

Kullanım zamanı fiyat tarifesinde günün farklı saatlerinde farklı fiyatlar bulunur. Elektrik tüketiminin dengelenmesi için iki veya üç farklı oranda fiyat periyodu belirlenmiştir. Örneğin üç farklı oran için puant (yoğun), gündüz (normal) ve gece (yoğun olmayan) fiyat dönemleri tanımlanmaktadır. Yoğun dönemlerde fiyatlar diğer dönemlere nispeten yüksektir. Fiyat programı mevsimlere, haftanın belirli günlerine göre önceden tanımlanabilir. Gün içerisinde taleplerin dengelenmesi konusunda başarılı olduğu birçok çalışmada kanıtlanmıştır [96]. Kritik pik fiyat tarifesi kullanım zamanı tarifesinin farklı bir versiyonudur. Kritik pik dönemlerinde fiyatlar diğer dönemlerden önemli ölçüde yüksektir. Kritik pik fiyatlandırma ile oluşan pik talepler büyük oranda azalmıştır [97]. Gerçek zamanlı fiyat tarifesi elektrik enerjisinin o andaki gerçek piyasa değerine dayanır. Fiyat arz ve talep birbiriyle eşleştiğinde ortaya çıkar. Eğer arz talebin üzerinde ise fiyat düşer, aksi halde fiyat artar. Fiyatın değişken olması sayesinde son kullanıcılar fiyat çeşitlemelerini kullanarak önemli miktarda maliyet tasarrufu yapmıştır [98], [99].

Tüketime dayalı fiyat tarifesinde, tüketim miktarı belirlenen fiyat için eşik değerden büyükse, önceki fiyattan daha yüksek yeni bir fiyat belirlenir. Doğrusal artan fonksiyon olan tarife fazla enerji tüketim miktarına uygulanır. Ödül fiyatı tarifesi müşterilerin tüketim modellerini değiştirmeye teşvik etmek için onlara ödül vererek gerçekleştirilebilir.

Dinamik enerji fiyatları kullanıcıların fiyatlar düşük olduğunda ekstra enerji satın alarak veya enerji depolayıp ardından fiyat yükseldiğinde depolanan enerjiyi kullanarak enerjiden kazanç sağlayabilir. Bunun dışında ertelenebilir uygulamaların çalışma saatlerini değiştirerek yük profillerini düzenleyebilir. Ayrıca dinamik fiyat tarifeleri son kullanıcıların yenilenebilir enerjilerden daha fazla faydalanmasına katkı sağlayabilir.

1.3.6. Belirsizlikler

Önerilen KEYS ve MEYS modelleri gün öncesi değişken fiyatlar, hava durumu ve tüketici tercihleri doğrultusunda tanımlanan cihaz parametreleri gibi birçok belirsiz faktörü içermektedir. Bu tip belirsizlikler deterministik ve stokastik yaklaşımlarla çözülebilir. Deterministik yaklaşımlar çoğu zaman gerçek hayatta gözlemlenen gerçek plandan önemli miktarda sapmalar ile sonuçlanır. Öte yandan stokastik yaklaşım daha gerçekçi sonuçlar

almak için girdideki belirsizliklerle ilgilenir. Ancak deterministik modelleri stokastik çözüm yöntemlerine göre formüle etmek ve çözmek daha kolaydır.

Konutlarda enerji üretim ve tüketim miktarları kesin olarak bilinmediğinden bu parametreler stokastik değişkenler olarak kabul edilir. Bu durum son kullanıcı davranışlarını daha iyi yansıtmasına rağmen hesaplama yükünün daha da artmasına neden olur [61]. Akıllı konut için yenilenebilir enerji kaynakları, cihaz talepleri, EA şarj gereklilikleri ve tüketici konforundaki belirsizliklerin üstesinden gelmek için stokastik modelleme yaklaşımlar içeren farklı enerji yönetimi stratejileri bulunmaktadır [100]. Bir başka çalışmada konutlardaki cihazlarda tüketilen enerji belirsizliğini gidermek için bir enerji adaptasyon değişkeni (β) içeren stokastik bir programlama algoritması geliştirmiştir. Stokastik programlama normal göre konut sakinine yaklaşık %24 maliyet tasarrufu sağlamıştır [101]. Bir konutun güç sistemini optimize etmek için öngörülen enerji yönetimi stratejisi sürekli değer ve ayrık zamanlı sıcak su ve elektrik talep tahmini kullanan çok aşamalı stokastik programlamaya dayanmaktadır [102]. Ayrıca belirsizlik birçok senaryo ile temsil edilebilir.

1.3.7. Amaç Fonksiyonları

Literatürde önerilen KEYS modelleri incelendiğinde birçok farklı amaç fonksiyonu bulunmaktadır. Bunlardan maliyet, pik taleplerin azaltılması, vadilerin doldurulması, konfor seviyesinin artırılması, yük eğrisinin düzeltilmesi, elektrikli cihazların çalışma zamanlarının belirlenmesi, dağıtık üretim ve depolama sistemlerinin kaynak yönetimi en yaygın olanlarıdır. Literatürde önerilen modeller bu amaçların sadece birini ya da birden fazla amacı içermektedir. Çok amaçlı fonksiyonlarda öncelik sırasına göre ağırlık katsayıları belirlenir.

KEYS modellerinde maliyet fonksiyonu kolayca ölçülebilir ve tanımlanabilir olduğundan en çok tercih edilen bir fonksiyondur. Maliyet fonksiyonu denildiğinde sadece elektrik enerjisi tüketim maliyeti akla gelmesine rağmen kurulum, bakım, onarım, yıpranma ve faturalandırma maliyetleri de vardır [103], [104]. Kurulum maliyeti başlangıçta tesisin kurulmasına engel olarak görülebilir, ancak orta ve uzun vadede sağlanan faydalar göz önüne alındığında tesis bu maliyeti amorti ederek kâra geçebilir. Böylece kurulum engelini ortadan kalkması tüketicileri tesis kurmaya teşvik eder [105]. Dağıtık üretim sistemlerinden güneş panellerinin kar, buz ve tozdan dolayı zamanla verimlerinin düşmesi, rüzgâr türbinlerinin şiddetli fırtına ve kar yağışından etkilenmesi, enerji depolama sistemlerinin şarj-deşarj çevrim sayısına bağlı olarak şarj tutma kapasitelerinin azalarak batarya ömrünün

kısalması KEYS bileşenlerinin yıpranmasına neden olmaktadır [106]. Ortaya çıkan yıpranma maliyetinin yanı sıra kullanımdan kaynaklanan bakım onarım maliyetleri de tüketiciye yansıtılan tutarlar içerisinde yer alır [107]. Ancak literatürde yıpranma maliyeti çalışmalarıyla pek fazla karşılaşılmamıştır.

Kurulum maliyetini düşürmek için tesiste kullanılacak dağıtık üretim ve depolama bileşenleri boyutlandırılmalıdır [108]. Tüketicinin elektrik tüketim aralığı belli sınırlar içerisinde ise büyük kapasiteli FV ve RT ve depolama sistemi kullanmak ilave maliyetler oluşturacağından bu sistemler için boyutlandırma optimizasyonu uygulanarak gerekli büyüklükler hesaplanabilir [109].

KEYS modelinin temel amaçlarından biri konut sakinlerinin elektrik maliyetini en aza indirmektir. Konut sakinleri ile tedarikçi arasındaki alınan ve satılan elektrik miktarı ve elektrik birim fiyatı kullanılarak elektrik tüketim maliyeti hesaplanır. Literatürde elektrik tüketim maliyetini düşürmek amacıyla çok sayıda model önerilmiştir. Elektrik enerjisinin en iyi kalitede tüketicilere ulaşması ve maliyetlerin en aza indirilmesi için talep tarafındaki FV ve RT gibi dağıtık enerji kaynaklarının kullanım zamanları planlanmıştır [110] Dağıtık üretimin yoğun olduğu saatlerde dinamik fiyatlardan dolayı fiyatın düşük olması nedeniyle üretilen enerjiyi hemen şebekeye satmak yerine bataryada depolayarak fiyatın yüksek olduğu dönemlerde kullanarak maliyet daha fazla düşürülebilir [111], [112]. EA bataryaları puant saatlerde konuta enerji aktarması sayesinde yüksek fiyatlı dönemlerde şebekeden daha az enerji alması nedeniyle tüketim maliyeti önemli miktarda azalabilir [113], [114].

Konutlarda tüketim maliyeti azaltmanın en etkili yolu cihazların çalışma zamanlarını kaydırmaktır. Ertelenebilir cihazların çalışma saatlerini konfor seviyesini çok fazla etkilemeden, düşük fiyatlı dönemlere kaydırarak konut sakinlerinin aynı miktar enerji tüketimi için daha az ücret ödemelerini sağlar [115], [116]. Bunun yanında sıcaklığa bağlı kontrol edilebilir cihazlardan ısıtma sistemleri ve su ısıtıcıları dağıtık üretim saatlerinde çalıştırarak ortamın ısınması veya sıcak suyun hazır olması durumunda puant saatlerde daha az enerji tüketimi gerçekleşir ve enerji maliyetinin minimize edilmesine katkı sağlar [117].

KEYS modelinin diğer önemli amaçlarından birisi pik yüklerin azaltılmasıdır. Aslında pik saatlerdeki tüketim miktarı azaltıldığında dolaylı yoldan maliyette düşürülür. Fakat pik yükler sadece puant saatlerde oluşmaz, fiyatın düşük olduğu dönemlerde de gerçekleşebilir. Elektrikli araçların düşük fiyatlı dönemlerde şarj olması buna bir örnektir. Pik yükleri azaltmak için dağıtık üretimin konut beslemesine destek olması [88], kritik pik fiyatı uygulaması [118], EDS ve EA gibi depolama sistemlerinin kullanımı [119] ve kontrol

edilebilir cihazların çalışma saatlerinin kaydırılması [120] sonucunda pik yükler azaltılır. Bunların yanı sıra tüketici konforuna sınırlama getirmesine rağmen, güç sınırlama stratejisinin de pik yüklerin azaltılmasında etkili olduğu görülmüştür [121].

Tüketilen toplam gücü değiştirmeden pik talebi azaltma işlemi yük kaydırma yöntemini kullanarak pik talepleri, talebin en az dönemlere kaydırarak gerçekleşir. Literatürde vadilerin doldurulması olarak nitelendirilen güç ötelemesi aynı zamanda yük eğrisinin düzleştirilmesi [122] veya pik yükün ortalama yüke oranı (POO) parametresinin en aza indirilmesiyle sağlanabilir [123].

1.3.8. KEYS İçin Planlama ve Kontrol Teknikleri

KEYS tüketicilerin rahatlık seviyesini etkilemeden elektrikli cihazları programlayarak genel enerji tüketimini, elektrik maliyetini, talepteki pikleri azaltmaya ve yük profilini düzeltmeye çalışır. Puant saatlerdeki güç talebinin en aza indirilmesi ve dinamik değişen elektrik tarifesi ile tüketim maliyetinin düşürülmesi konutlardaki kontrol edilebilir cihazların programlanmasıyla gerçekleşir [124]. Böylece optimal planlama denetleyicisi sayesinde TY programlarına katılan son kullanıcılar yoğun dönemlerdeki elektrik kullanımlarını azaltarak elektrik faturalarını azaltabilir ve pik taleplerini, pik olmayan zamanlara kaydırabilir [125]. Optimal planlama stratejileri klima, şofben, çamaşır makinesi, çamaşır kurutucu, bulaşık makinesi ve EA gibi programlanabilir cihazların yanında televizyon, aydınlatma, süpürge, fırın, bilgisayar ve mikro dalga gibi programlanamaz (çalışma saatleri sabit) cihazların açılıp kapatılmasını içerir. Bu cihazların çalışma planlamasını oluşturmak için kural tabanlı, yapay zekâ ve optimizasyon teknikleri gibi çeşitli kontrol yöntemleri kullanılmıştır.

1.3.8.1. Kural Tabanlı Yöntemler

Kural tabanlı algoritmalar birçok sistemde belirtilen koşullara bağlı olarak davranışsal tepkiler veren uygulamalardır. Çok ajanlı bir sistemde cihazlardan alınan veriler Rete Algoritması ile oluşturulan kurallarda işlenerek cihazların durumları hakkında karar verilir [126]. Benzer şekilde kullanıcı tercihleri doğrultusunda cihazların öncelik sırasına dayalı kurallar oluşturulur. Mevcut enerji durumuna bakarak cihazların çalışma zamanları belirlenen kural tablosuna göre planlanır [127]. Kural tabanlı kontrol sadece şebeke

bağlantılı tesislerde değil, aynı zamanda şebekeden bağımsız tesislerde üretim kaynaklarından maksimum fayda sağlamak için kullanılır. Bu sistemlerde kural tabanlı yaklaşım yükü belirli kurallara göre öncelik sırasına koyar ve değiştirir [128]. Bunu başarırken konuttaki yükler kritik ve kritik olmayan yükler olarak sınıflandırılır. Kritik yükler daha yüksek önceliğe, kritik olmayan yükler ise daha az önceliğe sahip olması nedeniyle programlanan yük gruplarından kritik yüklerin programlanan saatte çalışıp kritik olmayan yükün ise yeterli PV üretimi olduğu zamanlara kaydırılır. Bir konutun güç tüketimini TY programıyla yönetmek için kural tabanlı teknik kullanarak akıllı bir algoritma geliştirilmiştir. Programlama algoritması yükleri konfor seviyesine, müşteri tercihinine ve belirlenen zamanda yönetilebilecek cihazın önceliğine göre değerlendirir . Ayrıca algoritma toplam güç tüketiminin elektrik talep sınırının altında olmasını garanti eder [129].

1.3.8.2. Yapay Zekâ Tabanlı Kontrol Yöntemleri

Son zamanlarda konut tüketicileri akıllı evlerdeki cihazlarını programlamak için çeşitli yapay zekâ tekniklerini kullanmaktadır. Bu yapay zekâ tabanlı konut enerji yönetimi program denetçileri yapay sinir ağı (YSA), bulanık mantık denetimi (BMD) ve uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi gibi yöntemlere dayanmaktadır. Bir yapay zekâ denetim birimi insan düşüncesini taklit eden yazılım programlamasından oluşur [130]. Doğrusal olmayan sistemleri modelleyen ve insan beynini taklit eden bir algoritması olan YSA kullanılarak cihazların akıllı kontrolü sağlanmıştır [131]. Kontrol ve öngörüdeki problemlerin hızlı bir çözümünü oluşturmak amacıyla simülasyon araçları yerine YSA bazlı çözümler kullanılabilir. Bu bağlamda konutlarda YSA tabanlı gelişmiş termal kontrol yöntemiyle en uygun termal ortamlar elde etmek için bazı modeller geliştirilmiştir [132].

Bir çalışmada yoğun saatlerdeki enerji talebini azaltmak ve yenilenebilir kaynak kullanımını en üst seviyeye çıkarmak amacıyla enerji tüketimi optimize etmek için haftalık cihaz programlaması genetik algoritma ve YSA ile gerçekleştirilmiştir [133]. Farklı bir çalışmada doğru enerji yönetimi kararları alarak toplam enerji fiyatını ve enerji talebindeki çalışma gecikmesini azaltmak için dağıtılmış algoritma tabanlı YSA kullanılmıştır [134]. Bu çalışmalarda YSA tek başına değil de daha çok bir optimizasyon yöntemiyle birlikte kullanılmıştır. YSA yöntemi tüketicilerin elektrik kullanımını kontrol ederek enerji tüketimini etkili bir şekilde yönetebilir.

BMD konutlarda enerji tüketimini ve elektrik maliyetini en aza indirmek için elektrikli cihazların kontrolünü sağlamada kullanılmıştır. Bulanıklaştırma, durulaştırma, kural tabanı ve çıkarım yapma gibi dört adımdan oluşan BMD uygulamalarının basit ve dil kurallarına dayalı olması ve matematiksel model gerektirmemesi nedeniyle doğrusal ve doğrusal olmayan sistemleri yönetmek için sıkça tercih edilmektedir. Elektrik fiyatları ve dış ortam sıcaklık tahminleri kullanılarak optimum sıcaklık programlaması elde etmek için klima ünitelerinin gün öncesi programlaması BMD ile geliştirilmiştir [135]. Yine farklı bir çalışmada yazarlar kullanıcı konforunu modellemek, konfor seviyelerini en üst düzeye çıkarmak, fiyatları tahmin etmek ve konutlarda enerji tüketimini en aza indirmek için bulanık teknikleri kullanmıştır [136]. Bir KEYS uygulamasında güneş paneli ve bataryadan beslenen dört elektrikli cihazın çalışma zamanları BMD ile programlanmıştır. Cihazları gerçek zamanlı programlarken, kaynakların enerji durumunu dikkate alarak yük talebinin azaltılabileceği gösterilmiştir [137].

BMD kural tabanlı algoritmalar ve üyelik fonksiyonlarındaki uygun değişkenlere bağlıdır. Bu değişkenler genellikle ek süre gerektiren deneme yanılma esasına göre belirlenir. Öte yandan YSA yöntemi mükemmel tahmin, gerçek zamanlı çalışmada iyi performans, eğitim yoluyla karmaşık doğrusal olmayan fonksiyonları öğrenme ve öğrenme sırasında elde edilen bilgilerin üretilmesi gibi özellikler nedeniyle daha avantajlıdır.

1.3.8.3. Optimizasyon Tabanlı Kontrol Yöntemleri

Optimizasyon işlemi amaç fonksiyonu için kısıtlamalar tanımlandıktan sonra problemin en uygun çözümünü aramaktır. Amaç fonksiyonu genellikle belirli uygulamalara dayanarak formüle edilir ve minimum hata, minimum maliyet, optimum tasarım ve en uygun yönetim şeklinde olabilir. Son kullanıcıların farklı elektrik tarifeleri, fiyatlandırma planları ve konfor seviyelerine dayalı enerji kullanımlarında optimum cihaz planlaması oluşturmalarına yardımcı olmak için çeşitli optimizasyon yöntemleri kullanılmıştır.

Gerçek zamanlı fiyatlandırma tarifesiyle çalışan her ev cihazı için elektrik maliyetini ve bekleme süresini en aza indirmek için doğrusal programlamaya dayalı optimum enerji tüketimi çizelgesi kullanılır [138]. Elektrik maliyetini azaltmak için bir mahalledeki aboneler için en uygun tüketim programını belirlemek için oyun teorisine dayanan en uygun yaklaşım kullanılır [139]. Ayrıca, Lyapunov optimizasyon tekniği, ev aletlerinin kontrol edilebilir

yükler, kontrol edilemeyen yükler ve yenilenebilir enerji içeren enerji tüketiminde beklenen uzun vadeli elektrik maliyetini en aza indirmek için kullanılır [140].

TY yaklaşımı KEYS modelinin başarısını arttırmak için önemlidir. TY sinyallerine bağlı farklı fiyatlarda cihazları etkin kullanarak son kullanıcıların maliyetlerini en aza indirmek için konveks programlamaya dayalı bir optimizasyon geliştirilmiştir [141]. Farklı bir çalışmada konuttaki elektrikli cihazların programlanması için karma tamsayılı doğrusal olmayan bir program optimizasyonu geliştirilmiştir [142]. Optimizasyon sonucu son kullanıcılar elektrik tüketimlerini düşük tüketimli zamanlara kaydırarak enerji maliyetini düşürebildiğini ve bunun yaklaşık %22 maliyet tasarrufu sağladığını göstermiştir. Yine farklı bir çalışmada araştırmacılar enerji tasarrufunu ve konforlu yaşam tarzlarını dikkate alarak, elektrikli cihazların optimum çalışma zamanlarını planlamak için karmaşık tamsayılı doğrusal olmayan programlama yöntemi kullanmıştır [143]. Öte yandan diğer bir çalışmada özerk bir TTY sistemi için oyun teorisi tabanlı bir algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma konuttaki cihazların güç tüketimlerini optimize ederken ve elektrik maliyetini düşürürken tüketici rahatlığını dikkate alarak cihazların çalışmalarını öncelik sırasına göre planlamıştır [144]. Ayrıca evde güç tüketimini azaltmak için elektrikli araçlar ve batarya depolaması kullanılarak cihazların optimum şekilde programlanması oyun teorisi ile gerçekleştirilmiştir [145].

Son zamanlarda optimizasyon problemlerini çözmek için sezgisel optimizasyon teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknikler, kendiğinden örgütlenme, doğal evrim ve doğal seleksiyon gibi doğal olayların süreçlerini taklit eden rassal algoritmalarıdır. Literatürde programlama problemlerini çözmek için matematiksel ve sezgisel optimizasyon teknikleri kullanılabilir. Matematiksel programlamalar doğru çözümler sağlayabilir, fakat karmaşık optimizasyon problemlerini çözerken genellikle zaman alır. Bu dezavantajın üstesinden gelmek için, sezgisel optimizasyon teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Parçacık sürü optimizasyonu tekniği cihazların çalışma süresi boyunca istenen noktaları optimize etmek için kullanılır [146]. Bu teknikte hava koşulları, kullanıcı tercihleri ve cihaz öncelikleri dikkate alınır. KEYS için geliştirilen optimal gerçek zamanlı program kontrol cihazı TY stratejilerini dikkate alarak cihazların çalışmasını en az yoğun olan süreye göre kontrol etmek ve programlamak için zamanlayıcı denetleyicisi olarak yeni bir ikili geri izleme arama algoritması kullanmıştır [147]. Önerilen çizelgeleme algoritması her 7 saatlik periyotta dört cihazın güç tüketimini baktığında yoğun saatlerde yaklaşık %9,7 azaltmıştır. İkili parçacık sürüsü optimizasyonu tekniği dört dağıtık üretim ve kontrol edilebilir

cihazların programlanmasında kullanılmıştır [148]. Bu çalışmada son kullanıcıların net faydasını maksimuma çıkarmak ve güç tüketiminin azaltılması amaçlanmıştır.

Konut sektöründe optimize enerji tüketimi ile cihazları programlamak ve elektrik talebini en aza indirmek için genetik algoritma (GA) yöntemi uygulanmıştır [148]. Sistem değişken yüklerden ve yakıt hücresi, rüzgâr türbini ve FV gibi yenilenebilir kaynaklarından oluşmuştur. GA ve karma-tamsayılı doğrusal olmayan programlama farklı senaryolar altında karşılaştırılmıştır. Sonuçlar GA optimizasyonu enerji tüketimini azaltma konusunda tamsayılı doğrusal olmayan programlama tekniğinden daha başarılı olmuştur. Bunun yanı sıra konut cihazlarını programlamak ve dinamik fiyatlandırmaya dayalı elektrik maliyetini azaltmak için Robust (Sağlam) optimizasyon ve stokastik teknik kullanılmıştır [149]. Konut sakinlerinin elektrik maliyetini düşürmek için cihazların çalışma zamanlarını belirlerken [150]. Önerilen yönetim modeli konut sakinlerinin konforunu etkilemeden termal cihazların tüketim maliyetleri en az olacak şekilde sezgisel İleriye Doğru Algoritma (İDA) yöntemi kullanılarak planlanmıştır ve aynı zamanda güç sisteminde en yüksek taleplerin ortaya çıkmasını önlemiştir.

1.4. Tezin Ana Hatları

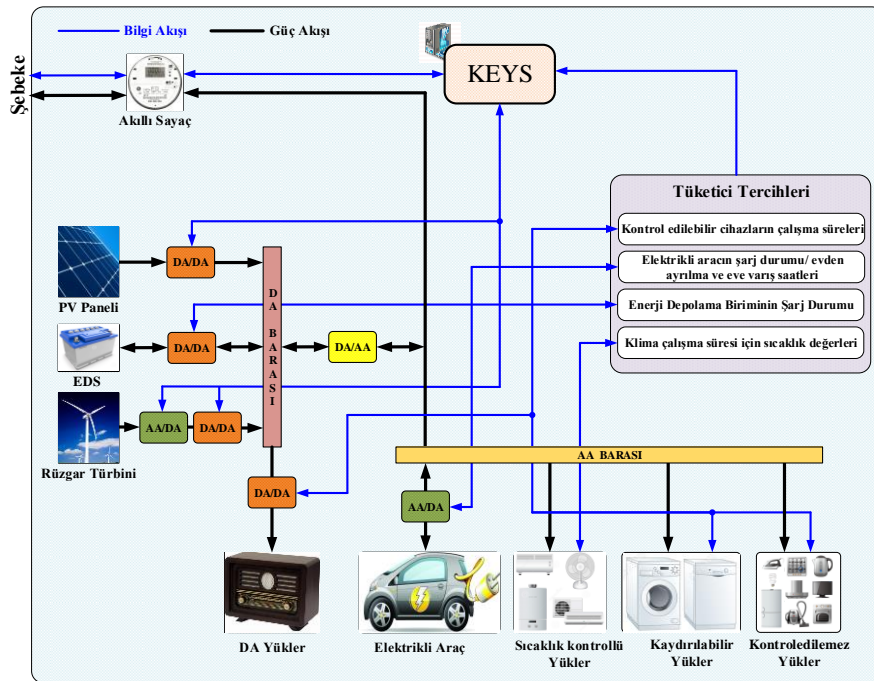
Bu tezin geri kalan kısmı altı bölümden oluşmaktadır. İkinci bölüm konut ve mahalle düzeyinde gerçekleştirilen KEYS ve MEYS modellerini, bu modelleri oluşturan güç bileşenlerine ait çalışma kısıtlamalarını ve amaç fonksiyonlarını içermektedir. GA ve GKO yöntemleri ile KEYS modeline ve BOT ile MEYS modeline ait algoritmalar üçüncü bölümde verilmiştir. Dördüncü bölümde dağıtık üretim ve depolama sistemlerinin matematiksel modelleri, gün öncesi dağıtık üretim tahminleri ve batarya şarj durumunun belirlenmesi ele alınmıştır. Tezin donanımsal tasarımı beşinci bölümde oluşturulmuştur. Elektrikli cihazlar, çift yönlü güç dönüştürücü tasarımı, kontrolü gerçekleştirilmiş ve test sonuçları incelenmiştir. Altıncı bölümde geliştirilen iki aşamalı EYS'ye farklı çalışma senaryoları uygulanarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Son olarak yedinci bölümde bu tez çalışmasının genel sonuçları değerlendirilmiş ve bu konuda çalışacak araştırmacılara önerilerde bulunulmuştur.

2. ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ MODELİ

Literatür taramasında konut ve mahalle düzeyinde yürütülen enerji yönetimi ile ilgili KEYS ve MEYS çalışmaları sunulmuştur. Bu bölümde KEYS ve MEYS modellerinin yapıları, çalışma kısıtları, amaç fonksiyonları ve kontrol stratejileri oluşturulmuştur.

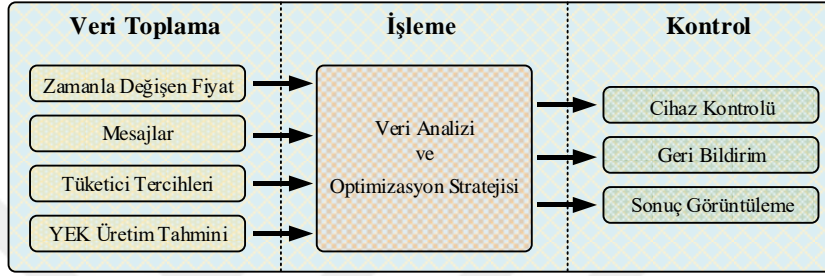
2.1. Konut Enerji Yönetim Sistemi Modeli

Geliştirilen KEYS modeli Şekil 2.1’de verilmiştir. Bu model gün öncesi dağıtık üretim tahminlerini, gün öncesi fiyatını ve kullanıcı tercihlerini alarak konuttaki cihazlar için belirlenen amaç fonksiyonu doğrultusunda en uygun çalışma planını belirler. Konut ile şebeke arasında çift yönlü veri ve güç akışı akıllı sayaç ile sağlanır. KEYS modelinde dağıtık üretim sistemlerinden üretilen enerji DA barasında toplanır. DA barası ile EDS ve AA barası arasında bulunan çift yönlü güç dönüştürücüler yardımıyla güç aktarımı yapılır. Araç parametreleri, kontrol edilebilir cihazların sıcaklık ve kullanım süreleri ve kullanım sayıları tüketici arayüzüne girilir ve bu bilgiler KEYS’in giriş parametrelerini oluşturur.



Şekil 2.1. KEYS modeli genel yapısı

Konut içerisinde bilgi akışı kablolu ve kablosuz (wifi veya zigbee protokolü) olarak gerçekleştirilebilir. Bu iletişim araçları kullanıcı arayüzüne bilgi toplamak, güç dönüştürücülere ve cihazlara KEYS'in belirlediği stratejiler doğrultusunda işaretler göndermek ve veri transferi sağlamak için kullanılır. KEYS modelinde akıllı şebeke veya mahalledeki diğer evlerle veri ve güç akışı akıllı sayaç üzerinden gerçekleştirilir. Akıllı sayaçlar şebekeden alınan ve şebekeye satılan elektrik enerjisini ölçmenin yanında, fiyat işaretini alma ve faturalama için kullanım bilgilerini aktarma işlevleri sahiptir.



Şekil 2.2. KEYS modelinin temel işlevleri

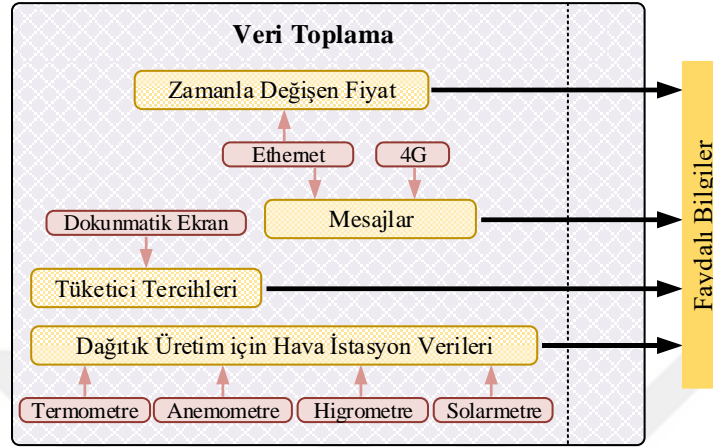
Tüketiciler açısından KEYS'in temel amacı, enerji ihtiyaçları karşılanırken toplam elektrik maliyetini azaltmaktır. Bu kapsamda KEYS dinamik elektrik fiyatı, tüketici konfor seviyesi, dağıtık üretim miktarı ve dış ortam parametrelerine göre konuttaki her cihazı en uygun şekilde kontrol edebilecek stratejiyi belirlemelidir. Şekil 2.2'de gösterilen KEYS'in temel işlevleri şunlardır:

- Tüketici tercihi, üretim tahmini, şarj durumu gibi faydalı bilgileri toplamak,
- Toplanan verileri analiz ederek optimal strateji üretmek,
- Kontrol algoritması tarafından otomatik olarak oluşturulan stratejiye dayalı cihazların çalışma zamanlarını belirlemek,
- Cihazların kontrollerini sağlayarak, geribildirim ile sonuçları gözlemlemek.

2.1.1. Veri Toplama

Veri toplama dış ortam bilgilerini işlemciye almaktır. Güç tedarikçisinden gelen gün öncesi fiyat sinyalinin okunması için bir internet bağlantısına ihtiyaç duyulur. Planlı kesintiler, güç sınırlamaları ve hava durumu uyarıları gibi bilgiler mesaj olarak alınır. Son kullanıcıların tüketim tercihleri, cihazların güç parametreleri ve çalışma programları

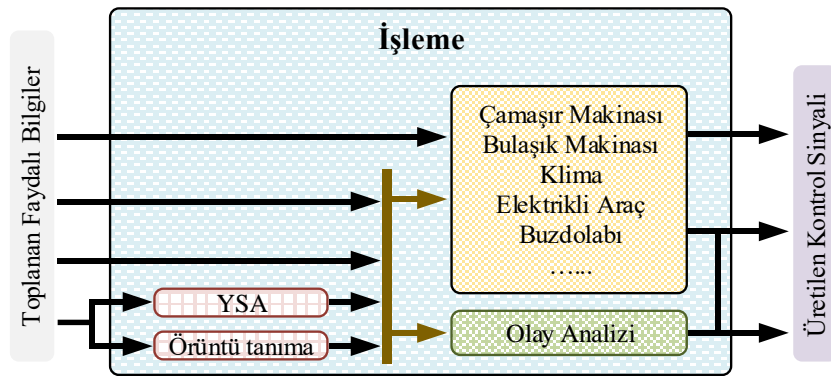
kullanıcı arayüzünden yapılır. Ayrıca ethernet modülü ile tüketiciler tercihlerini uzaktan değiştirebilir. Dağıtık üretim birimlerinin güç üretim kestirimleri için hava istasyonu verileri de bu bölümde toplanır.



Şekil 2.3. KEYS modeli veri toplama birimi işlevi

2.1.2. İşleme Süreci

İşlemci geliştirilen KEYS modelinin beyni olarak çalışır ve toplanan verileri kullanarak belirlenen stratejiler doğrultusunda cihazların elektrik tüketimini optimize eder. İşlemci, faydalı bilgi ve stratejileri kullanarak üretim tahmini ve uygun kontrol algoritmalarını yürüten ve arabirim olarak kullanılan bir bilgisayardır. Olay analizinde işlemci tüketiciye enerji tedarikçisinden gelen mesajları kullanıcı arabirimi üzerinden hatırlatır. Örneğin planlı bir elektrik kesintisi durumunda konuttaki yüklerin planlamasını bu kesintiye göre değiştirebilir.

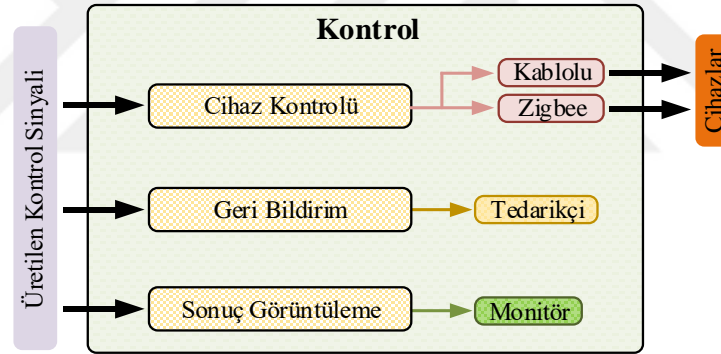


Şekil 2.4. KEYS modeli veri işleme birimi işlevi

Dağıtık üretim tahmininde kullanılmak üzere meteoroloji hava istasyonundan alınan bilgiler veri tabanında toplanır. Yapay sinir ağları veya farklı örüntü tanıma yöntemleri toplanan verileri kullanarak üretilen gün öncesi güç miktarını kestirir. Bu üretim tahmini işlemcinin en uygun stratejiye dayalı kontrol işareti üretmesinde oldukça önemlidir. KEYS modelinin işleme biriminin işlevi Şekil 2.4'te ayrıntılı biçimde verilmiştir.

2.1.3. Kontrol Birimi

Kontrol birimi KEYS modelinde cihazların kontrolü, geribildirim ve sonuçların görüntülenmesi işlevlerini kapsar. Cihazların kontrolü, işleme biriminde geliştirilen kontrol işaretinin yük ajanlarına gönderilerek sağlanır. KEYS ile yük ajanı arasındaki haberleşme tüketicinin talebi doğrultusunda kablolu veya kablosuz olarak gerçekleştirilir. Tüketimle ilgili tedarikçiye geri bildirim gönderilebilir ve tüketim sonuçları monitörden izlenebilir.



Şekil 2.5. KEYS modeli veri işleme birimi işlevi

2.2. Elektrikli Cihazların Sınıflandırılması

Konutlarda bulunan EA, EDS ve elektrikli cihazlar işlevlerini gerçekleştirebilmek için şebekeden veya dağıtık üretim sistemlerinden aktif ve/veya reaktif güç çekmeleri nedeniyle konut tipi yükleri temsil etmektedir. Bu yük gruplarından çamaşır makinası, bulaşık makinesi, kurutucu, klima, buzdolabı, süpürge, mikrodalga, fırın ve su ısıtıcı gibi ev aletleri sadece güç tüketirken, EA ve EDS aynı zamanda daha sonra kullanılmak üzere enerji depolaması yapmaktadır. Konut tipi yükler çalışma karakteristiklerine bağlı olarak farklı gruplara ayrılabilir. Bu kapsamda yükler durma ve devam etme özelliklerine göre üç farklı grupta sınıflandırılmıştır. Bunlar: kesilebilir ve ertelenebilen yükler, kesilemez ve

ertelenebilir yükler ve kesilemez ve ertelenemez yüklerdir [151]. Farklı bir çalışmada Zhu ve arkadaşları kontrol stratejilerine dayalı cihazları kaydırılmaz, zaman kaydırmalı, güç kaydırmalı olarak üç gruba ayırmıştır [152]. Araştırmacılar bu sınıflandırmaları en yoğun dönemlerde konutun güç talebini yönetmek için kullanmaktadır.

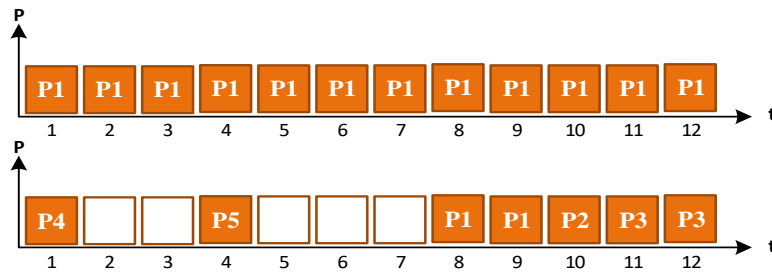
Yukarıdaki çalışmalardan yola çıkarak tez çalışmamızda konutlardaki cihazlar dört farklı grupta sınıflandırılmıştır. Bunlar:

- Kesilemez ve ertelenemez yükler
- Kesilemez ve ertelenebilir yükler
- Kesilebilir ve ertelenebilir yükler
- Sıcaklık kontrollü yükler

Yük türlerinde bulunan “kesilemez” ifadesi cihaz çalışmaya başladığında çalışma döngüsü tamamlanana kadar çalışmasının durdurulamamasıdır. Yine “ertelenebilir” terimi cihazın çalışma zamanının farklı bir zaman dilimine ötelenmesidir [153].

2.2.1. Kesilemez ve Ertelenemez Yükler

Bu yük türündeki cihazlar aynı zamanda kritik yükler olarak da nitelendirilebilir. Bu cihazlar farklı parametrelere (sıcaklık, ışık vb.) bağlı olarak belirli zamanlarda sürekli çalışması gerekmektedir. Örneğin akşam saatlerinde havanın karanlık olmasından dolayı aydınlatma, yiyeceklerin bozulmaması için sıcaklığı belli değerlerde tutmak için buzdolabı ve derin dondurucunun çalışması zorunludur.



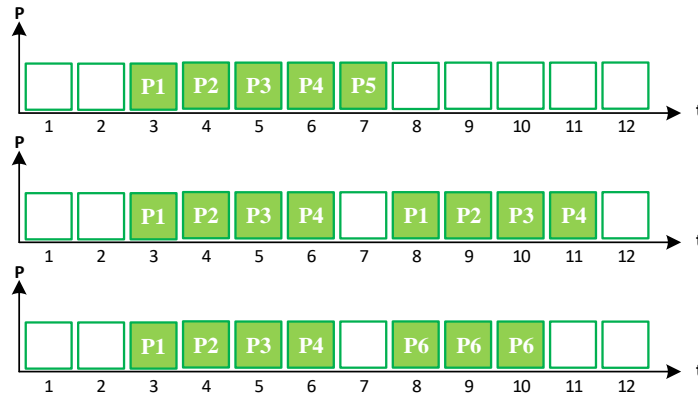
Şekil 2.6. Kesilemez ve ertelenemez yüklerin gösterimi

Şekil 2.6’da buzdolabı ve aydınlatmanın zamana bağlı çalışması gösterilmektedir. Üstteki grafikte bütün yüklerin P1 ile gösterilmesi cihazın bütün zaman aralıklarında aynı miktarda güç tükettiğini gösterirken, alttaki grafikte aydınlatmanın çalışma zamanlarındaki

güç tüketimleri gösterilmiştir. Aydınlatmada beş farklı güç değerinin bulunmasının nedeni aydınlatma tesisatında devrede olan lamba sayısının zamanla değişmesidir. Bunun yanında bazen hiçbir yükün bulunmaması herhangi bir lambanın devrede olmadığını göstermektedir.

2.2.2. Kesilemez ve Ertelenebilir Yükler

Kesilemez ancak ertelenebilir yükler konutun güç yönetiminin sağlanmasında büyük bir esneklik sağlar [154]. Konutlarda çamaşır makinası ve bulaşık makinası bu yüklerdir. Kesilemez ancak ertelenebilir yükler için üç farklı grafik Şekil 2.7'de görülmektedir. En üstteki grafikte çamaşır makinasında farklı çalışma aşamaları (su alma, yıkama, durulama, sıkma vb.) bulunduğu için her aşamada güç tüketimi değişmektedir. Kesilemez ve ertelenebilir cihazlarda birden fazla programa sahip cihazların (çamaşır ve bulaşık makinesi) çalışma süresi ve güç tüketimi tüketicinin seçtiği programa bağlı olarak değişebilir. Ayrıca bir cihazın çalışması başka bir cihazın çalışmasına bağlı olabilir. Örneğin çamaşır kurutucusunun çalışabilmesi için çamaşır makinasının çalışmasını tamamlamış olması gerekir. Birbirinin çalışmasına bağlı cihazlar arasında en az bir periyot zaman aralığı bırakılmalıdır. Örneğin çamaşır makinasının yıkama işlemi tamamlandıktan sonra kurutucunun çalışabilmesi için çamaşırın kurutucuya aktarılmış olması gerekir. Benzer şekilde bu grupta bulunan cihazların birden fazla çalışması istenirse, iki çalışma işlemi arasında en az bir periyot boşluk bırakılmalıdır. Son olarak bir cihaz çalışma süresi içerisinde çalışma aşamalarını birden fazla tekrarlayabilir. Örneğin çamaşır makinası birden fazla su alma, yıkama, durulama işlemleri içermektedir.

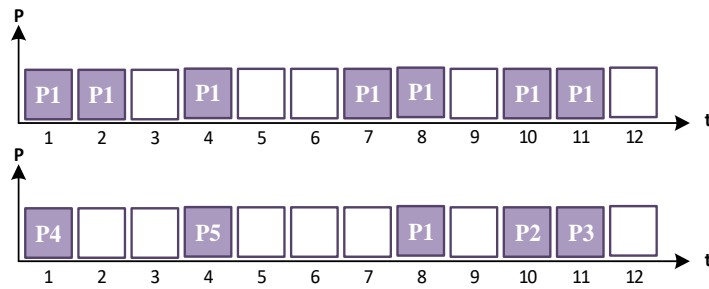


Şekil 2.7. Kesilemez ve ertelenebilir yükün zaman eksenindeki gösterimi

Kesilemez ve ertelenebilir cihazların zamanlama algoritması, yukarıdaki kısıtlamalara göre tasarlanmıştır. Müşteri herhangi bir cihazı çalıştırmak isterse, zamanlama algoritması bir sonraki en yakın periyodun başında tetiklenir. Cihazı ardışık güç tüketim bloğu olarak programlamak yerine, KEYS her görevi ayrı ayrı ele alır ve böylece cihaz içi ve cihazlar arası bağımlılıkları düzgün olarak değerlendirir. Cihazların gecikme esnekliği son kullanıcı talebi ile cihazın açılması arasındaki gecikme zamanı değil, görevler arasındaki zaman aralığıdır. Görev zamanlaması ve görevler arasındaki aralıkları optimum olarak belirlemek düşük fiyatlı dönemlerde kullanılabilir ve yüksek fiyatlı dönemlere karşı önlem alanabilir.

2.2.3. Kesilebilir ve Ertelenebilir Yükler

Kesilebilir ve ertelenebilir yükler acil çalışma zorunluluğu olmayan ve talep durumuna göre çalışan cihazlar olarak tanımlanır. Bu yük tipine enerji depolama birimleri en iyi örnektir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının aralıklı üretime sahip olması nedeniyle üretim belli seviyenin altına düştüğünde depolama işleminin durması ve üretimin belli seviyeye ulaştığında depolama işleminin tekrar başlaması bu yük tipinin çalışmasını doğrulamaktadır. Şekil 2.8’de kesilebilir ve ertelenebilir yük türü için iki farklı grafik görülmektedir. Üstteki grafik enerji depolama sisteminin şarj işlemini gösterirken, alttaki ise keyfi kullanılan farklı güç kademelerine sahip bir cihazı temsil etmektedir.

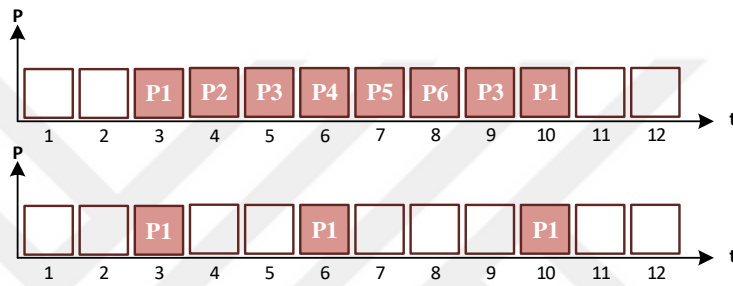


Şekil 2.8. Kesilebilir ve ertelenebilir yüklerin gösterimi

2.2.4. Sıcaklık Kontrollü Yükler

Sıcaklık kontrollü yükler çalışma zamanı ve süresi ortam ve dış sıcaklığa bağlı olarak değişen elektrikli cihazlardır. Kullanıcı konforu da bu yüklerin çalışmasında diğer önemli bir parametredir [155]. Konfor seviyesinin kişiden kişiye değişmesi, tüketimin kullanıcıya

endeksli olduğunu gösterir. Ayrıca ortamın hacmi (klima için odanın hacmi, su ısıtıcı için su tankının hacmi) soğutma veya ısıtma işlemleri için diğer bir bileşendir. Konutlarda sıcaklık kontrollü cihazlara su ısıtıcısı ve klima örnek verilebilir. Örneğin klimanın 30°C sıcaklıktaki tüketeceği elektrik enerjisiyle, 35°C tüketeceği elektrik enerjisi aynı değildir. Benzer şekilde aynı dış sıcaklık ve ortamda bulunan iki klimadan kullanıcı tercihine göre referans sıcaklığı 20°C ve 25°C aynı gücü tüketmesi beklenemez. Bu örneklere ilaveten, aynı dış ortam sıcaklığı ve referans çalışma sıcaklıklarına sahip iki klima farklı hacimli odalarda çalıştırıldığında soğutma ve ısıtma için farklı elektrik sarfiyatına sahip olacaktır.



Şekil 2.9. Sıcaklık kontrollü yüklerin zamanla değişimi

Şekil 2.9'da sıcaklık kontrollü yüklerin zaman bağılı planlaması görülmektedir. Üstte yer alan grafikte iklimlendirme cihazının sıcaklığa bağlı farklı güç tüketimlerine, altta ise sıcak su tüketimine bağlı güç değişimlerine yer verilmiştir.

2.3. Konut Enerji Yönetim Sisteminin Matematiksel Modeli

Bu bölümde konutlardaki elektrikli cihazların matematik modelleri detaylı şekilde sunulmuştur. Her cihazın kısıtlamaları matematiksel eşitliklerle tanımlanarak açıklanmıştır. Bu kısıtlamalar kontrol edilebilir cihazlar, kontrol edilemeyen cihazlar, depolama birimleri, elektrikli araçlar, su ısıtıcısı ve klima gibi yükleri içermektedir. Bir konutta güç yönetimi yapabilmek için çalışmalarını zamanları planlanacak olan cihazların davranışları bilinmelidir. Bu kapsamda tüketici tercihleri doğrultusunda öncelik sınırlaması konulmadan kullanıcının ihtiyaçlarına yanıt verebilecek biçimde kısıtlamalar belirlenmiştir. Öncelikle söz konusu kısıtlamaların matematiksel modelleri oluşturulmuş, ardından dijital ortamında kodlanarak benzetimleri gerçekleştirilmiştir.

2.3.1. Elektrikli Cihazların Çalışma Kısıtlamaları

Cihazların sayısal kontrolü sağlanırken bir günlük süre (T), farklı zaman aralıklarına (20, 15, 10, 5 dakika vb.) bölünmüştür. Bu zaman aralığı (t) ile ifade edilir. Konutta her bir cihaz “i” indisiyle gösterilmiştir. Cihazın toplam çalışma süresi, çalıştığı zaman aralıklarında lojik olarak devrede olmasıyla sağlanır. Bu zaman aralıklarında cihazın çalışma durumu ikili değişkenle belirtilir. Cihazlar gün içerisinde bir veya birden fazla kez çalışabilir. Cihazın çalışma sayısı “n” indisi ile gösterilmiştir. Cihazların bir veya birden fazla çalışma aşamaları (yıkama, durulama vb.) bulunabilir. Cihazın çalışma aşaması “a” indisi ile tanımlanmıştır. Böylece i elektrikli cihazının, t zaman aralığında, a aşamasında çalışma durumunu $u_{i,n,t}^a$ olarak ifade edilir. $u_{i,n,t}^a = 1$; ilgili cihazın çalıştığını, $u_{i,n,t}^a = 0$; ise cihazın çalışmadığını göstermektedir. Bu tanımlamadan yola çıkarak cihazların çalışmaya başlama ve sonlandırma zamanları da sırasıyla $y_{i,n,t}^a$ ve $z_{i,n,t}^a$ ikili değişkenleriyle gösterilebilir.

$$P_i = \sum_{n=1}^N \sum_{a=1}^A \sum_{t=1}^T u_{i,n,t}^a \cdot P_i^a \quad (2.1)$$

$$P_T = \sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{a=1}^A \sum_{t=1}^T u_{i,n,t}^a \cdot P_i^a \quad (2.2)$$

$$u_{i,n,t}^a - u_{i,n,t-1}^a = z_{i,n,t}^a - y_{i,n,t}^a, \quad \forall i, n, a, t \quad (2.3)$$

$$z_{i,n,t}^a \leq u_{i,n,t}^a, \quad \forall i, n, a, t \quad (2.4)$$

$$y_{i,n,t}^a \leq 1 - u_{i,n,t}^a, \quad \forall i, n, a, t \quad (2.5)$$

$$u_{i,n,t}^a, y_{i,n,t}^a, z_{i,n,t}^a \in \{0,1\}, \quad \forall i, n, a, t \quad (2.6)$$

Eşitlik (2.1) her bir cihazın gün içerisindeki güç tüketimini vermektedir. Burada P_i^a , i cihazının a aşamasındaki anma gücünü temsil etmektedir. Eşitlik (2.2)’de P_T konuttaki cihazların günlük toplam güç tüketimini vermektedir. Eşitlik (2.3)-(2.6) cihazların açık/kapalı durumları arasındaki mantıksal ilişkiyi formüle etmektedir.

Cihazın her bir çalışma aşaması T zamanı boyunca bir kez çalıştırıldığı varsayılırsa, her aşamada bir başlatma ve kapatma eylemi vardır. Söz konusu cihaz çalışma süresince bir döngü içerisinde çalışma aşamaları birden fazla tekrarlırsa, ardışık olarak çalıştığı değerlendirilir ve bu çalışmaya ait kısıtlama eşitlik (2.7) ile ifade edilir.

$$\sum_{t=1}^T z_{i,n,t}^a = 1, \quad \sum_{t=1}^T y_{i,n,t}^a = 0, \quad \forall i, n, a, t \quad (2.7)$$

Herhangi bir t zaman aralığının başında bir cihazın çalışma aşamasında güç uygulandığında, çalışması kesilebilir bir cihazsa P_i^a sabit güç tüketimiyle zaman aralığı tamamlanana kadar, kesilemez cihazsa çalışma aşaması tamamlanana kadar aynı güç tüketimiyle açık kalır.

Bir cihazın çalışma kısıtlarının dışına çıkmadan cihaz çalışma aşamalarına yeni bir aşama eklenebilir. Yeni eklenen aşamanın çalışabilmesi için kendinden önceki aşamanın tamamlanması gerekir. Yeni eklenen aşamanın devreye alınma $z_{i,n,t}^a$ ve devreden çıkartılma $y_{i,n,t}^a$ indisleri kullanılarak çalışma kısıtlaması eşitlik (2.8) ile tanımlanmıştır.

$$\sum_{t=1}^T t \cdot z_{i,n,t}^a \geq \sum_{t=1}^T t \cdot y_{i,n,t}^{a-1}, \quad \forall i, n, a = 2,3,4 \dots, A_i \quad (2.8)$$

Burada $\sum_{t=1}^T t \cdot z_{i,n,t}^a$ a aşamasına başlamadan önceki süreyi ve $\sum_{t=1}^T t \cdot y_{i,n,t}^{a-1}$ ($a-1$) aşamasını bitirmeden önceki süreyi temsil etmektedir. t zaman aralığı, bir günlük sürenin parçası olup örnekleme süresi olarak ($t=1,2,3,\dots,T$) arasında değişmektedir.

Bir cihazın birden fazla çalışması durumunda, tüketici iki çalışma arasında bir zaman gecikmesi olsun ister. Örneğin tüketici çamaşır makinasını gün içerisinde iki kez çalıştırmak isterse, ilk yıkama ile ikinci yıkama arasında bir gecikme oluşturmalıdır. Çünkü birinci yıkama işlemi tamamladıktan sonra yıkanan çamaşırların çıkartılması ve ikinci yıkama işlemi için çamaşırların yerleştirilmesi ve deterjan konulması için bir gecikmenin oluşturulması gerekir. Bu gecikmeye ait kısıtlama eşitlik (2.9) ile formüle edilmiştir.

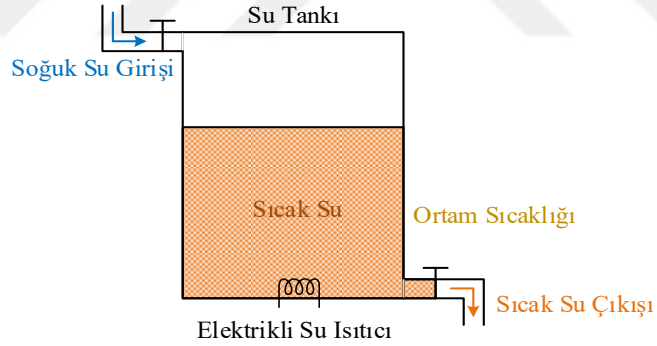
$$\sum_{n=2}^N \left(\sum_{t=1}^T t \cdot z_{i,n,t}^a - \sum_{t=1}^T t \cdot y_{i,(n-1),t}^a \right) \leq D_{i,n} \quad \forall i, n, a = 2,3,4 \dots, A_i \quad (2.9)$$

Eşitlik (2.9)'daki çalışma kısıtlaması sadece aynı cihazın birden fazla sayıda çalışmasıyla sınırlı değil, aynı zamanda çalışması birbirine bağlı olan cihazlar içinde geçerlidir. Örneğin çamaşır kurutucusunun çalışabilmesi için öncelikle çamaşır makinasının yıkama işlemini tamamlamış olması, benzer şekilde saç kurutmanın çalışabilmesi için şofbenin çalışmış olması şartları aranır. Bir başka deyişle bu cihazların çalışması başka

cihazların çalışma durumlarına bağlıdır. Ayrıca cihazların çalışma zamanları planlanırken, iki cihazın çalışması arasında ne kadarlık bir gecikme olacağı kullanıcı tarafından seçilebilir. Aksi durumda yönetim sistemi iki cihazın çalışması arasında en az bir zaman aralığı bırakır.

2.3.2. Sıcaklık Kontrollü Cihazlar

Konutlarda iç ve dış ortam sıcaklıklarına bağlı olarak kontrol edilebilen elektrikli su ısıtıcı ve klimanın çalışması ayrıntılı biçimde modellenmiştir. Bu yük modelleri hem tüketici konforu hem de yüksek enerji tüketimi açısından önemlidir. Ayrıca konut sakinlerinin konforu TY programının başarısını belirleyen önemli bir faktör olduğundan tüketicinin konfor seviyesini yüksek tutacak bir model önerilmelidir. Konutlardaki bu tür yüklerin çalışması, suyun veya havanın ısıl ataletine bağlıdır [155]. Bu nedenle çalışmanın bu bölümünde bu yüklerin modellenirken ısı transferleri ve termodinamik denklemlerinden yararlanılmıştır. Bununla birlikte çalışmanın asıl amacı konutlardaki elektrik enerjisinin en iyi şekilde kullanmak olduğundan ısı denklemlerine ayrıntılı olarak girilmemiştir.



Şekil 2.10. Elektrikli su ısıtıcı akış diyagramı

Konutun sıcak su ihtiyacını karşılamak için termosifon kullanılmıştır. Termosifon kullanılan suyun sıcaklığını istenilen sıcaklığa getiren elektrikli su ısıtıcısıdır. Gün içerisinde kullanıcının su ısıtıcıyı hangi saatlerde, yaklaşık ne kadar süre ve miktarda su kullanacağını belirlemesi durumunda, su ısıtıcısının kontrolü eşitlikler (2.10)-(2.11) ile yapılabilmektedir. Şekil 2.10'daki elektrikli su ısıtıcısının çalışması modellenirken, su tankı bulunduğu ortamın ısısından etkilendiği ve su kullanımı esnasında tanktaki su hacminin sabit kaldığı varsayılmıştır. Eşitlik (2.10) su kullanımı olmadığı durumda tanktaki su sıcaklığını, eşitlik

(2.11) su kullanımı olduğu durumda suyun sıcaklığını, eşitlik (2.12) su sıcaklığının alabileceği aralığı ve eşitlik (2.13) su ısıtıcının t . periyottaki güç tüketimini vermektedir.

$$T_{t+1}^{sic,su} = T_t^{ort} + P_t^{ESI} \cdot R \cdot u_t^{ESI} - (T_t^{ort} - T_t^{sic,su}) \cdot e^{-\frac{\Delta T}{R \cdot C}}, \forall t < T^{sic,su,max}, m_t = 0 \quad (2.10)$$

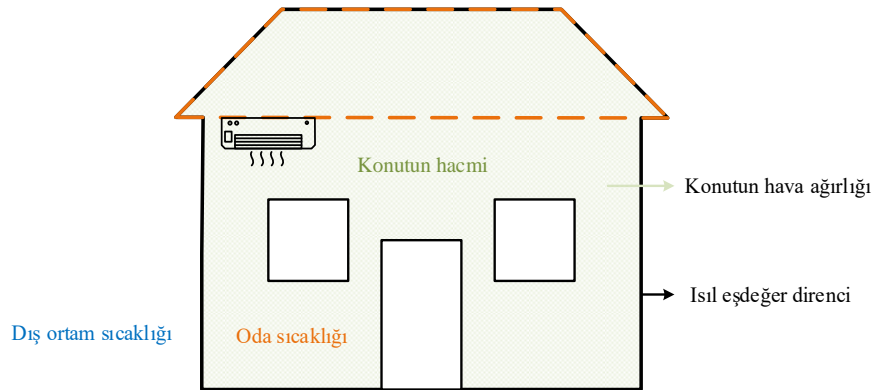
$$T_{t+1}^{sic,su} = \frac{T_t^{sic,su}(M - m_t) + T_t^{soğ,su} \cdot m_t}{M}, \quad \forall t < T^{sic,su,max}, m_t > 0 \quad (2.11)$$

$$T^{sic,su,min} \leq T_t^{sic,su} \leq T^{sic,su,max}, \quad \forall t \quad (2.12)$$

$$P_t^{ESI} = P^{ESI} \cdot u_t^{ESI}, \quad \forall t \quad (2.13)$$

Burada t periyodunda T_t^{ort} ortam sıcaklığını, $T_t^{sic,su}$ tanktaki suyun sıcaklığını, $T_t^{soğ,su}$ tanka giren soğuk suyun sıcaklığını verir. $T^{sic,su,min}$ ve $T^{sic,su,max}$ sırasıyla tanktaki suyun alabileceği minimum ve maksimum sıcaklık değerleridir. Elektrikli su ısıtıcının güç kapasitesi P^{ESI} , termal direnci R , termal kapasitesi C , güç kapasitesi P^{ESI} , tank boyutu M , tanka giren su miktarı m_t ile ifade edilmiştir. Bununla birlikte su ısıtıcının çalışma durumu u_t^{ESI} ile ikili olarak tanımlanırken t periyottaki güç tüketimi P_t^{ESI} ile gösterilmektedir.

Konutlarda bir başka sıcaklık kontrollü cihaz klimalardır. Klima hem kesilemez ve ertelenemez yük hem de kesilebilir ve ertelenebilir yükün çalışmasına örnek bir cihazdır. İç ortam sıcaklığı, istenilen sıcaklık aralığından yüksek veya düşük olduğunda tüketici konforu etkileneceğinden, ortam sıcaklığı önceden belirlenen değere ulaşana kadar klima soğutma veya ısıtma işlemi devam eder. Bu işlem kesintisiz ve ertelenemez bir görevi temsil etmektedir. Öte yandan önceden tanımlanan sıcaklık konfor aralığı $[T_{min}, T_{max}]$ içinde olduğunda ısıtma veya soğutma işlemi, kesintili ve ertelenebilir bir görevi yansıtmaktadır.



Şekil 2.11. Konut ısıtma soğutma sistem modeli

Şekil 2.11’de görülen klimanın güç tüketiminin kontrolü için evin eşdeğer termal direnci R^{es} ve içindeki hava kütlesi bilinmelidir [156]. Evin geometrik yapısı sayesinde hacmi V_{konut} kolaylıkla hesaplanabilir. Eşitlik (2.14) evin hava ağırlığını M_a , eşitlik (2.15) oda sıcaklığını, eşitlik (2.16) sıcaklık bant aralığını ve eşitlik (2.17) t. periyotta klimanın güç tüketimini vermektedir.

$$M_a = V_{konut} \cdot \delta_{hava} \quad (2.14)$$

$$T_{t+1}^{oda} = \left(1 - \frac{\Delta T}{1000 \cdot M_a \cdot c_a \cdot R^{es}}\right) \cdot T_t^{oda} + \frac{\Delta T}{1000 \cdot M_a \cdot c_a \cdot R^{es}} \cdot T_t^{ort} \mp u_t^K \cdot \frac{\rho \cdot P^K \cdot \Delta T \cdot 3600}{M_a \cdot c_a}, \quad \forall t > 1 \quad (2.15)$$

$$AN_t - AN^{alt} \leq T_t^{oda} \leq AN_t + AN^{ust} \quad (2.16)$$

$$P_t^K = P^K \cdot u_t^K, \quad \forall t \quad (2.17)$$

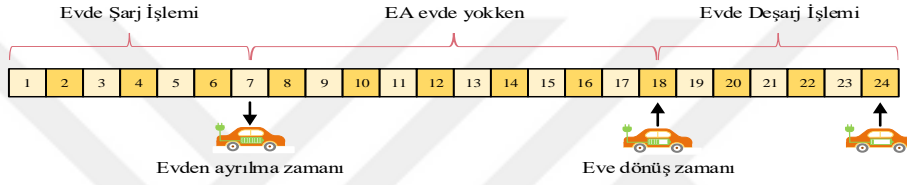
Burada δ_{hava} hava yoğunluğu, c_a havanın termal kapasitesini, ρ performans katsayısını, T_t^{oda} oda sıcaklığını, AN_t istenilen ayar noktasını, AN^{alt} alt ayar noktası, AN^{ust} üst ayar noktası, u_t^K klimanın çalışma durumunu, P^K klimanın anma gücünü ve P_t^K klimanın t peridundaki güç tüketimini ifade etmektedir.

Sıcaklık kontrollü cihazların çalışma kısıtlamaları oldukça kapsamlı olmasına rağmen bu çalışmada mümkün olduğunca sadeleştirilerek bazı değerler sabit alınmıştır. Buradaki öncelikli amacımız tüketicinin konfor seviyesini üst düzeye çıkarmak veya bu yüklerin ısı denklemlerini kanıtlamak değil, sıcaklık değişimine karşı su ısıtıcı ve klimanın göstereceği tepkileri ve güç tüketimlerini incelemektir.

2.3.3. Elektrikli Aracın Şarj ve Deşarj Kısıtlamaları

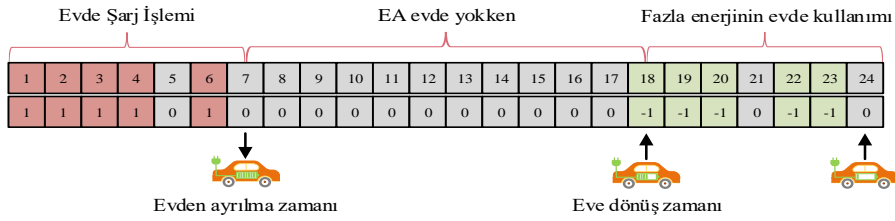
Günümüzde yaygın şekilde kullanılan EA’lar gündüz saatlerinde birinci işlevi ulaşım aracı, akşam eve döndüğünde bataryasındaki fazla enerjiyi eve aktararak ikinci işlevi yedek enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır [157]. Bahsedilen her iki işlevin yerine getirilebilmesi için çift yönlü şarj sistemi gereklidir. EA’nın şarj işlemi şebekeden araca (G2V) veya evden araca (H2V) güç akışı sağlanırken, deşarj işlemi ise araçtan eve (V2H) veya

araçtan şebekeye (V2G) güç transferi gerçekleşir. EA şarj olurken elektrik enerjisi talep ettiğinden yük, deşarj olurken elektrik enerjisi sağladığından kaynak özelliği taşımaktadır. Kısacası EA'nın esnek davranışı sadece şarj/deşarj işlemiyle değil, aynı zamanda EA bataryasının konut veya elektrik şebekesiyle güç transferinden kaynaklanmaktadır. EA'nın gün içerisindeki planlaması, aracın eve gelmesi ile evden ayrılmasına kadar geçen süre içerisinde aracın fişi takılı olduğu zaman diliminde yapılır. KEYS, bu süre zarfında araç evden ayrılıncaya kadar bataryasının tamamının dolmasını garanti ederken, batarya şarj enerjisinin maliyetini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. EA'nın zamana bağlı olarak işlevleri Şekil 2.12'de görülmektedir.



Şekil 2.12. EA'nın gün içerisindeki konumu ve işlevleri

Bir KEYS modelinde EA modellenirken şarj, deşarj ve bekleme işlemleri için üç farklı durum söz konusudur. Bu durumlar için kullanılan u_t^{EA} kontrol biti, ikili değişken ile ifade edilir. u_t^{EA} kontrol biti; şarj durumu için "1", deşarj durumu için "-1" ve bekleme durumu için "0" olarak gösterilir. EA'nın işlevlerine göre kontrol bitleri Şekil 2.13'de verilmiştir.



Şekil 2.13. EA'nın şarj ve deşarj durumları

Eşitlik (2.18)'de EA akşam saatlerinde eve geldiğinde EA bataryasının fişe takması ile SOE_t^{EA} bataryanın şarj durumunu ve $SOE^{EA,bas}$ başlangıç şarj durumunu ifade etmektedir.

$$SOE_t^{EA} = SOE^{EA,bas}, \quad ise \quad t = T^d \quad (2.18)$$

EA batarya ömrünü uzatmak için üretici firmalar tarafından batarya şarj derinliği tavsiye edilir. Batarya şarj derinliği genellikle %20 ile %25 arasında değişir. Örneğin 20 kWh kapasiteli bir batarya için %20 şarj derinliği tavsiye edilmişse bu bataryayı en fazla 4 kWh'e kadar deşarj edilebilir. Eşitlik (2.19)'da EA bataryasının minimum şarj kapasitesini $SOE^{EA,min}$, eşitlik (2.20) ise EA bataryasının maksimum şarj kapasitesi $SOE^{EA,max}$ ifade edilmektedir. EA bataryası evden ayrılırken her zaman tam dolu olması istenir. Ayrıca EA için T^d aracın eve dönüş zamanını, T^a aracın evden ayrılma zamanını tanımlamaktadır.

$$SOE^{EA,min} \leq SOE_t^{EA}, \quad \forall t \in [T^d, T^a] \quad (2.19)$$

$$SOE_t^{EA} \leq SOE^{EA,max}, \quad \forall t \in [T^d, T^a] \quad (2.20)$$

EA'nın deşarjından elde edilen güç $P_t^{EA,des}$ eşitlik (2.21)'de deşarj oranına DR^{EA} , şarj işleminde transfer edilen güç $P_t^{EA,sarj}$ ise eşitlik (2.22)'de şarj oranına CR^{EA} bağlı olarak değişmektedir. Şarj ve deşarj işlemleri için her iki kısıtlama aracın sadece evde bulunduğu dönemler için geçerlidir. Bir başka deyişle, aracın ev dışında gündüz saatlerinde yolda geçirdiği zamanlardaki deşarjı ve ev dışındaki şarjı dikkate alınmamaktadır. EA bataryasının kontrol biti u_t^{EA} şarj ve deşarj işlemleri sırasıyla "1 ve -1" ikili durum değerlerini almaktadır.

$$P_t^{EA,des} \leq DR^{EA} \cdot u_t^{EA}, \quad \forall t \in [T^d, T^a] \quad (2.21)$$

$$P_t^{EA,sarj} \leq CR^{EA} \cdot u_t^{EA}, \quad \forall t \in [T^d, T^a] \quad (2.22)$$

Hem şarj hem de deşarj işlemlerinin verimlilik parametreleri farklı olursa, şarj ve deşarj esnasında bataryadan çekilen güç ve bataryaya aktarılan güç miktarları eşit olmaz. EA bataryası şarj ve deşarj olurken aktarılan gücün bir kısmı güç dönüştürücü (şarj cihazı) üzerinde harcanır. Bataryada depolanan enerji miktarının şarj ve deşarj verimliliklerine CE^{EA} ve DE^{EA} bağlı olarak değişimi eşitlik (2.23)'deki şekilde yazılır.

$$SOE_t^{EA} = SOE_{t-1}^{EA} + CE^{EA} \cdot P_t^{EA,sarj} - DE^{EA} \cdot P_t^{EA,des} \quad (2.23)$$

Güç dönüştürücünün verimliliğine bağlı olarak bataryadan aktarılan gücün konuttaki cihazlarda kullanılması $P_t^{EA,kul}$ veya şebekeye satılması $P_t^{EA,sat}$ eşitlik (2.24) ile

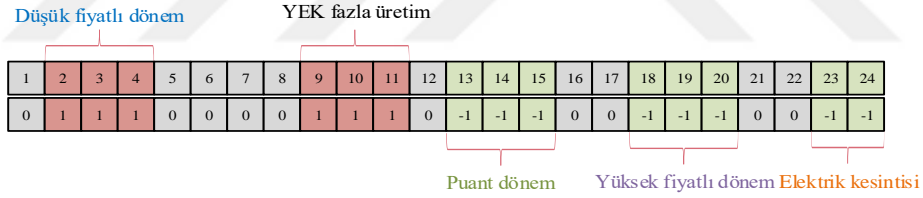
tanımlanmaktadır. Eşitlik (2.25)'de konut veya şebeke arasında herhangi bir güç transferi yok ise EA'nın evde bulunmadığı bir zaman aralığını ifade etmektedir.

$$P_t^{EA,kul} + P_t^{EA,sat} = DE^{EA} \cdot P_t^{EA,des}, \quad \forall t \in [T^d, T^a] \quad (2.24)$$

$$SOE_t^{EA} = P_t^{EA,sarj} = P_t^{EA,kul} = P_t^{EA,sat} = 0, \quad \forall t \notin [T^d, T^a] \quad (2.25)$$

2.3.4. EDS Şarj ve Deşarj Kısıtlamaları

EDS; güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen ihtiyaç fazlasını veya fiyatının düşük olduğu dönemlerde enerjiyi şarj eden depolama aracıdır. EDS şebekede enerji kesintisi durumunda, akşam saatlerinde talebin maksimum dönemlerde ve elektrik fiyatının yüksek olduğu saatlerde deşarj olarak depolanan enerji evde (EDS2H) kullanılmaktadır. Ayrıca EDS güneş ve rüzgârın yetersiz, elektrik fiyatının düşük olduğu dönemlerde şebekeden şarj olarak (G2EDS) daha sonra ihtiyaç halinde kullanılmaktadır.



Şekil 2.14. EDS'nin şarj ve deşarj durumları

Akıllı şebekelerin önemli sıkıntılarının biri elektrik enerji depolamasının yüksek maliyetinin olmasıdır. Bu nedenle bu çalışmada EDS kapasitesi küçük seçilmiştir. Buna paralel olarak EDS değeri küçük olduğundan, büyük güçlü bir dönüştürücüye ihtiyaç duyulmamaktadır. Elektrikli araçlarda olduğu gibi EDS modelinde de şarj, deşarj ve bekleme olmak üzere üç durum bulunur. EDS kısıtlarında u_t^{EDS} kontrol biti "1" şarjı, "0" beklemeyi ve "-1" deşarjı temsil etmektedir. EDS'nin gün içerisinde enerji arz talep durumuna göre kontrol biti değişimine örnek gösterimi Şekil 2.14'te verilmiştir.

$$SOE_t^{EDS} = SOE^{EDS,bas}, \quad ise \quad t = 1 \quad (2.26)$$

$$SOE_t^{EDS,min} \leq SOE_t^{EDS} \leq SOE_t^{EDS,max}, \quad \forall t \quad (2.27)$$

$$0 \leq P_t^{EDS,des} \leq DR^{EDS} \cdot u_t^{EDS}, \quad \forall t \quad (2.28)$$

$$0 \leq P_t^{EDS,sarj} \leq CR^{EDS} \cdot u_t^{EDS}, \quad \forall t \quad (2.29)$$

$$SOE_t^{EDS} = SOE_{t-1}^{EDS} + P_t^{EDS,sarj} \cdot \Delta T - P_t^{EDS,des} \cdot \Delta T, \quad \forall t > 1 \quad (2.30)$$

$$CE^{EDS} \cdot TT^{EDS,des} = \frac{SOE_t^{EDS,bas} - SOE_t^{EDS,min}}{P_t^{EDS,des}} \cdot DE^{EDS}, \quad \forall t \quad (2.31)$$

$$TT^{EDS,sarj} = \frac{SOE_t^{EDS,bas} - SOE_t^{EDS,min}}{P_t^{EDS,des}} \cdot DE^{EDS}, \quad \forall t \quad (2.32)$$

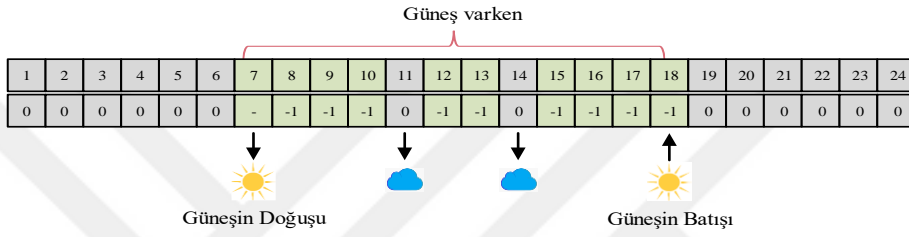
Burada eşitlik (2.26)-(2.32) arasında kullanılan EDS değişkenlerinden SOE_t^{EDS} şarj durumunu, $SOE_t^{EDS,bas}$ başlangıç şarj durumunu, $SOE_t^{EDS,min}$ ve $SOE_t^{EDS,max}$ sırasıyla minimum ve maksimum şarj durumlarını, $P_t^{EDS,des}$ deşarj gücünü ve $P_t^{EDS,sarj}$ şarj gücünü ifade etmektedir. Bunun yanında CR^{EDS} şarj gücü oranını, DR^{EDS} deşarj gücü oranını, DE^{EDS} deşarj verimliliğini, CE^{EDS} şarj verimliliğini, $TT^{EDS,des}$ toplam deşarj süresini ve $TT^{EDS,sarj}$ toplam şarj süresinin tanımlamaktadır.

Eşitlik (2.26)'da EDS'nin başlangıç anındaki şarj durumunu, eşitlik (2.27)'de EDS'nin şarj aralığı gösterilmektedir. Batarya ömrünü uzatmak için bataryadaki enerjinin tamamı kullanılmamalıdır. Bu nedenle batarya şarj derinliği bataryanın minimum şarj durumunu vermektedir. Eşitlik (2.28) ve eşitlik (2.29) sırasıyla EDS'nin şarj ve deşarj işlemleri sırasında elde edilecek güç miktarını, eşitlik (2.30) ise EDS'nin herhangi bir andaki şarj durumu vermektedir. Eşitlik (2.31) evdeki talebin maksimum olduğu saatlerde EDS'nin ne kadar süre güç sağlayabileceğini, eşitlik (2.32) şarj seviyesi, deşarj derinliğine ulaşmış bir bataryanın tam kapasitede şarj olabilmesi için gerekli şarj süresini vermektedir.

2.3.5. Dağıtık Üretimin Çalışma Kısıtlaması

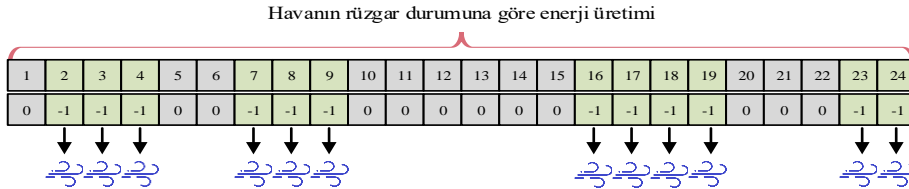
Konutlarda çatı tipi güneş paneli ve rüzgâr türbini gibi yenilenebilir kaynaklarından üretilen elektriğin konutlarda kullanılması ve ihtiyaç fazlasının elektrik şebekesine

satılmasını KEYS belirler. Dağıtık üretimden elde edilen enerji meteorolojik olaylara bağlı olarak değişir ve üretim sürekli değildir. Dağıtık üretimin sürekli olmadığından üretilen enerji anlık tüketilmeli, elektrik şebekesine satılmalı veya depolanmalıdır. Güneş panelinden üretilen elektrik ışınım şiddeti, sıcaklık, nem, ışınımın açısı ve güneş panelinin üzerindeki tozlanma gibi birçok faktör etki etmesine rağmen bu çalışmada bu faktörlerin çoğu dikkate alınmamıştır. Şekil 2.15’de güneş panelinden üretilen enerji durumu gün içerisinde güneşin varlığına göre kontrol biti ile ifade edilmiştir. Ancak üretilen elektrik enerjisi miktarı güneşin geliş açısı, sıcaklık ve ışınım oranına göre değişmektedir.



Şekil 2.15. Güneş panelinin gün içerisindeki elektrik üretim durumu

Nasıl ki güneş panelinden enerji üretimi güneşin var olduğu sürece gerçekleşirse, rüzgâr türbininde elektrik enerjisi üretimi rüzgârın var olduğu sürece rüzgâr hızının türbinin azami hıza ulaştığı zamanlarda gerçekleşir. Bir başka deyişle her rüzgâr hızında rüzgâr türbininde elektrik üretilemez. Çünkü üretimin olabilmesi için türbin içerisindeki asenkron generatörün belirli bir hıza ulaşması gerekmektedir. Yine türbinin yüksek hızlarda dönmesi generatöre zarar verebileceğinden belirli rüzgâr hızının üstünde güvenlik açısından generatör kesime gider. Rüzgâr türbini enerji üretim durumu Şekil 2.16’da verilmiştir.



Şekil 2.16. Rüzgâr türbininden gün içerisindeki elektrik üretim durumu

Eşitlik (2.33) güneş panelinden, eşitlik (2.34) rüzgâr türbininden üretilen elektrik enerjisinin konutlarda kullanımı ve ihtiyaç fazlasının elektrik şebekesine satışını tanımlayan çalışma kısıtlamaları verilmiştir. Burada FV için üretilen $P_t^{PV,uret}$, konutta kullanılan $P_t^{PV,kul}$

ve şebekeye satılan $P_t^{PV,sat}$ güç değişkenlerinin yanı sıra RT için üretilen $P_t^{ruz,uret}$, konutta kullanılan $P_t^{ruz,kul}$ ve şebekeye satılan $P_t^{ruz,sat}$ güç miktarları tanımlanmıştır.

$$P_t^{PV,kul} + P_t^{PV,sat} = P_t^{PV,uret}, \quad \forall t \in [1, T] \quad (2.33)$$

$$P_t^{ruz,kul} + P_t^{ruz,sat} = P_t^{ruz,uret}, \quad \forall t \in [1, T] \quad (2.34)$$

2.4. Amaç Fonksiyonu ve Kontrol Stratejileri

Bir KEYS modelinde amaç fonksiyonları dikkate alınarak farklı stratejiler geliştirilir. Bu kapsamda geliştirilen KEYS modelinde fiyat tabanlı TY ve TTY stratejileri kullanılmıştır. KEYS modelinde tüketicinin toplam elektrik maliyetinin azaltılması ve konutun yük profilini düzleştirilmesi olmak üzere iki amaç fonksiyonu bulunmaktadır.

2.4.1. Elektrik Tüketim Maliyetini Azaltmak

Tüketicilerin elektrik maliyetlerini düşürmek için zamanla değişen elektrik fiyatı, üretim ve depolama sistemlerindeki enerjinin durumuna bakılarak kullanıcıların elektrik kullanım alışkanlığı değiştirilir. KEYS seçilen optimizasyon algoritmasını kullanarak konuttaki cihazların en uygun çalışma saatleri belirlenir. Bu bağlamda kontrol edilemeyen cihazların çalışma saatleri tüketici tercihlerince tanımlandıktan sonra kontrol edilebilir cihazların çalışma saatleri elektrik fiyatının ucuz olduğu saatlere ötelenir. Burada esas olan şebekeden satın alınan $P_t^{seb,alis}$ ve şebekeye satılan $P_t^{seb,satis}$ güç miktarlarının yanında alış fiyatı δ_t^{alis} ve satış fiyatı δ_t^{satis} zamanları önemlidir.

$$\text{Min } f(\text{maliyet}) = \sum_{t=1}^T (P_t^{seb,alis} \cdot \Delta T \cdot \delta_t^{alis} - P_t^{seb,satis} \cdot \Delta T \cdot \delta_t^{satis}) \quad (2.35)$$

2.4.2. Tüketici Yük Profilini (Eğrisini) Düzleştirmek

Konut sakinleri açısından bakıldığında maliyeti düşürmek için ertelenebilir yükleri elektrik fiyatının ucuz olduğu zamanlara kaydırmak ve depolama birimlerini elektrik ucuz

fiyatlı dönemlerde şarj ederek, yüksek fiyatlı dönemlerde deşarj ederek kullanmak veya satmak karlı bir strateji görülebilir. Ancak enerji tedarikçisi açısından düşünüldüğünde, taleplerin düşük fiyatlı zamanlarda yoğunlaşması bu zamanlarda dağıtım trafosunun aşırı yüklenmesine sebep olacaktır. Trafoların aşırı ısınması uzun vadede trafonun yaşlanmasına yol açmaktadır. Ayrıca aşırı yüklenmeler elektrik şebekesinde gerilim düşümü ve frekans salınımına sebep olur. Bu nedenle aşırı yüklemenin önüne geçmek için konut sakinlerinin güç tüketim eğrileri düzleştirilmelidir.

$$P_t^{kul} = \begin{pmatrix} P_t^{seb,alis} + P_t^{PV,kul} + P_t^{ruz,kul} + P_t^{EDS,des} + P_t^{EA,des} \\ -P_t^{EDS,sarj} - P_t^{EA,sr} - P_t^{satis} \end{pmatrix} \quad (2.36)$$

Eşitlik (2.36) ile cihazlarda herhangi bir zaman aralığında kullanılan güç miktarı P_t^{kul} hesaplanır. Kullanılan güç miktarı güneş paneli ve rüzgâr türbinlerinden depolanmayan ve satılmayan enerji, depolama birimlerinin deşarjından satılmayan enerji ve şebekeden satın alınan enerjinin toplamından oluşmaktadır. Eşitlik (2.37) konutta tüketilen ortalama güç P_{ort} vermektedir. Ortalama güç tüketimi optimizasyon algoritmasında en küçük kareler farkının hesaplanmasında kullanılmıştır. Eşitlik (38) konuttaki cihazların bütün zaman aralıklarındaki tükettiği güç miktarının en küçük farkının kareleri toplamını vermektedir. Bu farkın küçük çıkması konuttaki güç tüketiminin doğrusal olduğunun işaretidir.

$$P_{ort} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (P_t^{kul} \cdot \Delta t) \quad (2.37)$$

$$Min f(kullanilan) = \sum_{t=1}^T [P_t^{kul} - P_{ort}]^2 \quad (2.38)$$

2.4.3. Enerji Yönetiminde Çok Amaçlı Fonksiyonlar

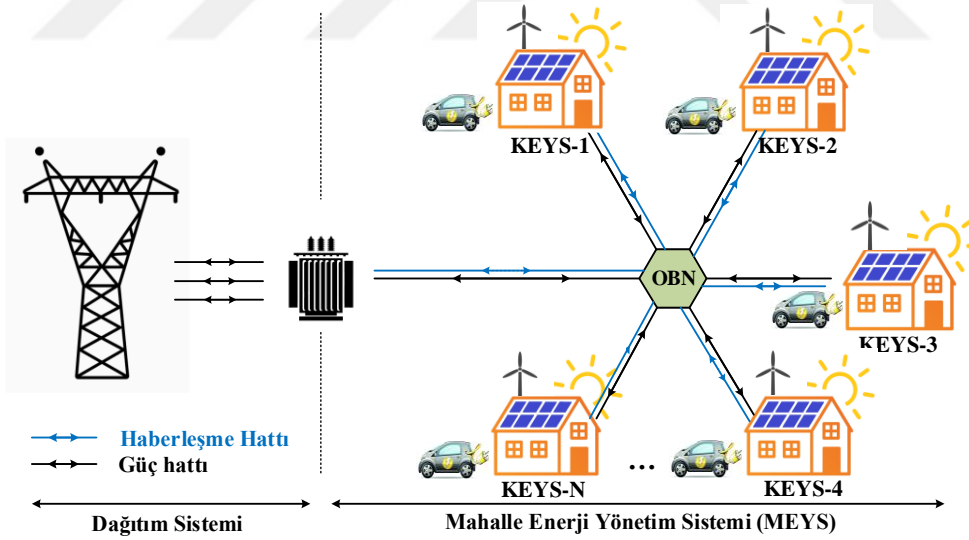
Konutlarda birden fazla amaç fonksiyonunun bulunması halinde, amaç fonksiyonları birleştirilerek genel bir amaç fonksiyonu oluşturulur. Genel amaç fonksiyonu her amaç fonksiyonunun önem derecesine göre ağırlık katsayıları k_1 ve k_2 etki eder. Bu tez çalışmasında maliyeti azaltmak ve yük profilini düzleştirmek amaç fonksiyonları eşitlik (2.39)'da genel amaç fonksiyonuna dönüştürülmüştür.

$$\text{Min } f(\text{cok. amac. fonk.}) = k_1 * f(\text{maliyet}) + k_2 * f(\text{kullanım}) \quad (2.39)$$

Bu amaç fonksiyonlarına tüketici tarafından bakıldığında tüketim maliyetini azaltmak daha önemli iken, enerji tedarikçisi tarafından bakıldığında kararlı ve istikrarlı bir elektrik üretimi yapabilmek için yük profilinin doğrusal olması büyük önem arz etmektedir.

2.5. Mahalle Enerji Yönetim Sistemi (MEYS) Modelinin Geliştirilmesi

Bir önceki bölümde KEYS modeli ve optimizasyon algoritmaları detaylı olarak anlatılmıştır. KEYS'lerin bulunduğu konutlar akıllı konut olarak tanımlanır. Aynı dağıtım trafosundan beslenen, ortak bağlantı noktasıyla birbirine bağlanan ve akıllı konutların bir araya gelerek oluşturduğu yerleşim yeri akıllı mahalle olarak ifade edilir. Mahallede dağıtım trafosundaki gücün adil kullanımı için güç koordinasyonu ve konutların kendi aralarında güç alışverişi mahalle enerji yönetim sistemi tarafından organize edilir. Geliştirilmesi planlanan MEYS modelinin genel yapısı Şekil 2.17'de verilmiştir.



Şekil 2.17. Mahalle Enerji Yönetim Sistemi (MEYS) modeli genel yapısı

Akıllı konutlarda KEYS konut sakinlerine istedikleri sayıda tüketim planı oluşturmaktadır. KEYS konutlarda meta-sezgisel yaklaşım algoritmaları kullandığı için algoritmayı her çalıştırdığında konut sakinleri için farklı bir alternatif cihaz çalışma planı üretmektedir. Farklı çalışma planı hem konut sakinleri hem de MEYS için güç tüketiminde

esneklik sağlamaktadır. Her konuttan çok sayıda güç tüketim planının gelmesiyle MEYS mahalle dağıtım trafosunun istikrarlı bir şekilde çalışması için gün boyunca tüm zaman dilimlerindeki güç tüketiminin birbirine yaklaştırılmasını arzulamaktadır. Bu stratejiyi uygulayabilmek için amaç fonksiyonunu kapsayacak uygun bir algoritma geliştirilmelidir.

2.5.1. MEYS Modelinin İşlevi

Mahallede güç koordinasyonu yapan MEYS için enerji tedarikçisinden zamanla değişen elektrik fiyat sinyali, konutların KEYS modelleri tarafından üretilen olası günlük tüketim çizelgeleri ve dağıtım trafosunun güç kapasitesi limitleri giriş parametrelerini oluşturmaktadır. Konutlarla ortak bağlantı noktası (OBN) arasında ve OBN ile enerji tedarikçisi arasında çift yönlü bilgi akışı sayesinde MEYS'e ulaşan giriş parametreleri doğrultusunda seçilen stratejilerle mahalledeki güç akışı etkin biçimde yönetilir. Uygulanan stratejiler neticesinde konutların önceden ürettikleri güç tüketim çizelgelerinin hangilerini kullanması gerektiği belirlenir. Böylece konutların ve mahallenin güç tüketimleri, geliştirilen MEYS modelinin başarımı, mahallenin yüklenme profili çıkış bölümünde raporlanmaktadır. MEYS modelinin basit biçimde temel işlevi Şekil 2.18'de görülmektedir.

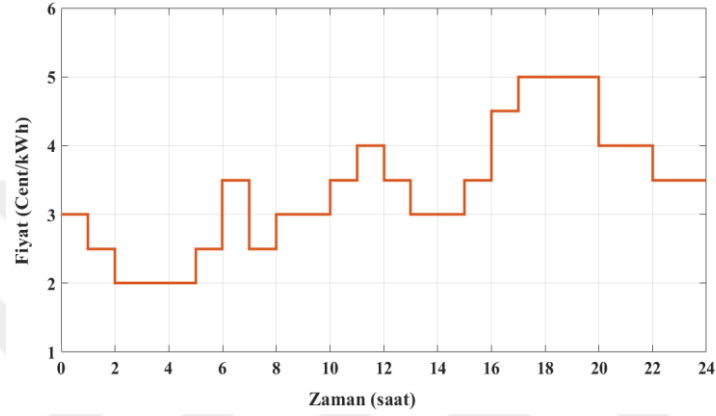


Şekil 2.18. MEYS modelinin temel işlevi

2.5.2. MEYS'te Güç Geçişlerinin Yumuşatılması Stratejisi

Her bir konutun günlük güç tüketimi 5'er dakika aralıkla kontrol edileceğinden bir günlük süre 288 aralığa bölünmüştür. Konutların aynı aralıktaki güç tüketimleri toplamı, mahallenin o aralıktaki güç tüketimini oluşturur. Bu işlem tüm zaman dilimlerine uygulandığında mahallenin günlük yük eğrisini verir. Konutların günlük güç tüketim planları için dinamik elektrik fiyatları kullanıldığından mahalle için de aynı parametreler

kullanılmıştır. Literatürde piklerin ortalamaya oranı (peak-to-average ratio) (PAR) yaklaşımı kullanılarak güç eğrisi doğrusallaştırılmaya çalışıldığı çok sayıda çalışma vardır. Yine üç zamanlı tüketim tarifelerinde puant saatlerdeki tüketimlerin gündüz saatlerine, gündüz saatlerinde gece saatlerine oranlarının toplamının minimize edilerek daha düz bir yük profili elde edilen çalışmalarda yaygındır. Bu çalışmalardan esinlenerek çok zamanlı tarifeler için yeni bir hedef fonksiyonu önerilmiştir.



Şekil 2.19. Zamanla değişen fiyat sinyali

Şekil 2.19’da enerji tedarikçisinin belirlediği günlük gün öncesi dinamik fiyat sinyali görülmektedir. Sinyalde elektrik fiyatlarının gece yarısından sonra düştüğü, akşam saatlerinde ise pik yaptığı ve gündüz saatlerinde talep doğrultusunda değiştiği görülmüştür. Eşitlik (2.40)’ta fiyat sinyalindeki fiyat değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanmıştır. Sonrasında eşitlik (2.41)’de her fiyat değerindeki ortalama güç tüketimleri P_{f_n, θ_i}^{ort} ayrı ayrı hesaplanır. Örneğin Şekil.2.19’teki fiyat sinyalinde tedarikçi firma 5 cent/kWh’lık fiyata 3 saat boyunca elektrik enerjisi satmıştır ve $3 \times 12 = 36$ periyot boyunca tüketilen ortalama güç hesaplanmıştır.

$$F = [f_1 \ f_2 \ f_3 \ \dots \ f_{23} \ f_{24}]$$

$$f_n > f_{n-1} > \dots > f_2 > f_1 \quad (2.40)$$

$$P_{f_n, \theta_i}^{ort} = \frac{\sum_{t=1}^T P_{f_n, \theta_i, t}^{net}}{\sum_{t=1}^T 1} \quad (2.41)$$

Öncelikle tüm fiyatlar için ortalama güç tüketim değerleri hesaplanır ve ardından fiyat geçişlerini yumuşatacak bir indikatör indisi $ind_i(\theta_i)$ tanımlanır. Bu indikatör en büyük fiyattan en küçük fiyata kadar sırasıyla en büyük fiyattaki ortalama gücün, bir sonraki fiyatın ortalama gücüne oranlar. Bu işlem tüm fiyat değerlerine uygulanır ve bütün oranların toplamı indikatör indisini verir. Geliştirilen indikatör eşitlik (2.42) ile tanımlanmıştır.

$$ind_i(\theta_i) = \frac{P_{f_n, \theta_i}^{ort}}{P_{f_{n-1}, \theta_i}^{ort}} + \frac{P_{f_{n-1}, \theta_i}^{ort}}{P_{f_{n-2}, \theta_i}^{ort}} + \dots + \frac{P_{f_2, \theta_i}^{ort}}{P_{f_1, \theta_i}^{ort}} \quad (2.42)$$

2.5.3. MEYS'in Bayesyen Oyun Teoremi Koordinasyonu

Mahalledeki tüm konutların katıldığı bir bayesyen oyun kurulmuştur. Kurulan bayesyen oyunda her konut oyuncu olarak tanımlanır. Konutlarda KEYS tarafından üretilen her bir cihaz çalışma planlarına (optimal çözümler) bayesyen oyunda oyuncuların stratejileri (eylemleri) denir. Konutlar için özel bir bilgi olan eylemler birer vektördür. Konut sakinlerinin her bir eylemi seçme olasılığı birbirine eşittir.

Bu tez çalışmasında bir mahalle 5 adet konutla modellenmiştir. Her konutun içinde 5 adet elektrik tüketim planı üretilmiştir. Bir başka deyişle kurulan bayesyen oyun 5 oyuncudan oluşmakta ve her oyuncunun 5 adet eylem planı bulunmakta ve bunların her birini seçme ihtimali $p(\theta_i)$ eşitlik (2.43) ile 0,20 olarak hesaplanmıştır. Diğer oyuncular oyuncunun eylemlerini bilmezler fakat eylem sayısını bildiklerinden oyuncunun eylem seçme olasılığını (inanış fonksiyonu) bilirler.

$$p(\theta_i) = \frac{1}{n(E_i)} = \frac{1}{5} = 0,20 \quad (2.43)$$

Eşitlik (2.42)'de her bir oyuncu için amaç fonksiyonunu kapsayan indikatör değeri kullanılarak konutların ortalama indikatör indisi $ind_{ort}(\theta_i, \theta_{-i})$ eşitlik (2.44)'te hesaplanmıştır.

$$ind_{ort}(\theta_i, \theta_{-i}) = \frac{\sum_{j=1}^5 P_{f_n, \theta_j}^{ort}}{\sum_{j=1}^5 P_{f_{n-1}, \theta_j}^{ort}} + \frac{\sum_{j=1}^5 P_{f_{n-1}, \theta_j}^{ort}}{\sum_{j=1}^5 P_{f_{n-2}, \theta_j}^{ort}} + \dots + \frac{\sum_{j=1}^5 P_{f_2, \theta_j}^{ort}}{\sum_{j=1}^5 P_{f_1, \theta_j}^{ort}} \quad (2.44)$$

Her oyuncunun kazanç fonksiyonu $u_i(\theta_i, \theta_{-i})$, oyuncunun kendi kazancı ve kendisi dışındaki oyuncuların kazançları toplamının negatif işaretle çarpımına eşittir. Eşitlik (2.45) kullanılarak tüm oyuncuların kazançları ayrı ayrı hesaplanmıştır.

$$u_i(\theta_i, \theta_{-i}) = -(ind_i(\theta_i) + ind_{ort}(\theta_i, \theta_{-i})) \quad (2.45)$$

Bir bayesyen oyun modelinde çözüme ulaşmak için bayesyen oyunun Nash dengesini bulmak gerekir. Nash dengesini verecek olan $s^*(s_1^*, s_2^*, s_3^*, \dots, s_n^*)$ optimal stratejisi aranmalıdır. Optimal strateji eşitlik (2.46) kullanılarak bulunur. Kurulan oyunda stratejiler sadece birer eylemden oluştuğundan ayrıca eylemlerden söz edilmemiştir.

$$s_i^* \in \operatorname{argmax} \sum_{\theta_{-i}} p(\theta_i | \theta_{-i}) \cdot u_i(\theta_i, \theta_{-i}) \quad (2.46)$$

Bayesyen oyunlarda oyuncuların inanışları sürekli olarak güncellenir ve inanış fonksiyonları güncellendikten sonra denge denklemi yeniden hesaplanır.

$$s_i^* \in \operatorname{argmax} \sum_{\theta_{-i}} \frac{p(\theta_i | \theta_{-i}) \cdot p(\theta_{-i})}{p(\theta_i)} u_i(\theta_i, \theta_{-i}) \quad (2.47)$$

Bayesyen oyunda oyuncular birbirleriyle iletişim kurmadıklarından eş zamanlı olarak birbirlerinin seçtikleri eylemleri bilemezler. Ancak tasarlanan sistemde her konutun eylemlerini ve hangi eylem seçilirse ne kadar kazanç sağlayacağı MEYS tarafından bilinir. Bu durum oyuncuların kazançlarının diğer oyuncuların dışında dışarıdan biri tarafından bilindiğini gösterir. Ancak oyuncular birbirlerinin stratejilerini bilmediği için herhangi bir sorun oluşturmaz. Böylece MEYS diğer oyuncuların inançlarını, her oyuncunun olası eylemlerine göre güncellemektedir.

3. ENERJİ YÖNETİMİNDE OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ

3.1. Giriş

Literatür taramasında konutlardaki cihazların en uygun çalışma zamanları için kullanılan programlama ve optimizasyon yöntemlerine değinilmiştir. Bunlardan Doğrusal Programlama, Doğrusal Olmayan Programlama, Karmaşık Tamsayı Doğrusal Olmayan Programlama gibi programlama yöntemler genellikle problemlere global çözüm arar. Öte yandan optimizasyon yöntemi daha çok yerel çözüm noktaları sunar. Bu tez çalışmasında enerji yönetim problemi konut düzeyinde Genetik Algoritma ve Gri Kurt Optimizasyonu yöntemleriyle, mahalle genelinde Bayesyen Oyun Teorisi yaklaşımıyla çözülmüştür.

3.2. Genetik Algoritma Yöntemi

Genetik Algoritma (GA) yöntemi, canlıların kalıtsal yapıları bakımından daha iyi bireyler oluşturmak için kullandığı süreçlerin, optimizasyon problemlerine adapte edilerek en uygun çözümün elde edilmesidir [158]. Bu süreçler başlangıç popülasyonunun oluşturulması, uygunluk değerini hesaplanması, seçme işlemi, çaprazlama ve mutasyondan oluşmaktadır. Bu bölümde GA yöntemini teorik olarak açıklamaktan ziyade konut enerji yönetiminin GA yöntemine uyarlanması ele alınacaktır. Öncelikle evdeki cihazları kullanarak GA yapı taşı olan kromozomları oluşturulalım.

Konutta optimize edilecek cihazlar parametre dizisi ve kromozom (birey) olarak tanımlanır. Kromozom, N adet parametreye sahip ise optimizasyon problemi N boyutlu olur. Parametreler $P_1, P_2, P_3, \dots, P_N$ ise kromozom yapısı eşitlik (3.1) ile tanımlanır.

$$Kromozom = [P_1, P_2, P_3, \dots, P_N] \quad (3.1)$$

Burada her P parametresi yerine konuttaki cihazların zaman serisindeki güç tüketim değerleri yazılacaktır. Kromozomu bu şekilde düzenlediğimizde eşitlik (3.2) elde edilir.

$$Kromozom = [Camaşır mak, Bulaşık mak, Klima, \dots, EDS, EA] \quad (3.2)$$

Elektrikli cihazların belirlenen zaman dilimindeki çalışmasını sayısal olarak ifade edebilmek için kodlama gerekir. Bu tür problemler tanımlanırken cihazların açık veya kapalı konumunu belirtmek için kodlanırken farklı kodlama teknikleri kullanılabilir. Ancak bu çalışmada ikili kodlama tercih edilmiştir. Toplam optimizasyon süresinin en küçük zaman dilimine bölümü her bir cihazın dizi uzunluğunu belirlemektedir. GA'da kromozom yapısı oluşturulurken eşitlik (3.3) ile hesaplanan kromozom boyutu (KB), cihaz sayısı (CS) ve cihaz dizi boyutuna (CDB) bağlı olarak değişmektedir. Daha hassas bir kontrolde CDU'ye bağlı olarak KB de artar. Ancak KB arttığında, benzetim süresi önemli miktarda artar.

$$KB = CS * CDU \quad (3.3)$$

Örneğin bir evde bulunan çamaşır makinası, bulaşık makinası ve klimanın bir gün içerisinde saatlik çalışma durumlarını kontrol eden bir kromozom oluşturalım. Bir gün 24 saatten oluştuğu için her bir cihazın dizi boyutu 24'tür. Kromozom boyutu ise $3*24=72$ olarak bulunur. Bu kromozomun yapılarını oluşturacak olursak,

$$\begin{aligned} \text{Çamaşır makinası} &= [000001100000000001100000] \\ \text{Bulaşık makinası} &= [001110000000000000000000] \\ \text{Klima} &= [001001000110001000100000] \end{aligned}$$

Buradaki ikili kodlamanın mantığını ve ne anlama geldiğini açıklayalım. Örneğin çamaşır makinası gün içerisinde 6-7 ve 18-19 saatlerinde olmak üzere iki kez çalışmıştır. Her çalışma süresi 2 saat devam etmektedir. Bulaşık makinası ise gün içerisinde 3-4-5 saatlerinde olmak üzere her çalışması 3 saat sürmekte ve günde bir kez çalışmaktadır. Son olarak klima 3,6,10,11,15 ve 19 olmak üzere 6 defa çalışmıştır. Bunlardan 4 çalışma bir saat iken ve bir çalışmanın ise 2 saat devam ettiği görülmüştür.

$$Kromozom = \left[\begin{array}{ccc} \underbrace{00011 \dots 00110}_{\text{çamaşır makinası}} & \underbrace{01110 \dots 00000}_{\text{bulaşık makinası}} & \underbrace{001001 \dots 10000}_{\text{klima}} \end{array} \right] \begin{array}{c} 100 \\ 100 \\ \vdots \\ 800 \\ 800 \\ \vdots \\ 400 \\ 400 \end{array} \quad (3.4)$$

Eşitlik (3.4) cihazlardan oluşan kromozom yapısı yatay dizi ile ifade edilirken, sağ taraftaki dikey dizi ilgili cihazın çalıştığı zaman aralığındaki güç tüketimini göstermektedir. Eşitlik (3.5) bir önceki yatay dizide verilen kromozom yapısının matris formunda gösterimidir ve sağda güç tüketimi de matris formuna dönüştürülmüştür.

$$Kromozom = \begin{bmatrix} 000001100000000001100000 \\ 001110000000000000000000 \\ 001001000110001000100000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 100 & 800 & 400 \\ 100 & 800 & 400 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 100 & 800 & 400 \\ 100 & 800 & 400 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

3.2.1. Genetik Algoritma Süreçlerinin Tanımlanması

GA yönteminde en uygun çözüme ulaşabilmek için sırasıyla başlangıç popülasyonun oluşturulması, uygunluk değerinin hesaplanması, seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemleri süreçlerinin tamamlanması gerekmektedir [159]. Bu süreçlerin neler olduğunu ve görevlerini fazla detaya girmeden tanımlayalım.

3.2.1.1. Başlangıç Popülasyonu

GA yaklaşımında kromozomların oluşturduğu topluluğa popülasyon denir. Genellikle popülasyondaki kromozom sayısı sabit tutulur. Popülasyondaki kromozom sayısı arttıkça çözüme ulaşma süresi artar. Başlangıç popülasyonu rastsal olarak üretilir ve alternatif geçici çözüm kümesidir. Çünkü her iterasyonda çözüm kümesi yenilenecektir.

3.2.1.2. Uygunluk Değerleri Hesaplaması

GA yönteminde amaç fonksiyonu, giriş parametrelerine bağlı olarak çıkış üreten bir fonksiyondur. Burada amaç fonksiyonunu gerçekleştirmek için giriş parametrelerine göre uygun değer buluna kadar çıkış üretmektir. Rastgele üretilen popülasyondaki parametreler, amaç fonksiyonunda yerlerine konularak ve uygunluk değerleri hesaplanarak değerlendirilir.

3.2.1.3. Seçim

Başlangıç popülasyonundaki kromozomlar ve üretilen yeni kromozomlar arasından en uygun olanların hayatta kalması ve diğerlerinin yok edilmesidir. Çünkü popülasyon sayısı sınırlı olduğundan verimsiz bireylerin seçilerek temizlenmesi gerekir. Seçme işlemi algoritmanın her bir iterasyonunda yapılır. Burada ne kadar bireyin seçileceği keyfi bir değerdir. GA yönteminde rastgele, ağırlık, rulet tekeri, turnuva yöntemi gibi birçok sıralama yöntemi bulunmasına rağmen bu çalışmada sıra ağırlık yöntemi kullanılmıştır.

3.2.1.4. Çaprazlama

Yeni kromozomlar üretmek için kromozom havuzundan iki adet kromozom seçilir. Seçilen bu kromozomlar kendi aralarında bir veya birden fazla genlerini değiştirerek yeni nesiller üretmesine çaprazlama denir. Mevcut literatürde en yaygın olarak kullanılan iki kromozomdan iki tane yeni kromozom elde edilmesidir. Yeni oluşan kromozomlar her iki bireyin karakterini içermelidir. GA'da kullanılan çaprazlama oranı, bir popülasyonda ne kadar kromozomun çaprazlamaya tabi tutulacağını belirlemektedir. Konutlardaki cihazların çaprazlama işlemi yapılırken çalışması kesilemez cihazların yerleri kromozom içerisinde bütün halde değiştirilir. Ancak kesilebilir ve ertelenebilir cihazlar için bu durum geçerli değildir. Aşağıda çaprazlama işlemine tabi tutulan iki kromozomdan çaprazlama sonrası elde edilen iki yeni kromozom görülmektedir.

$$\text{Kromozom}_{c_1} = 1100 \underbrace{00000011}_{\text{yer deđiřecek}}$$

$$\text{Kromozom}_{\text{yeni}_1} = 110011000000$$

$$\text{Kromozom}_{c_2} = 11 \underbrace{11000000}_{\text{yer deđiřecek}} 00$$

$$\text{Kromozom}_{\text{yeni}_2} = 110000001100$$

3.2.1.5. Mutasyon

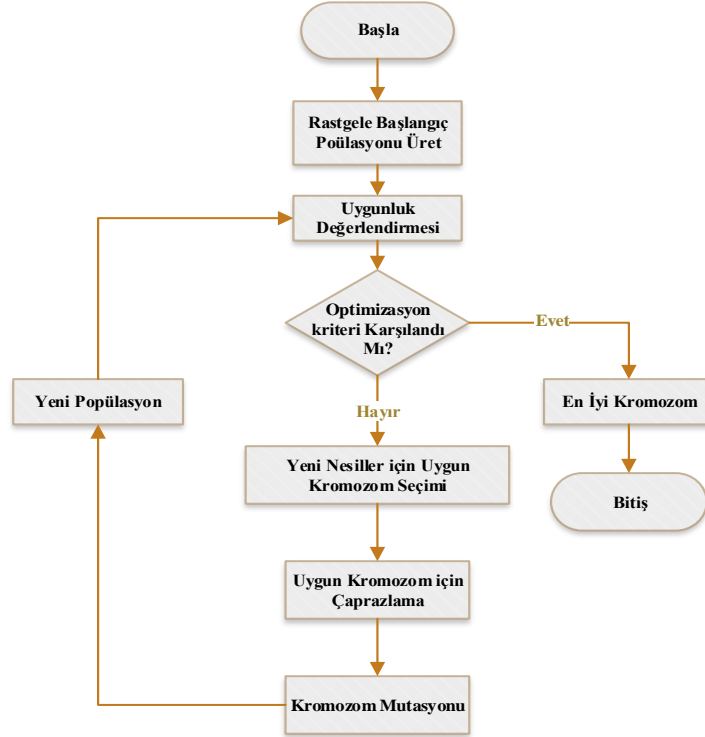
GA yönteminde mutasyon, var olan bir kromozomun genlerinin bir ya da birkaçının yerlerini değiştirerek yeni kromozom oluşturmaktır. Yeniden ve sürekli yeni kromozomlar üretimi sonucunda belirli bir süre sonra kromozomlar birbirini tekrarlama konumuna

gelebilir ve bunun sonucunda farklı kromozom üretimi durabilir veya çok azalabilir. Bu nedenle kromozomların çeşitliliğini arttırmak için kromozomlardan bazıları mutasyona uğratılır. Çaprazlamada olduğu gibi mutasyonda da kesilemez cihazlar için mutasyon işlemi cihazın çalışması kesilmeden çalışma zamanı yerinin değiştirilmesiyle gerçekleştirilir. Aşağıda GA kromozom yapısının mutasyonuna uğramış hali görülmektedir.

$$\text{Kromozom}_{m1} = 1100110000\mathbf{1100}$$

$$\text{Kromozom}_{m2} = 1100110000\mathbf{0000}$$

GA sezgisel yaklaşımında en iyi uygunluk sonucu belirlenen iterasyon sayısı tamamlana kadar devam edecektir. İterasyon sayısı ve kromozom sayısını arttırmak daha iyi sonuçlar vermesine rağmen benzetim süresinin uzamasına sebep olmaktadır. En uygun değeri elde etmek geçen süreyi etkileyen diğer faktörler, kromozomu oluşturan parametre kısıtlamaları, çaprazlama ve mutasyon oranlarıdır. Şekil 3.1’de tüm süreçlerini içeren bir GA akış diyagramı görülmektedir. Burada optimizasyon kriteri olarak iterasyon sayısı veya sayısal bir değer olmasına rağmen, genellikle kullanıcı tarafından belirlenen bir iterasyon sayısı tercih edilmektedir.

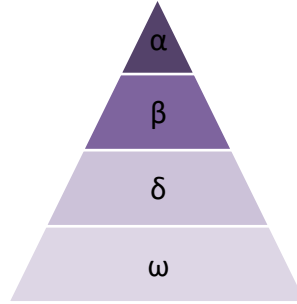


Şekil 3.1. Genetik Algoritma akış diyagramı

GA yöntemi ile üretilen en uygun sonuç, amaç fonksiyonunun minimum değeridir. Çok amaçlı optimizasyon problemlerinde amaç fonksiyonu önem derecesine göre önceden belirlenen katsayılar kullanılarak en iyileme yapılır. Benzetim sonucunda optimum amaç fonksiyonu hesaplandıktan sonra cihazların çalışmasına kullanılacak en iyi kromozom yapısı kaydedilerek cihazlara aktarılır. GA yeniden çalıştırılırsa farklı kromozomlar oluşur ve konut sakinlerine cihazlarını kontrol etmeleri için alternatif çözümler sunar. Bir başka deyişle benzetim sayısı arttıkça, olası çözüm sayısı da artar. En iyi kromozom yapısı, bu çalışma için konuttaki cihazların çalışma zamanını verir. Cihazların kontrolü belirlenen çalışma zamanına göre gerçekleştirilir.

3.3. Gri Kurt Optimizasyon (GKO) Algoritması

GKO algoritması avcılık sürecinde avlarını başarılı bir şekilde bulmak için grup üyeleri arasındaki koordinasyonu sağlayan gri kurtların kullandığı akıllı arama stratejisinden esinlenen bir meta-sezgisel algoritmadır. Gri kurtların önemli özelliklerinden biri, istikrarı sağlamak ve avlanmada karşılıklı olarak yardımcı olmak için katı bir sosyal hiyerarşiye sahip olmalarıdır [160]. Sosyal hiyerarşiye dayalı kurtların düzeyleri Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Gri Kurt sosyal hiyerarşisi

Hiyerarşinin en üst seviyesinde grubun lideri olarak alfa (α) bulunur. Erkek veya dişi olabilen alfa liderliğini yönetim yeteneğinden alır ve tüm gruba kararları ile hükmeder. Hiyerarşide 2. sırada bulunan Beta (β) karar vermede Alfa'ya danışmanlık yapar. Ayrıca alt seviyedeki kurtlara kumanda eder ve disiplini grup üzerinde tutar. Delta (δ) gri kurt sosyal hiyerarşisinde 3. sıradadır. Alfa ve beta kurtların emirlerine uyarlar. Deltalar bölge sınırlarını izleyen ve herhangi bir tehlike durumunda grubu uyaran yaşlı kurtlardır. Ayrıca hasta ve

yaralı kurtlar için bakıcı rolü üstlenirler. Omega (ω) kurtları sosyal hiyerarşinin en altındadır. Omegalar diğer tüm baskın kurtların emirlerine itaat ederler ve grupta en son onların yemek yemelerine izin verilir. Gri kurtlar grup halinde avlanır, birbiriyle koordine olur ve alfa yol açar. Avlanma işlemi birçok adımda gerçekleşir. Grup ilk olarak av sürüsünü bulur ve sonra onları çevreler. Kurtlar zayıf, hasta, yaşlı veya yaralı avlarını tercih ederler [161]. Alfa, beta ve delta zayıflamış avı vücut duruşu, koordine olmayan hareketler veya yara kokusu ile bulur ve kovalamaya başlar. Omegalar baskın kurtları takip eder. Grup avın yanına geldikten sonra avı çevreler ve av hareket etmeyi bırakana kadar taciz eder, daha sonra atlar ve avına saldırır.

Bu bölümde maliyet minimizasyonu probleminin GKO algoritmasına uygulanması ele alınmaktadır. Günlük maliyet tasarrufu problemi, optimum av yerini bulmak için birlikte arama yapan bir 'kurt' sürüsü olarak kodlanır. Sürü içerisindeki her kurt X_i ($i = 1, 2, \dots, n$), 288 elemanlı bir vektör olarak kodlanır. X_i 'nin her bir X_{ij} 'i ($j = 1, 2, \dots, 288$), 5 dakikalık zaman aralığındaki çalışma durumunu temsil eder. X_{ij} eşitlik (3.6) ile tanımlanmıştır.

$$X_{ij} = alt_{sınır} + rand[0,1] * (ust_{sınır} - alt_{sınır}) \quad (3.6)$$

Burada $alt_{sınır}$ ilgili zaman aralığında cihazın alabileceği minimum güç sınırı iken, $ust_{sınır}$ cihazın alabileceği maksimumu güç sınırı olarak tanımlanır. Konutlardaki cihazlar için alt sınır 0 kabul edilirken, üst sınır ise anma güç değerleri olarak tanımlanır. Enerji depolama sistemleri için alt sınır maksimum deşarj gücü, üst sınır ise maksimum şarj gücüdür. Eşitlik (5.1)'deki $rand[0,1]$ ifadesi $[0,1]$ aralığında rastgele üretilen bir sayıyı temsil etmektedir.

3.3.1. Gri Kurt Sürüsü Avlanmasının Matematiksel Modellemesi

Konuttaki cihazların çalışma zamanlarını optimum olarak çizelgelemek için GKO'yu matematiksel olarak modelleyerek beta, delta ve omega iş birliği ile alfa tarafından hesaplanan optimum av konumunu bulmaktır. En iyi av konumu maksimum maliyet tasarrufu ile sonuçlanan en uygun cihaz çalışma saatlerini temsil eder.

Sürü veya grupta bulunan 'n' tane kurdun içerisinde günlük enerjinin tüketiminin en düşük olduğu kurt alfa olur. Arama alanındaki alfa konumu X_α olarak temsil edilir. Alfadan daha az ancak kalan kurtlardan daha yüksek bir değerde maliyet tasarrufu sağlayan gruptaki kurt beta olur ve konumu X_β olarak temsil edilir. Benzer şekilde beta pozisyonundan daha

$$X_{\omega\alpha_{ij}} = X_{\alpha_j} - A_{\omega\alpha_{ij}} \cdot (D_{\omega\alpha_{ij}}) \quad (3.8)$$

$$X_{\omega\beta_{ij}} = X_{\beta_j} - A_{\omega\beta_{ij}} \cdot (D_{\omega\beta_{ij}}) \quad (3.9)$$

$$X_{\omega\delta_{ij}} = X_{\delta_j} - A_{\omega\delta_{ij}} \cdot (D_{\omega\delta_{ij}}) \quad (3.10)$$

X_{α_j} alfa konum vektörü X_α 'nın, X_{β_j} beta konum vektörü X_β 'nin, X_{δ_j} delta konum vektörü X_δ 'nin j elemanıdır. $A_{\omega\alpha_{ij}}$, $A_{\omega\beta_{ij}}$ ve $A_{\omega\delta_{ij}}$ i'inci omega rastgele katsayısı vektörleri $A_{\omega\alpha}$, $A_{\omega\beta}$, $A_{\omega\delta}$ 'nin j 'inci elemanıdır.

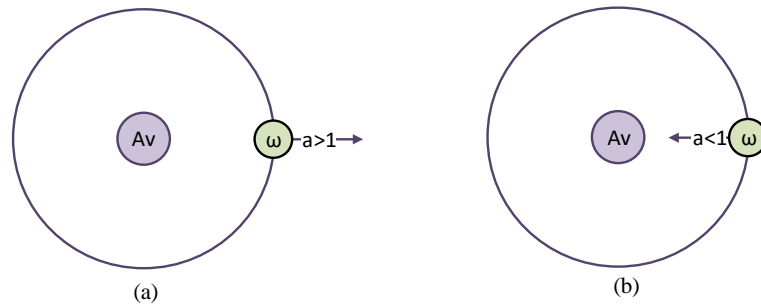
$A_{\omega\alpha}$ alfa'nın avın yakınında olduğunu varsayarak omega'nın alfa konumu etrafındaki rastgele hareketini modellemektedir. $A_{\omega\beta}$ beta'nın avın yakınında olduğunu varsayarak, omega'nın beta konumu etrafındaki rastgele hareketini modellemektedir. $A_{\omega\delta}$ delta'nın avın yakınında olduğu varsayımıyla, omega'nın delta konumu etrafındaki rastgele hareketini modellemektedir. $A_{\omega\alpha}$, $A_{\omega\beta}$ ve $A_{\omega\delta}$ değerleri eşitlik (3.11)-(3.13) kullanılarak hesaplanır.

$$A_{\omega\alpha_{ij}} = 2 \cdot a \cdot rand[0,1] - a \quad (3.11)$$

$$A_{\omega\beta_{ij}} = 2 \cdot a \cdot rand[0,1] - a \quad (3.12)$$

$$A_{\omega\delta_{ij}} = 2 \cdot a \cdot rand[0,1] - a \quad (3.13)$$

Burada $rand [0,1]$, 0 ile 1 aralığında rastgele bir sayıdır. Karar değişkeni olarak adlandırılan 'a' yineleme sırasında eşit olarak 2'den 0'a düşürülür. Her yinelemede $A_{\omega\alpha}$, $A_{\omega\beta}$ ve $A_{\omega\delta}$ bileşenleri $[-a, a]$ aralığında rastgele bir değer alır. Örneğin $a=2$ olduğunda $A_{\omega\alpha}$, $A_{\omega\beta}$ ve $A_{\omega\delta}$ $[-2, 2]$ aralığında rastgele değerler alırlar ve $a=1$ olduğunda $[-1, 1]$ aralığında rastgele değerler alırlar.



Şekil 3.4. GKO konum güncellemesi

Yinelemelerin ilk yarısında $a > 1$ durumunda omegalar av alanından uzaklaşır ve daha iyi bir av bulmak için baskın kurtların konumlarına dayanarak tahminde bulunurlar. Omega'nın daha iyi bir av bulmak için avdan nasıl ayrıldığını Şekil 3.4.a'da gösterilmiştir.

Yinelemelerin ikinci yarısında $a < 1$ durumunda omegalar avı baskın kurtların tuzağına düşürmesi ve ona saldırımları için onların konumlarına dayanarak tahmin ettikleri yerde kuşatır. Omega'nın saldırı için avını nasıl konumlandığını Şekil 3.4.b'de gösterilmektedir.

Son yineleme $a = 0$ sırasında, $A_{\omega\alpha}$, $A_{\omega\beta}$ ve $A_{\omega\delta}$ vektörlerinin tüm öğeleri sıfır olur. Grubun tamamı ava atlar ve saldırır. Tüm kurtların koordinatları en uygun avın koordinatı ile aynı olur. Her yineleme için 'a' değeri eşitlik (3.14) kullanılarak hesaplanır.

$$a = 2 - \frac{(2 \cdot t)}{t_{top}} \quad (3.14)$$

Burada t şu an ki yineleme ve t_{top} ise toplam yineleme sayısını temsil etmektedir. Omega konum vektörü X_i 'nin j 'inci elemanı ile alfa'nın konum vektörü X_α , beta konum vektörü X_β ve delta konum vektörü X_δ 'lerin j 'inci elemanları arasındaki mesafeler sırasıyla $D_{\omega\alpha ij}$, $D_{\omega\beta ij}$, $D_{\omega\delta ij}$ ile tanımlanır. $D_{\omega\alpha ij}$, $D_{\omega\beta ij}$ ve $D_{\omega\delta ij}$ mesafeleri (3.15)-(3.17) eşitlikleri kullanılarak hesaplanır.

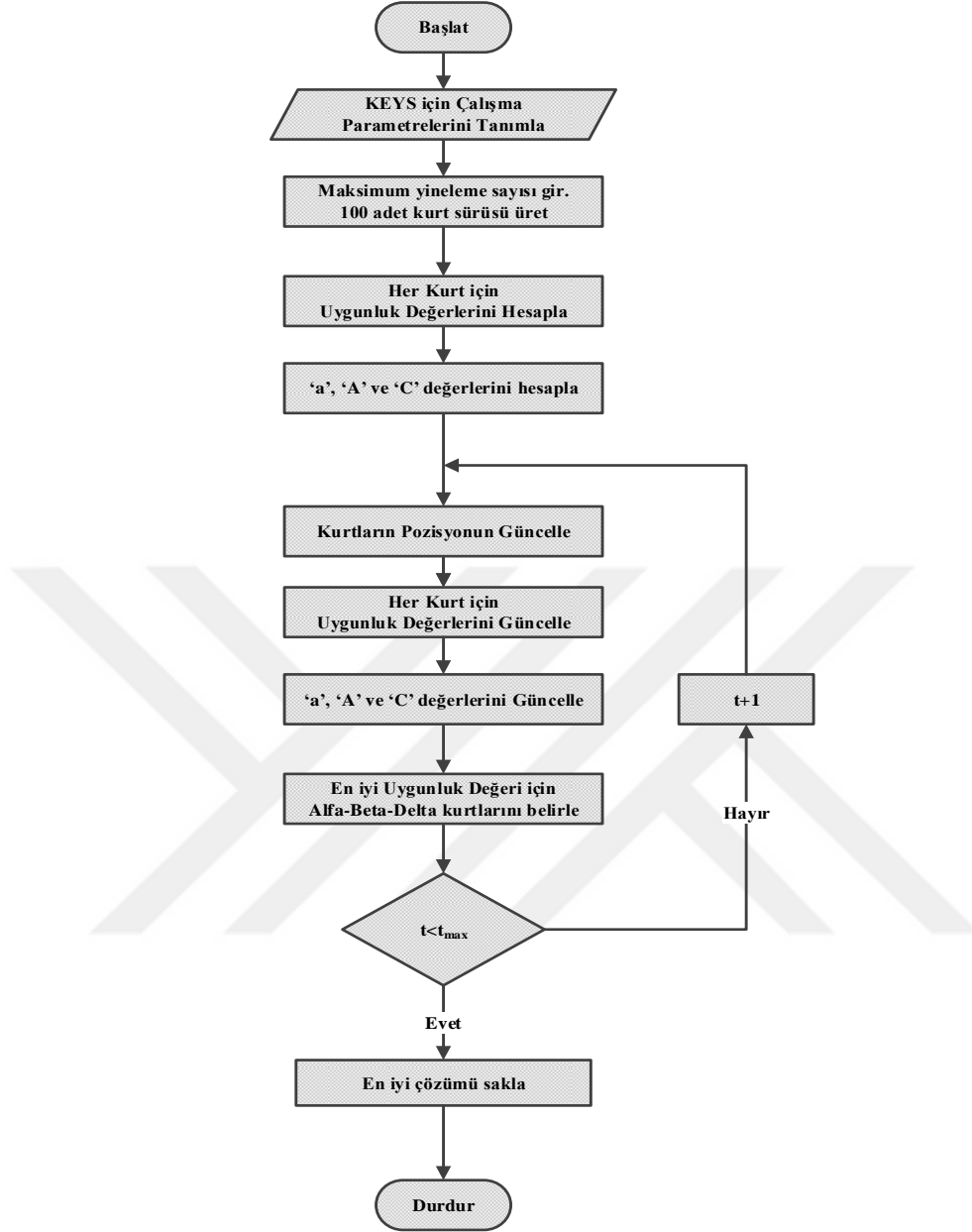
$$D_{\omega\alpha ij} = \left| C_{\omega\alpha ij} \cdot X_{\alpha_j} - X_{ij}(t) \right| \quad (3.15)$$

$$D_{\omega\beta ij} = \left| C_{\omega\beta ij} \cdot X_{\beta_j} - X_{ij}(t) \right| \quad (3.16)$$

$$D_{\omega\delta ij} = \left| C_{\omega\delta ij} \cdot X_{\delta_j} - X_{ij}(t) \right| \quad (3.17)$$

Doğal engellerden dolayı omega alfa, beta ve delta'nın tam yerlerini bulamaz. Omega'nın baskın kurt alfa'nın yerini tahmin etmesinde her zaman bir hata oluşur. Bu engel vektörü $C_{\omega\alpha}$, $C_{\omega\beta}$ ve $C_{\omega\delta}$ ile modellenir ve 0-2 aralığında rastgele değerler alır. $C_{\omega\alpha ij}$, $C_{\omega\beta ij}$ ve $C_{\omega\delta ij}$, i 'inci omega engel vektörleri $C_{\omega\alpha}$, $C_{\omega\beta}$ ve $C_{\omega\delta}$ 'lerin j 'inci elemanlarıdır. $(C_{\omega\alpha ij} \cdot X_{\alpha_j})$, $(C_{\omega\beta ij} \cdot X_{\beta_j})$ ve $(C_{\omega\delta ij} \cdot X_{\delta_j})$ sırasıyla alfa, beta ve delta konum vektörlerinin j 'inci elemanlarının yaklaşık konumlarıdır.

GKO algoritmasına ait akış diyagramı Şekil 3.5'te verilmiştir. GKO algoritması Matlab ortamında kodlanarak KEYS için optimal çözümler üretmiştir. KEYS uygulamaları sonraki bölümde yapılan benzetim ve deneysel sonuçlar bölümünde verilmiştir.



Şekil 3.5. GKO akış diyagramı

3.4. Bayesyen Oyun Teorisi

Birden fazla tarafın olduğu ve sonunda bu taraflardan her birinin kazanımı söz konusu olduğu, tarafların davranışları ve kararlarının birbirlerinin kazanımlarını etkilediği durumlara matematikte oyun olarak adlandırılır. Oyun teorisi, bir oyunda tarafların nasıl karar vermesi gerektiği, dengenin varlığı ve nasıl sağlandığı konularını içerir.

Bir oyunun oyuncular i , eylemler θ ve stratejiler s_i , kazanç fonksiyonları u ve inanışlar p bileşenlerinden oluşur. Oyunlarda karar verme eylemini gerçekleştirenlere oyuncu denir.

Bir oyunda iki ya da daha fazla oyuncu bulunabilir. Bir oyuncunun oyun içerisinde atabileceği adımlar oyuncu eylemleridir. Oyun süresince oynanan tüm eylemler stratejileri oluşturur [162]. Her bir oyuncunun oynadığı stratejiye bağlı olarak oyundan sağladığı faydayı ifade eden fonksiyonlar kazanç fonksiyonu olarak tanımlanır. Herhangi bir oyuncunun diğerinin ne oynayacağından habersiz olduğu durumdaki düşüncelerine inanış fonksiyonu denir.

Oyuncular kendi aralarında anlaşarak, belirli stratejileri belli bir amaç doğrultusunda oynadıkları oyunlara dayanışmacı oyunlar denir [162]. Her oyuncunun diğerleriyle iş birliği veya iletişim halinde olmaksızın bağımsız hareket ettiği oyunlara ise dayanışmacı olmayan oyunlar denir [163].

Bayes teoreminde X ve Y rassal değişkenlerinin ortak olasılıkları arasındaki doğal ilişki eşitlik (3.18) ile ifade edilir.

$$P(X, Y) = P(X|Y) \cdot P(Y) = P(Y|X) \cdot P(X) \quad (3.18)$$

Eşitlik (3.18)'deki ortak olasılık iki ayrı biçimde ifade edilmesi sayesinde aşağıda verilen Bayes kuralı elde edilir. Bu kural $P(Y)$ değeri sıfır olmadığı sürece geçerlidir. Bayes kuralı ile iki koşullu olasılığı birbirine çevirmek mümkündür [164].

$$P(X, Y) = \frac{P(Y|X) \cdot P(X)}{P(Y)} \quad (3.19)$$

Bayesyen oyunlarda özel bilgilerin bulunduğu durumları modellemek için Bayes kuralı kullanılır. Burada özel bilgi olarak kastedilen bir oyuncunun bir bilgiye sahip olan tek kişi olduğu, fakat diğer oyuncuların bu bilgiye sahip olduğunu bildikleri durumdur [165].

Bayesyen oyunlarda önemli unsurlardan biri de tip kavramıdır. Bir oyuncunun kazancını etkileyen tüm oyun bileşenleri içerisinde oyuncunun alabileceği alternatif kararlardır. Farklı karar alternatifleri olmayıp, ne yapacağı herkesçe kesin olarak bilinen oyuncuların tek tipleri vardır. Bir oyuncunun tip sayısı biliniyorsa diğer oyuncuların inanış fonksiyonlarını bilir ve ona göre davranırlar.

Bayesyen oyunda n adet oyuncunun olduğu bir oyunda, s_i i oyuncusunun stratejisini, $s_{-i} = (s_1, s_2, \dots, s_{i-1}, s_{i+1}, \dots, s_n)$ i dışındaki diğer j oyuncularının stratejilerini, u_i ise kazanç

fonksiyonlarını ifade eder. Bir oyunda her oyuncunun bir dominant stratejisi $s^d = (s_1^d, s_2^d, \dots, s_n^d)$ olmalıdır.

Sonuç olarak kurulan Bayesyen oyunda ortak bir amaç doğrultusunda hareket ediliyorsa; her oyuncu en iyi stratejisini değil, genel amaca ulaşmak için uygun stratejiler belirlemelidir. Bu yöntemle bir mahallede enerji koordinasyonunu en iyi biçimde sağlayan bir çözüm aranmıştır.



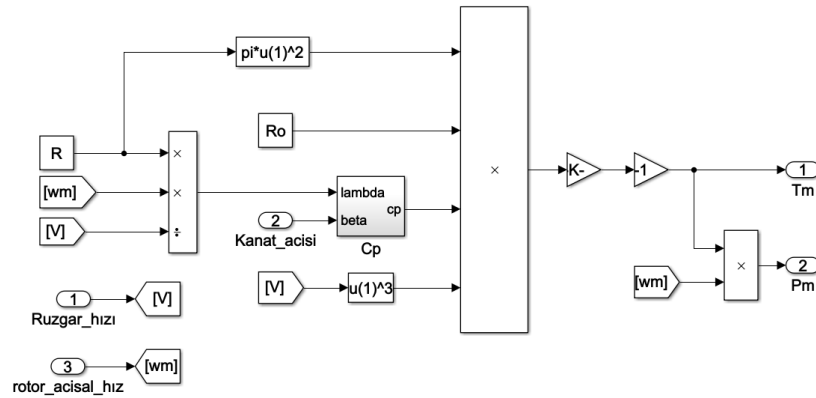
4. DAĞITIK ÜRETİM VE DEPOLAMA SİSTEMLERİ

4.1. Rüzgâr Türbin Modeli

Rüzgâr türbini (RT), rüzgâr hızının sahip olduğu kinetik enerjiyi, türbin kanatları yardımıyla mekanik enerjiye dönüştürür. Üretilen türbin milindeki mekanik güç veya mekanik moment genaratörün rotoru için bir tahrik oluşturur. Böylece RT genaratörünün rotoru için türbin milindeki mekanik güç veya mekanik moment eşitlik (4.1) ile tanımlanır.

$$P_m = \frac{1}{2} C_p \rho \pi r^2 V^3 \quad (4.1)$$

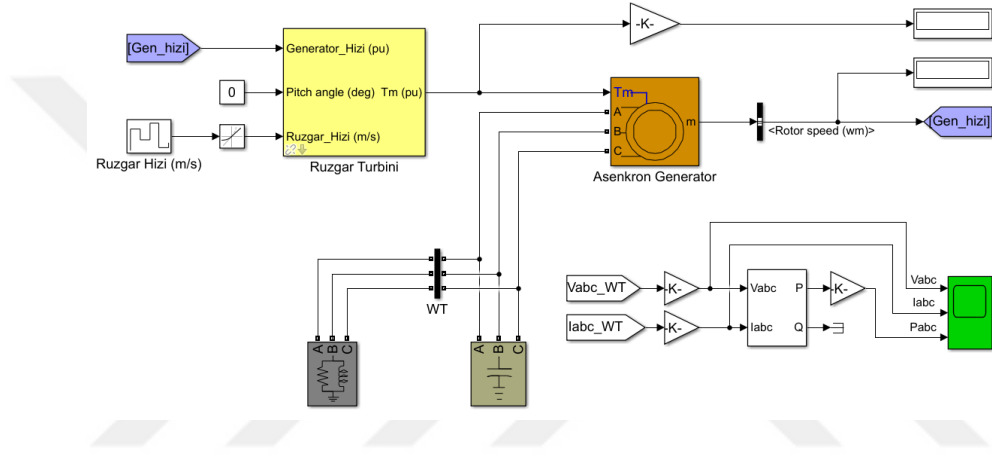
Burada r türbin kanat yarıçapı (m), ρ hava yoğunluğu (kg/m^3), V rüzgâr hızı (m/s), C_p rüzgâr türbini güç katsayısı veya performans sabiti olarak tanımlanır. Ayrıca Şekil 4.1'de Matlab ortamında tasarlanan türbin modelinde ilave olarak λ çevresel hız oranı, β kanat açısı ($^\circ$) ve ω_m türbin rotor açısal hızı (rad/s) parametreleri de kullanılmıştır.



Şekil 4.1. RT Matlab/Simulink modeli

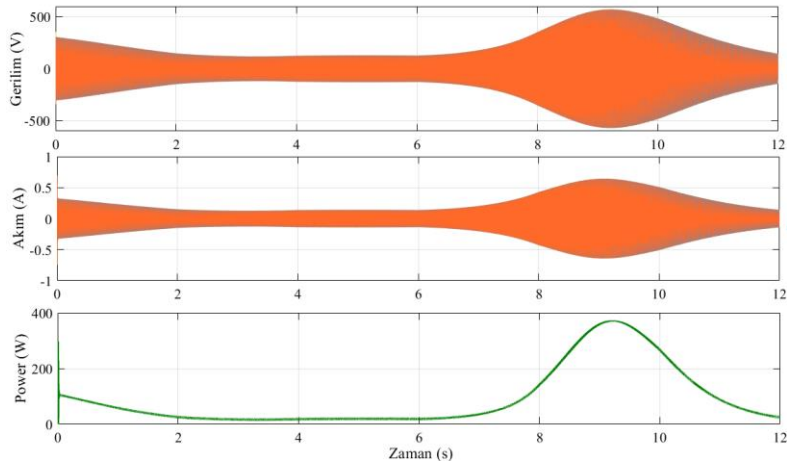
RT'nin milinden elde edilen mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmek için senkron veya asenkron alternatif akım makinasına ihtiyaç duyulur. Her iki alternatif akım generatörü de rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemlerinde kullanılabilir. Ancak asenkron generatör, senkron generatöre kıyasla daha basit bir yapıya sahip olması, kolay üretilebilmesi, düşük maliyetli ve rüzgâr hızı değişimlerinden daha az etkilenmesi nedeniyle rüzgâr enerjisi santrallerinde sıkça tercih edilmektedir.

Asenkron generatörün aktif güç üretebilmesi için reaktif güce ihtiyaç duyması en büyük dezavantajdır. Asenkron generatörlerin ihtiyaç duydukları reaktif gücün şebeke üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için RT kompanzasyon sistemleriyle birlikte kullanılmaktadır. Böylece ihtiyaç duyulan reaktif güç sebebiyle sistemin aşırı yüklemesinin önüne geçilmiş olur. RT çıkışına asenkron generatör bağlanarak türbin milindeki mekanik güç, elektrik enerjisine dönüştürülmesi modeli Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Bu modelde rüzgâr hızı meteorolojik olaylara bağlı olarak değiştiğinden, benzetimin gerçekçi olması açısından türbin girişine değişken bir rüzgâr hızı bağlanmıştır.



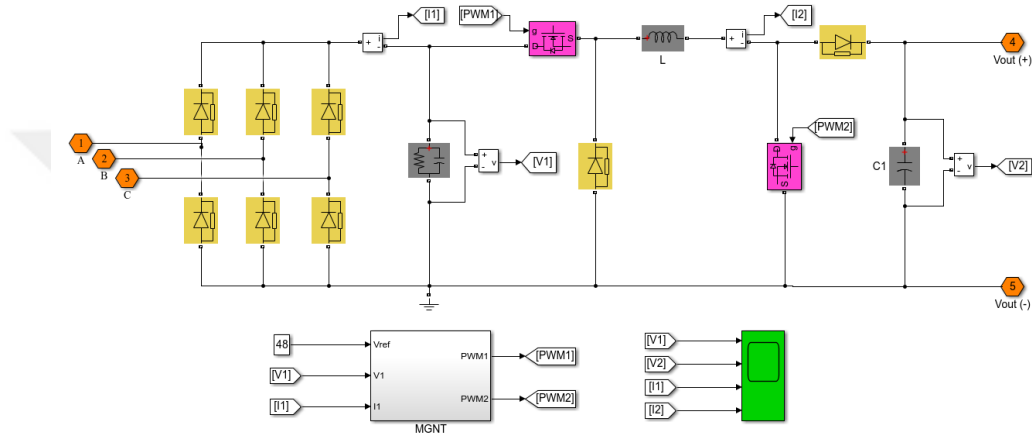
Şekil 4.2. Rüzgâr santral modeli

Rüzgâr hızının değişimine bağlı olarak asenkron generatör çıkışındaki gerilim, akım ve üretilen gücün zamanla değişimi Şekil 4.3’de görülmektedir.



Şekil 4.3. Rüzgâr türbini çıkış büyüklükleri

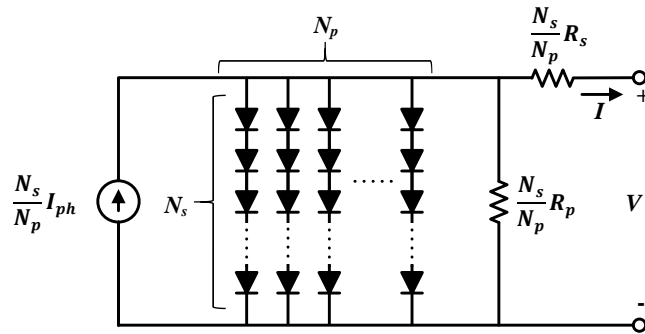
RT çıkışındaki AA gerilimin genliği ve frekansı rüzgâr hızına bağlı olarak değişmektedir. Öte yandan evirici giriş gerilimi veya batarya şarj geriliminin sabit bir DA olması istenir. Bu nedenle RT çıkışındaki AA gerilim önce üç faz tam dalga kontrolsüz doğrultucuyla doğrultulur, ardından Maksimum Güç Noktası Takibi (MGNT) denetimli azaltan-arttıran dönüştürücü ile sabit bir DA gerilimi elde edilir. Çalışmada kullanılan kontrolsüz doğrultucu ve azaltan-arttıran dönüştürücü birleşik devresi Şekil 4.4'te görülmektedir. Böylece AA gerilimin değişen frekansının etkileri ortadan kaldırılmıştır.



Şekil 4.4. Rüzgâr türbini MGNT tabanlı regülatör devresi modeli

4.2. PV Enerji Dönüşümü

Fotovoltaik (FV) hücreler, güneşin radyasyon (ışınım) enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çevirir. Bir FV hücre modeli; akım kaynağı, diyot, seri ve paralel dirençlerden oluşur. Modeldeki seri direnç hücrenin iç kayıplarını, paralel direnç ise kaçak akımdan dolayı oluşan kayıpları temsil etmektedir.



Şekil 4.5. FV modül eşdeğer devresi

Bir FV hücrenin gerilimi ve gücünün düşük olması nedeniyle istenilen akım ve gerilim değerlerini elde etmek için hücreler seri veya paralel bağlanarak FV modülü oluşturulabilir. Literatürde hücredeki diyot sayısı (tek veya iki diyot), seri ve paralel dirence göre farklı FV hücre modelleri bulunmaktadır. Bu çalışmada tek diyot, seri ve paralel direnç bağlı hücre modeli kullanılarak oluşturulan FV modül eşdeğer devresi Şekil 4.5’de verilmiştir. FV modül elektriksel eşdeğer devrenin çıkış akımı eşitlik (4.2) ile tanımlanmıştır.

$$I = N_p I_{ph} - N_p I_0 \left\{ \exp \left[\left(\frac{V}{N_s} + \frac{R_s I}{N_p} \right) \frac{q}{nkT_c} \right] - 1 \right\} \quad (4.2)$$

I fotovoltaik modülün çıkış akımını (A), I_{ph} foton akımını (A), I_0 diyot ters doyum akımını (A), V fotovoltaik FV modülün çıkış gerilimi (V), R_s eşdeğer devre seri direncini (Ω), q elektron yükünü ($1.6021917 \times 10^{-19}$ C), k Boltzmann sabitini (1.380622×10^{-23} J/C), n ideallik faktörünü, T_c referans çalışma sıcaklığını (C), N_s FV modüldeki ser bağlı hücre sayısını, N_p FV modüldeki paralel bağlı hücre sayısını temsil etmektedir. FV modülün çıkış gerilimi eşitlik (4.3) ile tanımlanmıştır.

$$V = \frac{N_s \cdot n \cdot k \cdot T_c}{q} \ln \left(\frac{I_{ph} + I_0 - I + N_p}{I_0 \cdot N_p} \right) - \frac{N_s}{N_p} \cdot R_s \cdot I \quad (4.3)$$

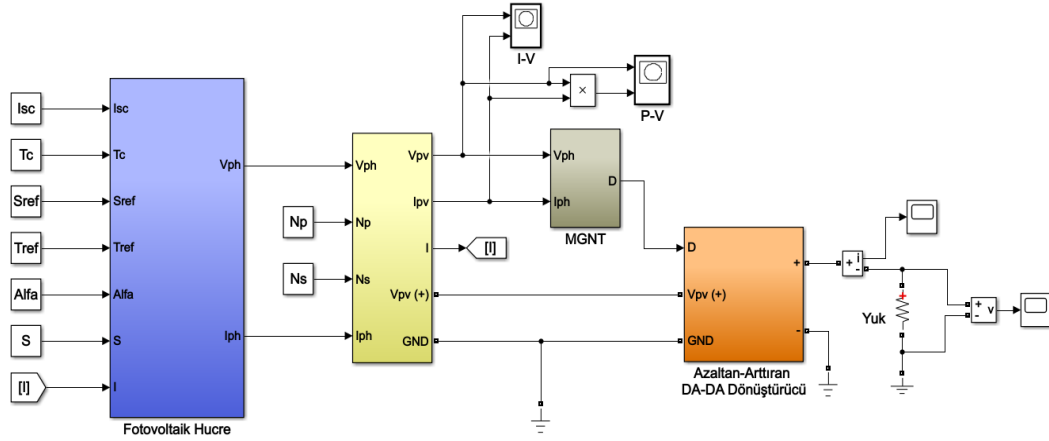
$$I_{ph} = [I_{sc} + \alpha(T_c - T_{ref})] \cdot \frac{S}{S_{ref}} \quad (4.4)$$

FV hücrenin daha gerçekçi olması için sıcaklık ve ışığı ışıyıma bağlı akım ifadesi eşitlik (4.4) verilmiştir. Burada I_{sc} kısa devre akımını (A), α kısa devre akımının sıcaklık katsayısını ($A/^\circ C$), T_{ref} referans sıcaklığı ($^\circ C$), S ışıyım değerini (W/m^2), S_{ref} referans ışıyım değerini (W/m^2) temsil etmektedir. Eşitlik (4.4)’deki I_{ph} , eşitlik (4.2) yerine yazılırsa sıcaklık ve ışıyım etkili FV modül çıkış gerilimi eşitlik (4.5)’de verilmiştir.

$$V = \frac{N_s \cdot n \cdot k \cdot T_c}{q} \ln \left(\frac{[I_{sc} + \alpha(T_c - T_{ref})] \cdot \frac{S}{S_{ref}} + I_0 - I + N_p}{I_0 \cdot N_p} \right) - \frac{N_s}{N_p} \cdot R_s \cdot I \quad (4.5)$$

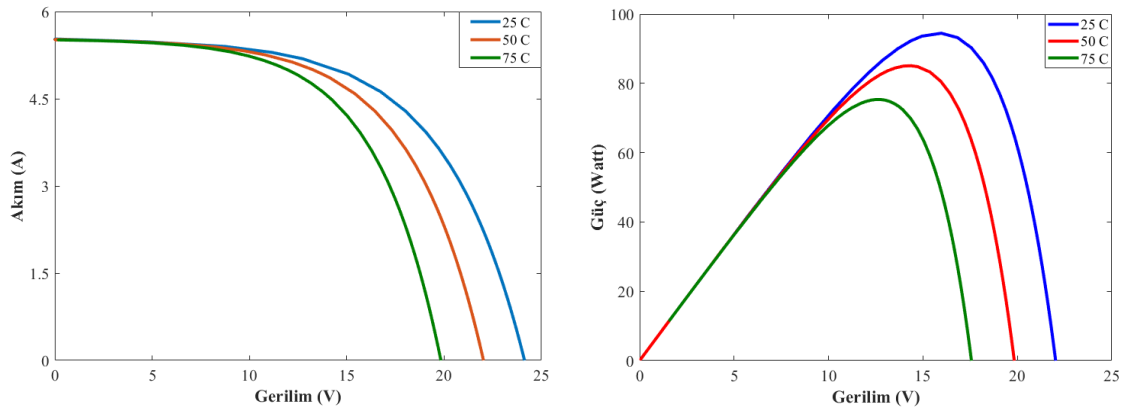
Burada referans sıcaklık değeri $25^\circ C$, referans ışıyım değeri ise $1000 W/m^2$ olarak alınmıştır. Eşitlikler (4.2)-(4.5) kullanılarak FV modülün Matlab/Simulink modeli Şekil 4.6’da verilmiştir. Tasarımda önce tek FV hücre oluşturulmuş ve ardından seri ve paralel

hücre sayısına bağlı FV modül elde edilmiştir. Modül çıkışından sabit bir gerilim elde etmek için MGNT tabanlı azaltan-arttıran DA-DA dönüştürücü tasarlanmıştır. Böylece batarya, evirici veya yükün FV modülden kararlı bir şekilde beslenmesi sağlanmaktadır.



Şekil 4.6. FV modül ve MGNT tabanlı regülatör tasarımı

Yapılan modellemede kullanılan SR-M540100 FV modülün parametreleri tablo-4.1'de verilmiştir. Tablo-4.1'deki parametreler kullanılarak ışınım ve sıcaklık değişimlerine bağlı I-V ve P-V karakteristikleri incelenmiştir. Şekil 4.7 (a) ve (b)'de FV modülün akım, gerilim ve güç üretimine sıcaklık parametresinin etkisi incelenmiştir. 25°C'den 75°C'ye kadar sıcaklık artırıldığında gerilim ve güçte azalma gözlenirken, akım çok az değişim görülmektedir.



(a) I-V Karakteristikleri

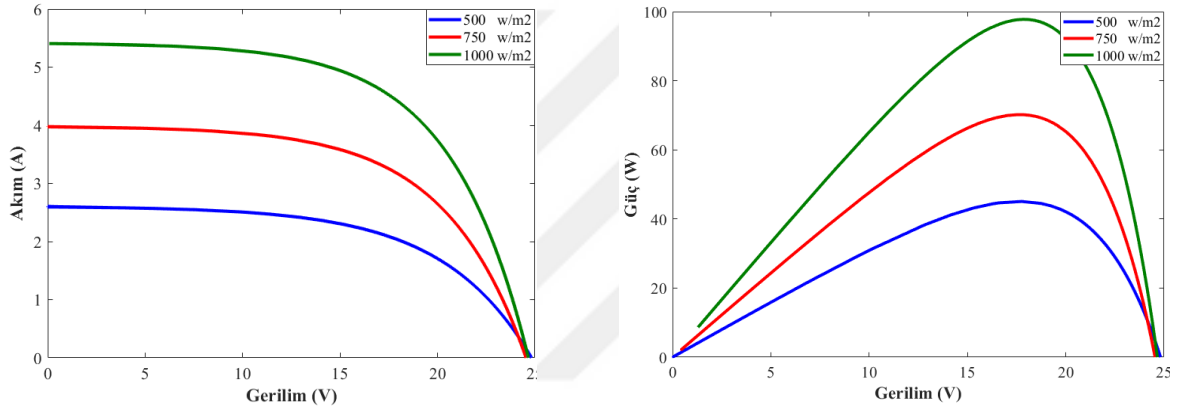
(b) P-V Karakteristikleri

Şekil 4.7. FV modülün 1000W/m² ışınım ve farklı sıcaklıklardaki karakteristikleri

Tablo 4.1. SR-M540100 FV modülün parametreleri

Parametre	Miktar	Parametre	Miktar
Maksimum Güç (P_m)	100 W \pm 3%	Maksimum Güç Gerilimi (V_m)	19.80 V
Açık Devre Gerilim (V_{oc})	24.35 V	Maksimum Güç Akımı (I_m)	5.06 A
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	5.51 A	Modül ve hücre verimi (%)	15,6- 18,43
Hücre tipi-Si tek kristal	125x125 (mm)	Hücre sayısı (P_{cs})	40(4x10)

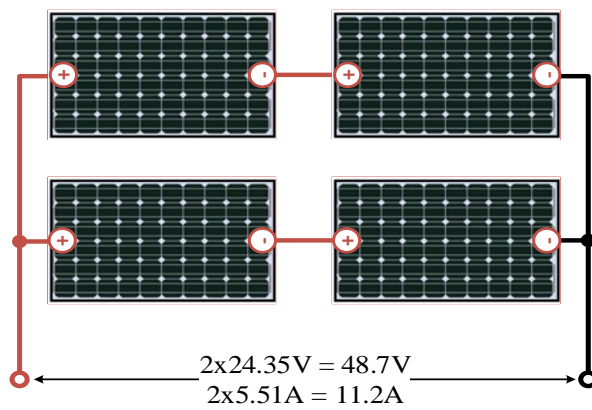
Şekil 4.8 (a) ve (b)'de FV modül 25°C sabit sıcaklıkta iken, ışınım miktarı 1000 W/m²'den 500 W/m²'ye düşürüldüğünde gerilim çıkışı değişmezken, güç ve akım miktarında azalma gözlemlenmiştir.



(a) I-V Karakteristikleri

(b) P-V Karakteristikleri

Şekil 4.8. FV modülün 25°C sıcaklık ve farklı ışınımlardaki karakteristikleri



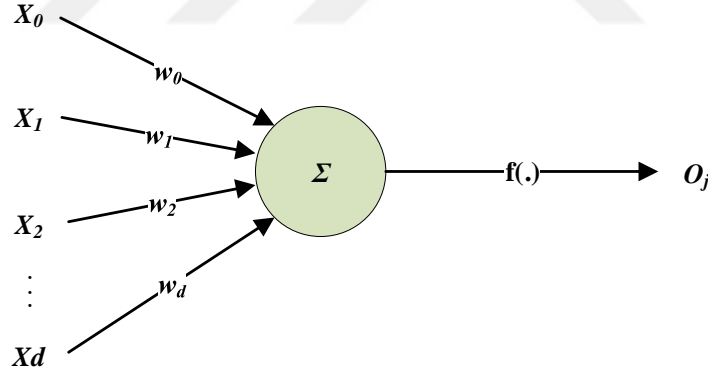
Şekil 4.9. Tezde kullanılan FV modül bağlantısı

Tez çalışmasında 5.51 A kısa devre akımı ve 24.35 V açık devre gerilimine sahip mono kristal yapıda 4 adet SR-M540100 marka FV modülü kullanılmıştır. Şekil 4.9'da 4 adet panel

önce kendi aralarında 2'şerli seri bağlanır. Ardından ikili seri bağlı paneller paralel bağlanarak çıkıştan 48.7 V gerilim ve 11.2 A akım üretilmek istenmiştir.

4.3. Yapay Sinir Ağları

Örüntü tanıma, tahmin, optimizasyon, ilişkisel bellek ve kontrol alanındaki çeşitli problemleri çözmek için yapay sinir ağları (YSA) tasarlanıp kullanılmaktadır. YSA bir sistem olarak görülebilir. Bu sistem bir giriş alır, verileri işler ve çıkış sağlar. YSA insan beynindeki sinir hücrelerinden esinlenerek ortaya çıkmış yapay sinir hücrelerinden oluşur. Nöron olarak adlandırılan yapay sinir hücreleri ağırlıklı girişler x_i , bir toplayıcı, f aktivasyon fonksiyonunda oluşur. Toplam işleminin sonucu olan net giriş denklemde gösterilmiştir. Elde edilen net girişe uygulanan aktivasyon fonksiyonunun çıkışı nöron çıkışı O olur. Literatürde kullanılan birçok aktivasyon fonksiyonu olmasına rağmen genellikle sigmoid fonksiyonu tercih edilir [166]. Bir nöron için görsel Şekil 4.10'da gösterilmektedir. YSA birçok nörondan oluştuğu için bir nöronun çıkışı diğer bir nörona giriş olarak bağlanabilir.



Şekil 4.10. Bir nöron yapısının görseli

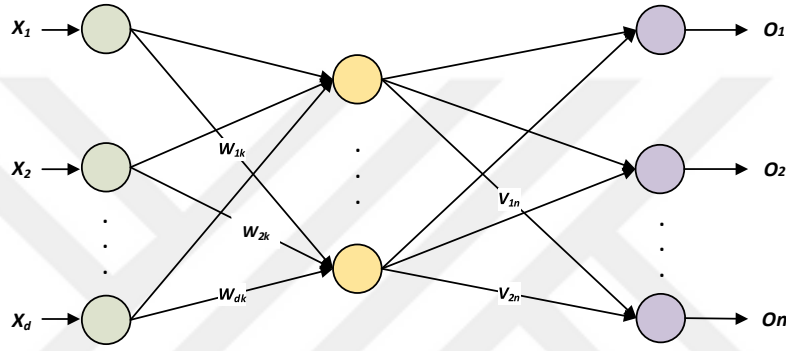
$$I = \sum_{i=0}^n w_i \cdot x_i \quad (4.6)$$

$$O_j = f(I) = \sum_{i=0}^n w_i \cdot x_i \quad (4.7)$$

Literatürde yapay sinir ağı için önerilmiş birçok tür bulunurken, özellikle çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı kullanım açısından öne çıkmaktadır [167].

4.3.1. Çok Katmanlı İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

Çok Katmanlı İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları (ÇKİB-YSA) birden çok katmandan oluşan ve her bir katmanda yer alan nöronların bir sonraki katmana ileri yönlü olarak bağlandığı YSA'dır. Bir giriş katmanı, bir veya birden fazla gizli katman ve bir çıkış katmanından oluşur. Gizli katman sayısı ve bu katmanlarda yer alan birim sayıları isteğe bağlıdır. Genellikle uygulamalarda bir gizli katman kullanılmaktadır. Bir gizli katmandan oluşan ÇKİB-YSA için örnek Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Tek gizli katmanlı ÇKİB-YSA modeli

Giriş katmanında yer alan nöronlar aldıkları girişleri üzerinde herhangi bir değişiklik yapmadan gizli katmana sunarlar. Çıkış katmanında ve gizli katmanlarda yer alan nöronlar kendinden bir önceki katmanda yer alan nöronların çıkışlarını giriş olarak kullanmaktadırlar. Çıkış veya gizli katmanda yer alan bir j .nöronu için çıkış değeri O_j ve önceki katmanda yer alan nöronların çıkış değerleri O_i olmak üzere ilk önce eşitlik (4.8) ile net giriş hesaplanır. Bir nöronda O_j çıkış değerini hesaplamak için elde edilen net giriş değerine daha sonra sigmoid aktivasyon fonksiyonu eşitlik (4.9)'da gösterilen şekilde uygulanır.

$$I_j = \sum_{i=0}^n w_i \cdot O_i \quad (4.8)$$

$$O_j = f(I) = \frac{1}{1+e^{-I_j}} \quad (4.9)$$

4.3.2. Geri Yayılım Algoritması

ÇKİB-YSA eğitim işlemi için genellikle geri yayılım algoritması kullanılmaktadır. Bu algoritmada her bir veri örneği YSA'ya tekrarlamalı olarak sunulur. Her bir veri örneği

sunulurken gerçek (hedef) değer ile YSA'da elde edilen tahmini değer arasında bir hata oluşur. Bu hata daha sonra geriye çıkış katmanından gizli katmanlara doğru yayılarak YSA'nın ağırlıkları üzerinde bir düzenleme gerçekleştirilir [168].

YSA eğitimine öncelikle rastgele başlatılan ağırlıklarla başlanır. YSA'ya sunulan bir veri örneği için eşitlik (4.8) ve (4.9) kullanılarak tahmini bir değer üretilir. YSA'dan elde edilen tahmini değerle gerçek değer arasındaki oluşan hata, çıkış katmanındaki j . nöron için eşitlik (4.10) ile bulunur. Bu denklemde T_j eğitim örneklerinin gerçek değeridir.

$$E_j = O_j(1 - O_j) \cdot (T_j - O_j) \cdot \quad (4.10)$$

Ortaya çıkan hatayı gizli katmanlara yaymak ve buradaki ağırlıkları güncellenmek için gizli katmanda yer alan j . nörona ait hata eşitlik (4.11) ile hesaplanır. Bu eşitlikte w_{jk} , j . nöron ile k . nöron arasındaki bağlantının ağırlık değeri, E_k ise k . nörona ait hata değerini göstermektedir. Elde edilen hatalarla nöronları birbirine bağlayan ağırlık değerleri eşitlik (4.12) ile düzenlenir. Burada öğrenme katsayısı olarak tanımlanan α genellikle 0 ile 1 arasında uygun bir değer seçilir. Bias değerlerinin güncellemesinde eşitlik (4.13) kullanılır.

$$E_j = O_j(1 - O_j) \cdot \sum_k E_k \cdot w_{jk} \quad (4.11)$$

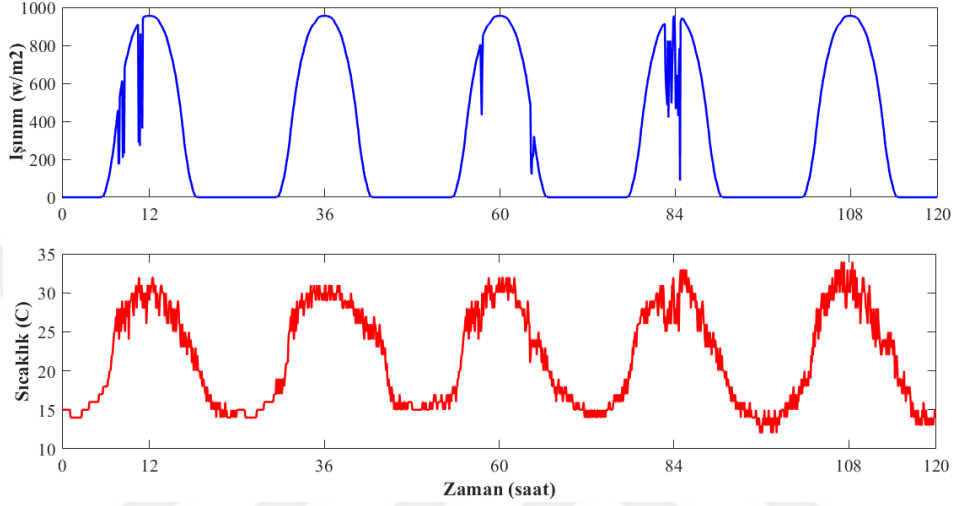
$$w_{ij} = w_{ij} + \alpha E_j O_i \quad (4.12)$$

$$w_0 = w_0 + \alpha E_j \quad (4.13)$$

4.3.3. YSA ile FV Modülün Üretim Tahmini

Literatürde FV panellerden üretilen gün öncesi enerji kestirimi konusunda birçok çalışma bulunmaktadır [169]. Dünyanın şekli ve hareketinden dolayı güneşlenme süresi ve ışınım miktarı yıl içerisinde değişmektedir. Bunun yanında FV tesisin kurulduğu yerin konumuna bağlı olarak iklim şartları da etkileyeceğinden önemli bir parametre de coğrafi konumdur. Panelden üretilen güç; ışınım ile doğru, sıcaklıkla ters orantılı olması nedeniyle bulutlanma, yağış, buzlanma ve aşırı sıcak koşullar belirlenmeli ve sınıflandırılmalıdır. Bu bağlamda FV paneller için gün öncesi enerji kestiriminde geçmiş yıllardaki ölçüm sonuçları toplanır ve bu veriler öncelikle mevsimlere veya aylara göre sınıflandırılır. Sınıflandırılan mevsim veya aylık veriler yine kendi içerisinde bulutlu ve açık günler olarak zamana bağlı

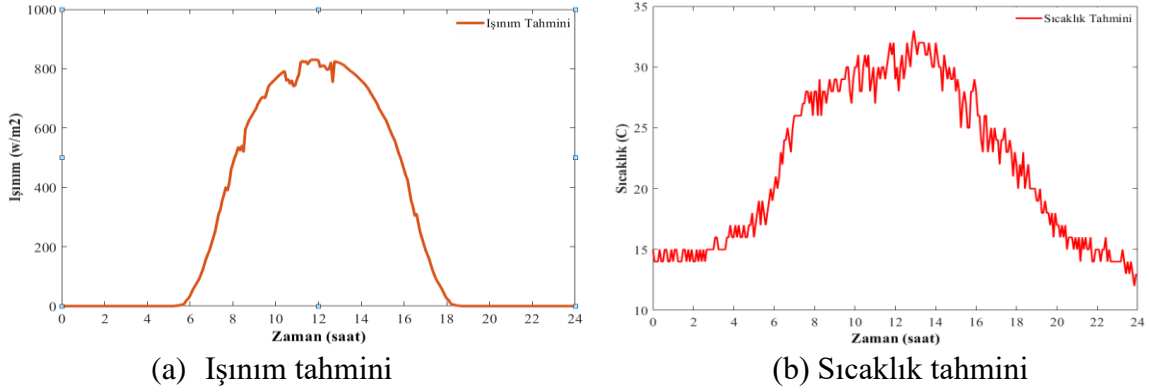
ışınım ve sıcaklık değerleri gruplandırılır. Böylece mevsim veya aylara göre bulutlu bir günde ışınım miktarı ile açık bir gündeki ışınım miktarları ve sıcaklıklar yaklaşık olarak belirlenerek YSA'ya öğretilir. Ardından bu verilere dayalı ilerleyen bir tarihteki ışınım ve sıcaklık miktarının kestirimi YSA yardımıyla yapılır. Burada en önemli husus geçmiş yıllara ait sağlıklı verilerin sağlanmasıdır.



Şekil 4.12. Beş günlük ışıma ve sıcaklık grafikleri

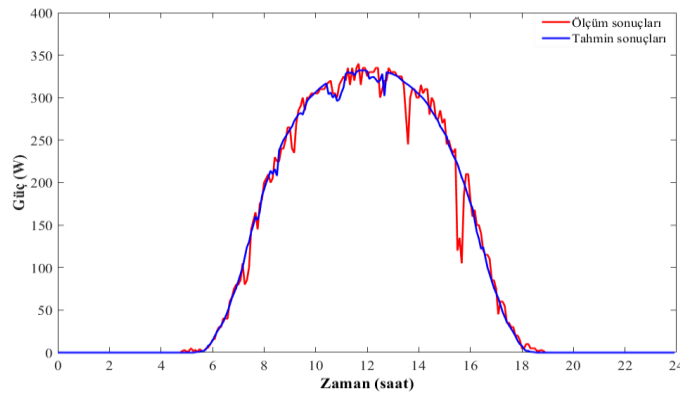
KEYS konutlarda hem gün öncesi elektrik tüketim planlaması hem de FV modülden üretilecek gün öncesi üretim tahmini yapmaktadır. YSA'yı bu tez çalışmasında uygulayabilmek için geçmiş yıllara ait verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak elimizde uzun süreli geçmiş dönem (2 veya 3 yıllık) verileri bulunmadığından bu yöntemi uygulamak mümkün değildir. Bu yüzden bu çalışmada farklı bir kestirim yöntemi olarak son 5 günlük ışıma ve sıcaklık verileri kullanılarak YSA yardımıyla ertesi günün ışıma ve sıcaklık verileri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Tahmin edilen ışıma ve sıcaklık değerleri FV modüle uygulanarak dolaylı yoldan gün öncesi panellerden üretilecek güç kestirimi yapılmıştır. Ancak burada kısa dönemli (5 günlük) geçmiş zaman verilerine dayanarak uzun dönem (1 gün) gelecek tahmininin başarımını arttırmak için güneşli günler tercih edilmiştir.

Temiz enerji evi üzerine FV panellerin yanına yerleştirilen piranometre ile güneş ışımasını ve sıcaklık verileri 1 dakika aralıklarla kaydedilmiştir. Kaydedilen veriler bilgisayar ortamına alınarak 5 günlük ışıma ve sıcaklık grafikleri Şekil 4.12'de görülmektedir. Bu ışıma ve sıcaklık değerlerini giriş bilgileri olarak kullanan YSA ertesi gün için yaptığı ışıma ve sıcaklık tahminleri Şekil 4.13'te görülmektedir.



Şekil 4.13. Ertesi gün için YSA kullanılarak ışınım ve sıcaklık tahmini

YSA ile kestirilen ışınım ve sıcaklık değerleri tasarlanan FV model girişine uygulanarak gün öncesi enerji üretim tahmini yapılmıştır. Tahmin edilen güç miktarı, FV panel çıkışına bağlanan ampermetre, voltmetre ve wattmetre yardımıyla güç değerleri 5 dk aralıklarla ölçülmüştür. Tahmin ve ölçüm sonuçları Şekil 4.14'te verilmiştir. YSA tabanlı tahmine dayalı günlük toplam üretim miktarı 2,652 kWh iken, temiz enerji evinde bulunan FV panellerden üretilen toplam miktar ise 2,622 kWh olarak ölçülmüştür. Sonuçlar karşılaştırıldığında % 1,13 tahmin hatası yapıldığı hesaplanmıştır.

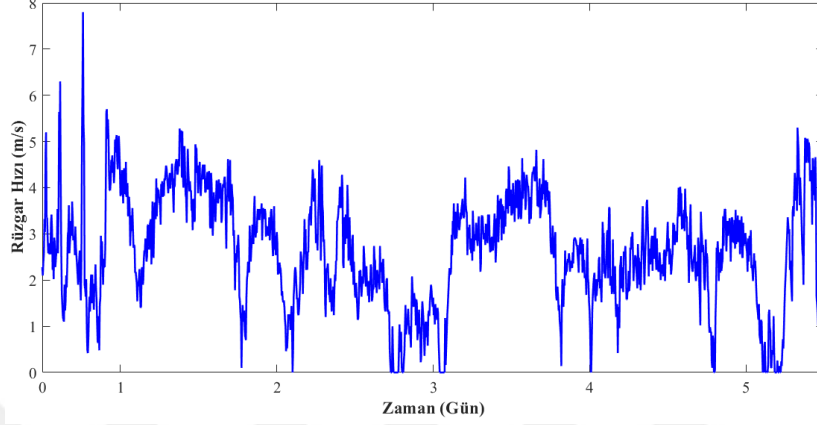


Şekil 4.14. YSA ile güç tahmini ve ölçüm sonuçları

4.3.4. YSA ile Rüzgâr Hızı Tahmini

RT ve FV modül meteorolojik koşullara bağlı aralıklı enerji üretimi yapan yenilebilir enerji sistemleridir. RT bulunan tesislerde gün öncesi enerji planlaması yaparken FV modüldeki gibi RT'de de gün öncesi üretim tahmini gereklidir. Enerji yönetiminin (planlamasının) etkinliği için üretim tahminin başarımı son derece önemlidir. Kurulu bir

RT’de türbin parametrelerini sabit kalacağından üretilen gücün rüzgâr hızına bağlı olduğu eşitlik (4.1)’den anlaşılmaktadır. Bu sebeple üretilen gücü tahmin etmek için rüzgâr hızı tahmini yeterli olmuştur.

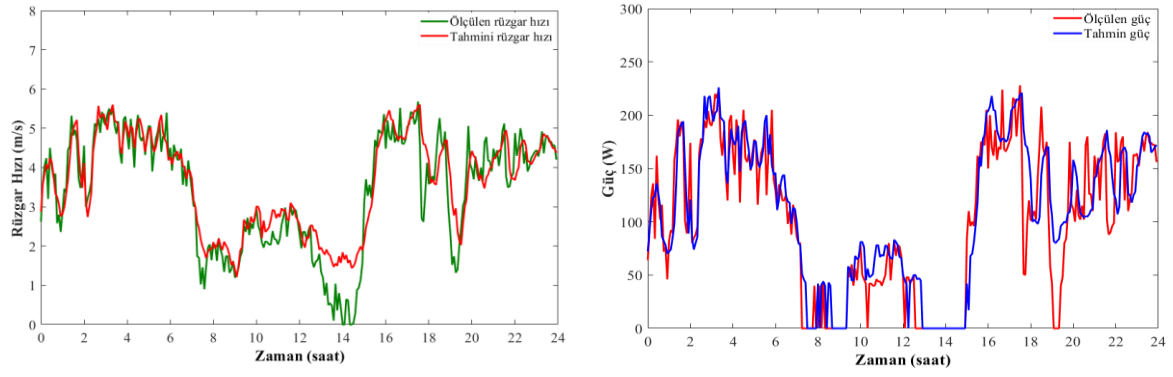


Şekil 4.15. 5 Günlük rüzgâr hızı grafiği

Literatürde uzun zamandır rüzgâr hızı tahmini için farklı yöntemlerin kullanıldığı görülmüştür. Öncelikle rüzgâr hızını etkileyen atmosferik olaylar incelendiğinde basınç, yükseklik, sıcaklık, yön ve nem faktörleri kullanılmıştır [170]. Türbinin bulunduğu noktada bu parametrelerin hepsini tespit etmek için kapsamlı bir hava ölçüm istasyonuna ihtiyaç duyulur. Böyle bir ölçüm istasyonu maliyetli olduğundan B planı olarak geçmişteki rüzgâr hızı verisinden rüzgâr hızı tahmini yapılmıştır. Bu kapsamda rüzgâr türbinin kurulu bulunduğu Temiz enerji evinde 21-26 Mayıs 2019 tarihlerinde 5 dakika aralıklarla 6 gün boyunca rüzgâr hızı ölçümü yapılarak veri toplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu verilerin ilk 5 günü YSA için eğitim amaçlı olup 6 gün ise test amaçlı kullanılmıştır. Eğitim verilerinin grafik görüntüsü Şekil 4.15’te verilmiştir.

Geçmiş döneme ait rüzgâr verilerini kullanarak YSA ile tahmin edilen ve ölçülen rüzgâr hızları Şekil 4.16.a’da verilmiştir. Bir günlük tahmin süresi uzun bir dönem olduğundan tahmini rüzgâr hızının ilk 8 saati ölçülen hıza daha yakinken, sonraki 16 saatte tahmini hızla ölçülen hız arasındaki hata miktarının arttığı görülmüştür. Benzer şekilde üretilen ve tahmin edilen güçler Şekil 4.16.b’de verilmiştir. Üretilen ve tahmini güç arasında da ilk 8 saatlik hata oranı çok düşük iken, sonraki 16 saatte hata oranı arttığı görülmüştür.

YSA tabanlı tahminde rüzgar enerjisinden günlük toplam elektrik üretimi 2,612 kWh iken, temiz enerji evindeki rüzgar türbinlerinden üretilen toplam miktar 2,445 kWh olarak ölçülmüştür. Sonuçlar karşılaştırıldığında % 6,39 tahmin hatası yapıldığı hesaplanmıştır.



(a) Tahmin ve ölçülen rüzgar hızı (b) Tahmin ve ölçülen rüzgar gücü
Şekil 4.16. Ertesi gün için YSA ile rüzgar hızı ve güç tahmini ve gerçek ölçüm sonuçları

4.4. Bataryalar

Mikro şebekelerde batarya tabanlı depolama sistemleri, fazla üretimin saklanması, üretimin talebi karşılayamaması ve elektrik kesintisi durumlarında talebin karşılanması, gerilim dalgalanması kaynaklı frekans sapmasının azaltılması ve güç kalitesini iyileştirilmesinde kullanılmaktadır. Günümüzde batarya teknolojisi incelendiğinde kurşun-asit, nikel kadmiyum (NiCd), lityum iyon türlerinin yaygın bir şekilde kullanıldıkları görülmektedir. Ancak enerji depolama sistemlerinde kullanılan bataryalar seçilirken boyutu, ağırlığı, ömrü, enerji verimliliği ve maliyeti en önemli parametrelerdir. Özellikle lityum iyon bataryalar küçük boyutu ve hafif olmaları, yüksek enerji verimliliği ve %100'e yakın şarj olabilmeleri sayesinde önemli avantajlara sahip olmasına rağmen, yüksek maliyetli olmasından dolayı kullanımları kısıtlıdır. Öte yandan kurşun-asit bataryalar önceden büyük boyutlu ve ağır olmalarının yanında sık bakım gerektirirken, günümüzde gelişen teknoloji sayesinde jel akü olarak bilinen Valf Regulated Lead Acid (VRLA) düşük maliyetli olması, bakım gerektirmemesi, hemen şarj edilmese bile, derin deşarj özelliği ile uzun deşarjlarda iyi performans göstermesi sebebiyle yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu özellikleri nedeniyle gerçekleştirilen tez çalışmasında Yiğit jel akü kullanılmıştır.

Depolama sistemlerinde enerji transferi sırasında batarya şarj durumu (SOC) dikkate alınması gereken önemli bir parametredir. Batarya ömrü ve verimliliği için şarj ve deşarj sırasında bu parametre uygun bir aralıkta tutulmalıdır. Ayrıca SOC etkin şekilde kontrol edilirse, batarya boyutu minimize edilebilir ve şebekenin istikrarı ve güvenilirliğini artırma yönünde büyük katkı sağlanabilir. Bununla birlikte şarj ve deşarj işlemlerinde SOC parametresi belirlenirken batarya modellerine de ihtiyaç duyulur.

4.4.1. Batarya Modellemesi

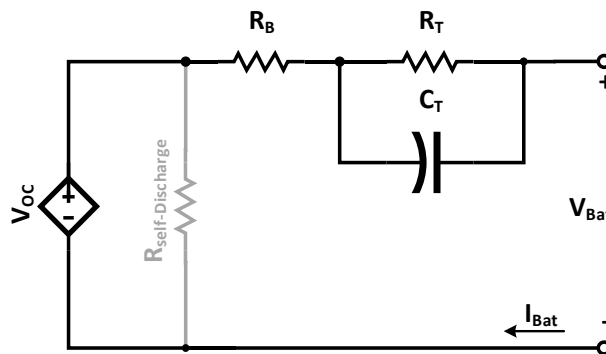
Batarya eşdeğer modeli sayesinde matematiksel hesaplama, şarj ve deşarj karakteristik analizi yapılabilmektedir. Şekil 4.17’de gösterilen eşdeğer elektriksel model bataryanın direnç ve kapasitif etkilerinden dolayı devre elemanları kullanılarak oluşturulur. Elektriksel eşdeğer devre modelinde bazı parametreleri sabit olarak kabul edilmesine rağmen gerçekte bu değerler sabit olmayıp batarya doluluk durumu, sıcaklık, batarya akımı, kapasite ve batarya ömrü gibi bataryanın iç dinamiklerine bağlıdır [171]. Bataryanın açık çevrim gerilimi eşitlik (4.14)’da, terminal gerilimi eşitlik (4.15)’de verilmiştir. Burada V_{OC} açık çevrim gelimi, R_T direnç etkisi, C_T kapasitif etkisi, V_B batarya gerilimi, R_B batarya direnci ve I_B batarya akımı olarak ifade edilmektedir.

$$V_{OC} = \left(\frac{1}{R_T} + \frac{1}{C_T} \right) \cdot I_B \quad (4.14)$$

$$V_B = V_{OC} - (R_B \cdot I_B + V_{OC}) \quad (4.15)$$

Batarya modeli geliştirilirken bazı varsayımlar kullanılmaktadır.

- Batarya parametreleri şarj ve deşarj sürecinde aynıdır.
- Batarya üzerindeki sıcaklık etkileri göz ardı edilir.
- Bataryanın kendi kendine deşarjı dikkate alınmaz.
- Batarya şarj ve deşarj olurken batarya iç direnci sabit tutulur.



Şekil 4.17. Thevenin eşdeğer batarya modeli

Batarya şarj ve deşarj eğrileri incelendiğinde üstel ve doğrusal değişim bölgeleri bulunmaktadır. Bataryanın doluluk oranı %90’ın üzerinde ve %20’nin altında üstel değişim

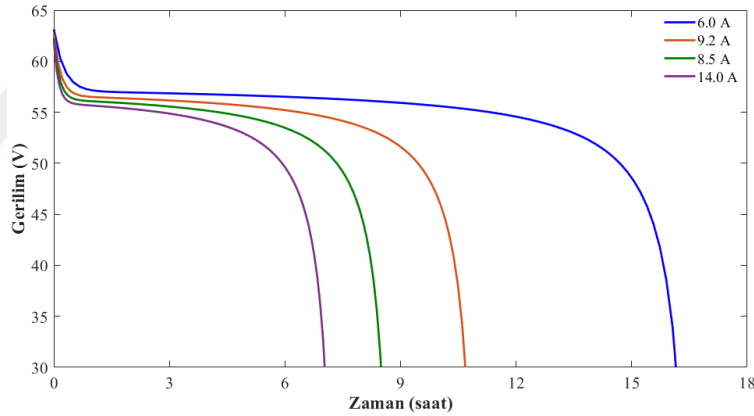
bölgeleri görülürken, bu bölgelerin dışındaki yerler daha doğrusaldır. Bataryanın şarj durumu ve akımına göre Q_{bat} şarj yükü eşitlik (4.16)'te verilmiştir. Bu eşitliklerden yola çıkarak batarya şarj veya deşarj eğrisi Şekil 4.16'da verilmiştir.

$$Q_{bat} = i \cdot t, \forall t \text{ için } i = sbt$$

$$Q_{bat} = \int_0^t idt, \forall t \text{ için } i \neq sbt \quad (4.16)$$

$$i \cdot t = 0, SoC = \%100$$

Şekil 4.18'de tez çalışmasında kullanılan 100 Ah kapasiteli batarya 5.6 A ile boşaltılırken elde edilen deşarj eğrisi görülmektedir. Bataryaya sabit bir deşarj akımı uygulanırsa, bataryada depolanan enerji miktarı bilindiğinden zamana göre batarya gerilimi (V), deşarj kapasitesi (Ah), deşarj süresi ve şarj durumu hesaplanabilir.



Şekil 4.18. VRLA (Jel AKÜ) deşarj eğrileri

4.4.2. Batarya Şarj Durumu (SOC)

Bataryada kapasite şarj miktarını (enerjiyi) temsil eder ve amper-saat (Ah) cinsinden gösterilir. Bir bataryanın maksimum şarj olduğu kapasiteyi tam kapasite, tam dolu bataryanın belirli koşullarda boşaltılmasının ardından bataryada kalan şarj miktarına kalan kapasite denir. Kalan kapasitenin tam kapasiteye oranına bataryanın doluluk oranı (SOC) denir. SOC herhangi bir zaman diliminde bataryanın doluluk oranını vermektedir ve eşitlik (4.17) ile tanımlanmaktadır. Yeni bir batarya tamamen şarj edildiğinde SoC nominal kapasitesinin %100'ü, tamamen boşaltıldığında ise SOC %0'ı olarak kabul edilir.

$$SOC = \left(1 - \frac{1}{Q} \int_0^t i(t) dt\right) \cdot 100 \quad (4.17)$$

SOC bilgisi bataryaların şarj kontrol yöntemi ve dengeleme sistemleri için dikkate alınması gereken bir kriter olup SOC'u belirlemek için kullanılan birçok yöntem ve algoritmalar vardır. Bunlardan bazıları: Doğrudan ölçme, gerilim tabanlı, Coulomb sayma, Kalman filtresi, YSA ve uyarlamalı bulanık mantık yöntemleridir.

Doğrudan ölçme laboratuvar ortamında batarya nominal akımla boşaltılması yoluyla ölçülebilir. Bu yöntem çok doğru sonuçlar vermesine rağmen SOC belirlenmeden önce bataryanın tamamen boşaltılması nedeniyle pratikte pek tercih edilmez. Bu sebeple sadece üreticiler tarafından bataryayı test etmek amacıyla kullanılır.

Gerilim tabanlı SOC belirleme batarya dolarken veya boşalırken, batarya geriliminin yükselmesi veya düşmesi ilkesine dayanır ve basit bir yöntemdir. Gerilim doğrusal olarak değişmemesine rağmen gerilim seviyesine yaklaşmak için bataryada kalan kapasiteye bağlı gerilim noktaları seçilir ve parçalı doğrusallaştırma kullanılır. Açık devre gerilimi ile şarj durumu arasındaki ilişkiyi bilmek, bataryanın doğru şarj seviyesini bilmemize olanak sağlar. Günümüzde dizüstü bilgisayar ve telefonlarda gerilim tabanlı SOC belirleme yöntemi kullanılmaktadır. Gerilim seviyesine bakarak şarj durumuna karar vermek için batarya kapasitelerindeki çok küçük gerilim değişimlerini algılayabilecek ölçüm devrelerine ihtiyaç duyulur. Batarya şarj ve deşarjına bağlı olarak zamanla hücrelerin açık devre gerilimleri ve kapasiteleri arasındaki ilişkiler değişeceğinden, doğru bir kestirim yapabilmek için bir süre sonra gerilim seviyelerine göre doluluk oranlarının yeniden güncellenmesi gerekir.

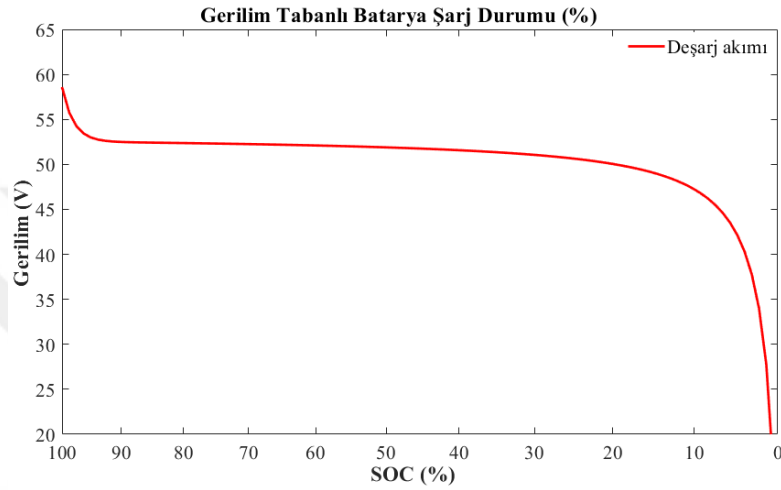
Amper-saat veya Coulomb sayma olarak adlandırılan bu yöntemde bataryaya giren ve çıkan akımlar ölçülür ve ölçülen akımların toplamının hesaplanmasıyla bataryanın anlık kapasitesi belirlenerek şarj durumu bilgisi elde edilir. Ancak bataryanın şarj durumunu kesin tespit edebilmek için hesaplamaya başlamadan bir başlangıç değeri bilinmesi gerekmektedir. Gerçek şarj durumu bataryaya giren ve çıkan akımın başlangıç noktasına göre hesaplanabilir. Bu yöntem kullanılarak anlık batarya doluluk oranı eşitlik (4.18) ile tanımlanmıştır.

$$SoC(t) = SoC(0) \mp \frac{1}{C_{SoC}} \int_0^t i_b(t) \cdot dt \quad (4.18)$$

Burada $SoC(0)$ başlangıçtaki doluluk durumunu, i_b anlık batarya akımını, C_{SoC} batarya kapasitesini temsil etmektedir. Amper-saat sayma yönteminde sensör üzerinden geçmeyen

hücrelerdeki kaçak akımın hesaplamalara dahil edilememesi ve batarya akımının ölçümünde kullanılan sensördeki kaymalar gerçek şarj durumunda kaymaya sebep olmaktadır.

Bataryanın doğrusal olmayan sistem olduğundan şarj ve deşarjı için kesin bir matematiksel model oluşturmak zordur. Doğrusal olmayan problemler için iteratif yöntemler ile yakınsamalı çözümler bulunabilir. Kalman filtresi, YSA ve bulanık mantık yöntemleri bu tür problemlerin çözümleri için literatürde yaygın şekilde kullanılmaktadır.



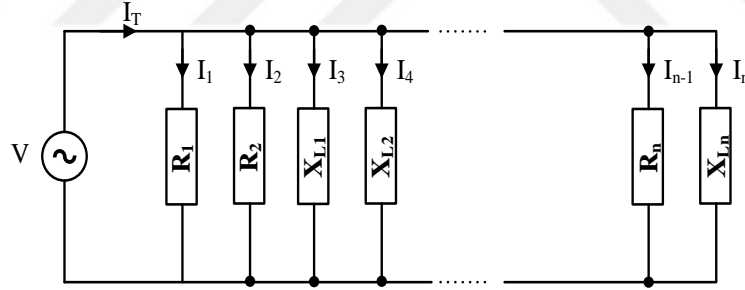
Şekil 4.19. Batarya gerilim-SOC değişimi

Bu tez çalışmasında gerilim tabanlı batarya şarj durumu belirleme yöntemi kullanılmıştır. Batarya şarj ve deşarj olurken gerilim seviyesinin değişimi bu yöntemin temel ilkesidir. Bu yöntem başlamadan önce batarya tam (%100) şarj edilmiştir. Bataryada depolanan enerjinin bilinmesi ve sabit akımla deşarj işlemi gerçekleştirilirken, kalan kapasitenin kolayca hesaplanabilmesi sayesinde her SOC seviyesi için gerilim seviyesi ölçülür. Her bir SOC seviyesine karşılık gelen gerilim seviyesi belirlenerek Gerilim-SOC tablosu (lookup table) oluşturulur. Böylece batarya şarj veya deşarj olurken batarya gerilimine bakarak şarj durumu kolayca tespit edilebilir. 100 Ah, 48V bataryanın 5,6A ile deşarj edilirken Gerilim-SOC grafiği Şekil 4.19'da verilmiştir.

5. DENEY MODÜLÜNÜN OLUŞTURULMASI

5.1. Elektrikli Cihazların Modellenmesi ve Tasarımı

Konutlardaki cihazların bireysel güç tüketimi bulunmasına rağmen tez çalışmasında bu cihazların güç tüketimleri belirli oranda ölçeklendirilerek modellenmiştir. Cihazlar gerçek güç tüketimlerinin $\frac{1}{4}$ oranında (%25) temsil edilmiştir. Söz konusu cihazların aktif ve reaktif güç tüketimleri bulunmasına rağmen konut sakinleri bu tüketimlerden sadece aktif güç tüketiminin bedelini ödemektedir. Çamaşır makinası, bulaşık makinası vb. cihazlar elektrik motoru bulundurmaları nedeniyle reaktif güç bileşenine sahiptir. Modelleme işlemi yapılırken bu cihazların çalışmalarındaki reaktif güç tüketimini temsilen reaktif güç içeren fan yükleri ilave edilmiştir. Tezde enerji yönetim sisteminin amaçlarından biri olan güç tüketimi maliyetini en aza indirirken tüketim maliyeti aktif güç kullanılarak hesaplanır. Bu nedenle bu çalışmada aktif güç daha çok ön plana çıkmıştır.



Şekil 5.1. Yüklerin paralel bağlanması

Tez çalışması kapsamında gerçek cihazları kullanmanın maliyetli ve konutlardaki tüm cihaz tiplerini laboratuvar ortamında buldurmanın zor olması nedeniyle bu cihazların çalışma karakteristikleri çıkartılarak cihazları temsilen programlanabilir bir yük bankası tasarlanmıştır. Ayrıca her cihazı ayrı ayrı direnç ve endüktif devre elemanlarıyla modellemek oldukça maliyetli olacağından tüm yüklerin ilgili zaman aralığındaki güç tüketimlerini temsil etmek için programlanabilir bir yük bankası oluşturulmuştur.

Cihazlar prize takıldığında şebekeye paralel bağlanmaları nedeniyle her birinin üzerine aynı gerilim düşer. Her birinin üzerinden geçen akımların vektörel toplamı çekilen akıma

eşit olur. Bu sebeple programlanabilir yük bankasındaki dirençleri ve fanları kademe kademe paralel bağlayarak toplam direncin düşmesi ve çekilen akımın artması hedeflenmiştir. Ancak bu işlemi yaparken her bir direncin maksimum güç kapasitesine dikkat edilmelidir.

$$I_T^2 = I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2 \quad (5.1)$$

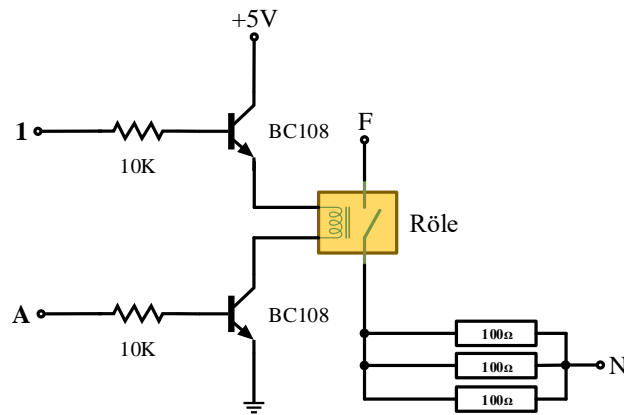
$$Z = R + j\omega L \quad (5.2)$$

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (5.3)$$

$$S = V \cdot I \quad (5.4)$$

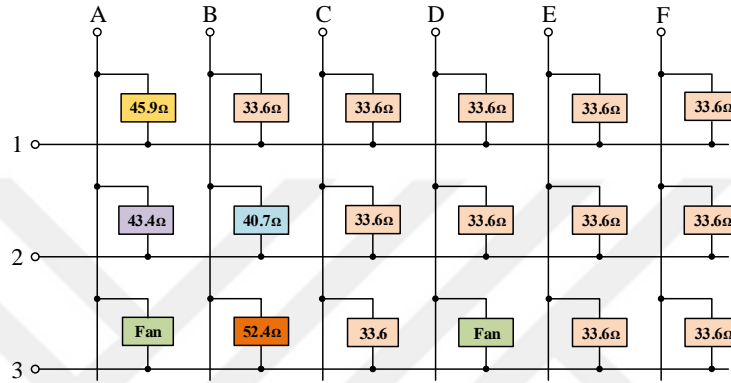
$$Q = \sqrt{S^2 + R^2} \quad (5.5)$$

Geliştirilen programlanabilir yük bankasında direnç ve fanlar birer röle yardımıyla devreye alınıp veya çıkartılmaktadır. Bu rölelerin her biri mikrodenetleyici ile kontrol edilmektedir. Ancak yük modülü üzerinde çok sayıda direnç ve fan bulunduğu için her direnç veya fanı bir röleyle kontrol etmek çok sayıda mikrodenetleyici gerektireceğinden çıkış sayısı yetersiz kalacaktır. Bu nedenle dirençler üçerli gruplar halinde paralel bağlanarak bir röle ile kontrol edilmiştir. Bilgisayardan gönderilen kontrol işareti yük modülündeki röleleri doğrudan sürmez. Çünkü veri toplama kartındaki çıkış akımı 40mA çalışma akımını sürmek için yetersizdir. Röle girişine basit bir yükselteç devresi tasarlanarak bu sorunun giderilmesi planlanmaktadır. Şekil 5.2’de her röle iki adet kontrol işareti ile kontrol edilirken kontrol işaretlerinin akımı düşük olduğundan transistor yardımıyla sürülmüştür.



Şekil 5.2. Yük kontrol devresi

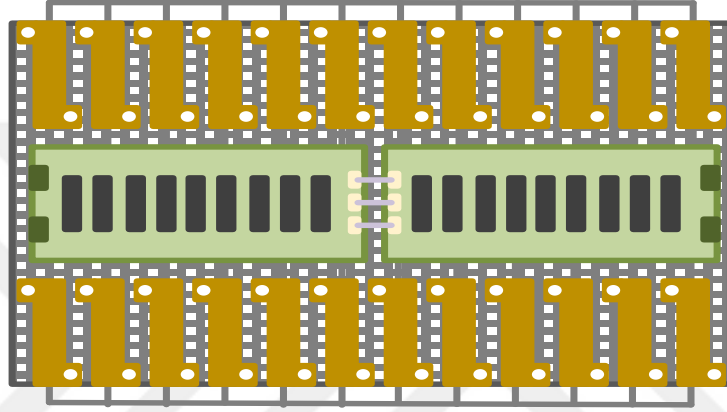
Farklı güç talepleri için mikrodenetleyici yardımıyla direnç ve fan elemanları seçilerek yük modeli elde edilir. Her bir röle kontağına 3 adet direnç bağlanmıştır. Röle uçlarındaki direnç değerleri hesaplanmış ve Şekil 5.3’de görülen 3x6 matris bağlantı oluşturulmuştur. Böylece istenilen güç değerleri belli çözünürlükte üretilebilir. Şekil 5.3’deki matris bağlantı formatı, kullanılan röle sayısını önemli oranda düşürmüştür. Oluşturulan tasarımda 48 adet direnç ve 4 adet fan için toplam 18 adet röle ve 9 adet denetleyici çığışa ihtiyaç duyulmuştur.



Şekil 5.3. Yükler için matris bağlantı modeli

Programlanabilir yük modelinde yaklaşık 41 adet 50W 100Ω, 3 adet 50W 220Ω, 1 adet 50W 330Ω ve 1 adet 50W 560Ω alüminyum güç dirençleri ve 4 adet 25Var fan motoru kullanılmıştır. Dirençler aşırı ısınması nedeniyle bu ısının 165x725x25 boyutlarında bir soğutucu kullanılarak havaya yayılması sağlanmıştır. Reaktif güç oluşturmak için kullanılan fan motorları aynı zamanda soğutucu altlarına yerleştirilerek soğutucu yüzeyinde bir hava sirkülasyonu oluşturulması amaçlanmıştır. Ayrıca AA bara gerilimi $\frac{1}{4}$ oranında ölçeklendirildiğinden 220V yerine 55V olarak tasarlanmıştır. Böylece dirençler üzerine düşen güç miktarı eşitlik (5.3) kullanılarak hesaplanır. Bara gerilimi 55V olmasına rağmen, toplam güç miktarı arttıkça dirençler üzerinde düşen gerilim azalmakta ve buna bağlı olarak dirençler üzerinde harcanan güç miktarı da azalmaktadır. Bu nedenle toplam güç miktarında göre üç adet güç tablosu oluşturulmuştur. Talep edilen güç 0-500W arasında ise Ek-A1, 500W-800W arasında ise Ek-A2 ve 800W-1200W arasında ise Ek-A3'teki güç tabloları kullanılmıştır. Bu kadar fazla direnç kullanmak yerine daha yüksek güç değerlerine sahip direnç değerleri kullanılabilir. Ancak direnç üzerine düşen güç miktarı arttıkça aşırı ısınmadan yük modeli üzerindeki baskı devre elemanları zarar görebilir. Bu nedenle dirençleri nominal güç değerlerinin altında çalıştırarak aşırı ısınmalarının önüne geçilmiştir.

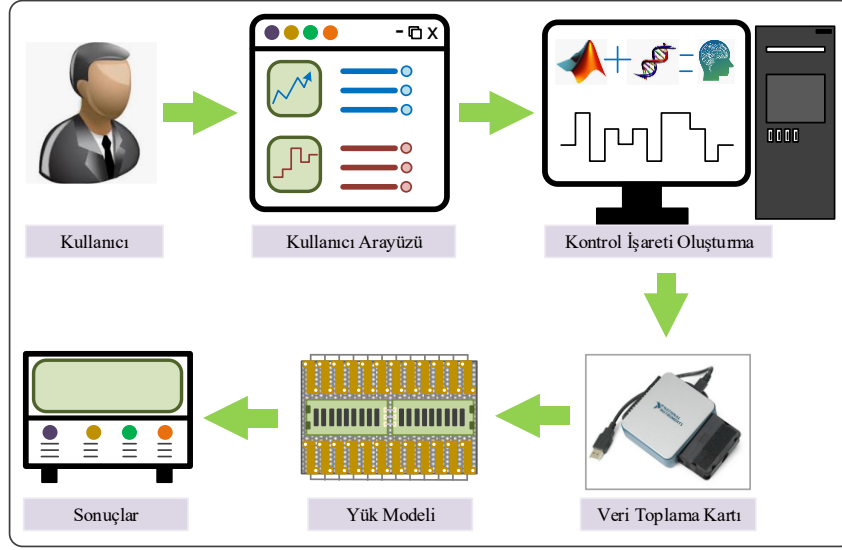
Bu tasarımda yük modeli üzerinde bir mikro denetleyici kullanılsaydı kullanıcı arayüzünde cihazların çalışma süreleri ve nominal güç değerleri her değiştirildiğinde mikrodenetleyici programının da güncellenmesi gerekmektedir. Bunun önüne geçmek için geliştirilen kontrol algoritması bilgisayarda MATLAB programında geliştirilmiş ve üretilen kontrol işaretleri veri toplama kartı aracılığı ile tasarlanan yük modeli kontrol girişlerine uygulanmıştır. Ayrıca yük modeli üzerinde yüklerin (direnç ve fan) anlık durumu görülmese bile cihazları temsil eden LED lambalar yardımıyla görüntülenebilmektedir.



Şekil 5.4. Yük bankası tasarımının üstten görünümü

5.2. Kontrol İşaretinin Üretilmesi

Cihazların çalışma süreleri, sayıları, zaman aralıkları ve güç parametreleri kullanıcı arayüzüne girildiğinde bu bilgiler bilgisayar ortamında matlab programında geliştirilen yazılımla cihazlar için otomatik olarak bir başlangıç matrisi oluşturulur. Başlangıç matrisinde çalışma zamanları değiştirilemeyen cihazlar sabit ve çalışmaları ötelenebilir cihazlar aktif olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Üretim ve depolama sistemlerindeki enerjinin durumu ve saatlik elektrik fiyatları dikkate alınarak, amaç fonksiyonlarını kapsayacak şekilde cihazların en uygun çalışma saatleri geliştirilen algoritma ile belirlenir. Aktif cihazlarda başlangıç matrisi rastgele oluşturulmasına rağmen cihazların en iyi çalışma zamanları meta sezgisel optimizasyon yaklaşımı ile belirlenir. Böylece sabit ve aktif cihazların optimal çalışma zamanını veren kontrol matrisi elde edilir. Bilgisayarda üretilen kontrol işaretleri veri toplama kartı ile tasarlanan yük modeli kontrol girişlerine aktarılır. Kullanıcı arayüzüne tüketici tercihinin girişinden yük bankasında cihazların çalıştırılmasına kadar geçen süreçler Şekil 5.5'te aşama aşama gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Cihazların optimal kontrol işaretinin üretilmesi

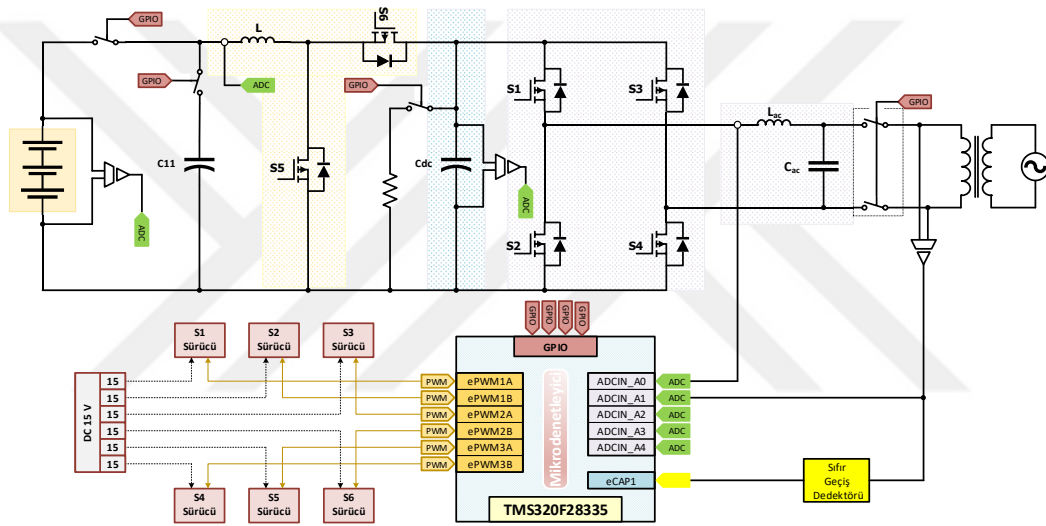
Sıcaklık kontrollü cihazlardan klimanın güç tüketimi ortam sıcaklığı, odanın hacmi, yalıtım durumu ve kullanıcının belirlediği oda sıcaklığına göre değişir. Ancak bu tasarımda cihazın çalışma süresi boyunca harcadığı güç miktarı sabit tutularak ortamı soğutma süresini hesaplayan bir eşitlik modeli kullanılmıştır. Böylece klimanın çalışma süresi meta sezgisel algoritmanın dışında değerlendirilmiştir.

Konutun güç tüketim vektörü, kontrol matrisi ile cihazların nominal güçleri çarpılarak elde edilir. Güç tüketim matrisinin toplam süresi 24 saat olmasına rağmen, dizindeki her bir vektör elemanının süresi 5 dk olarak belirlenmiştir. Çünkü tasarımda her kontrol bitinin zaman aralığı 5 dk olarak planlanmıştır. Bir gün $24 \times 60 = 1440$ dk ve her kontrol bitinin süresi 5dk olduğuna göre, kontrol matrisi ve güç tüketim vektörünün uzunluğu $1440 \text{ dk} / 5 \text{ dk} = 288$ olur. Bu durumda kontrol matrisi veya güç tüketimi vektörünün 288 sütununun her birine 5'er dakika boyunca tetikleme işareti gönderilecektir.

Yük modülü üzerinde her cihaz için ayrı ayrı direnç ve fanlar kullanmak tasarım açısından maliyetli olacağı düşünülmüştür. Bu nedenle ilgili periyotta çalışan cihazların gücüne yakın eşdeğer direnç ve fan yüklerini kontrol eden röleler farklı kombinasyonlarda çalıştırılarak toplam güç elde edilir. Bunu yaparken yük modülünde aynı grupların seçilmesi onların erken yıpranmasına, diğerlerinin çok az kullanılmasına neden olacaktır. Bu nedenle kontrol işaretleri üretilirken farklı periyotlarda mümkün olduğunca farklı direnç blokları ve fanların kullanılması planlanmıştır.

5.3. Çift Yönlü DA/AA Dönüştürücü Tasarımı

Konut Enerji Yönetim Sisteminde (KEYS'te) şebeke bağlantısız ve şebeke bağlantılı çalışma durumlarında konuttaki cihazların güç taleplerini karşılanırken Çift Yönlü DA/AA Dönüştürücü kullanımı planlanmıştır. DA-DA dönüştürücü yenilenebilir kaynaklardan üretilen enerjinin bataryaya aktarılmasında veya DA barası üzerinde kararlı bir gerilim elde edilmesinde kullanılır. Ayrıca DA barası ile batarya ve/veya DA barası ve EA arasında kullanılan DA-DA dönüştürücü çift yönlü güç akışı sağlar. Evdeki cihazların batarya ve elektrikli araçtaki enerjiyi kullanabilmesi için DA-AA dönüştürücüye ihtiyaç vardır.



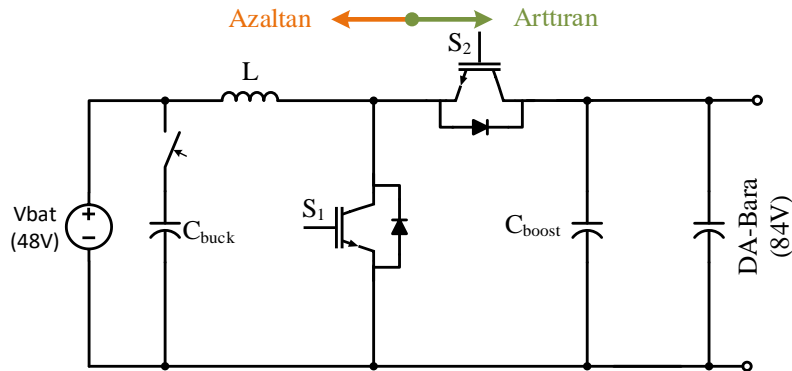
Şekil 5.6. Çift Yönlü Güç Dönüştürücü modülü

Batarya gerilim seviyesi batarya şarj durumuna bağlı olarak değişmektedir. Bir başka deyişle batarya deşarj oldukça batarya gerilimi düşer veya şarj oldukça gerilimi artar. Bataryalar paralel bağlandığında gerilim seviyesi çok fazla değişmemesine rağmen seri bağlandığında gerilim seviyesi önemli miktarda değişmektedir. DA/AA dönüştürücülerde batarya gerilimine bağlı olarak DA barasının genliği de değişeceğinden, evirici çıkış gerilimi DA bara geriliminden etkilenecektir. Bu nedenle DA bara geriliminin DA/DA dönüştürücü ile kararlı hale getirilmesi gerekmektedir. Benzer şekilde güneş panelinin çıkış gerilimi ışık şiddeti ve güç referansına göre değiştiğinden, eviricinin bu değişimden etkilenmemesi için sabit bir DA bara gerilimi elde edilmelidir. Bu kapsamda batarya ve EA gerilimleri arttıran DA-DA dönüştürücü ile yükseltilerek sabitlenmiştir.

Tez çalışmasında DA bara gerilimi bir fazlı tam köprü evirici topolojisi kullanılarak konuttaki cihazların kullanabileceği formata dönüştürülmüştür. Çalışmada bara gerilimi olarak 55V seçilmiştir. Ayrıca ihtiyaç fazlası enerjinin şebekeye aktarılması ve enerjinin yetersiz kalması durumunda şebekeden tedarik edilmesi amaçlandığından evirici çıkış gerilimini, şebeke gerilim seviyesine çıkartmak için 1:4 oranında bir transformatör kullanılmıştır. Eviricinin şebekeye bağlanabilmesi için çıkış gerilimi parametreleri şebeke parametreleriyle uyumlu hale getirildikten sonra senkronize edilmelidir. Tezde tasarlanan çift yönlü DA/AA güç dönüştürücü modülü Şekil 5.6'da gösterilmiştir.

5.3.1. Çift Yönlü DA-DA Dönüştürücü

Bataryanın şarj ve deşarj işlemlerinde ve evirici girişi olarak kullanılan DA bara gerilimini kararlı hale getirmek için DA-DA dönüştürücü kullanılmaktadır. Şekil 5.7'de görülen yarım köprü devre topolojisi sayesinde DA-DA dönüştürücü çift yönlü güç akışı yapabilmektedir. DA-DA dönüştürücünün her iki tarafındaki gerilim seviyeleri dikkate alınarak azaltan ve arttıran çalışma durumları belirlenir. Çalışmada 4 adet 12V batarya seri bağlanarak 48V DA gerilimi elde edilmiştir. Eviricinin 55V AA üretebilmek için 48V DA gerilimi 84V DA seviyesine çıkartılmalıdır. Batarya ve DA bara gerilimlerine bakarak batarya deşarj olurken arttıran (Boost), batarya şarj olurken ise azaltan (Buck) dönüştürücü olarak çalıştırılmaktadır. Devre şemasında C_{buck} kondansatörü azaltan çalışma durumunda, C_{boost} kondansatör arttıran çalışma durumunda çıkış gerilimindeki dalgalanmayı azaltır.



Şekil 5.7. DA-DA Dönüştürücü yarım köprü topolojisi

5.3.1.1. Çift Yönlü DA-DA Dönüştürücü Parametrelerinin Hesaplanması

DA-DA dönüştürücünün parametre hesaplamasına geçmeden önce batarya ve DA bara gerilimi seviyelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Tez kapsamında evirici çıkış gerilimi ve evdeki cihazların nominal çalışma geriliminin 55V seviyede olması kararlaştırılmıştır. Şebeke bağlantılı çalışma durumlarında evirici çıkışı ile şebeke arasına 1:4 oranında transformatör kullanılması planlanmıştır. Böylece evirici çıkış gerilimi şebeke seviyesine çıkartılarak evirici-şebeke arasında güç transferi gerçekleştirilebilecektir. Ayrıca konuttaki yüklerin çalışma gerilimi 220V şebeke seviyesinde olması istenirse, yükleri trafo çıkışından beslemekte mümkün olabilir. Evirici çıkış geriliminin 55V olması durumunda DA bara gerilimi, evirici çıkış geriliminin maksimum değerinden büyük olmalıdır. Buna göre eşitlik (5.6) kullanılarak V_{bara} gerilimi 84V seçilmiştir

$$V_{bara} \geq \sqrt{2} * 55 = 78V \quad (5.6)$$

Enerji depolama sistemini oluşturmak için 4 Adet 12V, 100Ah jel akü alınmıştır. Enerji depolama sistemi geriliminin $12*4=48V$ seçilmiştir. Ancak batarya şarj seviyesine bağlı olarak bu gerilim seviyesi değişmektedir. Satın alınan akü kataloğu incelendiğinde her akü grubunun 6 hücreden oluştuğu, her hücrenin nominal gerilimi 2V, hücre kesme gerilimi 1.7V, her hücrenin maksimum şarj gerilimi 2.26V olarak verilmiştir.

$$V_{bat,min} \leq 6 * 1.7 * 4 = 40.8V \quad (5.7)$$

$$V_{bat,max} \geq 6 * 2.26 * 4 = 54.24V \quad (5.8)$$

Bu değerlere bakılarak batarya çalışma gerilim aralığı $40.8V \leq V_{bat} \leq 54.24V$ olarak eşitlik (5.7) ve (5.8) ile bulunmuştur. Bu durumda batarya DA bara geriliminde şarj olurken kontrol edilmezse, batarya iç direncinin çok küçük olması ve aradaki potansiyel farkın büyük olması nedeniyle akım çok yüksek seviyelere çıkar ve bataryanın aşırı ısınmasına neden olur. Bu yüzden batarya DA baradan şarj olurken kontrollü biçimde DA-DA dönüştürücü azaltan modunda, bataryanın deşarj işleminde ise arttıran modunda çalışacaktır.

Tasarlanan DA-DA dönüştürücü ile 750W'lık bir güç transferi düşünülmüş ve dönüştürücünün verimi olarak %90 seçilmiştir. Buradan giriş gücü eşitlik (5.9) yardımıyla 834W olarak hesaplanmıştır.

$$P_o = \mu * P_{in} \quad (5.9)$$

DA-DA dönüştürücü çıkış gerilimi ve çıkış gücü bilindiğine göre çıkış akımını eşitlik (5.10) ile 8,93A, direnci ise eşitlik (5.11) ile 9,4Ω olarak bulunmuştur.

$$P_o = I_o * V_o \quad (5.10)$$

$$R = \frac{V_o}{I_o} \quad (5.11)$$

DA-DA dönüştürücünün çıkış gerilimindeki dalgalanma oranı DA bara geriliminin kararlılığı için oldukça önemli olduğundan mümkün olduğunca küçük seçilmelidir.

$$\Delta V_o = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{I_o \cdot D \cdot T_s}{C} = \frac{V_o \cdot D \cdot T_s}{R \cdot C} \quad (5.12)$$

Çıkış gerilimi dalgalanma miktarı eşitlik (5.12) ile belirlendikten sonra giriş gerilimi ve endüktans akımı üzerindeki dalgalanma çıkış gerilimine bağlı olarak yazılabilir.

$$V_{in} = (1 - D) \cdot V_o \quad (5.13)$$

$$\Delta I_L = \frac{V_{in}}{L} \cdot D \cdot T_s = \frac{(1 - D) \cdot V_o}{L} \cdot D \cdot T_s \quad (5.14)$$

Eşitlik (5.13) ve eşitlik (5.14)'den yararlanarak çıkış gerilimi endüktansa bağlı olarak eşitlik (5.15) ile tanımlanabilir.

$$V_o = \frac{\Delta I_L \cdot L}{(1 - D) \cdot D \cdot T_s} \quad (5.15)$$

Eşitlik (5.14)'ü eşitlik (5.12)'de yerine koyarsak, çıkış gerilimdeki dalgalanma miktarı endüktans ve kapasite cinsinden hesaplanabilir. Ayrıca dönüştürücü çıkışındaki kapasite değeri belirlerken dalgalanma miktarı %2 olarak belirlenmiştir. Böylece çıkış gerilimindeki dalgalanma miktarı 1,68V olarak hesaplanır.

$$\Delta V_o = \frac{V_o \cdot D \cdot T_s}{R \cdot C} = \frac{\Delta I_L \cdot L}{(1 - D) \cdot D \cdot T_s} \cdot \frac{D \cdot T_s}{R \cdot C} = \Delta I_L \cdot L \cdot \frac{1}{1 - D} \cdot \frac{1}{R \cdot C} \quad (5.15)$$

Bilinen parametreler eşitlik (5.13)'te yerine konulduğunda $D=0,429$ olarak bulunur. Yine bilinen parametreler eşitlik (5.15)'te yerine konursa, endüktans ve kapasite birbirine bağlı yazılabilir. Piyasadaki kondansatörler standart olduğundan endüktans göre kapasite bulmaktansa bilinen bir kapasiteye göre endüktans seçmek veya tasarlamak daha uygundur. Bu yüzden endüktans değeri kapasiteye bağlı olarak yeniden düzenlenirse $L=10,105.C$ şeklinde yazılır. Endüktans akımında maksimum dalgalanma anahtarlama oranı $D=0,5$ iken oluşur. Bu anahtarlama oranında giriş gerilimi 42V olarak hesaplanır. Bu durumda endüktans akımı eşitlik (5.16) kullanılarak 19,86A olarak hesaplanmıştır.

$$I_{in} = I_L = \frac{P_{in}}{V_{in}} \quad (5.15)$$

Endüktans akımı dalgalanma oranını %10 alırsak $\Delta I_L=1,986A$ bulunur. Endüktans akımı dalgalanması bulununca endüktans değeri eşitlik (5.16) ile $518\mu H$ hesaplanmıştır.

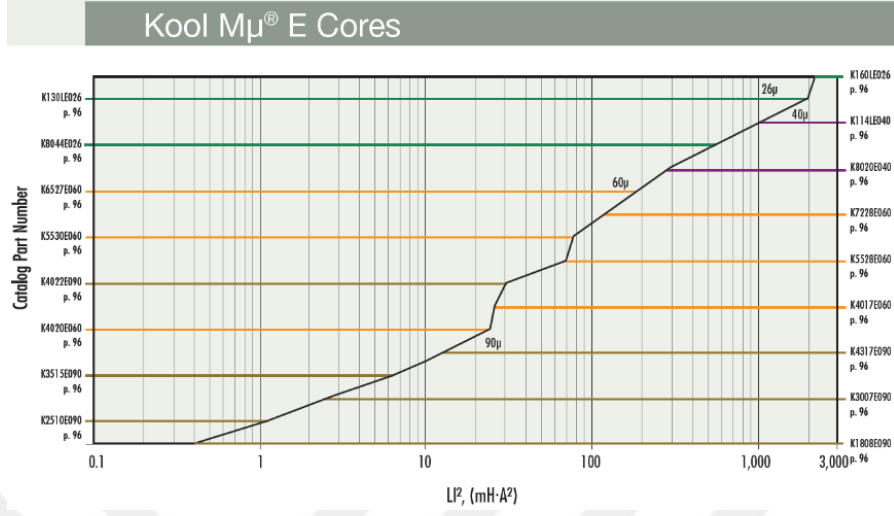
$$L \geq \frac{(1 - D) \cdot V_o}{\Delta I_L} \cdot D \cdot T_s \quad (5.16)$$

Kapasite değerini hesaplariken öncelikle en düşük giriş gerilimi için anahtarlama oranı hesaplanır ve ardından bu değere göre kapasite belirlenir. Anahtarlama oranı $D_{max}=0,514$ için eşitlik (5.17) ile kapasite değeri $136,6\mu F$ bulunur. Ancak piyasada rahatlıkla bulunabilen $150\mu F$ değerinde bir kapasite kullanılmıştır. Ardından $L=10,105.C$ eşitliği kullanılarak $L=152$ mH olarak hesaplanır.

$$C \geq \frac{I_o}{\Delta V_o} \cdot D \cdot T_s \quad (5.17)$$

Kapasite ve bobin değerleri hesaplandıktan sonra, $1,52mH$ değerinde ve $19,86A$ akım taşıma kapasitesinde hali hazırda bir bobin olmadığından bu bobin tarafımızca hazırlanmıştır. Bobin değeri belirlendikten sonra kullanılacak malzemeler belirlenmiştir. Kullanılacak nüve için Magnetics firmasının kataloğunda uygun bir nüve seçilmelidir. Sarılacak bobin telinin esnek olması, yüksek frekansta deri etkisinin az olması için litz türü tercih edilmiştir. Nüve seçerken öncelikle nüvede depolanacak manyetik enerji eşitlik (5.17) ile hesaplanır ve nüvenin yeterli olup olmadığına karar verilir.

$$E = L \cdot I^2 = 1.52 \cdot 10^{-3} * 19.86^2 = 600 \text{ J} \quad (5.17)$$



Şekil 5.8. Manyetik nüve seçim grafiği [17]

Firma katalog listesinde 600mJ değeri için KB044E026 veya KB020E040 ferrit nüveler seçilebilir. Pençeler aralığının büyük olması nedeniyle KB044E026 E tipi ferrit malzemeden yapılmış nüve kullanılmıştır. Nüve kataloğundan $A_L=91\pm\%8$ (nH/Turn²) olarak verilmiştir. Buradan $A_{L,min}=83,72$ nH/Turn² olarak bulunur.

$$N = \sqrt{\frac{L_n}{A_{L,min}}} \quad (5.18)$$

$$H = \frac{N \cdot I_{in}}{l_e} \quad (5.19)$$

Eşitlik (5.18) ve (5.19) kullanılarak $N=135$ sarım, $H=129$ Amper-Turn hesaplanır ve hesaplanan manyetik alan şiddetine göre permeabilite değeri $\mu =\%80$ olarak bulunur. Bağlı permeabilite değeri 1 için sarım sayısı bulunur. Bu sarım sayısına denk gelen gerçek permalite değeri Şekil 5.8'deki grafik üzerinden bulunarak sarım sayısı yeniden düzenlenir. Buna göre son sarım sayısı eşitlik (5.20) ile 169 sarım olarak hesaplanmıştır. Bulunan son sarım sayısı ile yeniden manyetik alan hesabı eşitlik (5.19) ile 161,36 Amper-Sarım olur.

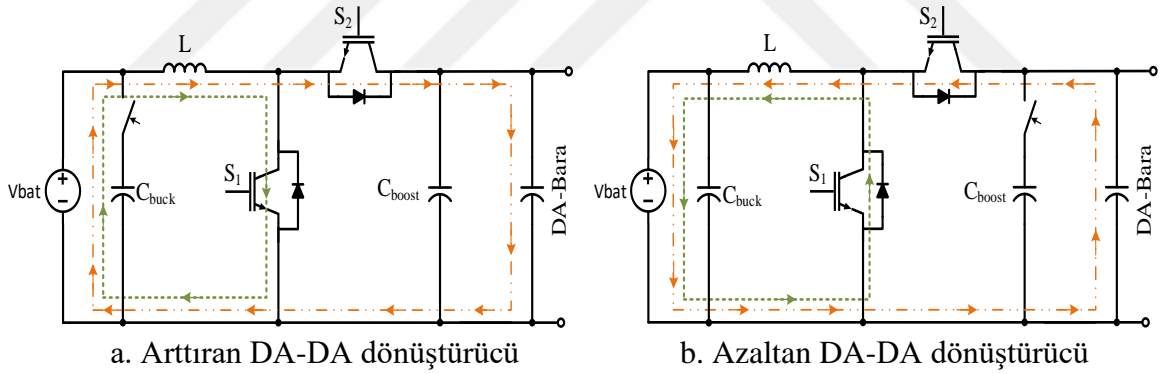
$$N_{son} = \frac{N}{\mu} \quad (5.20)$$

Bulunan gerçek manyetik alan şiddeti Şekil 5.7’de verilen grafikten bakılarak bağlı permeabilite $\mu=72$ olarak bulunur. Permeabilite değişimini göz önünde bulundurmak gerekirse kataloglarda verilen A_L değeri uygunlaştırılmalıdır. Bu uygunlaştırmanın ardından gerçek endüktans değeri eşitlik (5.21) ile $60,88 \text{ nH/Sarım}^2$ hesaplanır. Tüm değerler hesaplandıktan sonra nihai endüktans değeri $1,72 \text{ mH}$ olarak bulunur.

$$A_{L,new} = A_{L,min} \cdot \mu r \quad (5.21)$$

5.3.2. DA-DA Dönüştürücünün Denetimi

DA-DA dönüştürücü Şekil 5.9’deki devre topolojisi ve farklı kontrol yöntemleri sayesinde hem arttıran hem de azaltan durumlarda çalışır ve çift yönlü güç transferi sağlar. Şekil 5.9.a’da arttıran DA-DA dönüştürücü, Şekil 5.9.b’de azaltan DA-DA dönüştürücü için anahtarlama durumlarına göre akım döngüleri verilmiştir.



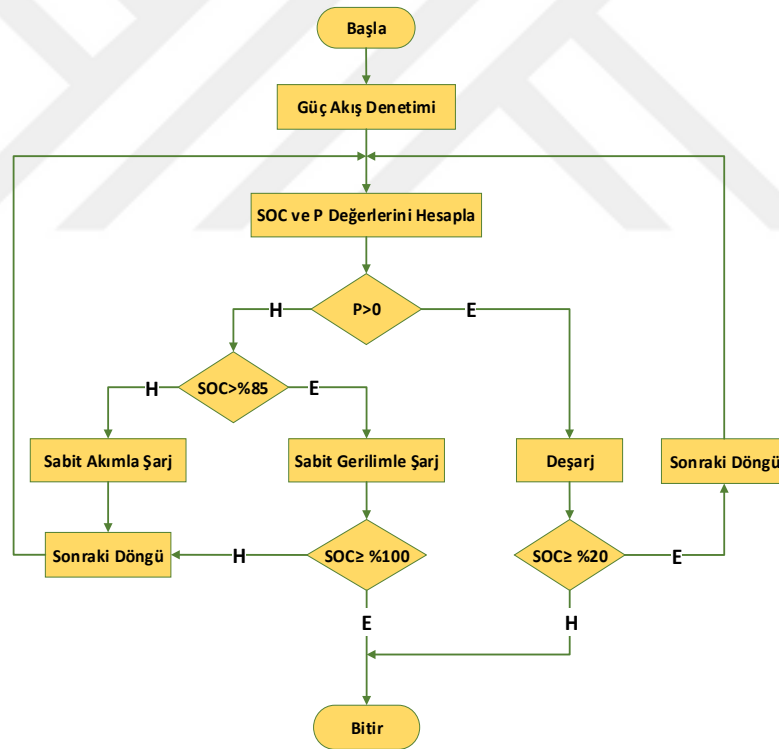
Şekil 5.9. DA-DA dönüştürücü devre topolojisi

Arttıran çalışma durumunda S₁ anahtarı olarak kullanılan igbt iletimde iken, S₂ anahtarı olarak kullanılan igbt kesimde (sadece diyot olarak çalışacaktır) olacaktır. S₁ anahtarı kesimde iken akım bara üzerinden döngüsünü tamamlarken S₂ anahtarı kesimde olacağından akım serbest döngü diyotu üzerinden devresini tamamlamaktadır.

Azaltan çalışma durumunda S₁ anahtarı kesimde iken, S₂ anahtarı iletimde olacaktır. S₂ anahtarı kesimde iken, akım döngüsünü S₁ anahtarı serbest döngü diyotu üzerinden tamamlamaktadır. S₁ anahtarı azaltan dönüştürücü çalışmasında sadece diyot olarak kullanılmaktadır.

5.3.3. Bataryanın Şarj ve Deşarj için DA-DA Dönüştürücü Kontrol Yöntemi

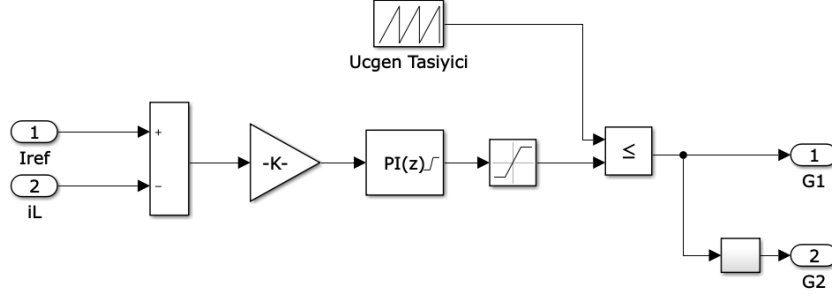
Bataryanın gerilim seviyesi şarj süresince artarken, deşarj boyunca düşer. DA-DA dönüştürücünün bir tarafında DA bara gerilimi sabit iken diğer tarafta batarya gerilimi sürekli olarak değişir. Bu sebeple DA bara ile batarya arasındaki gerilim farkı arttıkça şarj/deşarj akımı artarken, aksine potansiyel fark azaldıkça şarj/deşarj akımı da azalmaktadır. Gerilim farkının düşmesine bağlı olarak şarj/deşarj akımının azalması bataryanın daha uzun sürede dolması veya boşalması anlamına gelir. Bununla birlikte batarya şarj durumu dolmaya yakın bir noktada nominal gerilim seviyesine eşit olacağından, DA-DA dönüştürücünün gerilim seviyesi nominal gerilim seviyesinin üzerinde sabit gerilim seviyesinde tutulmalıdır. Bu kapsamda batarya şarj durumuna göre sabit akım ve sabit gerilim ile şarj/deşarj yöntemleri gerçekleştirilir.



Şekil 5.10. Şarj/deşarj yöntemi seçim algoritması

Öncelikle bataryanın şarj/deşarj işlemlerinde batarya şarj durumu (SOC) sürekli olarak belirlenmelidir. Çünkü bataryanın şarj durumuna bakılarak şarj yöntemi seçilmektedir. Batarya şarj karakteristiğinde doğrusal bölgelerde ($20 \leq \text{SOC} \leq 85$) sabit akımla şarj/deşarj, üstel değişim bölgelerinde ($85 < \text{SOC}$) sabit gerilimle şarj/deşarj yöntemleri kullanılır.

Batarya sağlığı için deşarj derinliği ($SOC < 20$) dikkate alınarak deşarj işlemi sonlandırılır. Batarya şarj/deşarjında uygun yöntem seçilirken Şekil 5.10'daki algoritma kullanılmıştır.

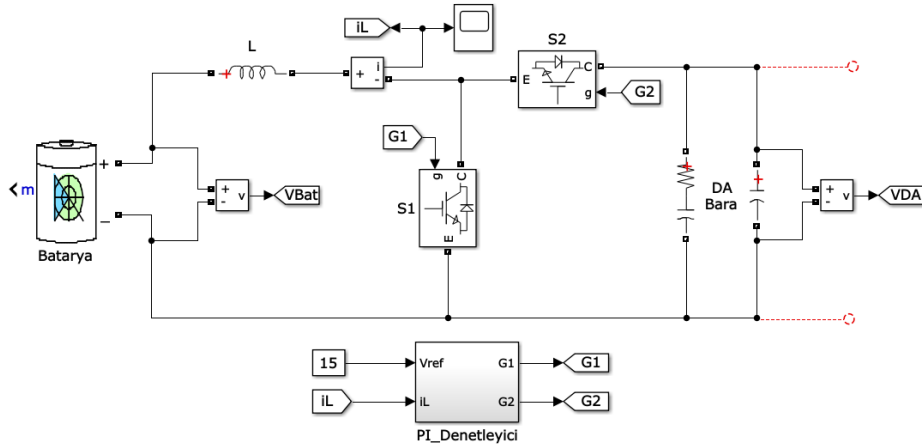


Şekil 5.11. Sabit akım ve gerilim denetimli anahtarlama işaretinin üretimi

Sabit gerilim ve sabit akım ile şarj/deşarj yöntemlerini gerçekleştirebilmek için DA-DA dönüştürücü kapalı çevrimle denetlenmelidir. Bir başka deyişle DA-DA dönüştürücünün şarj gerilimi veya akımını istenen değere ayarlamak için geri besleme döngüsü kullanılmalıdır. Geri besleme döngüsü sayesinde DA-DA dönüştürücünün ölçülen şarj/deşarj akımı veya şarj/deşarj gerilimi; referans akım veya referans gerilim değerleriyle karşılaştırılır. Elde edilen akım veya gerilim hata işareti; Oransal-İntegral (PI), Oransal-İntegral-Türev (PID) veya Bulanık Mantık (BM) vb. denetleyiciler tarafından düzeltilir. Düzeltilen hata işareti, anahtarlama işareti oluşturmak için testere işareti ile karşılaştırılır. Üretilen anahtarlama işareti DA-DA dönüştürücünün anahtarlama elamanlarına uygulanır.

5.3.3.1. Sabit Akımla Şarj/Deşarj Yöntemi

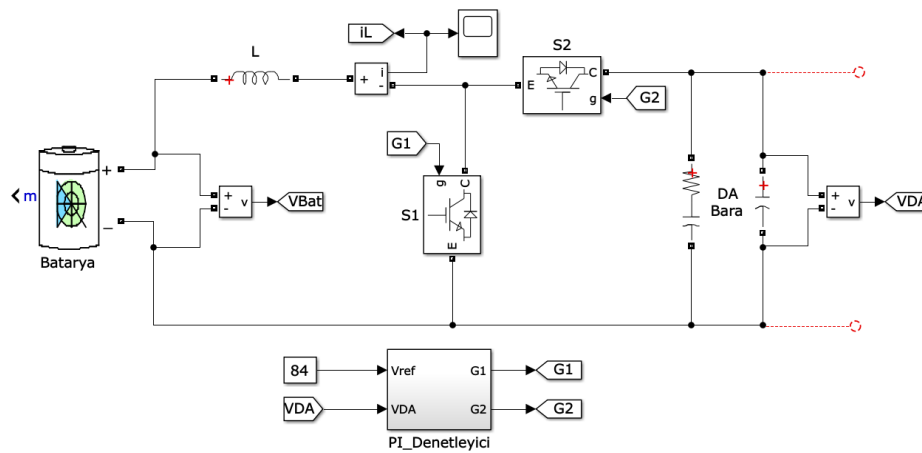
Batarya şarj işlemine başlamadan önce, başlangıçta kapasitesinin büyük bir kısmı boş olacağından batarya gerilim düşüktür. Eğer bataryanın şarj akımı kontrol edilmezse başlangıçta yüksek akımla şarj olacaktır. Yüksek akımla şarj bataryanın aşırı ısınmasına ve ömrünün kısılmasına yol açmaktadır. Bu nedenle batarya şarj işlemi, şarj durumuna göre sabit akımla şarj yöntemiyle gerçekleştirilir. Batarya şarj durumu %85'e ulaşana kadar sabit akımla şarj edilmiştir. Bu yöntemde referans akımla devreden geçen akım karşılaştırılarak elde edilen hata işareti PI denetleyiciye uygulanarak düzeltilir. PI denetleyici çıkışında düzeltilen işaret, frekansı belli tekrarlayan testere işareti ile karşılaştırılarak anahtarlama işareti üretilir. Üretilen anahtarlama işareti, yarı iletken anahtarlama elemanını sürmede kullanılır. Sabit akımla şarj/deşarj yöntemi Şekil 5.12'de görülmektedir.



Şekil 5.12. Sabit akım denetimli anahtarlama işaretinin oluşturulması

5.3.3.2. Sabit Gerilimle Şarj/Deşarj Yöntemi

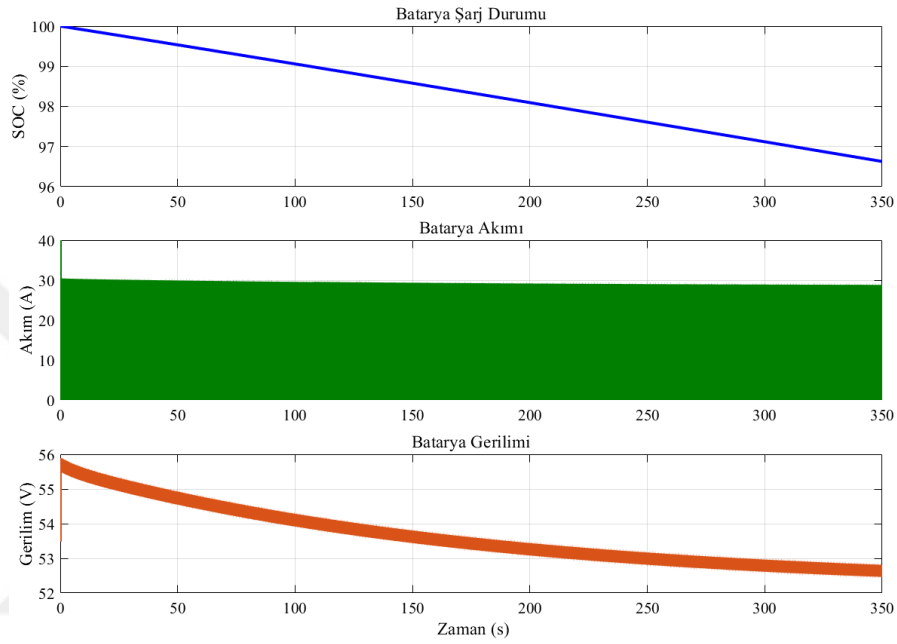
Batarya dolmaya yaklaştıkça gerilim seviyesi artacağından şarj akımı azalacaktır. Şarj akımının azalması, şarj işleminin kontrol edilmemesi durumunda şarj işleminin uzamasına neden olacaktır. Bunun önüne geçmek için şarj gerilimini, batarya geriliminin üzerinde sabit tutarak şarj akımı artırılır. Böylece batarya şarj durumu %85'i geçince, sabit gerilimle şarj yöntemi devreye girerek akünün sağlıklı bir şekilde tamamının dolması sağlanır. Sabit gerilimle şarj yönteminde istenilen referans gerilim değeri ile akü gerilimi karşılaştırılarak bu işlem sonunda bir hata işareti elde edilir. PI denetleyici ile düzeltilen hata işareti ardından tekrarlayan testere işareti ile karşılaştırılması sonucu yarı iletken anahtarlama elemanının tetikleme işareti elde edilir. Sabit gerilimle şarj/deşarj yöntemi Şekil 5.13'te gösterilmiştir.



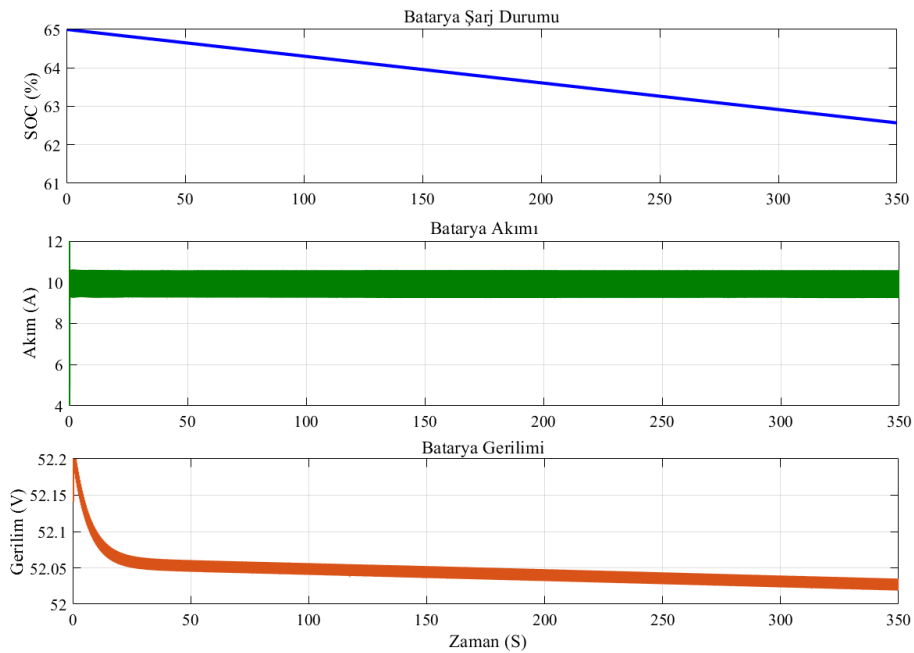
Şekil 5.13. Sabit gerilim denetimli anahtarlama işaretinin oluşturulması

5.3.3.3. DA-DA Dönüştürücü Sabit Akım ve Gerilimle Şarj/Deşarj Benzetimi

Çift Yönlü DA-DA dönüştürücü kullanarak gerçekleştirilen batarya şarj ve deşarj işlemleri için iki farklı çalışma modeli kullanılmıştır. Bunlardan ilki, anma gerilimi 48V olan batarya grubundan 84V DA bara gerilimine güç aktarımı yapılmaktadır.



Şekil 5.14. Arttıran DA-DA ile bataryanın sabit gerilimle deşarj işlemi

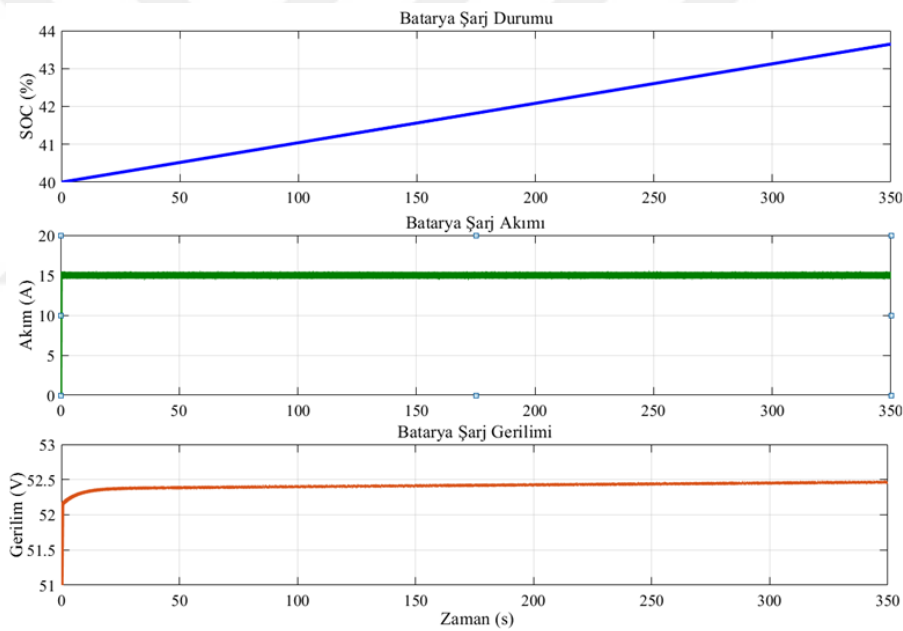


Şekil 5.15. Arttıran DA-DA ile bataryanın sabit akımla deşarj işlemi

Şekil 5.14'te bataryadaki enerji arttıran DA-DA dönüştürücü kullanılarak sabit gerilimle deşarj edilirken batarya şarj durumu, akımı ve gerilimi gözlemlenmiştir. Burada bataryanın şarj durumu 360 saniye içerisinde %100'den %96,5'e düşmüştür. Batarya gerilimi zamanla 55,6V'tan 52,7V seviyelerine gerilemiştir. Benzer şekilde batarya gerilimi düştükçe deşarj akımı 30A'den 28A'e düşmüştür.

Şekil 5.15'te batarya arttıran DA-DA dönüştürücü ile 10A'lik sabit akımla deşarj edilirken batarya şarj durumu, akımı ve gerilimi görülmektedir. 350 saniye içerisinde batarya şarj durumu %65'ten %62,5'e düşmüş ve gerilimi 52,25V'tan 52,05V'a gerilemiştir.

İkinci çalışma durumunda 48V terminal gerilimine sahip batarya 84V'luk bir DA bara geriliminden şarj edilmektedir. Burada bara gerilimi batarya gerilim seviyesine düşürülerek şarj işlemi gerçekleşeceğinden DA-DA dönüştürücü azaltan topolojide çalışmaktadır.

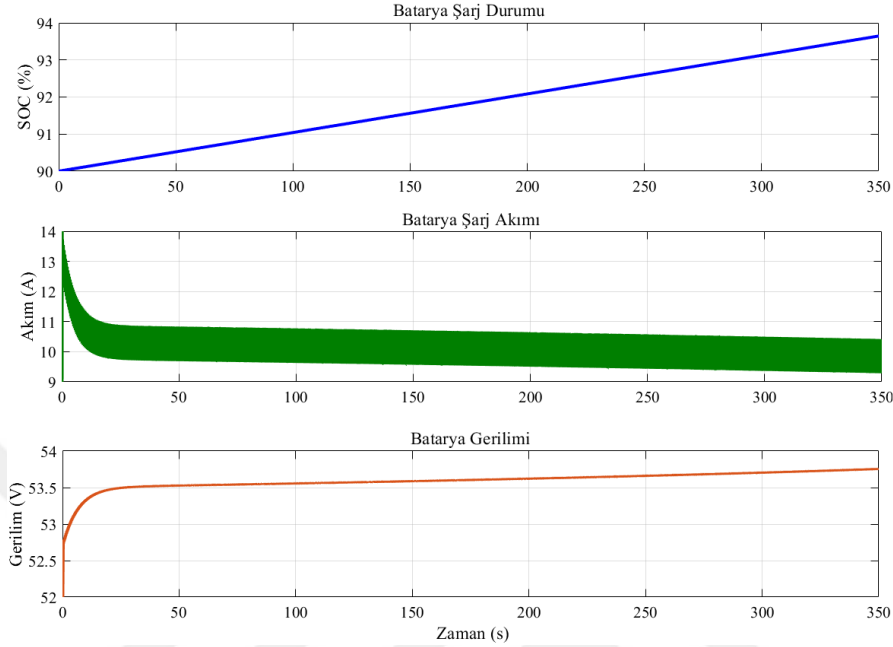


Şekil 5.16. Azaltan DA-DA ile bataryanın sabit akımla şarj işlemi

Şekil 5.16'da batarya azaltan DA-DA dönüştürücü kullanılarak sabit akımla şarj edilmesi sonucunda batarya şarj durumu, akım ve gerilimindeki değişimler görülmektedir. 350 saniyelik bezenim süresi içerisinde batarya 15A'lik sabit akımla şarj edilmiş ve şarj durumu %40'dan %43,6'ya yükselirken batarya gerilimi 52V'dan 52,5V'a çıkmıştır.

Şekil 5.17'de batarya azaltan DA-DA dönüştürücü kullanılarak sabit gerilimle deşarjında bataryanın şarj durumu, akımı ve gerilimindeki değişimler görülmektedir. Burada 35 saniye içerisinde batarya şarj durumu %90'dan %93,5'e yükselmiştir. Bataryanın şarj

akımı başlangıçta 14A iken benzetim sonunda 10A'ye düşmüştür. Batarya gerilimi ise 52.5V'dan 53,75V seviyelerine çıkmıştır.

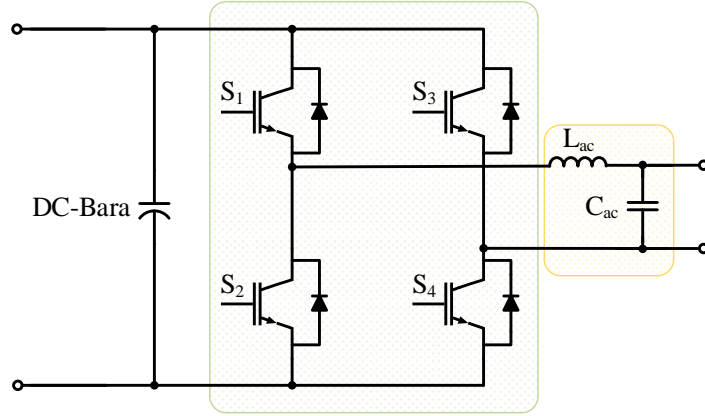


Şekil 5.17. Azaltan DA-DA ile bataryanın sabit gerilimle şarj işlemi

5.4. Bir Fazlı Tam Köprü Evirici

Uygulamalarda orta ve yüksek güçlerde sıkça tercih edilen bir fazlı tam köprü evirici devre şeması Şekil 5.18'de görülmektedir. Evirici çıkışında üç farklı gerilim seviyesi elde edilmektedir. S_1 - S_4 anahtarları aynı anda iletme ve kesime girerken, bu anahtarların tersleyeni olarak S_2 - S_3 anahtarları aynı anda kesime ve iletme geçmektedir. Evirici çıkışında S_1 - S_4 iletimde ve S_2 - S_3 kesimde iken $+V$, S_1 - S_4 kesimde ve S_2 - S_3 iletimde iken $-V$ gerilim seviyeleri gözlemlenir. Ayrıca S_1 - S_3 iletimde ve S_2 - S_4 kesimde iken veya S_1 - S_3 kesimde ve S_2 - S_4 iletimde iken 0 gerilim çıkışı elde edilir.

Evirici devresinde anahtarlama elemanı olarak MOSFET, GTO, IGBT ve BJT kullanılabilir. Bu anahtarlama elemanlarından IGBT yüksek güç gerektiren uygulamalarda daha çok tercih edilmektedir. Ancak IGBT elemanı endüktif yüklerde kesime giderken negatif alternanslarda akım kuyruğu oluşur. Bu nedenle bu elemanları kesime götürmek için yaklaşık (-5) - (-7) V arasında bir gerilim uygulanır. Böylece negatif alternanstaki akım kuyruğu ortadan kaldırılarak işaretin bozulmaması sağlanır.



Şekil 5.18. Tam köprü evirici topolojisi

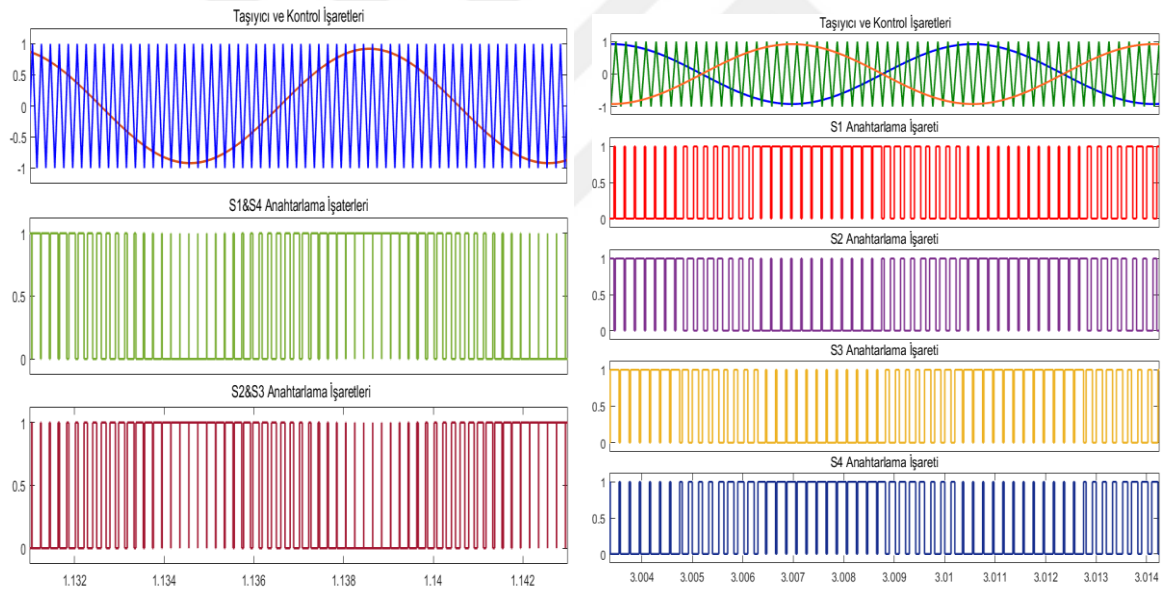
Anahtarlama elemanları kesimde iken bu elemanlara ters yönde paralel bağlı olan serbest döngü diyotları akım döngüsünün tamamlanmasını sağlar. Tam köprü evirici devresinde IGBT iletimde iken akım Kollektör-Emiter yönünde geçerken IGBT kesime geçtiğinde akım serbest döngü diyotu üzerinden devresini tamamlar. Ayrıca tüm IGBT anahtarlama girişlerine herhangi bir anahtarlama işareti uygulanmadığında, bu anahtarlama elemanında bulunan serbest döngü diyotları sayesinde tam köprü devresi denetimsiz doğrultucu olarak çalıştırabilir. Bu çalışma sayesinde evirici hem DA-AA hem de AA-DA dönüşümlerini yapabildiğinde çift yönlü dönüştürücü olarak çalışma özelliğine sahiptir.

Tablo 5.1. Bir fazlı tam köprü evirici anahtarlama durumları ve çıkış gerilimi

Anahtar Durumu	İletimdeki Anahtar	Kesimdeki Anahtar	Çıkış Gerilimi
1	S1-S4	S2-S3	+V
2	S2-S3	S1-S4	-V
3	S1-S3	S2-S4	0
4	S2-S4	S1-S3	0

Evirici kontrolünde en yaygın kullanılan anahtarlama yöntemi Darbe Genişlik Modülasyonudur (DGM). DGM kontrolünde Sinüzoidal ve Uzay Vektör yöntemleri en çok tercih edilen iki yaklaşımdır. Bu çalışmada Sinüzoidal Darbe Genişlik Modülasyonu (SDGM) kullanılmıştır. Bu yöntemde referans ve taşıyıcı olarak adlandırılan iki işaret karşılaştırılarak anahtarlama işaretleri elde edilir. Amaç çıkış geriliminde ana harmonik dışındaki bileşenleri yüksek frekans bandına öteleyerek düşük frekanslı ana harmonik genliğini kontrol etmektir. Böylece elde edilen yüksek frekanslı kıyılmış dalga şekli alçak geçiren filtre ile filtrelenerek sinüzoidal dalga şekli üretilir. SDGM tek kutuplu ve çift

kutuplu olarak iki farklı şekilde üretilebilir. Taşıyıcı işareti tek bir sinüzoidal kontrol işaretiyle karşılaştırılırsa üretilen iki adet kontrol işaretleri çapraz olarak karşılıklı yarı iletken anahtarlara uygulanır. S_1 & S_4 anahtarlarına aynı işaret ve S_2 & S_3 anahtarlarına aynı işaret uygulanır. Şekil 5.19.a'daki anahtarlama biçimine çift kutuplu SDGM denir. Aralarında 180° faz farkı bulunan iki adet sinüzoidal kontrol işareti bir taşıyıcı işaretle karşılaştırıldığında Şekil 5.19.b'de elde edilen anahtarlama işaretine tek kutuplu SDGM denir. Burada her anahtarlama işareti birbirinden bağımsız üretilmiş olsa da aslında aynı koldaki anahtarlar işaretleri birbirinin tersidir. Çünkü her ikisinin aynı anda iletme girmesi istenilmez. Birisi iletme girerken diğeri de kesime gider. Her iki işaretin çakışması muhtemeldir. Bu nedenle bu iki anahtarlama işaretleri arasında ölü zaman oluşturulması gerekir. Ölü zaman aynı koldaki anahtarlama işaretlerinden birisi kesime geçerken diğeri iletme girecek anahtarlama işaretinde mikro saniyeler mertebesinde gecikme oluşturularak elde edilir.



(a) Çift kutuplu SDGM

(b) Tek kutuplu SDGM

Şekil 5.19. SDGM işaretinin oluşturulması

SDGM işaretinde darbe genişlikleri sinüzoidal referans tarafından belirlenir. Eviricinin çıkış gerilimi ana harmonik frekansı referans işaretin frekansına bağlı olarak ayarlanabilir. Evirici çıkış geriliminin genliği ise referans sinüsün genliğiyle kontrol edilir. Referans sinüsün genliği azaldığında darbe genişlikleri daralırken, referans sinüs genliği arttığında ise darbe genişlikleri genişlemektedir. Çıkış geriliminin referans sinüse yakınsayabilmesi için referans sinüs genliği taşıyıcı üçgen dalga genliğine eşit ya da

taşıyıcıdan daha düşük olmalıdır. Eşitlik (5.22)'da taşıyıcı ve referans işaret genliklerinin oranlanmasına modülasyon indeksi denir. Modülasyon indeksi $m > 1$ durumunda referans sinüs işaretinin tepe noktalarında taşıyıcı işareti kesemeyeceğinden darbe çıkışları sürekli hale gelir ve harmonik kontrolü kaybolur. Bu nedenle modülasyon indeksi $m < 1$ olacak şekilde seçilmez. Modülasyon indeksinin olması gereken değerden düşük seçilmesi halinde ise çıkış gerilimi ana harmonik genliği düşük seviyede olacaktır. Bu durumda giriş DA bara geriliminden yararlanma oranı düşecektir.

$$m = \frac{V_{kontrol}}{V_{taşıyıcı}} \quad (5.22)$$

5.4.1. DA Bara Kapasite Değerinin Belirlenmesi

DA Bara gerilimi evirici çıkış gerilimini doğrudan etkilemektedir. Yukarıda bara geriliminin minimum 78V olması gerektiği hesaplanmış ve tarafımızdan 84V olarak seçilmiştir. Bara gerilimi sabit DA kaynağı olmayıp DA-DA dönüştürücü çıkışına bağlı olarak küçük bir oranda dalgalanmaya sahip bir DA gerilimi üretmektedir. Bu çalışmada dalgalanma oranı yaklaşık %2 olarak 1,68V belirlenmiştir. Eviricinin gücü 750W olarak tasarlanmıştır. Bu parametrelere göre önce DA bara gerilimindeki dalgalanma miktarı ardından bu dalgalanma miktarına izin veren kapasite değeri eşitlik (5.23) ile 13,42mF hesaplanır. Piyasada 13.42mF değerinde kapasiteyi doğrudan bulmak zordur. Bu nedenle 2 adet 6800mF 100V değerinde kapasite seçilmiştir.

$$C = \frac{P}{4 \cdot f \cdot (V^2 - (V - \Delta V)^2)} \quad (5.23)$$

5.4.2. Evirici Çıkış Filtresi Tasarımı

Bu çalışmada evirici çıkışındaki anahtarlama sırasında ortaya çıkan akım ve gerilim harmoniklerini temizlemek için LC filtre kullanılmıştır. İkinci dereceden filtrelemeyi temsil eden LC filtrenin çıkışındaki paralel kondansatör, anahtarlama frekansı bileşenlerini daha da azaltmak için kullanılır. Paralel kondansatör kontrol frekansı aralığında daha yüksek empedans sunarken, anahtarlama frekansında düşük reaktans üretecek şekilde seçilmesi

gerekir. Sistemin düşük frekanslı tarafında bir izolasyon transformatörü kullanması durumunda, LC filtre harmonik sınırlama gereksinimlerini karşılayabilir.

L filtreden daha iyi performans elde edilmesi ve LCL filtreden daha az karmaşık olması nedeniyle, çalışmada LC filtre tercih edilmiştir. LC filtre 20 kHz taşıyıcı frekansıyla yeterli çıkış performansı verebilir. Köşe frekansı (f_c) sistemden geçen enerjinin azalmaya başladığı sistem frekansı yanıtında bir sınırdır. Köşe frekansında zayıflama özellikleri, ikinci dereceden bir filtre tasarlamada rol oynayan kritik faktörlerden biridir. Köşe frekansına yakınında kazanç çok büyük olabilir ve bu frekansta gürültüyü artırabilir. Filtre elemanları ve alçak geçiren filtrenin köşe frekansı arasındaki ilişki eşitlik (5.24)'te verilmiştir.

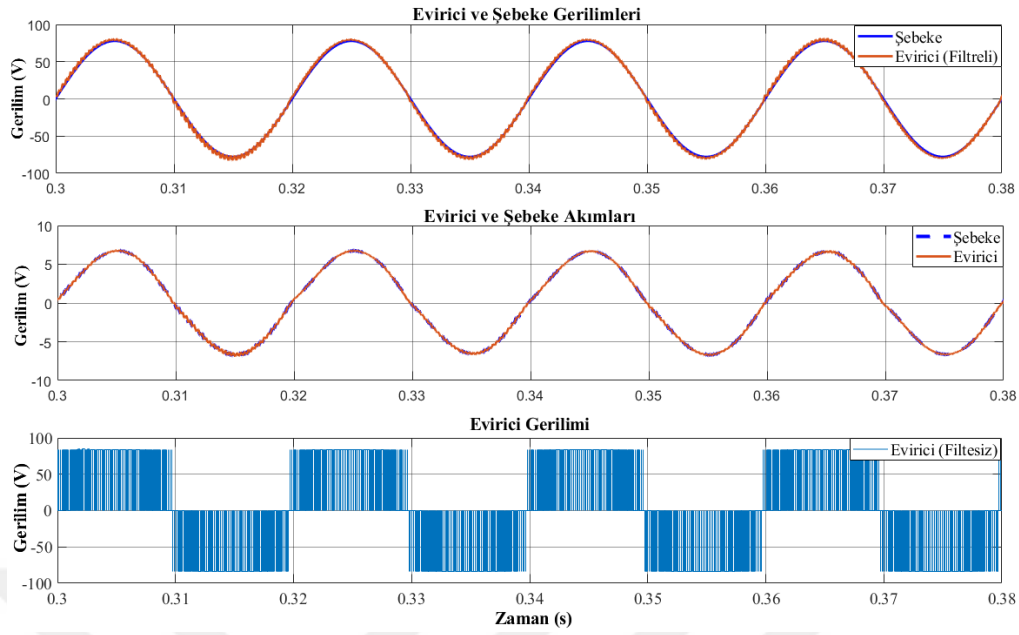
$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{LC}} \quad (5.24)$$

İki seviyeli evirici çıkış gerilimi filtrelendiğinde sinüzoidal gerilim işaretine dönüşür. Seçilen LC filtre için L ve C parametreleri hesaplamadan önce evirici çıkış gerilimi ve akımındaki dalgalanma miktarı belirlenmelidir. Tasarlanan evirici için dalgalanma miktarı çıkış akımında %5, filtrelenecek reaktif güç ise aktif gücün %0,6 olacak şekilde planlanmıştır. Öncelikle tasarlanan 750 W çıkış güçlü eviricinin çıkış ve maksimum akımı sırasıyla 13.64A ve 19,285A olarak hesaplanmıştır. Yine maksimum akımdaki dalgalanma miktarı 0,0964A olarak bulunmuştur.

$$L_{min} \geq \frac{V_{DA}}{4 \cdot f_{sw} \cdot \Delta i_{pp,max}} \quad (5.25)$$

$$C_f = \%Var \cdot \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot V_{ac}^2} \quad (5.26)$$

Filtre parametreleri eşitlik (5.25) ve (5.26) kullanılarak $L_{min}=1,089\text{mH}$ ve $C_f=4,735\mu\text{F}$ olarak hesaplanmıştır ve bu hesaplama sonucuna göre $L_f=1.2\text{mH}$, $C_f=4.7\mu\text{F}$ değerleri seçilmiştir. Bu değerlere göre köşe frekansı 2120Hz olarak belirlenirken, tasarlanan LC filtre, eviriciye uygulandığında Şekil 5.20'deki evirici çıkış gerilimi elde edilmiştir.



Şekil 5.20. Evirici çıkış gerilimi ve akımının filtrelenmiş hali

5.4.3. Şebeke Gerilimi Ölçümü ve Ölçeklendirme Devresi

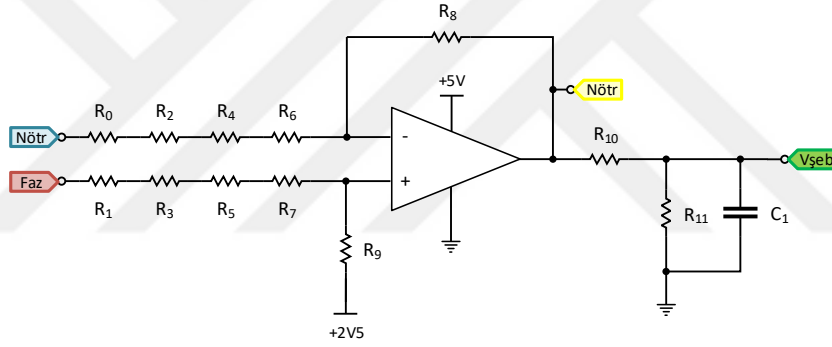
Şebeke gerilimi Şekil 5.21’de verilen OpAmp fark yükseltici devresi kullanılarak ölçülmüştür. Ölçülen gerilimi mikrodenetleyicinin ADC’si 0-3V gerilim aralığında örnekleyebildiği için şebeke geriliminin 0-3V aralığında ölçeklendirilmesi gerekir. Fark yükseltici, giriş işaretleri arasındaki farkı bir kazanç katsayısıyla çarparak çıkış işareti üretir. Şebeke işaretinin ölçeklenmesi durumunda her bir alternansın simetrik olarak kuvvetlendirilebilmesi için $(R_0+R_2+R_4+R_6)$ ve R_8 dirençlerinin oranı ile $(R_1+R_3+R_5+R_7)$ ve R_9 dirençlerinin oranı alınmıştır. Burada birden fazla direnci seri bağlamak yerine, yüksek değerli bir direnç bağlanabilirdi, ancak girişe yüksek gerilim bağlandığında tek direnç üzerinden gerilimin atlama ihtimali bulunması ve fark yükselticinin yüksek gerilime maruz kalmaması için emniyet önlemi alınmıştır.

Şebeke geriliminin ölçülmesinde işlemcinin ADC’si sadece pozitif gerilim değerinde çalıştığından bu uygulamada OpAmp sadece +5V besleme kaynağıyla beslenmiştir. Bu nedenle şebeke geriliminin negatif alternansı yükselteç çıkışında pozitif alternansa kaydırılmalıdır. Çıkış işaretini pozitif alternansa kaydırmak için sanal toprak tekniği kullanılmıştır. Bu yöntemde örneklenecek işaret kaydırılmak istenen gerilim seviyesi kadar düzgün bir DA referans gerilim işareti üzerine bindirilir. Eğer yükselticinin girişleri arasındaki gerilim eşitse OpAmp çıkışında referans gerilim görülür. Fakat giriş işareti pozitif

alternansta ise, OpAmp çıkışında örneklenen işarete kazanç katsayısı uygulanmış halinin DA referans gerilime eklenmiş şekli görülür. Şekil 5.21’de şebeke gerilimini ölçmek ve ölçeklendirmek için tasarlanan devre şeması görülmektedir. Ölçülen şebeke gerilimi eşitlik (5.27) ile hesaplanabilir.

$$V_{şeb} = \left[(V_{Faz} - V_{Nötr}) \frac{R_8}{R_0 + R_2 + R_4 + R_6} + V_{Ref} \right] \cdot \frac{R_{11}}{(R_{10} + R_{11})} \quad (5.27)$$

OpAmp’ın doğrusallığının bozulmaması için yükselteç kazancı ayarlanırken çıkış işareti besleme gerilimi sınırlarına fazla yaklaştırılmamalıdır. Aksi takdirde, işaretin minimum ve maksimum değerlerinde bozulma ve kırılmalar görülebilir. Ölçüm hassasiyetini arttırmak için çok düşük toleranslı kazanç dirençler kullanılmalıdır.



Şekil 5.21. Şebeke gerilimi ölçme ve ölçeklendirme devresi

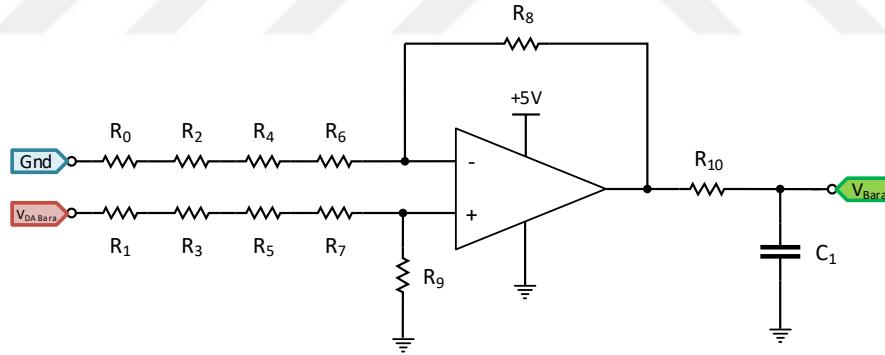
Bu çalışmada kullanılan OpAmp devresi 5V ile beslenmektedir. Ancak işlemci devresi 3,3V ile beslenmesi nedeniyle OpAmp’ın arızalanması durumunda OpAmp çıkışının 5V olmasını önlemek için OpAmp çıkışına R_{10} ve R_{11} gerilim bölücüsü eklenmiştir. Örneğin OpAmp arızalandığında 5V çıkışı verecek ve 3V ile çalışan ADC zarar görecektir. Devreye eklenen gerilim bölücü sayesinde OpAmp çıkışı 3V ile sınırlanacak ve ADC güvenli bir şekilde çalışması sürdürecektir. Çıkışta bulunan C_1 kapasitörü RC alçak geçiren filtre devresi için kullanılmış ve ölçüm devresinden kaynaklanabilecek yüksek frekanslı bileşenleri süzmektedir. Filtre çıkışında oluşabilecek faz kaymasını engellemek için filtre köşe frekansı çok düşük seçilmiştir.

Evirici çıkış gerilimi 55V olacak şekilde planlanmıştır ve 1/4 oranında yükseltici tip transformatör kullanarak 220V şebeke gerilimi amaçlanmıştır. Şebeke gerilimi olarak

transformatörün evirici tarafındaki çıkış ucundan örnekleme alınmaktadır. Bu noktada faz-nötr gerilimi 55V olup bu gerilimin tepe değeri ise yaklaşık 78V hesaplanmıştır. R_8 ve R_9 dirençleri için 10K, R_0 - R_7 dirençleri 150K ve gerilim bölücü dirençleri ise R_{10} ve R_{11} sırasıyla 2,2 K ve 3,3K olarak seçilmiştir. Bu değerler eşitlik (5.27)'de yerleştirildiğinde 55V şebeke geriliminin pozitif alternans tepe değeri 2,28V, negatif alternans tepe değeri ise 0,72V aralığında ölçeklenmiştir. Bu değerler işlemci üzerindeki ADC'nin girişi için uygulanan 0-3V aralığında yer almaktadır.

5.4.4. DA Bara geriliminin Ölçülmesi ve Ölçeklenmesi

DA bara geriliminin ölçülmesinde de şebeke gerilimi ölçme devresine yakın bir devre yapısı kullanılmaktadır. Ancak DA bara geriliminin negatif alternansı olmadığından burada ölçülen işaretinin ötelemesine ihtiyaç yoktur. Ayrıca OpAmp çıkışında kullanılan RC alçak geçiren filtre ile DA bara gerilimi ve devreden kaynaklanabilecek yüksek frekanslı gürültü işaretleri filtrelenmektedir.



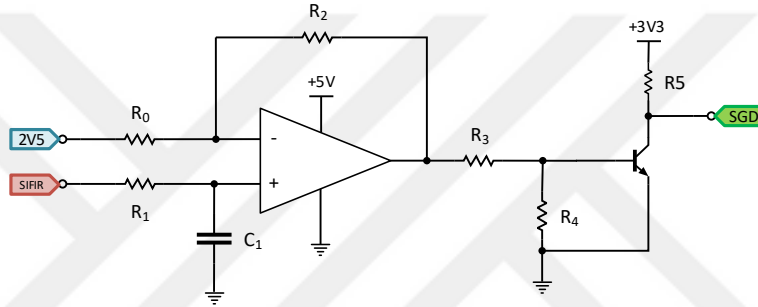
Şekil 5.22. DA Bara gerilimi ölçme ve ölçeklendirme devresi

DA bara gerilimini ölçme ve ölçeklendirme işlemi Şekil 5.22'deki devre yardımıyla gerçekleştirilmiştir. DA bara gerilimi eşitlik (5.28) ile hesaplanmaktadır. Çalışmada DA bara gerilimi 84 V seçilmiştir. R_8 ve R_9 dirençleri 10K, R_0 - R_7 dirençleri 150K seçilirse işlemci ADC girişinden 1,4V'luk bir gerilim işareti okunur. Batarya geriliminin ölçümünde de DA bara geriliminin ölçümü için tasarlanan ölçme ve ölçeklendirme devresi kullanılabilir.

$$V_{DA_Bara} = (V_{DA_ust} - V_{DA_alt}) \cdot \frac{R_8}{R_0 + R_2 + R_4 + R_6} \quad (5.28)$$

5.4.5. Sıfır Geçiş Dedektörü

Sıfır Geçiş Dedektörü (SGD) devresi şebeke frekansının belirlenmesi ve faz kilitleme döngüsü için işlemcinin eCAP modülüne şebeke gerilimi işaretinden bilgi sağlar. SGD devresinde 2,5V referans gerilim ve şebeke gerilim ölçme ve ölçeklendirme devresindeki sıfır çıkış işareti OpAmp'ın karşılaştırıcı girişlerine uygulanmıştır. Karşılaştırıcıda pozitif geri besleme kullanılarak devreye histerisiz ilavesi yapılmıştır. SGD çıkışında şebeke alternansı değişimlerinde yükselen ve düşen kenarlar için farklı gerilim değerlerinde anahtarlama yapılmaktadır ve çıkışta istenmeyen konum değişimlerinin önüne geçilmiştir.



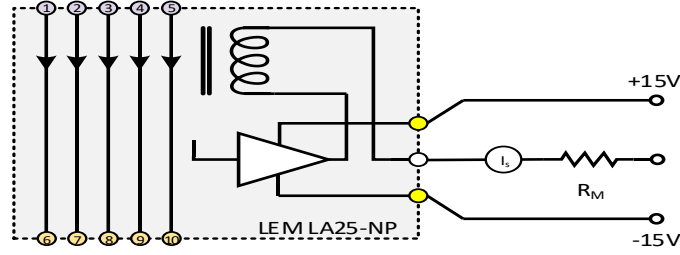
Şekil 5.23. Sıfır geçiş dedektörü devresi

Şekil 5.23'te görülen OpAmp karşılaştırıcı girişine referans gerilim olarak 2,5V uygulanmıştır. Çünkü sıfır girişi şebeke ölçme devresinden alındığı için, o devrede referans işaret olarak 2,5V kullanılmıştır. SGD devresinde farklı bir referans gerilim seçilmesi durumunda, karşılaştırıcı sıfır geçişlerini sağlıklı bir şekilde yakalayamayacaktır. SGD devresinin sağ tarafındaki transistör bloğu sıfır geçişlerinin yükselen kenarı yakalandığında çıkış gerilimini 3,3V seviyesine çekmeye yarar. Çünkü işlemcinin eCAP modülü 3,3V gerilim seviyesine sahiptir.

5.4.6. Akım Sensörü Devresi

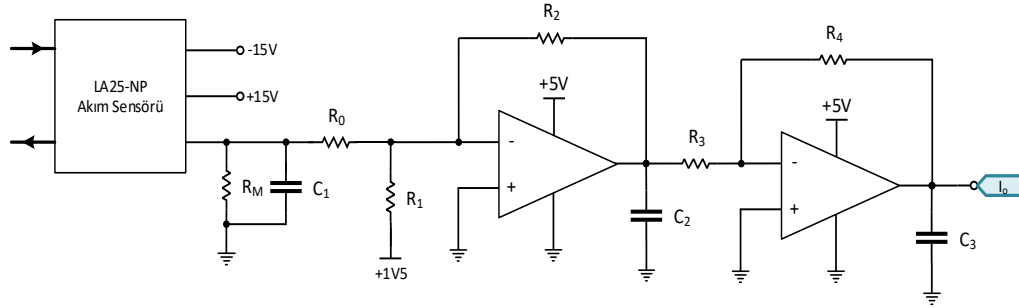
Evirici çıkış akımı ve DA-DA dönüştürücü endüktans akımı ölçümü için hall etkili izoleli LA25-NP akım sensörü kullanılmıştır. Sensörün izoleli olması, akım ölçüm hassasiyeti ve akım ölçüm aralığı sensör seçiminde esas alınan temel parametrelerdir. Ayrıca aynı sensörün 5A, 6A, 8A, 12A ve 25A ölçüm aralığına sahip farklı bağlantı uçları bulunmaktadır. Bu çalışmada 25A akım kademesi kullanılmıştır. Sensör girişine uygulanan

25A nominal primer akımı 1/1000 oran ile sekonder çıkışında 25mA olarak dönüştürülür. Sensör çıkışında ölçülen akım işaretini R_M direnci üzerinden gerilim olarak okunur. R_M ölçüm direncinin değeri akım dönüştürme oranına göre 100-315 Ω arasında ayarlanabilir. Seçilen LA25-NP akım sensörünün iç yapısı Şekil 5.24'te görülmektedir.



Şekil 5.24. LA25-NP akım sensörü iç yapısı

Şekil 5.25'te verilen akım ölçme ve ölçeklendirme devresinde ilk olarak 25A giriş akımını için ölçüm direnci 100 Ω seçilirse, akım sensöründen 2,5V değeri okunur. Ancak ölçeklendirme için nominal akımın tepe değeri dikkate alınmalıdır. 25A akımın tepe değeri yaklaşık 36A olup 3,6V genliğe sahiptir. C_1 kondansatörü sensör çıkış işaretindeki gürültüleri süzmek için kullanılmıştır.



Şekil 5.25. Akım ölçme ve ölçeklendirme devresi

Şekil 5.25'de akım ölçme ve ölçeklendirme devresinde iki adet fark yükselteci bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla toplayıcı ve eviren yükselteçlerdir. Ölçeklendirmede işlemci ADC girişi 0-3V aralığında örnekleme yapabildiği için, eşitlik (5.29) kullanılarak gerilim seviyesi bu aralıkta tutulur. $R_0=15K$ ve $R_1=R_2=4.7K$ seçilirse, örneklenen akımın maksimum değeri 2,628V ve minimum değeri 0,72V olarak örneklenir. Burada arka arkaya iki adet eviren yükselteç kullanılmıştır. İlk yükseltecin negatif çıkan toplama sonucunu terslemek

için ikinci yükselteç kullanılmıştır. Her iki yükselteç çıkışına işaretlerdeki gürültüleri süzmek amacıyla 47pF değerinde kapasite kullanılmıştır.

$$V_M = (I_s \cdot R_M) \quad (5.29)$$

$$I_o = R_2 \cdot \left(\frac{V_M}{R_0} + \frac{V_{ref}}{R_1} \right) \quad (5.30)$$

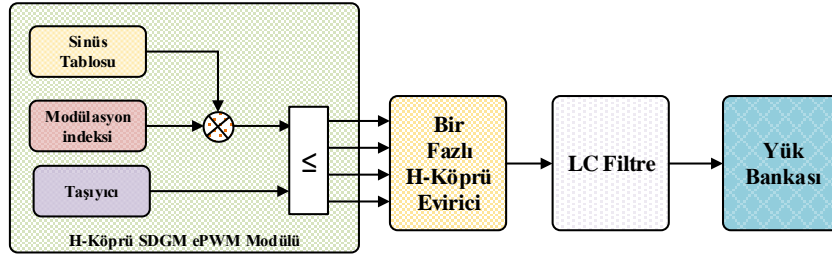
5.4.7. Bir Fazlı Tam Köprü Evirici Kontrol Algoritması

Tez çalışması kapsamında bataryadan eve, elektrikli araçtan eve yine evden şebekeye, elektrikli araçtan şebekeye çalışma durumları söz konusudur. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen ve depolama sitemlerindeki enerjinin evde kullanılması için evirici, şebekeden bağımsız olarak referans gerilimi ve frekans doğrultusunda uygun bir şekilde çalışmasını sürdürmektedir. Bu çalışma durumu için piyasada birçok şebeke bağlantısız (off grid) evirici modeli bulunmaktadır. Bu eviriciler her ne kadar şebekeden bağımsız olsa da cihazlara nominal çalışma sınırları içerisinde bir çıkış gerilimi ve frekansı sağlamalıdır.

5.4.7.1. Şebeke Bağlantısız Çalışma Durumu

Bu çalışmada şebeke bağlantısız veya ada çalışma modu için mikrodenetleyicide 50Hz frekansa ve 55V genliğe sahip bir sinüzoidal gerilim üretilmiştir. Bu gerilimin üretilmesi için 20kHz anahtarlama işareti kullanılmıştır. $50\text{Hz}/20\text{kHz}=400$ adet örnekleme sayısına sahip bir birim genlikli sinüs tablosu oluşturulmuştur. Sinüzoidal bir gerilim elde etmek için her periyotta sinüs tablosundan 400 adet değer okunur. Üretilen bu birim genlikli sinüs işareti istenilen çıkış gerilimini ayarlamak için bir modülasyon indeksi ile çarpılarak taşıyıcı işaretle karşılaştırılıp anahtarlama işaretleri oluşturulur. Bu anahtarlama işaretlerine ölü zaman eklenerek sürücü girişlerine uygulanır. Böylece şebeke bağlantısız eviricinin çıkış gerilimi ayarlanmış olur.

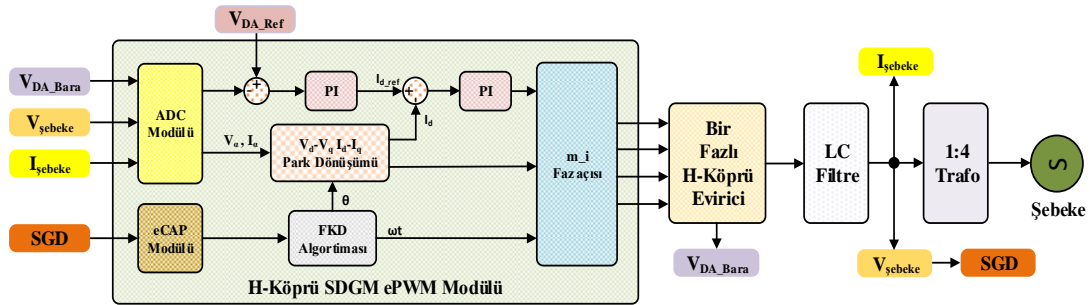
Şekil 5.26'da görülen şebeke bağlantısız evirici kontrol işareti ile yüke aktarılan güç doğrudan kontrol edilmemektedir. Bu bağlamda hali hazır piyasa kullanılan eviricilerin birçoğunda eviricinin maksimum güç ve akım parametreleri sınırlanmış olup, bu sınırlar içerisinde yükün ihtiyacı doğrultusunda güç aktarımı gerçekleşmektedir.



Şekil 5.26. Şebeke bağlantısız çalışma için evirici kontrol blok şeması

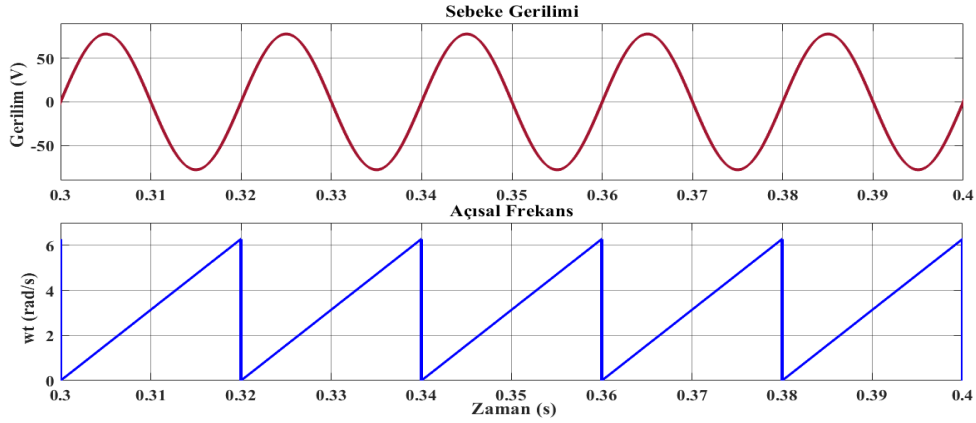
5.4.7.2. Şebeke Bağlantılı Çalışma Durumu

Şebeke bağlantılı çalışma, şebeke bağlantısız çalışmaya göre daha karmaşık ve zor bir kontrole sahiptir. Şebeke bağlantılı çalışmada sadece evirici çıkış gerilimi değil aynı zamanda frekans ve faz açısı da ayarlanmaktadır. Bu konuda literatürde üç fazlı ve tek fazlı yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Özellikle FV eviriciler ve mikro eviriciler için üç fazlı sistemler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak bu sistemler herhangi bir yükü beslemekten ziyade ürettiği gücü doğrudan şebekeye aktarmaktadır. Bu durumda şebeke faz açısı sıfır olan sonsuz bir bara olarak düşünülürse, evirici çıkış akımı şebeke gerilimi ile aynı fazda kontrol edilir. Böylece şebekeye akım basmak için evirici geriliminin faz açısı θ açısı kadar ileride olmalıdır.



Şekil 5.27. Şebeke bağlantılı çalışma durumu için evirici kontrol blok şeması

Şekil 5.27'de görülen şebeke bağlantılı çalışma durumunun kontrol şemasında öncelikle DA bara gerilimi, şebeke akım ve gerilim parametreleri ölçme ve ölçeklendirme devreleri ile ölçülerek işlemcinin ADC modülüne alınır. Ölçülerek örneklenen şebeke gerilimi aynı zamanda SGD'ye uygulanarak sıfır geçişleri algılanır ve FKD algoritmasıyla açısal frekansın (ωt) hesaplanması için işlemcinin eCAP modülüne alınır. Şekil 5.28'de ölçülen şebeke gerilimine bağlı açısal frekans belirlenmesine ait grafikler görülmektedir.



Şekil 5.28. Şebeke gerilimine göre açısal frekansın tespiti

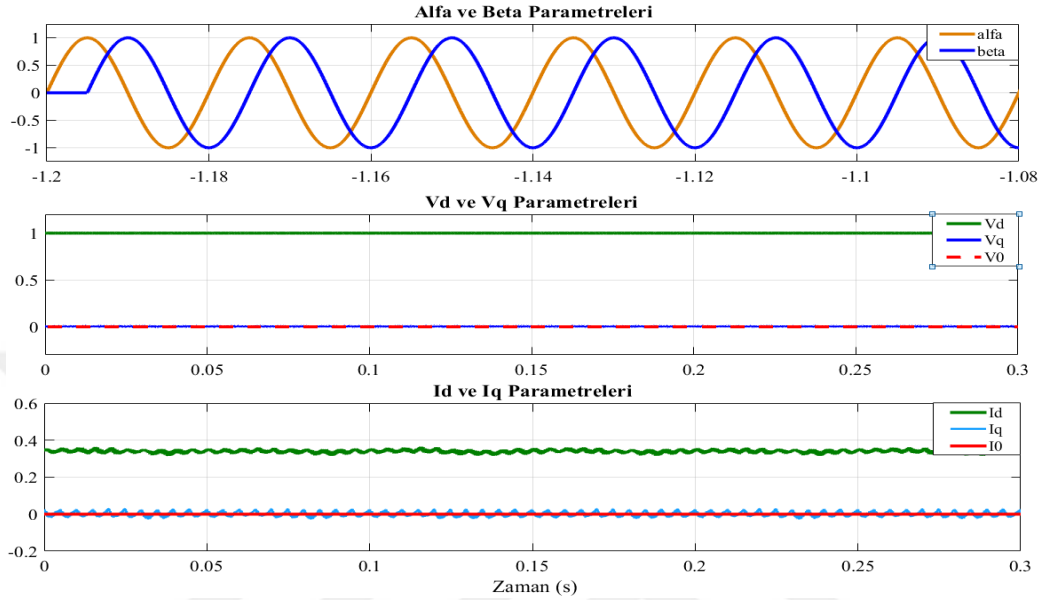
Üç fazlı sistemlerde döner üç faz akım veya gerilim büyüklükleri durağan iki faz birbirine dik iki eksenlere (α , β) taşınır. Ardından Park dönüşümü kullanılarak α , β eksen sisteminde tanımlanan büyüklükler uygun bir θ açısı ile d, q eksen takımına taşınır. Ancak tek fazlı sistemlerde sadece bir faz bulunması nedeniyle, d-q dönüşümü her durum değişkeni için ikinci bir faz oluşturulmadıkça, tek fazlı eviricilere uygulanamaz. Bu nedenle tek fazlı evirici çıkış akım ve gerilim işaretinden ek ortogonal faz bilgisi oluşturmak için faz kaydırmalı durum değişkenleri oluşturulmalıdır. Bu çalışmada gerçek faza göre 90° faz kayması üretilerek sanal bir ortogonal faz oluşturma tekniği kullanılmıştır. Eşitlik (5.31) ile şebeke fazının 1/4'ü oranında faz gecikmesi ile orijinal işarete (α) ortogonal olan başka bir bileşen (β) oluşturulmuştur. Sanal ortogonal bileşen, gerçek bileşenden 90° geriden takip ettiği Şekil 5.28'de görülmektedir.

$$\begin{aligned} X_\alpha &= X \sin \omega t \\ X_\beta &= X \sin(\omega t - 90) \end{aligned} \quad 5.31$$

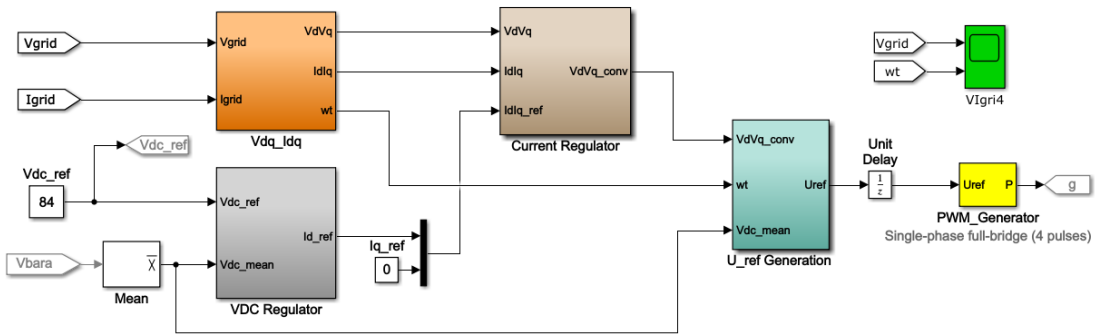
V_α 'dan çeyrek döngü gecikmesini temsil eden V_β 'nin elde edilmesiyle tek fazlı bir sistemde, üç fazlı sistemde Clarke dönüşümüne eşdeğer iki eksenli bir bileşen üretilmiştir. Bir sonraki adımda eşitlik (5.32)'deki Park dönüşümü uygulanarak sabit eksen takımından senkronize dönen eksen takımına geçilmiştir.

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \omega t & \sin \omega t \\ -\sin \omega t & \cos \omega t \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} \quad 5.32$$

Ortogonal faz oluşturma ve Park dönüşümü benzetim modelleri Matlab/Simulink kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hem normalize edilmiş akım ve gerilim örnekleri için d, q eksen bileşenleri Şekil 5.29'da gösterilmiştir.



Şekil 5.29. Ek ortogonal faz oluşturma, normalize akım ve gerilim d, q parametreleri

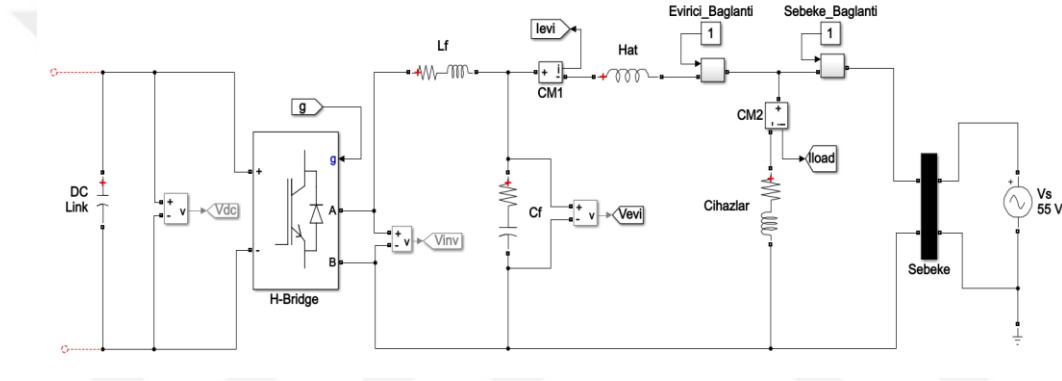


Şekil 5.30. Bir fazlı evirici kontrol modeli

Şebeke akımı ve gerilim örneklerinden (V_α ve I_α), önce 90° 'lik V_β ve I_β parametreleri üretilir ve FKD algoritmasıyla elde edilen θ açısıyla Park dönüşümleri kullanılarak akım ve gerilimin d-q parametreleri hesaplanır. DA bara gerilimi ile DA referans gerilimi karşılaştırılır ve hata en aza indirilir ve ardından I_d akımı hesaplanır. Bu parametreler kullanılarak eviricinin kontrol işareti için modülasyon indeksi ve faz açısı hesaplanır. Matlab yazılımıyla geliştirilen evirici kontrol modeli Şekil 5.30'da gösterilmiştir.

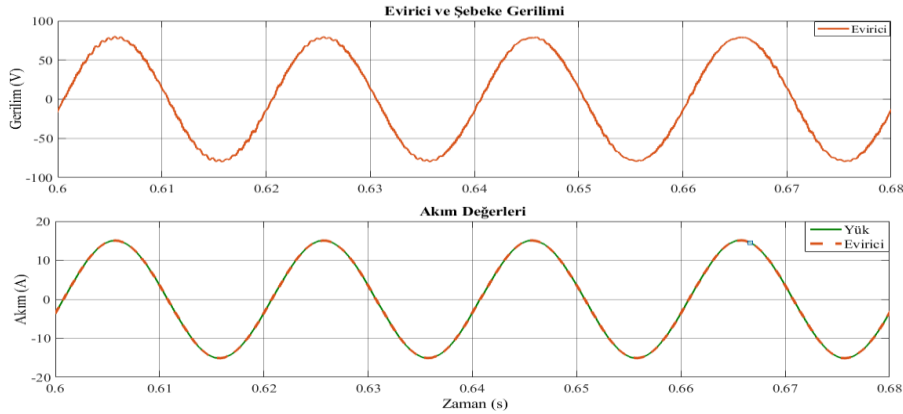
5.4.8. Bir Fazlı Evirici Modeli İçin Benzetim Çalışmaları

Tez çalışmasında bir fazlı evirici topolojisi farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Amaçlardan ilki yenilenebilir enerji kaynaklardan üretilen veya bataryalarda depolanan enerjiyi şebekeden bağımsız olarak sadece konutlardaki AA cihazlarının kullanabileceği AA gerilimine dönüştürmektir. İkincisi aynı enerji kaynaklarını şebeke bağlantılı çalışma özelliğiyle önce konutlarda AA cihazlarını beslemek ve ihtiyaç fazlası gücü şebekeye aktarmaktır. Son olarak, eviricinin serbest döngü diyotları sayesinde denetimsiz doğrultucu olarak çalışarak enerji depolama sistemlerini şarj etmektir.



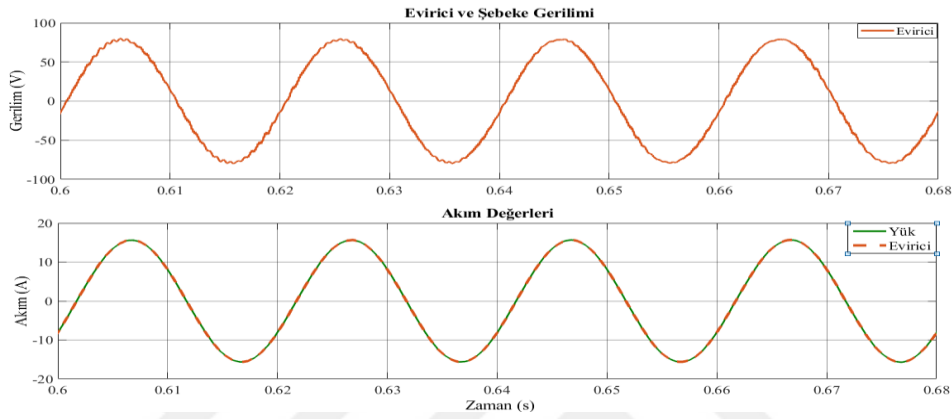
Şekil 5.31. Şebeke bağlantılı evirici matlab modeli

Şekil 5.31'de oluşturulan modelde şebeke bağlantısı lojik "0" konumunda iken eviricide dönüştürülen güç sadece cihazlarda tüketilmektedir. Çalışma gerilimi 55V olan cihazlar 585W aktif güç talebini eviriciden karşılarken, evirici çıkışından 15A maksimum akımın çekmektedir. Çalışmanın ekran görüntüleri Şekil 5.32'de görülmektedir.



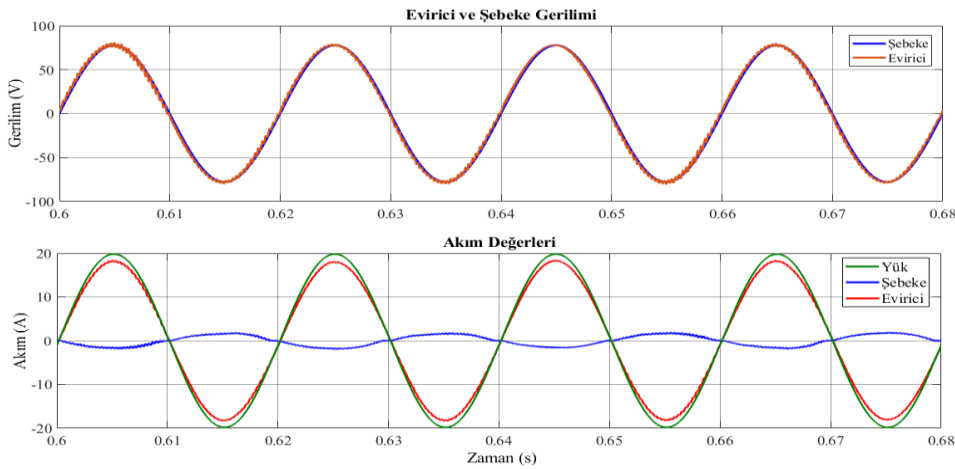
Şekil 5.32. Şebeke bağlantısız eviriciden 585W aktif güç talebi

Şebeke bağlantısız çalışmada 585W aktif ve 195Var reaktif güç senaryosu üretilmiştir. Konutlarda sadece direnç yükleri değil, aynı zamanda endüktif yükler de bulunmaktadır. Şekil 5.33'te konutta 585W aktif güç ve 195Var reaktif güç talebi eviricide dönüştürülen güç ile karşılanırken, evirici çıkışındaki 15,81A maksimum akımın tamamının cihazlara aktarıldığı görülmüştür. Ayrıca akım ve gerilim arasında $18,43^\circ$ faz farkı oluşmuştur.



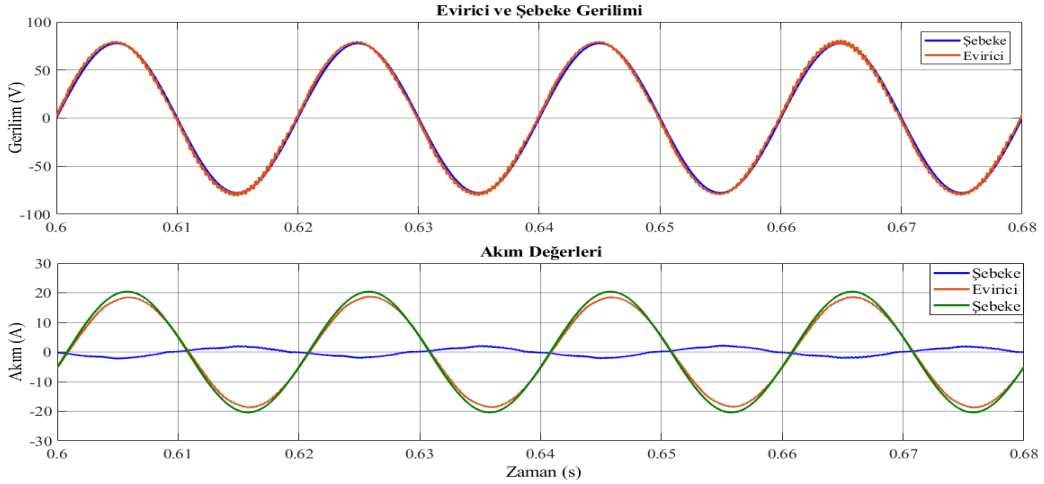
Şekil 5.33. Şebeke bağlantısız eviriciden 585W aktif ve 195Var reaktif güç talebi

Şebeke bağlantılı çalışma senaryosunda, konutun güç talebi eviriciden aktarılan güçten büyük olursa, eviriciden karşılanamayan güç şebekeden sağlanır. Bu çalışmada eviriciden aktarılan güç 585W iken, konutun talebi 778W olarak belirlenmiştir. Şekil 5.34'te şebeke bağlantılı çalışan evirici ve şebeke gerilimine senkronize olmuştur. Yine 20A maksimum yük akımının 15A evirici tarafından karşılanırken geri kalan 5A şebekeden karşılanmıştır.



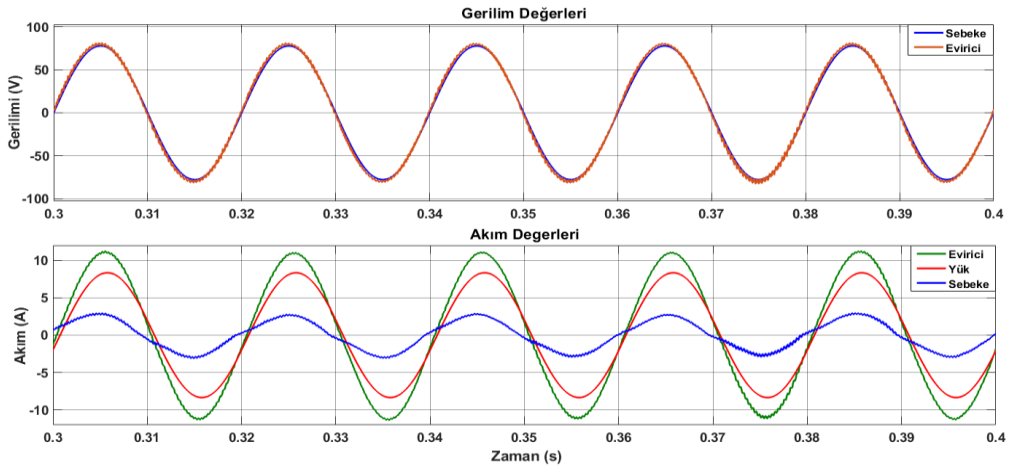
Şekil 5.34. Şebeke bağlantılı eviriciden aktarılan 778W aktif güç talebi

Şebeke bağlantılı evirici çalışmasında 778W aktif ve 195 Var reaktif güç talebi evirici üzerinden sağlanmaktadır. Şekil 5.35'te 778W aktif ve 195Var reaktif güç evirici üzerinden aktarılırken, 193W ise şebeken karşılanmaktadır. Yine evirici çıkış gerilimi ve akımı arasında $18,43^\circ$ faz farkı bulunmaktadır.



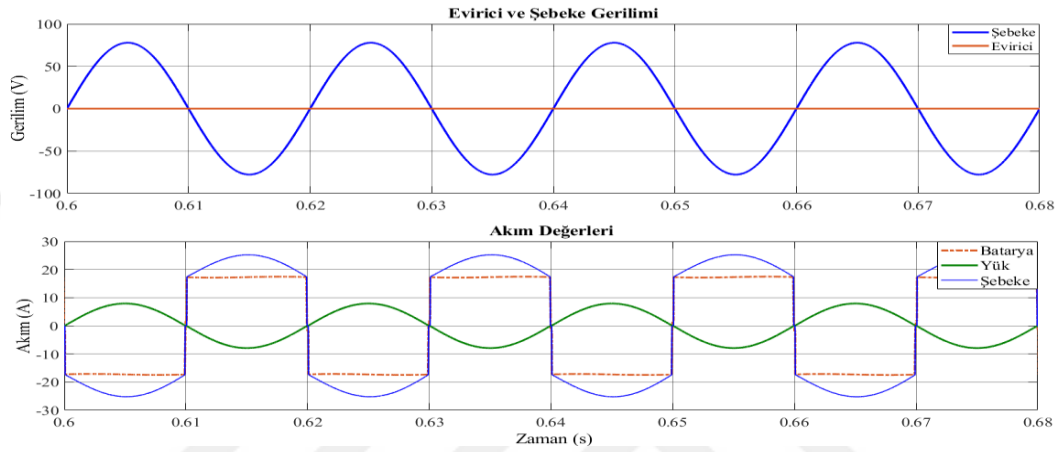
Şekil 5.35. Şebeke bağlantılı evirici ile 778W aktif ve 195Var reaktif güç talebi

Şebeke bağlantılı durumda farklı bir senaryo olarak 430W aktif ve 80Var reaktif gücün evirici tarafından dönüştürülüp 312W aktif ve 80Var reaktif gücü sahip cihaz grubunu beslemekte ve 118W ihtiyaç fazlasını şebekeye aktarmaktadır. Şekil 5.36'da evirici çıkış gerilimi ve şebeke geriliminin senkronize olduğu ve maksimum değeri 11A olan evirici çıkış akımının 8A'ı yük üzerinde geri kalan 3A ise şebekeye transferi görülmektedir.



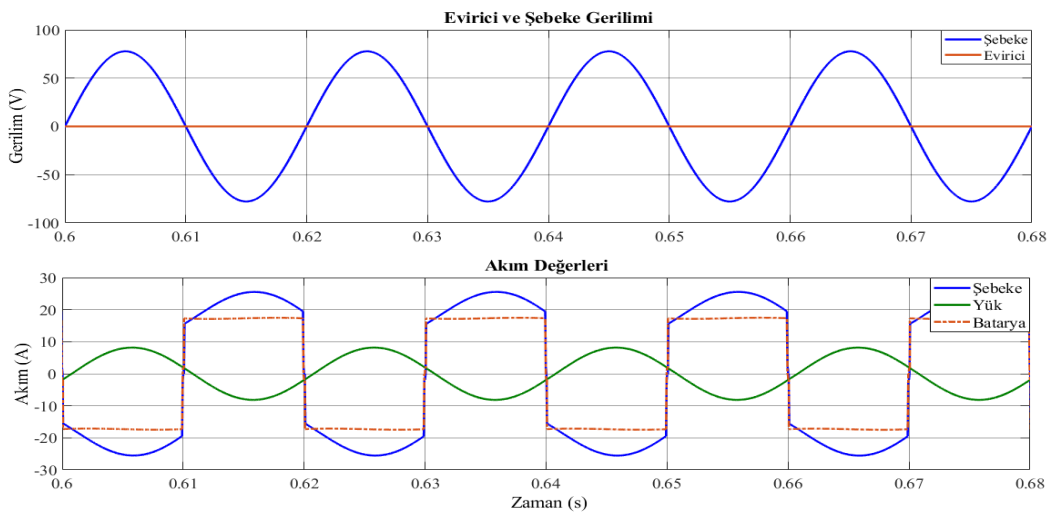
Şekil 5.36. Şebeke bağlantılı evirici ile yük ve şebekeye güç aktarımı

Eviricinin diğeri bir işlevi de, tüm igt anahtarları kesimde iken serbest döngü diyotlarının doğrultucu olarak çalışması ile şebeke gerilimini denetimsiz doğrultarak bataryaları şarj edebilmektir. Eviricinin bu işlevi özellikle elektrik fiyatlarının düşük olduğu saatlerde sabit batarya ve elektrik araçların şarj durumlarını dikkate alan senaryolar için uygun bir örnektir. Şekil 5.37’de cihazlar ve bataryanın sadece şebeke tarafından beslendiği görülmüştür. Senaryo 312W cihaz aktif gücü ve 816W batarya şarj gücünden oluşmaktadır.



Şekil 5.37. Aktif cihazların güç talebi ve batarya şarjının şebekeden karşılanması

Diğeri bir senaryoda cihazların 312W aktif ve 78 Var reaktif gücün yanı sıra 816 W batarya şarjı yer almaktadır. Şekil 5.38’de şebeke gerilimi ve şebeke, yük ve batarya şarj akımları görülmektedir. Ayrıca yük akımı reaktif bileşen içerdiğinden şebeke akımında da faz farkı görülmüştür.

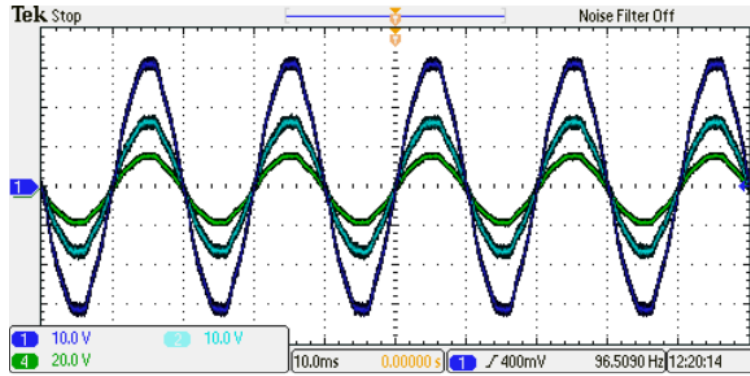


Şekil 5.38. Şebekeden aktif ve reaktif güç talebi ve batarya şarjının karşılanması

5.5. Bir Fazlı Evirici Modeli İçin Deneysel Çalışmalar

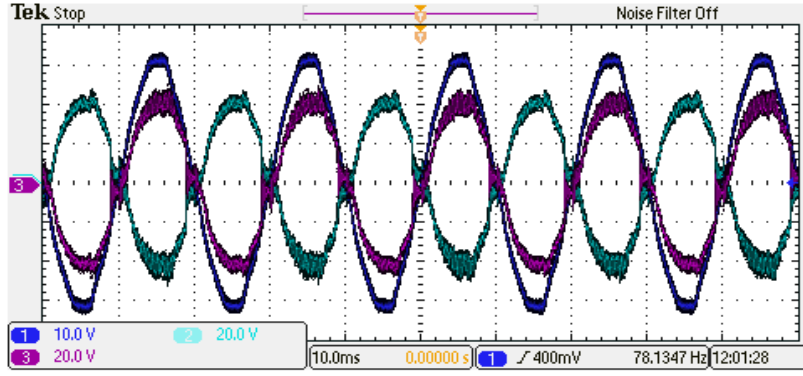
Bu bölümde bir fazlı evirici tasarlanan deney modülüne bağlanmış olup daha önce benzetimi yapılan senaryolardan bazıları uygulanarak elde edilen deneysel sonuçlar incelenmiştir. Deney modülü üzerinden akım, gerilim ve güç değerleri ölçülmüştür. Aynı zamanda akım ve gerilim dalga şekilleri osiloskop ile görüntülenmiştir. Bu uygulamada konuttaki cihazlar (yük), bir fazlı evirici (güç dönüştürücü) ve çift yönlü güç transferi gerçekleştirilen güç şebekesi bulunmaktadır. Deneysel çalışmada ölçümler yapılırken güç analizörü ve 4 kanallı osiloskop kullanılmıştır. Gerilim işareti kanal 1 (mavi), şebeke akımı kanal 2 (turkuaz), evirici çıkış akımı kanal 3 (mor) ve yük akımı kanal 4 (yeşil) ile görüntülenmiştir. Osiloskop ekranında akım ve gerilim işaretlerinin tamamını görebilmek için probe çarpanı kullanılmıştır. Bu nedenle gerçek gerilim ve akım değerleri osiloskopta okunan değerlerin 2,5 ile çarpılması sonucu elde edilir. Ayrıca osiloskopta maksimum değerler okunurken, deney modülü üzerinden efektif değerler ölçülmüştür.

İlk çalışmada, evirici kapalı durumda ve konuttaki cihazlar sadece güç şebekesinden beslenmektedir. Bu çalışma senaryosunda 485W aktif güç tüketen cihazlar gerilimi 55,35V iken şebekeden 8,8A akım çekmektedir. Bu çalışma senaryosundaki ölçüm sonuçları Şekil 5.39'da verilmiştir.



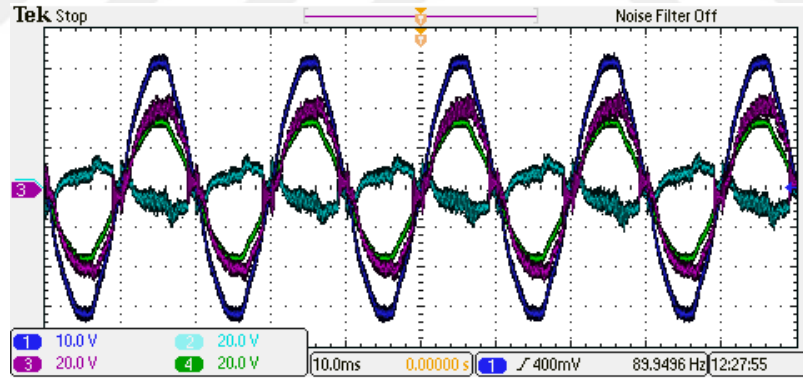
Şekil 5.39. Cihazların sadece güç şebekesinden beslenmesi

İkinci senaryoda, evirici şebeke bağlantılı olarak çalışmakta ve eviricide dönüştürülen 635W aktif ve 54Var reaktif gücün tamamı doğrudan şebekeye aktarılmaktadır. Bu senaryoda 56V gerilim ve 50,01Hz frekansta eviricide dönüştürülen güç şebekeye aktarılırken evirici çıkış akımı 11,6A, şebeke akımı -11,6A olarak okunmuştur. Senaryoya ait ekran çıktısı Şekil 5.40'da verilmiştir.



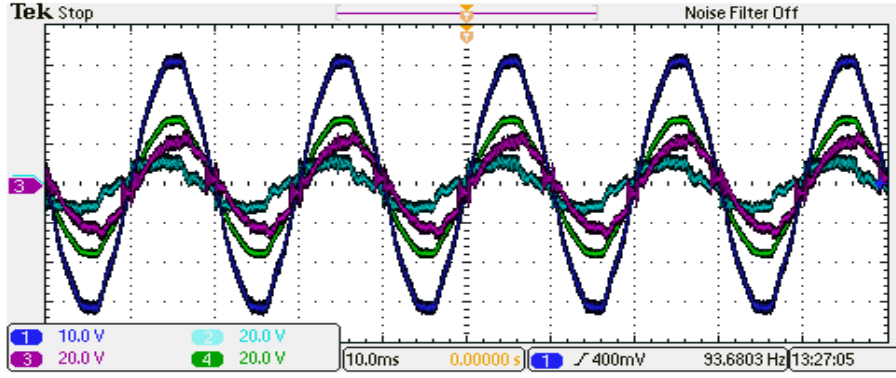
Şekil 5.40. Eviricide dönüştürülen gücün sadece şebekeye aktarımı

Üçüncü senaryoda, 500W aktif güce sahip cihazlar, evirici üzerinden veya güç şebekesinden beslenmektedir. Şebeke bağlantılı çalışan evirici 635W aktif güç ve 61,4Var reaktif güç dönüştürmektedir. Eviricide cihazların talep ettiği fazla miktarda güç dönüştürülmesi nedeniyle 136W aktif ve 60Var reaktif güç şebekeye aktarılmıştır. Çalışmada yük akımı 8,88A, evirici çıkış akımı 11,6A ve şebeke akımı -3,2A olarak ölçülmüştür. Söz konusu çalışmasının osiloskop görüntüsü Şekil 5.41’de verilmiştir.



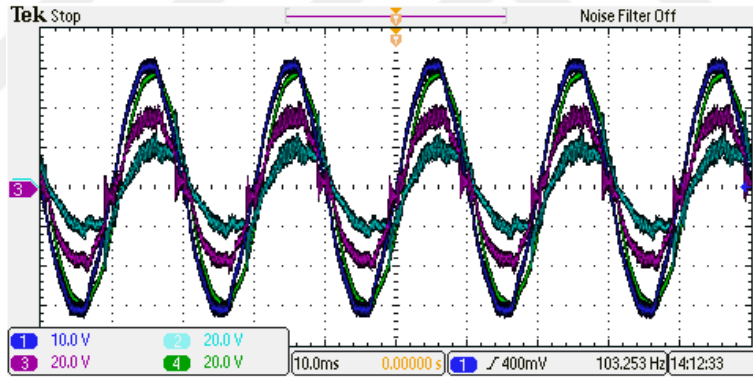
Şekil 5.41. Eviricide dönüştürülen fazla gücün şebekeye aktarımı

Dördüncü senaryoda, şebeke bağlantılıda çalışmada 485W aktif güce sahip konut evirici üzerinden ve şebekeden beslenmektedir. Evirici ile 330W aktif ve 54Var reaktif güç dönüştürülmektedir. Eviriciden aktarılan gücün talebi karşılamaması nedeniyle eksik kalan 158W aktif ve 55Var reaktif güç şebekeden karşılanmıştır. Evirici gerilimi 55,2V, evirici çıkış akımı 6A, yük akımı 8,8A ve şebeke akımı 3,2A olarak ölçülmüştür. Ayrıca ölçülen büyüklüklerin dalga şekilleri Şekil 5.42’de verilmiştir.



Şekil 5.42. Cihaz güç talebinin evirici üzerinden ve şebekeden karşılanması

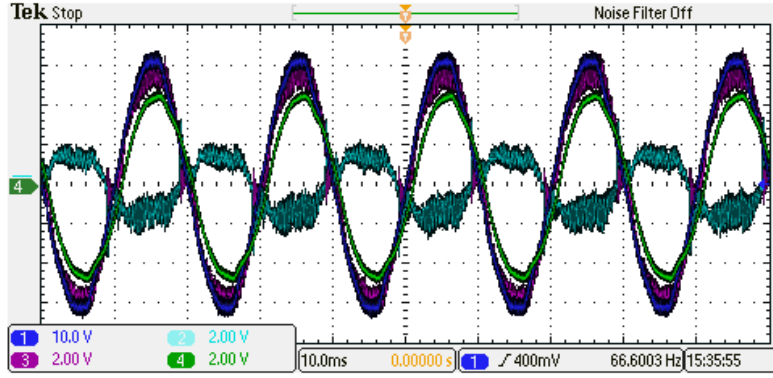
Beşinci senaryoda, konutta 820W aktif ve 215Var reaktif güce ihtiyaç duyulmaktadır. Evirici şebeke bağlantılı olarak çalışarak 545W aktif ve 54Var reaktif güç dönüştürürken eksik kalan 275W aktif ve 165Var reaktif güç şebekeden karşılanmıştır. Çalışma gerilimi 55,75V, yük akımı 16A, evirici çıkış akımı 10A ve şebeke akımı 6A olarak ölçülmüştür. Çalışmaya ait gerilim ve akım parametrelerinin grafikleri Şekil 5.43'te verilmiştir.



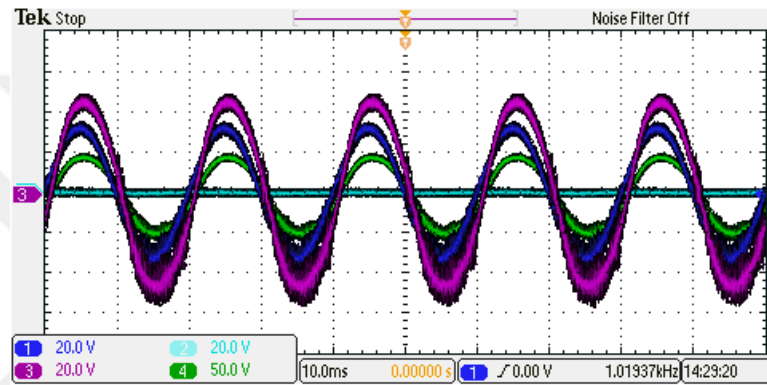
Şekil 5.43. Cihaz güç talebinin evirici ve şebekeden karşılanması

Altıncı senaryoda, konutta 640W aktif ve 160,4Var reaktif güç talebi şebeke ve evirici üzerinden karşılanmaktadır. Şebeke bağlantılı çalışmada 875W aktif ve 42Var reaktif güç evirici ile dönüştürülmektedir. Talep fazla 231,6W aktif şebekeye aktarılırken, 162Var reaktif güç şebekeden karşılanmıştır. Çalışma gerilimi 54,5V, yük akımı 12A, evirici akımı 16A ve şebeke akımı -5,2A ölçülmüştür. Çalışma parametreleri Şekil 5.44'te verilmiştir.

Son senaryosa ise evirici şebekeden bağımsız (ada modunda) çalışarak konutun güç talebi sadece evirici üzerinden karşılanmıştır. 712W aktif ve 182Var reaktif güç talebinin tamamı evirici ile karşılanmıştır. Evirici gerilimi 57,5V ve evirici çıkış akımı 12,8A ölçülmüştür. Çalışmanın parametreleri Şekil 5.45'te gösterilmiştir.



Şekil 5.44. Güç talebinin evirici üzerinden ve şebekeden karşılanması



Şekil 5.45. Şebeke bağlantısız çalışmada cihazları evirici ile beslenmesi

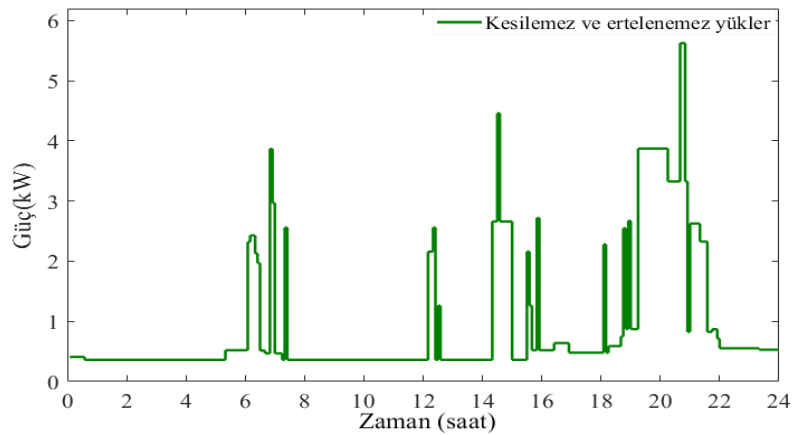
Yukarıda yedi farklı senaryoda evirici, yük ve şebeke arasında güç akışı için farklı durumlar incelenmiştir. Ayrıca alternatif akımda akımın (-) olarak ifade edilmemesine rağmen, bazı senaryolarda akımın (-) olarak tanımlanması akım yönünün konuttan şebekeye doğru olduğunu göstermektedir. Bir başka deyişle, şebekeye güç aktarılmaktadır.

6. BENZETİM VE DENEYSEL SONUÇLAR

Bu bölümde konut seviyesinde KEYS ve mahalle genelinde MEYS için etkin enerji yönetim çalışması yürütülmüştür. Öncelikle tek konutta üretim, depolama, EA ve fiyat gibi parametrelere göre KEYS, ardından ortak bağlantı kontasında birleşen konutların oluşturduğu mahallede güç koordinasyonunu sağlayan MEYS performansları incelenmiştir. Amaç fonksiyonları dikkate alınarak her iki yönetim sisteminin farklı senaryolardaki benzetim ve deneysel sonuçları değerlendirilmiştir.

6.1. Konut Düzeyinde Enerji Yönetimi

Önceki bölümlerde çalışma özelliklerine (kesilme ve erteleme) göre sınıflandırılan elektrikli cihazların anma güç değeri belirlenmiştir. Bu cihazlardan aydınlatma grubunda harcanan güç miktarı, açık lamba sayısına (çalışma zamanına) bağlı değişir. Kesilebilir ve ertelenebilir yüklerden elektrik süpürgesi ve ütü gibi cihazlar genellikle konut sakininin isteği doğrultusunda planlanmıştır. Örneğin; kullanıcı temizlik için elektrik süpürgesini 14:00-14:50 arasında çalıştırırken, ütü işini akşam 21:50-22:30 arasına ayarlamıştır. Ayrıca bazı cihazların çalışması başka bir cihazın çalışmasına bağlıdır. Örneğin saç kurutma genellikle şofbenden sonra çalışırken, benzer şekilde saç düzleştirici de saç kurutmanın çalışmasından sonraki bir zaman diliminde çalıştırılmaktadır. Tablo 6.1’de çalışma süreleri, anma güç değeri ve gün içerisindeki çalışma sayıları verilmiştir.

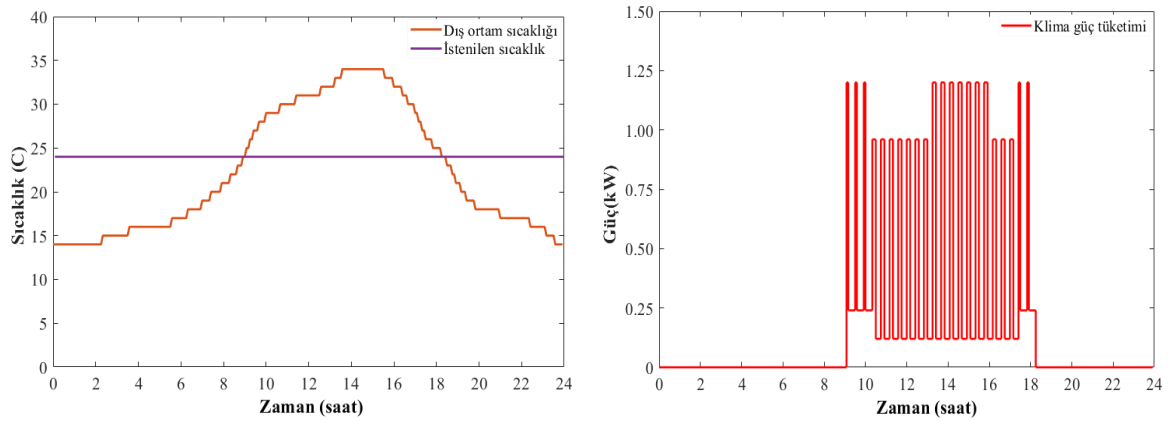


Şekil 6.1. Sabit cihazların toplam güç tüketim

Tablo 6.1. Cihazların çalışma parametreleri

Elektrikli Cihaz	Güç (kW)	Periyot	Sayısı
Çamaşır Kurutucu	3,6	14	1
Buzdolabı	0,1	288	1
Derin dondurucu	0,06	288	1
Fırın	3,0	12	1
Mikrodalga	0,9	3	3
Elektrik Süpürgesi	2,3	10	1
Saç Kurutma	1,5	5	2
Saç Düzleştirici	0,045	4	1
Ütü	2,5	10	1
Su ısıtıcı	1,8	14	6
Tost Makinası	2,2	3	2
Bilgisayar ve Yazıcı	0,13	68	1
Televizyon	0,1	92	1
Aydınlatma	0,18	84	1
Diğer	0,2	288	1
Klima	1,2	-	-

Tablo 6.1'deki cihazlardan kurutucu ve klima haricindekiler kullanıcı arayüzünden tüketici tercihi doğrultusunda oluşturulmuştur ve bu cihazların güç tüketimleri Şekil 6.1'de görülmektedir. Yine sıcaklık denetimli yüklerden klimanın çalışması dış ortam sıcaklığı istenilen sıcaklık değerlerine göre değişmektedir. Şekil 6.2.a'da istenilen ve dış ortam sıcaklık değişimi, Şekil 6.2.b'de klima güç tüketimi görülmektedir.



(a) İstenilen ve dış ortam sıcaklıkları

(b) Klima güç tüketimi

Şekil 6.2. Sıcaklık denetimli cihazların güç tüketimi

Konutlarda kesilemez ve ertelenebilir yüklerden çamaşır ve bulaşık makinasının çalışma süresi içerisinde farklı görevleri (aşamaları) bulunur. Bu aşamalar çamaşır makinasında su

alma, yıkama, durulama ve sıkma iken, bulaşık makinasında su alma, yıkama, durulama ve kurutma olarak tanımlanabilir. Her iki cihazın çalışma süreleri kullanıcının seçtiği programa göre değişmektedir. Örneğin çamaşır makinasında ön yıkamalı ve sentetik yıkamalı programların yıkama süreleri farklıdır. Benzer durum bulaşık makinasında da geçerli olup tam yağlı yıkama ve hızlı yıkama programlarının çalışma süreleri farklıdır. Tablo 6.2’de çamaşır ve bulaşık makinalarının çalışma aşamalarındaki güç tüketim miktarını, periyotları ve aşamalarının seçilen programa göre tekrarlanma sayısı verilmiştir.

Tablo 6.2. Çamaşır ve bulaşık makinasının çalışma parametreleri

Çamaşır Makinası	Periyot	1	4	3	1	1	4	3	2
	Güç (kW)	0,8	1,8	0,4	2	0,8	1,8	0,4	2
Bulaşık Makinası	Periyot	2	10	6	8				
	Güç (kW)	0,6	1,2	0,4	2,2				

Elektrikli araçlar konut, işyeri otoparkı ve şarj istasyonunda şarj edilebilir. Ancak bu çalışmada KEYS modelinde sadece konuttaki şarj işlemi dikkate alınmıştır. KEYS araç bataryasının evden ayrılırken tamamen dolu olmasını, akşam araç eve döndüğünde bataryada kalan enerjinin evde kullanılması üzerine geliştirilmiştir. Bataryada kalan enerji miktarı CAN BUS bağlantısı ile ölçülerek hesaplanmaktadır. Gündüz saatlerinde EA evde bulunmadığında KEYS adına herhangi bir faaliyet yürütemez. Araç batarya kapasitesi EA firmalarına göre değişir. Farklı batarya şarj stratejileri bulunmasına rağmen, her araç bu şarj stratejilerini desteklemeyebilir. Tablo 6.3’te EA çalışma parametreleri verilmiştir.

Tablo 6.3. Elektrikli araç bataryası çalışma parametresi

E_max (kWh)	E_min (kWh)	E_bas (kWh)	R_sr (kW)	R_des (kW)	η_{sr}	η_{des}	T_a (saat)	T_d (saat)
16	4	10,5	3	3	0,9	0,9	07:30	18:00

Aralıklı dağıtık üretimi sürekli hale getirmek, elektrik kesintisi durumunda evdeki cihazları beslemek ve puant saatlerde ani güç tüketimini azaltmak için EDS kullanılır. EDS dağıtık üretim var olduğunda veya elektrik fiyatının düşük olduğu dönemlerde şarj edilir. Depolama sistemlerinin maliyetli olmasından dolayı şebeke bağlantılı sistemlerde EDS kapasitesi genellikle küçük ölçekli tercih edilir. Ayrıca EDS parametreleri belirlenirken batarya tipi önemlidir. Bataryalar yapıldığı malzemeye göre farklı şarj/deşarj davranışları sergiler. Tablo 6.4’te EDS çalışma parametrelerini vermektedir.

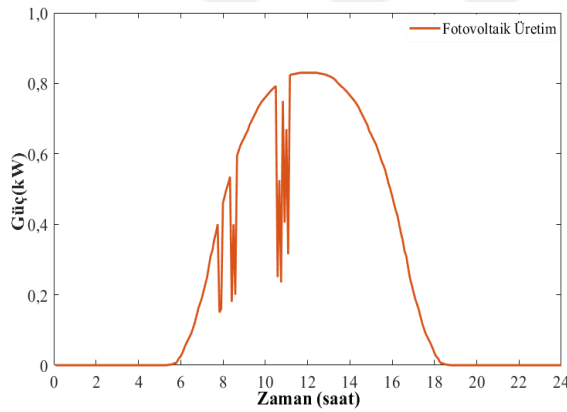
Tablo 6.4. EDS çalışma parametreleri

E_max (kWh)	E_min (kWh)	E_bas (kWh)	R_sr (kW)	R_des (kW)	η_{sr}	η_{des}
1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,9	0,9

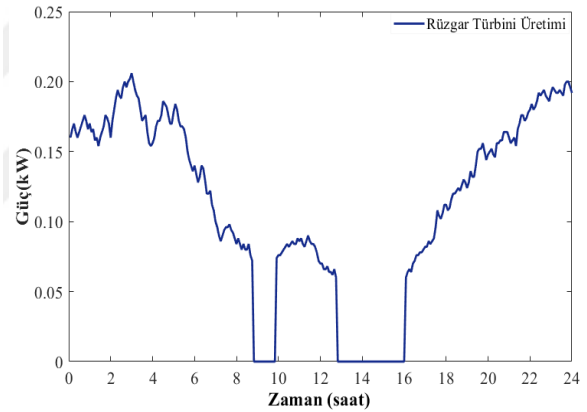
Konutlardaki dağıtık üretim sistemlerinden üretilen güç her ne kadar hava koşullarına bağlı olsa da aslında en önemli faktör bu sistemlerin kurulu güçleridir. Tablo 6.5'te bu tesislerin kurulu güçleri verilmiştir. Meteorolojik koşullara bağlı olarak gün boyunca FV modül ve rüzgâr türbininden üretilen güç Şekil 6.3'te verilmiştir.

Tablo 6.5. Konuttaki dağıtık üretim sistemlerinin kurulu güçleri

FV Modül	Güç (kW)	Rüzgar Türbini	Güç (kW)
	1,00		0,40



(a) FV modül güç üretimi



(b) RT güç üretimi

Şekil 6.3. Dağıtık üretim sistemlerinin günlük güç üretim miktarları

6.1.1. Tüketici Kullanım Alışkanlıklarının Belirlenmesi

Konutlardaki cihazların en uygun çalışma zamanları KEYS aracılığıyla GA ve GKO yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her iki yöntemin başarımlarını tespit edebilmek ve karşılaştırabilmek için bir tüketim çizelgesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu tüketim çizelgesi herhangi bir optimizasyon yöntemi kullanılmadan kısa bir bilgilendirme yapılarak tüketicilerin gün içerisinde cihazlarını ne zaman çalıştırdıklarına yönelik bilgiler edinmek için bir anket çalışması yürütülmüştür. Bu kapsamda tüketicilerin elektrik kullanım alışkanlıklarını tespit etmek için 100 konut sakinine anket uygulanmıştır. Her katılımcının

anket sonuçlarını ayrı ayrı değerlendirmek yerine, tüketim çizelgelerini kullanarak ortalama yük profilleri, tüketim maliyetleri ve genel amaç fonksiyonları hesaplanmıştır.

6.1.2. Genetik Algoritma Yöntemiyle Cihaz Planlaması

KEYS, konutlardaki cihazların çalışma zamanları için son kullanıcılara gün öncesi planlaması sunduğundan, gerçekleştirilen optimizasyon yönteminde herhangi bir zaman kısıtlaması bulunmamaktadır. Bu nedenle GA yöntemi uygulanırken en iyi çizelgeleme için yineleme ve popülasyon sayıları büyük seçilmiştir. Geliştirilen GA yazılımında popülasyon 100, yineleme sayısı 1000, çaprazlama oranı 0,75 ve mutasyon oranı 0,5 olarak seçilmiştir. GA yöntemi çok sayıda çalıştırıldığında her seferinde farklı bir çözüm kümesi sunacaktır.

6.1.3. Gri Kurt Optimizasyon Yöntemiyle Cihaz Planlaması

KEYS, konutlardaki en uygun çizelgeleme için kullanılan GA yönteminin başarımını yine farklı bir meta sezgisel algoritma olan GKO yöntemiyle karşılaştırmaktadır. Optimizasyon süresi kısıtlaması olmadığından başarımı arttırmak için yineleme ve popülasyon sayısı büyük seçilmiştir. Hazırlanan GKO algoritmasında popülasyon sayısı 100, yineleme sayısı 1000 olarak seçilmiştir. GKO yöntemi her çalıştırıldığında farklı çözüm kümesi (cihaz çalışma planı) sunmaktadır. MEYS mahalledeki konutların en uygun çalışma planını oluştururken konutların olası çözümlerini kullanır. Bu olası çözümlerin üretilmesi için GKO yöntemi çok sayıda çalıştırılarak üretilen çözümlerin arasından en iyi çözüm seçilebilir.

6.1.4. KEYS Çalışma Senaryoları

Bu bölümde konutlardaki cihazların çalışma senaryolarına göre çalışma planları incelenmiştir. Bu kapsamda dağıtık üretim, sabit enerji depolama, EA batarya kapasitesi, EA batarya şarj cihazı özelliği (tek veya çift yönlü güç aktarımı), elektrik fiyat tarifi gibi parametrelerin KEYS'in cihaz planlamasına etkileri incelenerek tüketim maliyeti ve yük profili açısından değerlendirilmiştir. Söz konusu senaryolar anket çalışması, GA ve GKO yöntemlerine ayrı ayrı uygulanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu yöntemlerde kullanılan

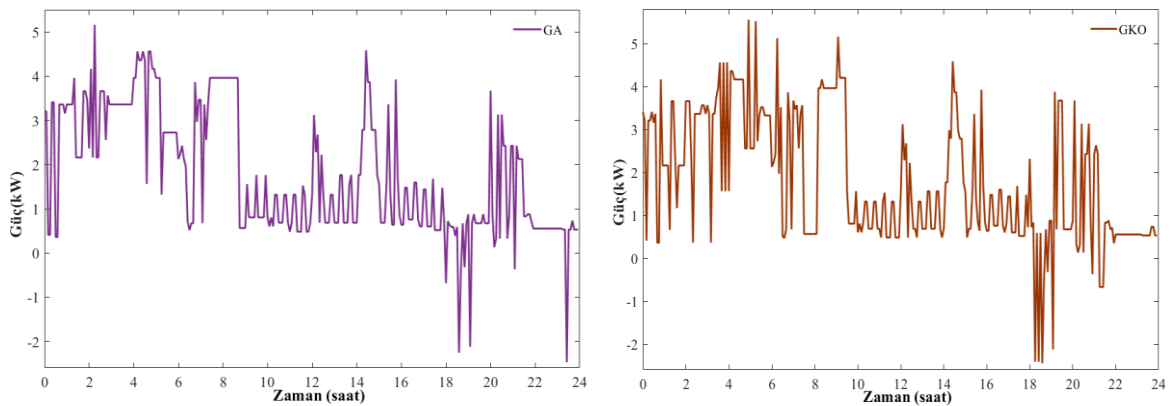
amaç fonksiyonları farkların kareleri toplamı (FKT), tüketim maliyeti (TM) ve genel amaç fonksiyonu (GAF) parametreleri hesaplanmıştır. Her senaryo kendi içerisinde geçerli olup senaryo değiştiğinde önceki senaryonun şartları geçersizdir.

6.1.4.1. Dağıtık Üretim Cihaz Çalışma Zamanı Planlamasına Etkisi

Konutlardaki dağıtık üretim sistemleri meteorolojik koşullara bağlı olarak güç üretmiş olduğu güç cihazlarda kullanılmakta veya şebekeye satılmaktadır. Konutların günlük güç taleplerinin karşılanmasında üretilen güç önemli oranda katkı sağlamaktadır. Üretilen gücün zamanı ve miktarı konutun tüketim maliyeti ve yük profilinin düzenlenmesinde son derece etkilidir. Bu etkinliği gözlemlemek için konutlardaki dağıtık üretim tesislerinin bulunma durumuna dayalı araştırma yürütülmüştür.

6.1.4.1.1. Dağıtık Üretim Bulunmayan Bir Konutta Cihaz Planlaması

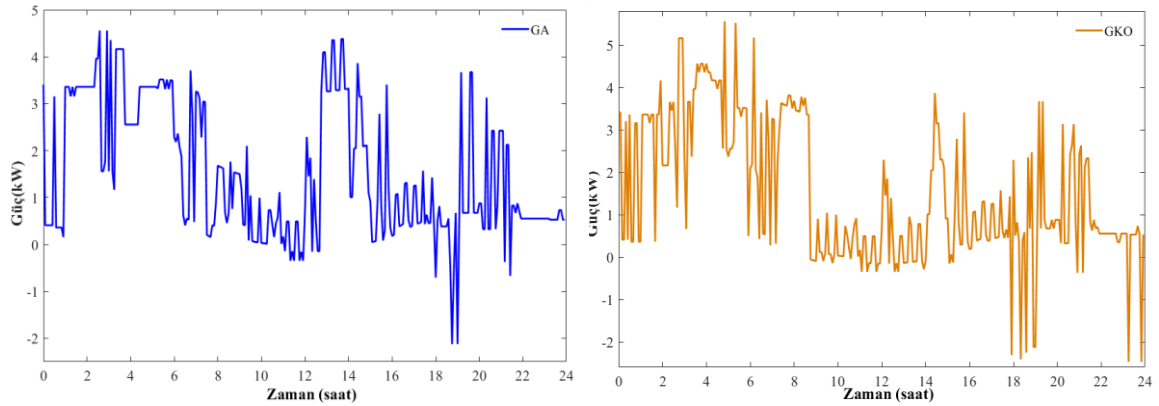
Herhangi bir dağıtık üretim bulunmayan konutta enerji ihtiyacının tamamı şebekeden karşılanmıştır. Günlük toplam güç talebi 41,92 kWh olan konutta cihazların çalışma saatleri GA ve GKO yöntemleriyle programlanmış ve konutun yük profili Şekil 6.4'te görülmektedir. Şekil 6.1'deki sabit cihazların güç tüketimine ilave olarak kontrollü cihazların çalışmaları düşük fiyatlı dönemlere ötelenmiştir. Özellikle EDS ve EA gibi depolama sistemleri gece saatlerinde şarj edilip puant dönemlerde kullanılmıştır. Cihaz programlamasında kullanılan yöntemlere göre hesaplanan amaç fonksiyonlarının (FKT, TM ve GAF) parametreleri ayrıntılı biçimde tablo 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.4. Dağıtık üretimsiz cihazların güç tüketimi

6.1.4.1.2. FV Üretimin Konutta Cihaz Çalışma Saati Planlamasına Etkisi

FV üretim bulunan konutta, üretim boyunca şebekeden satın alınan enerji azalmış, hatta ihtiyaç fazlası enerji şebekeye satılmıştır. Yine üretim süresince depolama sistemleri şarj edilerek yüksek fiyatlı dönemlerde kullanılmıştır. FV üretim sayesinde şebekeden satın alınan enerji miktarı 41,92 kW seviyesinden 35,54 kW seviyesine düşmüştür. Böylece FV üretim konut sakinine %15,22 enerji tasarrufu sağlamıştır. Konuttaki cihazların çalışma saatlerinin çizelgelemesi GA ve GKO yöntemleriyle planlanarak günlük güç tüketimleri Şekil 6.5'te görülmektedir. Kesilebilir ötelenebilir cihazların çalışma saatlerinin üretimin fazla olduğu saatlere (öğle) kaydırıldığı ve üretim fazlası enerjinin şebekeye satıldığı gözlemlenmiştir. Programlamada kullanılan yöntemlere dayalı amaç fonksiyonları (FKT, TM ve GAF) parametreleri Tablo-6'da verilmiştir. Bu değerler doğrultusunda FV üretim konut sakinine %17,38 maliyet tasarrufu sağlamıştır. Ancak bu değerlendirmede FV sistemin kurulum, bakım ve onarım masrafları dikkate alınmamıştır. Maliyet tasarrufu hesaplamasında FV üretimin bulunduğu ve bulunmadığı senaryolarda, en uygun sonuçları GA yöntemi vermesi nedeniyle bu yöntemin değerleri kullanılmıştır.

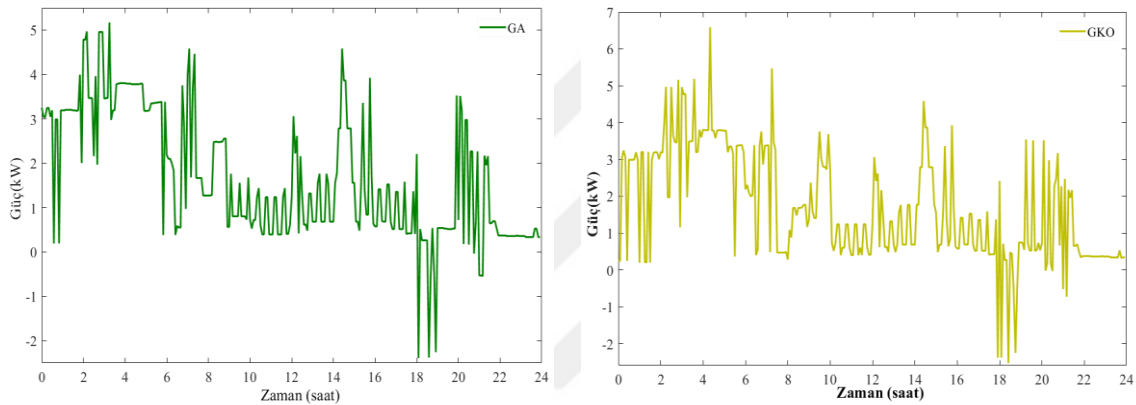


Şekil 6.5. FV üretim bulunduğunda cihazların güç tüketimi

6.1.4.1.3. Rüzgâr Enerjisinin Konutta Cihaz Çalışma Saati Planlamasına Etkisi

RT bulunan bir konutta enerji üretimi süresinde şebekeden satın alınan enerji azalmıştır. Ayrıca üretim süresince depolama sistemleri şarj edilebilir veya şebekeye satılabilir. Fakat RT kurulu gücünün küçük olması ve uygun hava şartlarının tam sağlanamaması sebebiyle üretilen enerji tüketimin sadece bir kısmını karşılayabilmektedir.

RT'den üretilen enerji sayesinde şebekeden satın alınan enerji miktarı 41,92 kWh'tan 39,25 kWh seviyesine düşmüş ve konut sakinine %6,37 enerji tasarrufu sağlamıştır. Konuttaki cihazların çalışma saatleri GA ve GKO yöntemleriyle planlanarak günlük güç tüketimleri Şekil 6.6'da görülmektedir. Öğle saatlerinde üretim olmaması nedeniyle sabit ve sıcaklık kontrollü yüklerin dışındaki ertelenebilir cihazların çalışma saatleri üretimin olduğu ve düşük fiyatlı dönemlere kaydırılmıştır. Programlamada kullanılan yöntemlere dayalı amaç fonksiyonları (FKT, TM ve GAF) parametreleri Tablo 6.6'da verilmiştir. Bu değerler doğrultusunda RT'den enerji üretimi konut sakinine %7,49 maliyet tasarrufu sağlamıştır. Bu hesaplamada kurulum ve bakım onarım masrafları dikkate alınmamıştır.



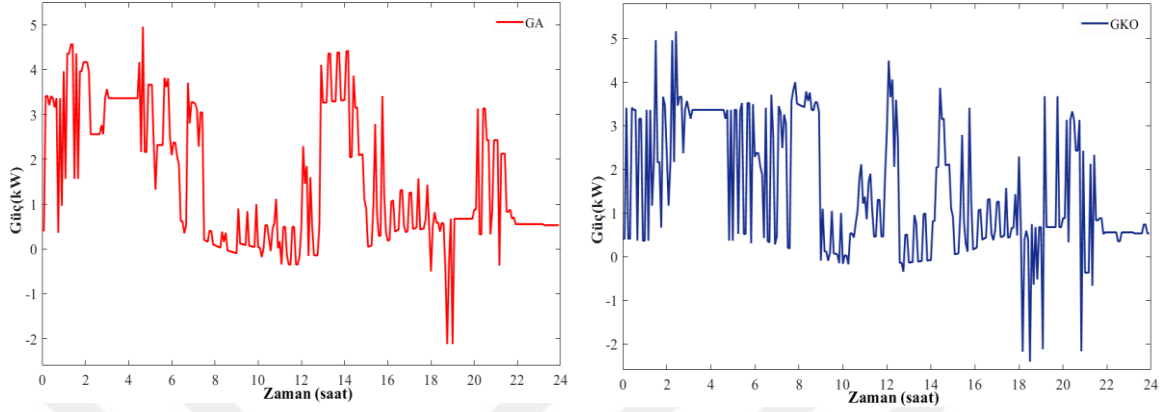
Şekil 6.6. RT'den üretilen enerjinin konuttaki cihaz planlamasına etkisi

6.1.4.1.4. FV ve RT Üretiminin Konutta Cihaz Planlamasına Etkisi

FV ve RT bulunan bir konutta enerji üretimi sayesinde şebekeden satın alınan enerji azalmıştır. Dağıtık üretimin katkısıyla şebekeden satın alınan enerji miktarı 41,92 kW'tan 32,87 kW'a düşmüş ve konut sakinine %21,59 enerji tasarrufu sağlamıştır. Cihazların çalışma saatleri GA ve GKO yöntemleriyle çizelgelenmiş ve güç tüketimleri Şekil 6.7'de görülmektedir. Programlamada kullanılan yöntemlere dayalı amaç fonksiyonu (FKT, TM ve GAF) parametreleri Tablo 6.6'da verilmiştir. Bu değerler doğrultusunda dağıtık üretim son kullanıcılara %19,02 maliyet tasarrufu sağlamıştır. Bu hesaplamada dağıtık üretim birimlerinin kurulum ve bakım onarım masrafları göz önünde bulundurulmamıştır.

Dağıtık üretime sahip konutlarda şebekeden enerji talebinin azaldığı ve üretim fazlasının satıldığı görülmüştür. Dağıtık üretimdeki çeşitlilik cihazların daha esnek kontrol edilmesi için farklı seçenekler sunmuştur. Bu enerji maliyetinin düşmesine ve yük profilinin

iyileşmesine katkı sağlamıştır. GAF başarımı dikkate alınarak cihazların optimal çalışma planını oluşturan yöntemler karşılaştırıldığında GA, GKO ve anket şeklinde sıralanmıştır.



Şekil 6.7. Dağıtık üretimin katkısı ile konutun güç tüketimi

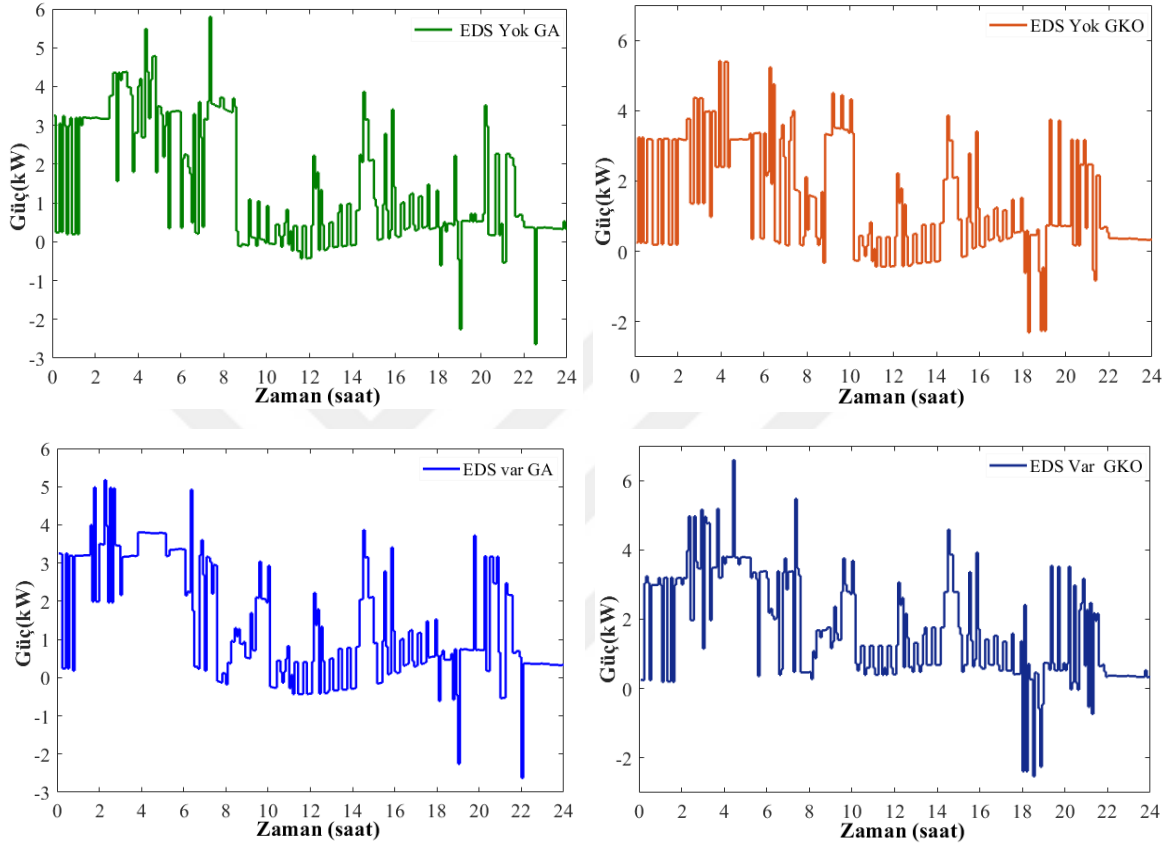
Tablo 6.6. Dağıtık üretimin konutta cihaz planlamasındaki amaç fonksiyonu sonuçları

	Tüketici Anketleri			GA Yöntemi			GKO Yöntemi		
	FKT	TM	GAF	FKT	TM	GAF	FKT	TM	GAF
Dağıtık Üretimsiz	2,49	142,19	45,51	2,01	125,67	39,44	2,13	126,89	40,23
FV	2,58	122,42	40,94	2,27	102,47	34,69	2,32	103,75	35,20
RT	2,52	133,25	43,41	2,02	116,58	37,23	2,10	118,17	37,94
FV ve RT	2,62	112,21	38,55	2,18	94,71	32,40	2,10	98,40	33,00

6.1.4.2. Konuttaki Sabit Bir EDS'nin Cihaz Planlamasına Etkisi

Konutlarda dağıtık üretimi depolamak, elektrik kesintisi oluştuğunda yedek güç kaynağı olarak konutu beslemek ve puant saatlerde elektrik maliyetini düşürmek için ek kaynak olarak kullanmak EDS'nin temel işlevleridir. Ancak bu çalışmada elektrik kesintisi durumu değerlendirilmemiştir. Bu senaryoda dağıtık üretim olduğunda şarj edilen EDS, yoğun talep ve yüksek fiyatlı dönemlerde kullanılarak konut sakinlerinin enerji maliyetine etkisi incelenmiştir. Öncelikle konutun şebekeye bağlı olması sebebiyle EDS çok gerekli bir bileşen değildir. Çünkü üretilen ihtiyaç fazlası enerji şebekeye aktarılabilir ve enerji ihtiyacı durumunda şebekeden hemen karşılanabilir. Öte yandan EDS kullanımı konut sakinlerine cihazların çalışma saatlerinin planlamasında esneklik ve maliyetin düşürülmesi konusunda dinamik fiyatlı elektrik tarifesinde avantaj sağlayabilir. Sabit fiyat tarifesinde ise güç transferi sırasında oluşacak tüketim kaybından dolayı maliyet artabilir. Kullanılan EDS için

şarj ve deşarj verimliliklerinin %90, kullanılabilir kapasitenin 0,8 kWh olarak Tablo-4’de verilmiştir. Söz konusu 0,8 kWh kapasiteyi şarj edebilmek için 0,89 kWh enerjiye ihtiyaç duyulur ve şarj edilen 0,8 kWh enerjinin sadece 0,72 kWh’ı kullanılmıştır. Bir başka deyişle 0,72 kWh’lık kapasite kullanabilmek için 0,17 kWh’lık enerji kaybı yaşanmıştır.



Şekil 6.8. EDS kullanımının konutta cihazların güç tüketim çizelgesine etkisi

Tablo 6.7. EDS kullanım durumunun cihaz çalışma zamanı etkisi

EDS Durumu	Tüketici Anketleri			GA Yöntemi			GKO Yöntemi		
	FKT	TM	GAF	FKT	TM	GAF	FKT	TM	GAF
1 kWh	2,60	110,98	38,16	2,18	94,71	32,40	2,10	98,40	33,00
-	2,66	112,16	38,68	2,12	96,74	32,64	2,17	98,70	33,34

Bu senaryoda 1 kWh’lık EDS’nin kullanıldığı ve kullanılmadığı durumlar için tüketici anketi, GA ve GKO yöntemleriyle bir konutun cihazlarının çalışma zamanları planlanmıştır. EDS varlığına göre her bir yöntemin sonuçları Tablo 6.7’ye kaydedilmiştir. Sonuçlar EDS kullanımının az da olsa bir avantaj sağladığını, GKO yönteminin tüketici anketlerine oranla

%11,34 ve GA yönteminin de sırasıyla tüketici anketine %14,61, GKO'ya göre %3,75 maliyet indirimi sunduğunu göstermiştir. Ayrıca senaryo kapsamında GA ve GKO yöntemleri ile programlanan cihazların güç tüketimleri Şekil 6.8'de verilmiştir.

6.1.4.3. Konuttaki EA Kapasitesinin Cihaz Planlamasına Etkisi

EA ulaşım hizmetinin dışında mobil enerji depolama özelliği ile konutlarda cihazların optimum planlanması konusunda kullanıcılara alternatif seçenekler sunarken, aynı zamanda maliyet tasarrufu sağlamaktadır. Kullanımdaki elektrikli araçların tamamı aynı özelliklere sahip olmadığından ve farklı marka ve modellerde üretildiğinden, araç üreticileri araçlarının bataryalarını farklı kapasitelerde üretmektedir. EA batarya kapasitesi arttıkça araç fiyatı da artacaktır. Ancak bu çalışmada EA batarya maliyeti dikkate alınmamıştır. EA batarya kapasitesi büyüklüğünün KEYS'in cihaz planlaması üzerindeki etkileri incelenmiştir.

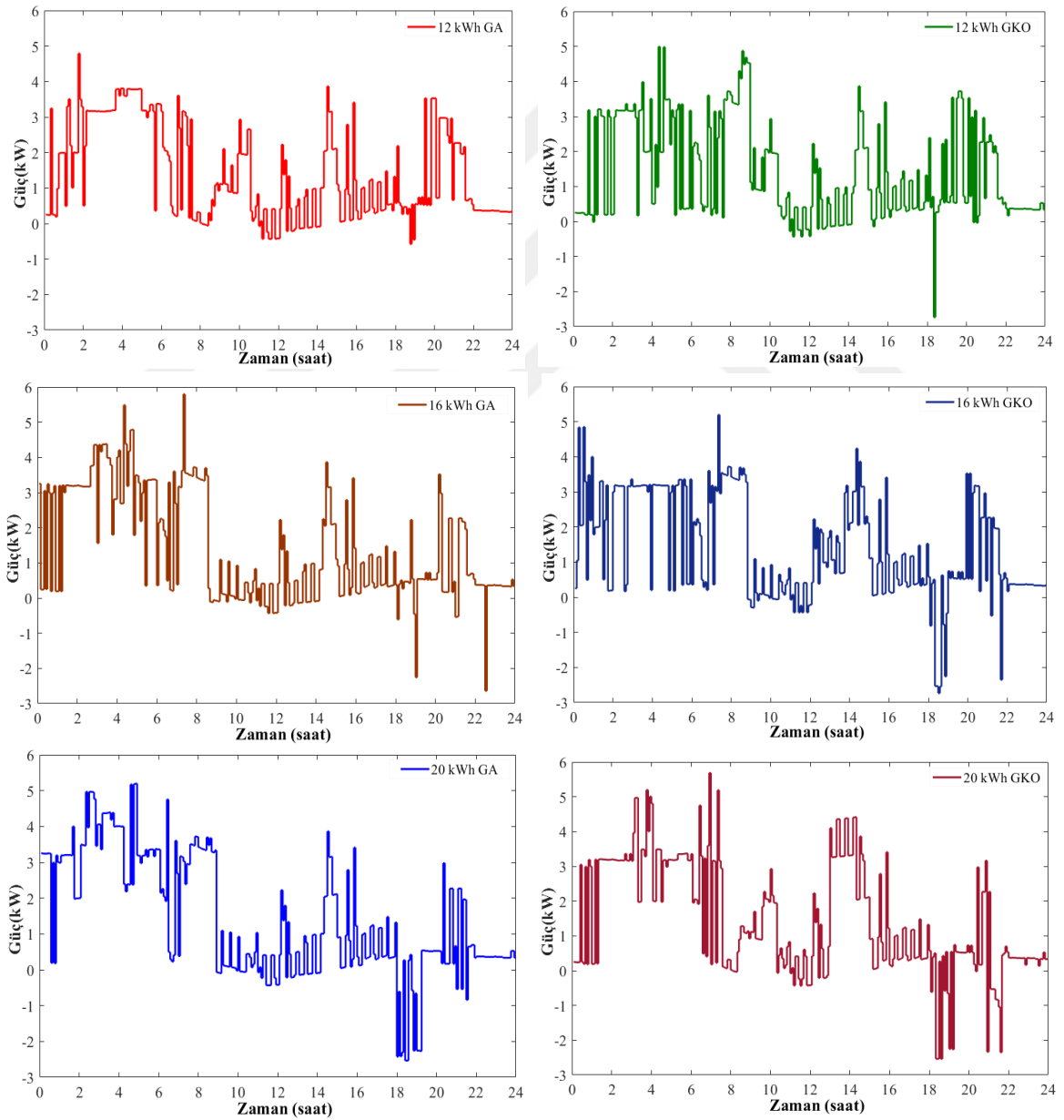
Bu senaryoda 12, 16 ve 20 kWh kapasiteli EA bataryaları kullanılmıştır. Konutun gün içerisinde ulaşım hizmetinde harcadığı güç miktarı değişmemiştir. Araçlar ulaşım hizmetinde 5,5 kWh enerji harcarken, geri kalan enerji araç eve geldiğinde konutun enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılmaktadır. EA bataryalarının kullanımı sırasında deşarj derinliğinden dolayı kapasitelerinin %25'ine kadar deşarj edilmesi önerilir. Bu senaryoda batarya şarj ve deşarj verimliliği %90 olarak alınmıştır. Konut sakinleri günlük ulaşım için konut ve işyeri arasında 5,5kWh enerji harcamaktadır. Bu batarya parametreleri dikkate alınarak 12, 16, ve 20 kWh kapasiteli bataryalar için başlangıç, minimum, kullanılabilir net, deşarj sonrası net kapasiteleri ve gerekli şarj miktarları Tablo 6.8'de verilmiştir.

Tablo 6.8. EA bataryalarının kapasite bilgileri

Tam Kapasite (kWh)	Başlangıç Kapasitesi (kWh)	Minimum Kapasitesi (kWh)	Kullanılabilir Net Kapasite (kWh)	Deşarj sonrası Net Kapasite (kWh)	Gerekli Şarj Miktarı (kWh)
12,00	5,50	3,00	2,50	2,25	10,00
16,00	10,50	4,00	6,50	5,85	13,33
20,00	14,50	5,00	9,50	8,55	16,67

Tablo 6.8'de verilen deşarj sonrası net kapasiteler araç sahiplerinin konutlarda kullanabileceği enerji miktarlarıdır. Bu tabloda yer almayan fakat konutlarda kullanılan enerji miktarları için gerekli şarj enerjileri sırasıyla 2,78 kWh, 7,22 kWh, 10,56 kWh olarak

hesaplanmıştır. Bu miktarlar dikkate alınarak sırayla 2,25 kWh kapasite için 0,53 kWh, 5,85 kWh kapasite için 1,37 kWh ve 8,55 kWh kapasite için 2 kWh enerji harcanmaktadır. Başlangıçta kayıp enerji miktarları göz önünde bulundurulduğunda, batarya kapasitesini arttırmak elektrik kullanım maliyetini arttıracığı anlamına gelebilir. Ancak dinamik fiyat yapısı sayesinde düşük fiyatlı dönemlerde şarj edilip, yüksek fiyatlı dönemlerde deşarj edilerek son kullanıcıya maliyet tasarrufu sağlayabilir. Konutlarda farklı kapasitelere sahip elektrikli araçların tüketici anketleri, GA ve GKO yöntemleri kullanılarak çalışma saatlerinin planlanması sonucunda güç tüketimine etkileri Tablo 6.8’de verilmiştir.



Şekil 6.9. EA Batarya kapasitesinin KEYS üzerindeki etkisi

Tablo 6.9. EA batarya kapasitesinin cihaz çalışma zamanı planlamasına etkisi

EA Batarya Kapasitesi (kWh)	Tüketici Anketleri			GA Yöntemi			GKO Yöntemi		
	FKT	TM	GAF	FKT	TM	GAF	FKT	TM	GAF
12	2,51	114,25	38,55	1,87	100,43	32,58	1,97	103,03	33,62
16	2,60	110,98	38,16	2,18	94,71	32,40	2,10	98,40	33,00
20	2,81	108,46	38,36	2,41	91,13	32,41	2,29	95,59	33,04

Tablo 6.9’da GA yönteminin GKO ve tüketici anketine göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Ayrıca batarya kapasitesi artarken TM fonksiyonu azalmıştır. Örneğin GA yönteminde 20 kWh kapasiteli bataryada kaybolan enerji, 12 kWh kapasiteli bataryaya göre 1,47 kWh daha fazla olmasına rağmen 20 kWh kapasiteli batarya kullanımında maliyet %9,26 azalmıştır. FKT fonksiyonu ise batarya kapasitesi arttıkça artmaktadır. Büyük kapasite kullanımında şarj ve deşarj işlemlerinin periyot sayısının artması şarj ve deşarj periyotları arasında boşlukların oluşmasından kaynaklanmıştır. Şekil 6.9’da farklı kapasitelerin cihaz planlamasında ortaya çıkan güç tüketimleri FKT fonksiyonundaki artışı doğrulamıştır.

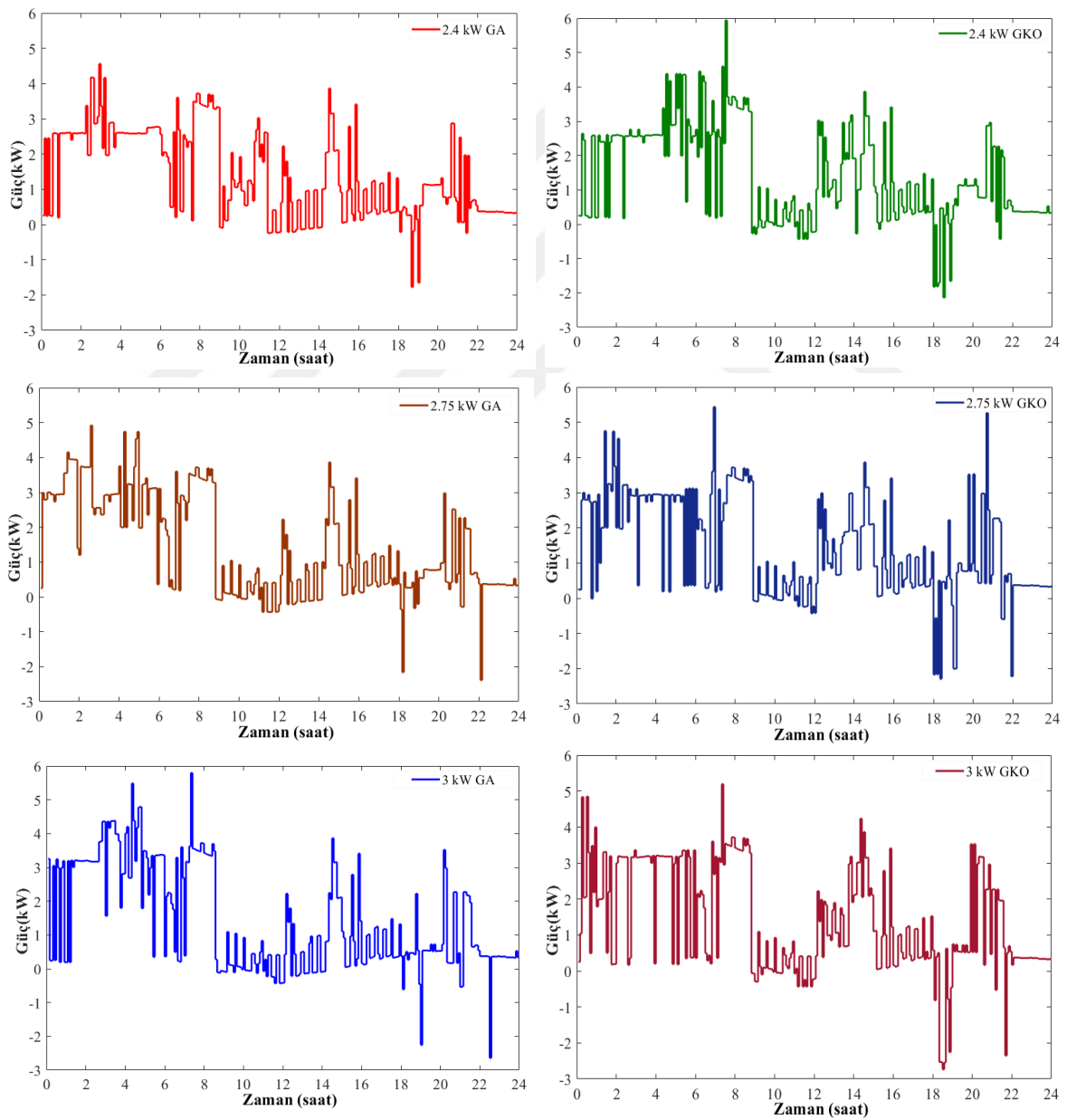
6.1.4.4. EA Batarya Şarj Cihazı Şarj Oranlarının Cihaz Planlamasına Etkisi

EA şarj cihazının verimliliği ve güç aktarım oranı şarj ve deşarj süresini belirleyen en önemli faktördür. Şarj ve deşarj verimliliği arttıkça şarj ve deşarj süreleri azalır. Ancak şarj ve deşarj oranını arttırmak için batarya teknik özelliklerinin uygun olması gerekir. Aksi durumda bataryanın aşırı ısınmasına ve bataryanın zarar görmesine neden olur. Bu durum batarya ömrünün kısaltır. Bu çalışmada 2,4 kW, 2,75 kW ve 3 kW’lık güçle şarj ve deşarj edilmesi KEYS çalışmasını nasıl etkileyeceği incelenmiştir. Söz konusu senaryoda tüketici anketi, GA ve GKO yöntemleri kullanılarak cihazların çalışma saatleri planlanmıştır. Konut yük profili çıkartıldıktan sonra FKT, TM ve GAF değerleri Tablo 6.10’a kaydedilmiştir.

Tablo 6.10. EA batarya şarj ve deşarj oranlarının konut yük profiline etkileri

Şarj ve Deşarj Oranı (kW)	Tüketici Anketleri			GA Yöntemi			GKO Yöntemi		
	FKT	TM	GAF	FKT	TM	GAF	FKT	TM	GAF
2,40	2,37	110,32	37,06	1,73	94,80	30,62	1,95	99,20	32,17
2,75	2,52	110,72	37,76	2,02	95,08	31,85	2,00	99,02	32,76
3,00	2,60	110,98	38,16	2,18	94,71	32,40	2,10	98,40	33,00

Tablo 6.10'daki sonuçlar incelendiğinde her bir yöntemin tüm şarj ve deşarj oranında TM değerlerinin birbirine yakın olması nedeniyle şarj ve deşarj oranını değiştirmek güç tüketim maliyetini değiştirmemiştir. Fakat şarj ve deşarj oranının artması FKT değerinin artmasına sebep olmuştur. Her bir periyotta 2,4 kW yerine 3 kW'lık bir güç değişimi konut yük profilinde daha büyük dalgalanmaya neden olmakla birlikte, şarj ve deşarj oranındaki 0,6 kW'lık güç artışı, tüketici anketinde %9,7, GA yönteminde %26 ve GKO yönteminde %7,7 artmasına yol açmıştır. Sırasıyla 2,4 kW, 2,75 kW ve 3 kW şarj ve deşarj oranlarındaki günlük yük profili Şekil 6.10'da gösterilmiştir.



Şekil 6.10. EA batarya şarj ve deşarj oranlarına göre konut yük profilleri

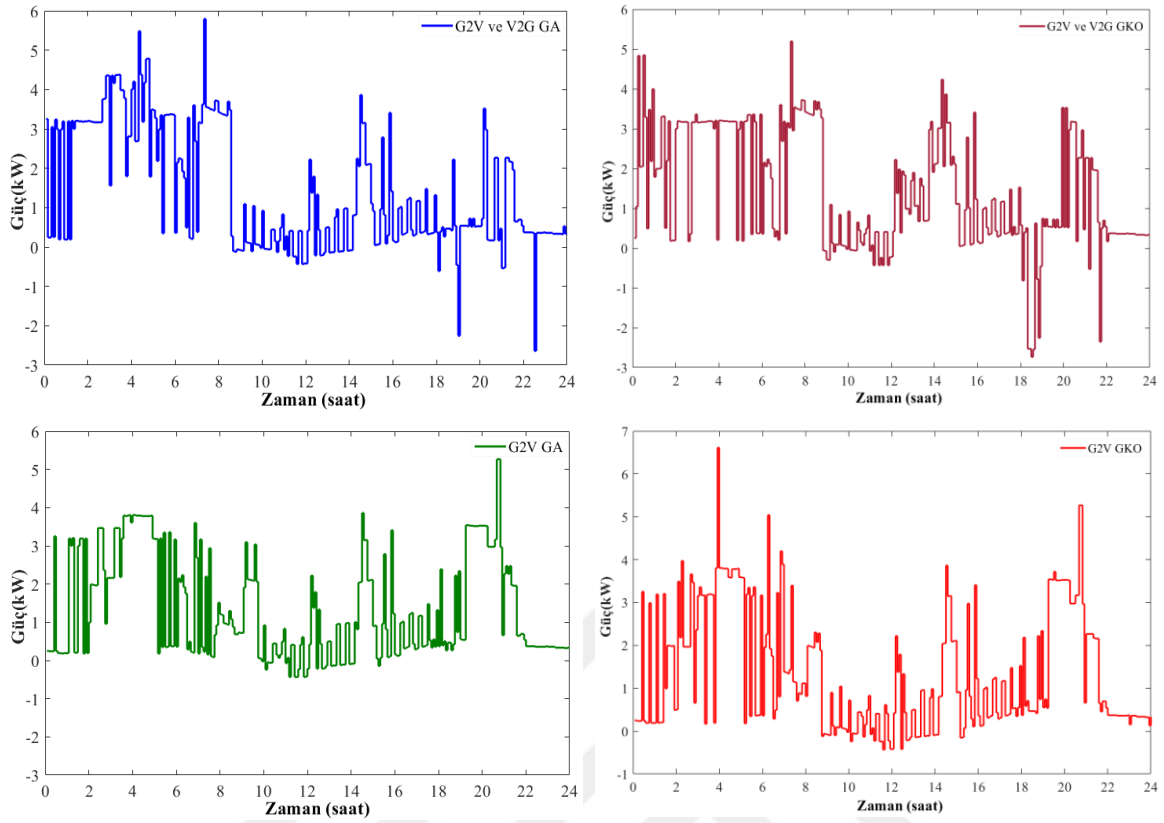
6.1.4.5. EA Şarj Cihazı G2V ve V2G Özelliklerinin Cihaz Planlamasına Etkisi

Konut ile EA bataryası arasındaki güç akış yönü şarj cihazının G2V ve V2G özelliklerine bağlıdır. Sadece G2V özelliğini barındıran şarj cihazı tek yönlü güç aktarımıyla sadece EA bataryasını şarj edebilir. Ancak araçtaki fazla enerjinin konutta kullanılması için güç transferine olanak sağlamaz. Öte yandan hem G2V hem de V2G özelliklerini barındıran bir şarj cihazı ile EA bataryasını hem konuttan şarj edilebilir hem de bataryadaki fazla enerji konutta kullanılabilir. Bu senaryoda şarj cihazının G2V ve V2G özelliklerine sahip olma durumunun konut yük profili üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu bağlamda şarj cihazının sadece G2V özelliğine sahip olma durumu ile her iki özelliğe de sahip olma durumları karşılaştırılmıştır. Bu özelliklere sahip olan şarj cihazlarının bulunduğu konutlardaki cihazların çalışma saatleri tüketici anketi, GA ve GKO yöntemleri ile düzenlenmiştir. Bu düzenlemeler sonucunda oluşan yük profili verileri Tablo 6.11’de verilmiştir.

Tablo 6.11. EA şarj cihazının güç akışı yönü özelliğinin konut yük profiline etkileri

EA Şarj Cihazı Güç Transferi	Tüketici Anketleri			GA Yöntemi			GKO Yöntemi		
	FKT	TM	GAF	FKT	TM	GAF	FKT	TM	GAF
G2V ve V2G	2,60	110,98	38,16	2,18	94,71	32,40	2,10	98,40	33,00
G2V	2,40	118,40	39,21	1,95	102,62	33,44	1,99	104,27	34,02

G2V ve V2G özellikli şarj cihazı kullanılan bir konutta 16 kWh kapasiteli bataryanın 5,5 kWh’ı ulaşımda kullanılarak araç eve döndüğünde 10,5 kWh enerji kalmıştır. Deşarj derinliğinden dolayı minimum kapasitesi 4 kWh olan bataryada kalan 6,5 kWh kapasite puant saatlerde konutta kullanılır. Enerji fiyatının düşük olduğu dönemlerde şarj edilerek sabah evden tam dolu olarak ayrılır. Diğer taraftan sadece G2V özellikli şarj cihazı bulunan konutta araç eve döndüğünde 10,5 kWh enerji bulunur. V2G özelliği olmadığından konuta enerji aktarılamaz ve ulaşımda harcanan 5,5 kWh gece saatlerinde tekrar şarj edilerek ertesi gün tam kapasitede evden ayrılır. Tablo 6.11’deki sonuçlar incelendiğinde GA yöntemi, tüketici anketi ve GKO yöntemine göre daha başarılıdır. Çift yönlü (G2v ve V2G) ve tek yönlü (G2V) güç akışı özelliklerine sahip şarj cihazlarının yük profili üzerindeki etkileri tüketim maliyeti açısından karşılaştırıldığında; çift yönlü şarj cihazı kullanımı tek yönlüye göre GA yönteminde %7,7, GKO yönteminde %5,5 ve tüketici anketinde %6,3 oranlarında maliyeti düşürülmüştür. Söz konusu yöntemlerin yük profilleri Şekil 6.11’de gösterilmiştir.



Şekil 6.11. Şarj cihazının G2V ve V2G özelliklerine göre konut yük profili

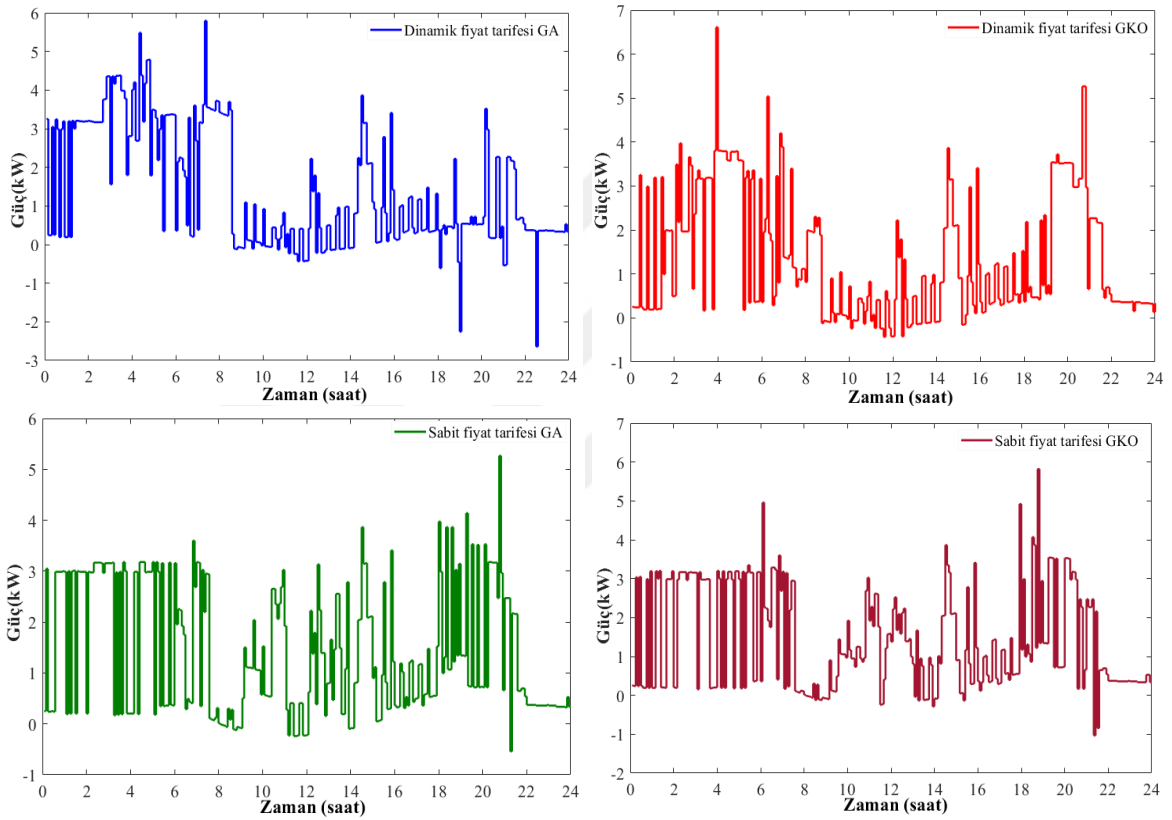
6.1.4.6. Fiyat Tarifesinin Cihaz Çalışma Zamanı Planlamasına Etkisi

Konutlardaki cihazların optimum çalışma saatlerinin belirlenmesinde kullanılan en önemli parametrelerden biri elektrik fiyat tarifesidir. Dinamik fiyat tarifesinde kullanıcılar tüketim maliyetlerini düşürmek için cihazlarını fiyat sinyaline göre planlamak zorundayken, tek zamanlı tarifede ise tüm zamanlarda birim fiyat aynı olduğundan kullanıcıları zorlayan herhangi bir faktör olmadığından yer yer yığılmalar oluşurken, bazı dönemlerde talepler en az düzeyde kalır. Dolayısıyla piklerin ve vadilerin oluşması kaçılmaz hale gelir.

Tablo 6.12. Elektrik fiyat tarifesinin konut yük profiline etkileri

Fiyat Tarifesi	Tüketici Anketleri			GA Yöntemi			GKO Yöntemi		
	FKT	TM	GAF	FKT	TM	GAF	FKT	TM	GAF
Dinamik Fiyat	2,60	110,98	38,16	2,18	94,71	32,40	2,10	98,40	33,00
Sabit Fiyat	2,58	120,29	40,41	1,79	120,87	37,21	1,85	120,29	37,47

Bu senaryoda fiyat tarifesinin konut yük profili üzerindeki etkisi incelenmiştir. Dinamik fiyat olarak Şekil 2.19'daki fiyat sinyali, sabit fiyatta ise tüm saatlerde 3,5 Cent/kWh seçilmiştir. Bu bağlamda sabit ve dinamik fiyatlar kullanılarak FKT ve TM fonksiyonları değerlendirilmiştir. Bu tarifeler dikkate alınarak cihazların çalışma saatleri tüketici anketi, GA ve GKO yöntemleri ile düzenlenmiş ve oluşan yük profili verileri Tablo 6.12'de verilmiştir. Bu verilere göre GA diğer yöntemlere oranla daha başarılıdır. Ayrıca GA ve GKO yöntemleri kullanılarak elde edilen yük profilleri Şekil 6.12'de gösterilmiştir.



Şekil 6.12. Elektrik fiyat tarifesine dayalı konut yük profili

6.2. Mahalle Genelinde Enerji Yönetimi

MEYS iki aşamalı enerji yönetimi gerçekleştiren bir algoritma yazılımıdır. İlk aşamada KEYS mahalledeki konutların uygulanabileceği tüm stratejileri belirlemiştir. İkinci aşamada MEYS tüm stratejileri değerlendirerek konutlarda hangi stratejilerin uygulanması gerektiğine karar vermiştir. Bu işlemler gerçekleştirilmeden önce konutlardaki dağıtık üretim, depolama, EA ve cihaz parametreleri belirlenmelidir. Bu bağlamda her konuttaki

cihazların ayrı ayrı anma güç değerleri, çalışma süreleri tanımlanmıştır. Mahalle güç koordinasyonunu sağlarken, alternatif seçenekler oluşturmak için konutlardaki dağıtık üretimlerinin kurulu güçleri, cihazların modelleri ve çalışma programlarının her biri farklı seçilmiştir. Konutların cihaz parametreleri Tablo 6.13'te verilmiştir.

Tablo 6.13. Konutlardaki elektrikli cihazların çalışma parametreleri

Cihaz	Konut-1		Konut-2		Konut-3		Konut-4		Konut-5	
	Güç	Periyot	Güç	Periyot	Güç	Periyot	Güç	Periyot	Güç	Periyot
Ç. Kurutma	-	-	3,60	16	3,60	16	3,00	12	3,30	16
Klima	1,20	-	1,60	-	1,50	-	1,50	-	1,60	-
Buzdolabı	0,10	288	0,08	288	0,09	288	0,10	288	0,09	288
Dondurucu	0,06	288	0,06	288	0,05	288	0,06	288	0,04	288
Fırın	2,00	14	1,60	12	2,4	10	2,0	10	2,2	23
Mikrodalga	0,90	4	0,70	5	-	-	0,60	5	0,70	5
Tost Makinası	2,20	2	-	-	2,00	3	-	-	2,00	4
Süpürge	2,00	12	2,30	16	2,00	14	2,00	16	2,40	19
Saç Kurutma	2,20	5	1,80	9	2,30	8	1,80	6	2,30	7
Saç Düzleştirici	0,20	3	0,05	6	0,04	7	-	-	0,04	5
Su ısıtıcı	2,00	16	1,80	17	2,70	16	2,40	19	3,30	19
Televizyon	0,16	83	0,12	85	0,16	88	0,12	117	0,16	124
Bilgisayar-Tel.	0,12	74	0,16	62	0,21	62	0,15	58	0,15	89
Ütü	2,40	13	2,70	12	2,80	10	2,30	13	2,80	11
Aydınlatma	0,16	89	0,18	94	0,15	96	0,15	76	0,20	90
Diğer	0,12	288	0,15	288	0,18	288	0,18	288	0,16	288

Tablo 6.14. Konutlardaki çamaşır makinalarının çalışma parametreleri

Konut	Çalışma Durumu	Su Alma	Yıkama	Durula	Sıkma	Su Alma	Yıkama	Durula	Sıkma
Konut-1	Periyot (5dk.)	1	3	3	2	1	3	3	2
	Güç Tüketimi (kW)	0,60	2,00	0,40	1,20	0,60	2,00	0,40	1,20
Konut-2	Periyot (5dk.)	1	4	3	2	1	4	3	2
	Güç Tüketimi (kW)	0,80	1,80	0,30	2,00	0,80	1,80	0,30	2,00
Konut-3	Periyot (5dk.)	1	5	2	2	1	5	2	2
	Güç Tüketimi (kW)	0,50	1,20	0,30	1,80	0,50	1,20	0,30	1,80
Konut-4	Periyot (5dk.)	1	5	2	2	1	5	2	2
	Güç Tüketimi (kW)	0,80	2,00	0,40	2,40	0,80	2,00	0,40	2,40
Konut-5	Periyot (5dk.)	1	4	3	2	1	4	3	2
	Güç Tüketimi (kW)	0,80	2,00	0,60	1,80	0,80	2,00	0,60	1,80

Tüm cihazların yer almadığı Tablo 6.13'te konut-1'de çamaşır kurutma, konut-2'de tost makinası konut-3'de mikro dalga, konut-4'de tost makinası ve saç düzleştirici

bulunmamaktadır. Ayrıca klimanın anma gücü verilmiş olmasına rağmen çalışma periyotlarının verilmemesi, periyotun ortam sıcaklığı, istenilen sıcaklık ve ortam hacmine bağlı değişmesinden kaynaklanmaktadır. Aynı cihazın konutlarda farklı anma gücüne sahip olması, söz konusu cihazın farklı marka veya modelinin bulunduğunu gösterir. Aydınlatma, konut sakinlerinin açtığı lamba sayısına göre değişmiş olmasına rağmen, bu tabloda ortalama tüketim ve tüketim süreleri dikkate alınmıştır.

Çamaşır ve bulaşık makinalarının farklı çalışma aşamalarına sahip olması, onların her aşamada farklı güç tüketmelerine sebep olur. Periyotların farklı olması farklı programların (pamuklu, sentetik vb.) çalıştığı anlamına gelmektedir. Çamaşır makinasının çalışma parametreleri Tablo 6.14’te, bulaşık makinası parametreleri ise Tablo 6.15’te verilmiştir.

Tablo 6.15. Konutlardaki bulaşık makinalarının çalışma parametreleri

Konut	Çalışma Durumu	Su Alma	Yıkama	Durulama	Kurutma
Konut-1	Periyot (5dk.)	2	8	8	6
	Güç Tüketimi (kW)	0,60	2,00	0,40	2,20
Konut-2	Periyot (5dk.)	2	8	6	6
	Güç Tüketimi (kW)	0,60	1,60	0,80	1,80
Konut-3	Periyot (5dk.)	2	9	5	5
	Güç Tüketimi (kW)	0,50	1,20	0,80	1,50
Konut-4	Periyot (5dk.)	2	9	4	4
	Güç Tüketimi (kW)	1,00	2,20	1,20	2,40
Konut-5	Periyot (5dk.)	2	8	6	6
	Güç Tüketimi (kW)	1,00	2,20	0,80	2,40

Konut sakinleri dağıtık üretim birimlerinden birine veya her ikisine de sahip olabilmektedir. Aynı mahallede bulunan konutların sıcaklık, ışınım ve rüzgar hızı gibi parametrelerinin eşit veya birbirine yakın olmasına rağmen, dağıtık üretim birimlerinin kurulu güçlerinin farklı olmasından dolayı üretilen enerji miktarları farklılık göstermektedir. Konutlardaki dağıtık üretim sistemlerinin kurulu güçleri Tablo 6.16’da verilmiştir.

Tablo 6.16. Konutlardaki dağıtık üretim sistemlerinin kurulu güçleri

Dağıtık Üretim Sistemi	Konut-1	Konut-2	Konut-3	Konut-4	Konut-5
	Kurulu Gücü (kW)	Kurulu Güç (kW)	Kurulu Gücü (kW)	Kurulu Gücü (kW)	Kurulu Gücü (kW)
Fotovoltaik	1,00	1,20	-	0,50	1,50
Rüzgâr Türbini	-	-	0,60	0,40	-

Konutlarda enerji depolamak için kullanılan EDS ve EA parametreleri Tablo 6.17’de verilmiştir. Tüm konutlarda en az bir tane dağıtık üretim olması nedeniyle hepsinde EDS bulunmaktadır. EA sadece konut-1, konut-2 ve konut-5 mevcuttur. Batarya kapasitelerinin farklı olması, farklı EA modellerini temsil etmektedir. Başlangıç kapasitelerinin farklı olması, konut ile işyeri arasındaki mesafeden kaynaklanmaktadır. Batarya şarj/deşarj oranı ve verimliklerindeki farklılıklar şarj cihazlarının farklı olduğunu göstermektedir.

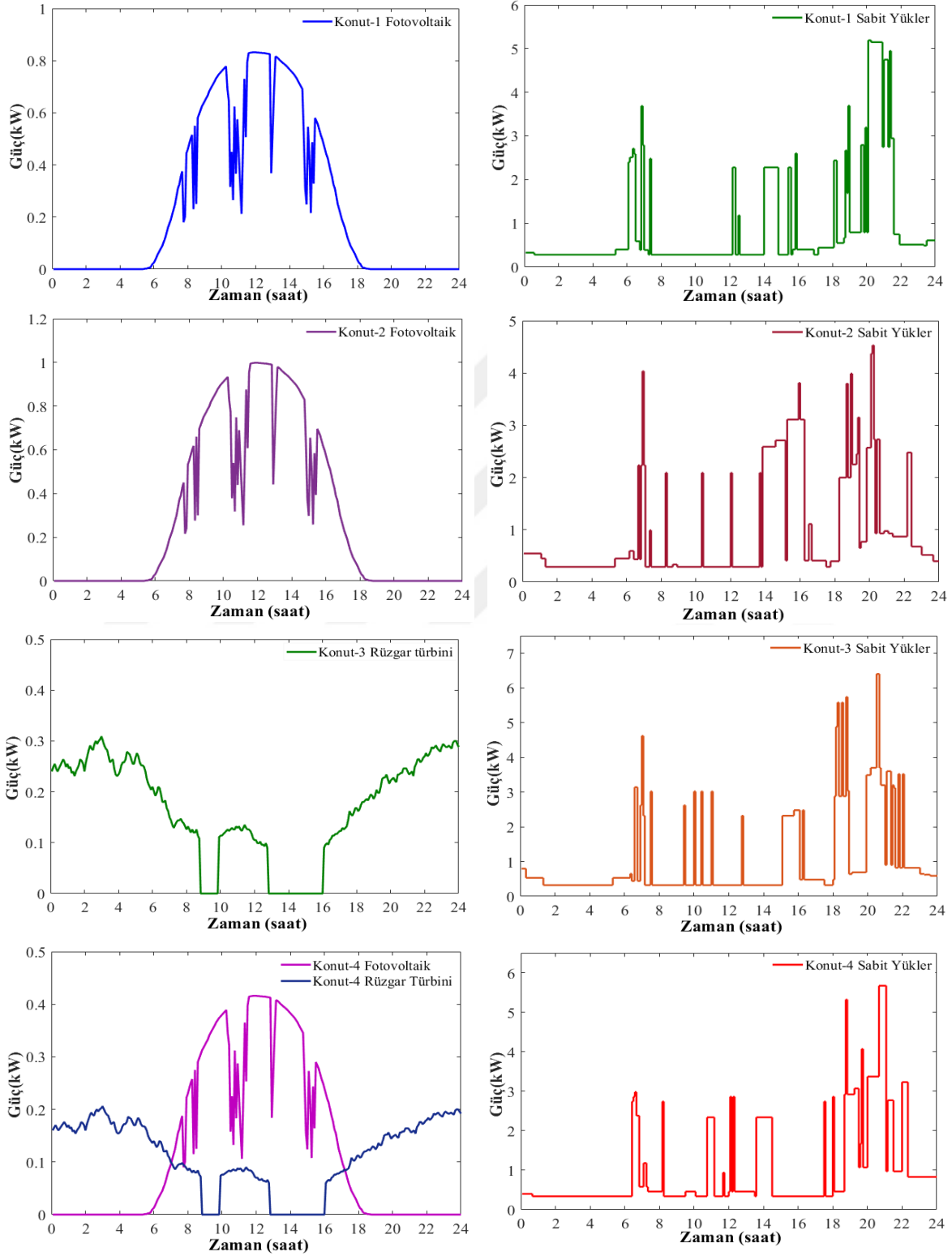
Tablo 6.17. Konutlardaki enerji depolama birimlerinin çalışma parametreleri

Enerji Depoma Birimleri		Konut-1	Konut-2	Konut-3	Konut-4	Konut-5
EDS	SOC_EDS_max (kWh)	1,00	0,80	1,20	1,00	1,20
	SOC_EDS_bas (kWh)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	SOC_EDS_min (kWh)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	CE_EDS	0,95	0,90	0,90	0,95	0,95
	DE_EDS	0,95	0,90	0,90	0,95	0,95
	CR_EDS (kW)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	DR_EDS (kW)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
EA	SOC_EA_max (kWh)	16,00	15,00	-	-	18,00
	SOC_EA_bas (kWh)	11,50	10,20	-	-	9,20
	SOC_EA_min (kWh)	4,00	3,75	-	-	4,50
	CE_EA	0,90	0,90	-	-	0,90
	DE_EA	0,90	0,95	-	-	0,87
	CR_EA (kW)	3,00	2,75	-	-	3,20
	DR_EA (kW)	3,00	2,75	-	-	3,20
	Ta (h)	7:00	7:30	-	-	7:20
	Td (h)	17:30	18:00	-	-	18:30

6.2.1. MEYS Çalışma Senaryoları

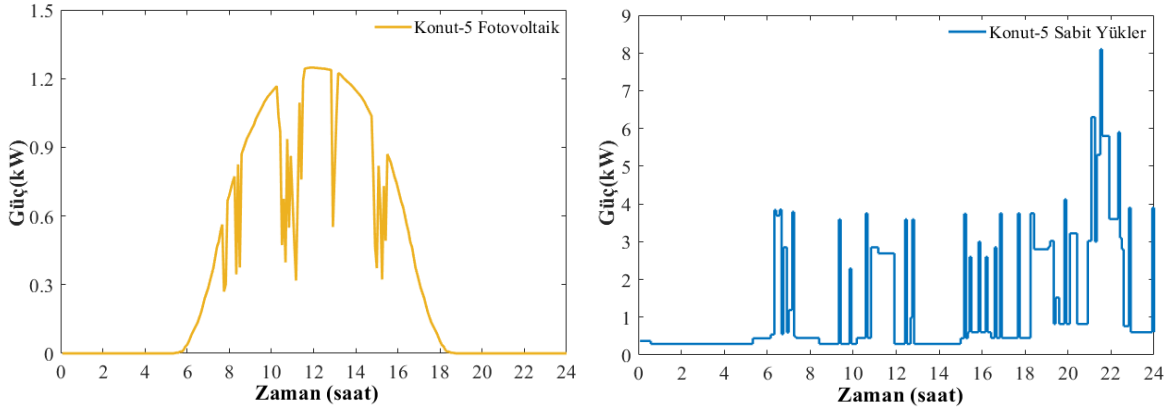
KEYS senaryolarında tek konutun üretim ve depolama sistemleri, batarya şarj cihazı özellikleri ve fiyat gibi parametrelerin yük profili ve tüketim maliyeti davranışları incelenmiştir. Bu çalışmada ise aynı dağıtım trafosundan beslenen ve farklı cihaz profilleri içeren konutlardan oluşan bir mahallenin yük profili, güç transferi davranışları koordine edilmiştir. İki aşamalı bir yönetim strateji kullanılarak gerçekleştirilen bu işlemde öncelikle her konut için en uygun 5 çalışma stratejisi belirlenmiştir. Ardından MEYS konutların belirlediği stratejileri kullanarak en uygun mahalle yük profili için BOT ile her konutun hangi stratejisini kullanmasına karar verilmiştir. Karar verilen stratejiler uygulandığında mahallenin yük profili, tüketici anket sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Böylece yük profili ve

tüketim maliyetindeki iyileştirmeler hesaplanarak MEYS'in başarımı ölçülmüştür. Ayrıca konutun bireysel tercihi ve mahalle yönetimine katılması durumunları değerlendirilmiştir.



Şekil 6.13. Mahalledeki konutların dağıtık üretim ve sabit yük profilleri

Şekil 6.13'ün devamı



Bu bölümde EA şarj cihazının G2V ve V2G özellikleri dikkate alınarak iki farklı senaryo düşünülmüştür. İlk olarak EA batarya şarj cihazının çift yönlü güç transferi özelliğine (G2V ve V2G) sahip olma durumu incelenirken, ikincisinde tek yönlü güç akışı (G2V) özelliği için çalışma yürütülmüştür. Her iki senaryo için KEYS ve MEYS ayrı ayrı çalıştırılarak stratejiler üretilmiş ve mahalle için en uygun stratejiler belirlenmiştir. Her iki çalışma senaryosunda da değişmeyen dağıtık üretim ve sabit yükler Şekil 6.13'te verilmiştir.

6.2.1.1. EA Bataryasının Çift Yönlü Güç Aktarımı Durumunun Mahalleye Etkisi

Bu senaryoda EA bataryasının hem konuttan şarj edilmesi hem de fazla enerjinin konuta aktarılması durumunun mahallenin güç koordinasyonunu nasıl etkileyeceği incelenmiştir. İlk olarak KEYS dağıtık üretim ve sabit yük profillerini dikkate alarak kontrol edilebilir cihazların çalışma zamanlarını GA ve GKO yöntemlerini kullanarak optimum şekilde planlamıştır. KEYS çok sayıda çalıştırılarak her konut için üretilen 5 adet strateji Tablo-18'de verilmiştir. Ayrıca KEYS'in planlama sürecinde konutlarda sırasıyla 30,52 kWh, 36,56 kWh, 32,87 kWh, 32,48 kWh ve 45,65 kWh enerji tüketimi gerçekleşmiştir. Her konut bireysel hareket ettiğinde kendisi için en uygun stratejiyi seçebilir. Konut sakinleri için TM fonksiyonu öncelikli iken, üretim ve dağıtım şirketi açısından ise FKT fonksiyonu daha önemlidir. Ancak konutlar MEYS'e dahil olduklarında mahalle çıkarları doğrultusunda hareket etmek zorundadır. KEYS ve MEYS birbirinden bağımsız olmadığından KEYS konut stratejilerini oluştururken, hem FKT fonksiyonunu hem de TM fonksiyonlarını kullanmaktadır. Diğer taraftan MEYS fiyat sinyali ve KEYS tarafından üretilen stratejileri dikkate alarak yeni bir indikatör tanımlar ve bu indikatörü en aza indirmeyi amaçlamaktadır.

Tablo 6.18. GA yöntemi kullanılarak belirlenen konut stratejileri (G2V ve V2G)

Konutlar		STRATEJİLER				
		I	II	III	IV	V
Konut-1	FKT	1,848	1,759	1,919	1,898	1,806
	TM	86,619	87,186	85,419	84,903	87,628
	GAF	29,047	28,833	29,031	28,816	29,131
Konut-2	FKT	2,257	2,107	2,067	2,166	2,215
	TM	102,040	104,650	103,719	102,421	102,219
	GAF	34,539	34,591	34,196	34,271	34,413
Konut-3	FKT	1,795	1,802	1,847	1,814	1,831
	TM	111,650	112,533	110,875	111,563	111,929
	GAF	35,092	35,341	35,108	35,148	35,308
Konut-4	FKT	1,811	1,722	1,693	1,735	1,713
	TM	108,231	110,223	108,856	108,589	109,489
	GAF	34,301	34,443	33,985	34,089	34,224
Konut-5	FKT	2,230	2,064	2,236	2,270	2,174
	TM	140,488	142,084	141,192	141,555	141,430
	GAF	44,043	43,778	44,242	44,470	44,053

Tablo 6.18'deki verilere göre TM amaç fonksiyonu dikkate alınır, konut sakinleri sırasıyla IV, I, III, I ve I numaralı stratejilerini uygulamak isterken; FKT amaç fonksiyonu açısından değerlendirilirse, enerji tedarikçisi konut sakinlerinin II, III, I, III ve II numaralı stratejilerini uygulamalarını ister. Ancak MEYS mahalle çıkarlarını gözetenek BOT ile hangi konutun uygulaması gerektiği stratejiyi Tablo 6.19'da görüldüğü gibi karar vermiştir.

Tablo 6.19. BOT ile en uygun konut stratejileri (G2V ve V2G)

Konut-1	Konut-2	Konut-3	Konut-4	Konut-5
S1	II	III	I	III
IV	S2	III	I	III
IV	II	S3	I	III
IV	II	III	S4	III
IV	II	III	I	S5

BOT öncesinde tüketici anket sonuçları değerlendirilerek eşitlik (2.41) ile her konutun indikatör değerleri hesaplanmıştır. Ardından BOT ile tüm stratejilerin indikatör değerleri yine eşitlik (2.41) ile hesaplanmıştır. Hesaplanan tüketici anketi indikatörü, seçilen en uygun stratejinin indikatör değerleri ve yapılan iyileştirme miktarları Tablo 6.20'de verilmiştir.

Tablo 6.20. Tüketici anketi ve BOT ile hesaplanan indikatör değerleri (G2V ve V2G)

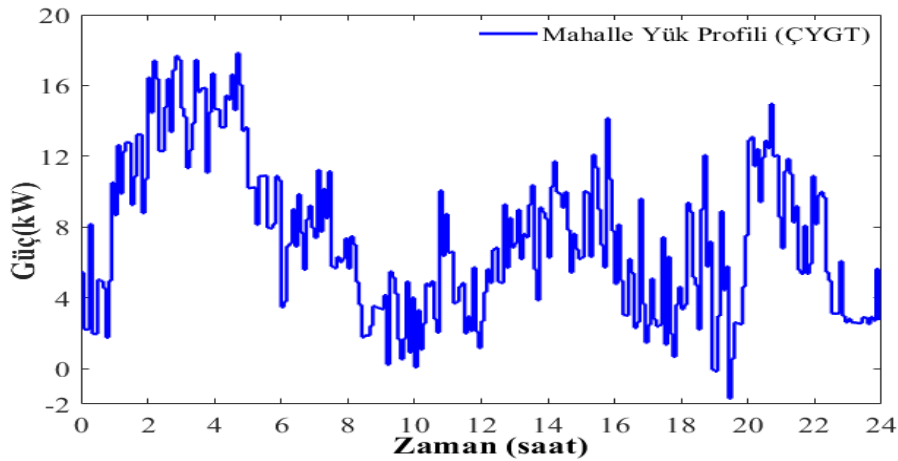
	Konut-1	Konut-2	Konut-3	Konut-4	Konut-5	Genel
BOT Öncesi İndikatör İndisi	4,775	7,900	10,556	12,293	8,434	8,792
BOT Sonrası İndikatör İndisi	4,074	5,504	6,643	7,150	5,274	5,050
İyileştirme (%)	14,678	30,334	37,068	41,841	37,465	42,561

Bu senaryoda indikatör indisinin yanı sıra, BOT öncesi ve sonrasında ortalama tüketim maliyeti hesaplanarak Tablo 6.21'e kaydedilmiştir. Ardından mahalle yönetiminin son kullanıcıların elektrik maliyeti üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Tablo 6.21. Tüketici anketi ve BOT ile hesaplanan tüketim maliyetleri (G2V ve V2G)

	Konut-1	Konut-2	Konut-3	Konut-4	Konut-5	Genel
BOT Öncesi Maliyet (Cent)	92,890	116,010	124,315	123,023	154,593	610,732
BOT Sonrası Maliyet (Cent)	84,905	104,650	110,875	108,231	141,192	549,852
İyileştirme (%)	8,596	9,792	10,811	12,024	8,669	9,968

Tablo 6.18'de tüm konut stratejileri incelendiğinde konut sakinleri mahalle yönetimine katılmayıp bireysel hareket ederse, tüketim maliyetlerini en aza indirmek için sırasıyla IV, I, III, I ve I stratejilerini uyguladıklarında mahalenin toplam elektrik maliyeti 546,537 Cent olabilirdi. Ancak konut sakinleri mahalle yönetimine katılarak 549,852 Cent tutarı ödemeyi kabul etmiştir. Mahalle sakinleri bu tutarı öderken FKT değerleri 1,980 olarak hesaplanmıştır. Eğer mahalle sakinleri bireysel hareket ederek maliyetlerini minimize edecek stratejiler uygularsa, FKT değeri 2,009 olarak bulunur.



Şekil 6.14. EA şarj cihazının çift yönlü güç aktarımı için mahalle yük profili

6.2.1.2. EA Bataryasının Tek Yönlü Güç Aktarımı Durumunun Mahalleye Etkisi

Bu senaryoda konuttaki cihazların çalışması ve EA bataryasının sadece konuttan şarj edilmesi durumunda mahallenin güç koordinasyonu incelenmiştir. İlk olarak KEYS dağıtık üretim ve sabit yük profillerini göz önünde bulundurarak kontrol edilebilir cihazların çalışmalarını GA ve GKO yöntemleri yardımıyla en uygun biçimde programlamıştır. KEYS birçok kez çalıştırılarak her konut için üretilen 5 adet strateji Tablo 6.22’de verilmiştir. Ayrıca KEYS’in planlama sürecinde konutlarda sırasıyla 29,02 kWh, 35,41 kWh, 32,87 kWh, 32,48 kWh ve 44,32 kWh enerji tüketimi gerçekleşmiştir. Çift yönlü güç transferinde enerji tüketimi tek yönlü transfere nazaran daha fazla olması, bataryadan konuta güç aktarımı sırasında şarj cihazının deşarj verimliliğinden kaynaklanmaktadır

Tablo 6.22. GA yöntemi kullanılarak belirlenen konut stratejileri (G2V)

Konutlar		STRATEJİLER				
		I	II	III	IV	V
Konut-1	FKT	1,900	1,928	1,870	1,867	2,004
	TM	94,069	93,928	94,961	94,986	92,653
	GAF	31,117	31,194	31,220	31,213	31,180
Konut-2	FKT	1,772	1,800	1,751	1,815	1,815
	TM	113,552	111,367	114,073	112,696	112,696
	GAF	35,476	35,041	35,524	35,434	35,434
Konut-3	FKT	1,795	1,802	1,847	1,814	1,831
	TM	111,650	112,533	110,875	111,563	111,929
	GAF	35,092	35,341	35,108	35,148	35,308
Konut-4	FKT	1,811	1,722	1,693	1,735	1,713
	TM	108,231	110,223	108,856	108,589	109,489
	GAF	34,301	34,443	33,985	34,089	34,224
Konut-5	FKT	2,301	2,405	2,282	2,271	2,432
	TM	144,488	144,401	144,826	145,726	144,217
	GAF	45,324	45,720	45,335	45,514	45,782

Tablo 6.22’deki verilere bakıldığında TM amaç fonksiyonu dikkate alınır, konut sakinleri sırasıyla V, II, III, I ve V stratejilerini uygulamak isterken; FKT amaç fonksiyonu açısından değerlendirilirse, enerji tedarikçisi konut sakinlerinin IV, III, I, III ve IV stratejilerini uygulamalarını ister. Ancak MEYS mahalle çıkarlarını gözeterek BOT ile konutların uygulaması gereken stratejilerine Tablo 6.23’teki gibi karar vermiştir.

Tablo 6.23. BOT ile en uygun konut stratejileri (G2V)

Konut-1	Konut-2	Konut-3	Konut-4	Konut-5
S1	II	V	V	I
IV	S2	V	V	I
IV	II	S3	V	I
IV	II	V	S4	I
IV	II	V	V	S5

BOT öncesi tüketici anket sonuçları eşitlik (2.41) ile her konutun indikatör değerleri hesaplanmıştır. Ardından BOT’da tüm stratejiler için aynı eşitlik kullanılarak indikatör değerleri hesaplanmıştır. Tüketici anketi indikatörü, seçilen en uygun stratejinin indikatör değerleri ve BOT’un tüketici anketine göre iyileştirme oranları Tablo 6.24’te verilmiştir.

Tablo 6.24. Tüketici anketi ve BOT ile hesaplanan indikatör değerleri (G2V)

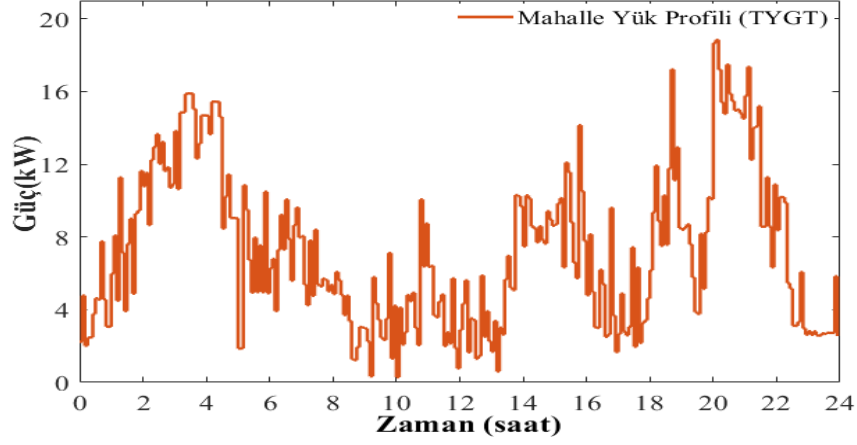
	Konut-1	Konut-2	Konut-3	Konut-4	Konut-5	Genel
BOT Öncesi İndikatör İndisi	7,862	7,569	10,557	12,293	10,650	9,786
BOT Sonrası İndikatör İndisi	7,560	5,532	6,394	6,989	6,436	6,290
İyileştirme (%)	3,836	26,918	39,430	43,143	39,570	35,728

İndikatör indislerinin dışında BOT öncesi ve sonrası tüketici anketlerine dayalı ortalama tüketim maliyetleri hesaplanarak Tablo 6.25’e kaydedilmiştir. Ardından mahalle yönetiminin son kullanıcıların elektrik maliyeti üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Tablo 6.25. Tüketici anketi ve BOT ile hesaplanan tüketim maliyetleri (G2V)

	Konut-1	Konut-2	Konut-3	Konut-4	Konut-5	Genel
BOT Öncesi Maliyet (Cent)	102,870	126,709	124,315	123,023	158,064	634,981
BOT Sonrası Maliyet (Cent)	94,986	111,367	112,533	109,490	144,488	572,864
İyileştirme (%)	7,664	12,108	9,478	11,000	8,589	9,782

Tablo 6.22’de tüm konut stratejileri incelendiğinde konut sakinleri mahalle yönetimine katılarak 572,864 Cent ödemiştir. Eğer tüketim maliyetini düşürmek için bireysel hareket etselerdi 567,343 ödemeleri gerekirdi ve bu ödemeleri yaparken FKT değeri 1,979 olurdu. Konut sakinleri mahalle yönetimine katılarak FKT değeri 1,902’ye düşmüştür. Bu durum mahalledeki yük dalgalanmasının azalmasına ve dağıtım trafosunun daha az yüklenmesini sağlamıştır. BOT sonrası oluşan mahalle yük profili Şekil 6.15’te gösterilmiştir.



Şekil 6.15. EA şarj cihazının tek yönlü güç aktarımı için mahalle yük profili

6.2.1.3. EA Bataryasının Güç Aktarımı Durumunun Karşılaştırılması

EA batarya şarj cihazının güç aktarım özelliğinin tek yönlü ve çift yönlü olması arasındaki fark, bataryada depolanan enerjinin tekrar konutta kullanılamamasıdır. Her iki senaryoda konut-3 ve konut-4'de EA bulunmadığından söz konusu konutların stratejileri değiştirilmemiştir. Ancak her iki senaryoda konutlar farklı stratejileri kullanmıştır. Konut-3 için çift yönlü güç akışında III numaralı strateji, tek yönlüde ise V numaralı strateji seçilmiştir. Benzer şekilde konut-4 için çift yönlüde I numaralı, tek yönlüde V numaralı stratejiler uygulanmıştır. Bayesyen oyunlarda Nash dengesini oyuncuların stratejileri belirler. Burada iki senaryo için farklı oyunlar söz konusudur. Her iki oyunun denge noktaları farklı olduğundan diğer oyuncuların stratejileri doğrultusunda 3 ve 4 numaralı oyuncular stratejilerini değiştirmiştir.

Şekil 6.14 ve Şekil 6.15'deki yük profilleri karşılaştırıldığında çift yönlü şarj cihazı bulunan EA bataryaları ulaşım hizmeti dışındaki fazla enerjiyi aktardığından tek yönlüye göre akşam saatlerindeki pik yükler büyük oranda azalmıştır. Hatta 19:00-20:00 saatleri arasında mahalden şebekeye güç aktarımı gerçekleşmiştir. Çift yönlü şarj cihazına sahip konutlarda akşam saatlerinde araçlardan konuta güç aktarımı gerçekleştirildiğinden, EA'ların boşalan bataryalarını şarj etmek için daha fazla enerjiye ve süreye ihtiyaç duyulur. Bu sebeple Şekil 6.14'de 02:00-05:00 saatleri arasında yüksek güç aktarımı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca şekillerde görülmese de 17:30-21:30 saatleri arasında konut-1, konut-2 ve konut-5'ten konut-3 ve konut-4'e güç transferi yapılmıştır.

Tablo 6.26. Tek ve çift yönlü güç aktarım özelliklerinin mahallede karşılaştırılması

	Çift Yönlü Güç Aktarımı	Tek Yönlü Güç Aktarımı
Kullanılan Toplam Enerji (kWh)	178,081	174,052
Tüketim Maliyeti (Cent)	549,852	572,864
Farkların Karesi Toplamı	1,980	1,902
İndikatör İndisi	5,050	6,290
Pik Güç Miktarı (kw)	17,66	18,83

Tablo 6.26’da her iki senaryoda mahallenin toplam güç tüketimleri incelendiğinde çift yönlü güç aktarımında tek yönlüye nazaran 4,029 kWh enerji harcanmıştır. Tüm tesisin çalışma süresi ve sayısı değişmemesine rağmen aradaki fark, şarj cihazlarının V2G çalışma durumunda güç transferi gerçekleşirken bataryanın deşarj verimliliğinden kaynaklanmıştır. Çift yönlü güç aktarımında harcanan enerji miktarı tek yönlüye kıyasla daha fazla olmasına rağmen tüketim maliyeti 23.012 cent daha düşüktür.

Çift yönlü güç transferinde bataryanın deşarj olduğu dönemler ortalama güç tüketiminden uzaklaştığı için farkların karesi toplamı tek yönlüye oranla daha fazla çıkmıştır. Öte yandan, BOT’ta önerilen indikatör değeri çift yönlüde tek yönlüye göre 1,240 daha düşük çıkmıştır. İndikatör indisi fiyata bağlı tanımlandığında indikatör indisinin çift yönlü güç transferinde küçük olması, çift yönlü güç transferinin elektrik tüketim maliyetinin düşük olduğunu göstermektedir.

Çift yönlü güç transferinin en önemli avantajı yük profilinde piklerin azaltılması ve vadilerin doldurulmasıdır. Tek yönlü güç aktarımında puant saatlerde oluşan 18.83 kW pik güç 14.96 kW seviyelerine gerilerken, gece düşük fiyatlı dönemler araçlar şarj edilirken çift yönlüde şarj edilecek batarya kapasitesi arttığından 17,66 kW seviyesine çıkmıştır. Tek yönlü güç aktarımlı batarya şarjında pik güç seviyesi 16,08 kW düzeyinde kalmıştır.

Sonuç olarak çift yönlü şarj cihazları buldukları konut sakinlerine cihazlarını daha esnek planlamaları ve maliyetlerini düşürmeleri için fırsatlar sunar. Öte yandan tek yönlü şarj cihazlarına sahip konut sakinleri EA eve döndüğünde bataryasında kalan fazla enerjiyi konutta kullanamayacağından büyük kapasiteli bataryaya sahip olmasına gerek yoktur.

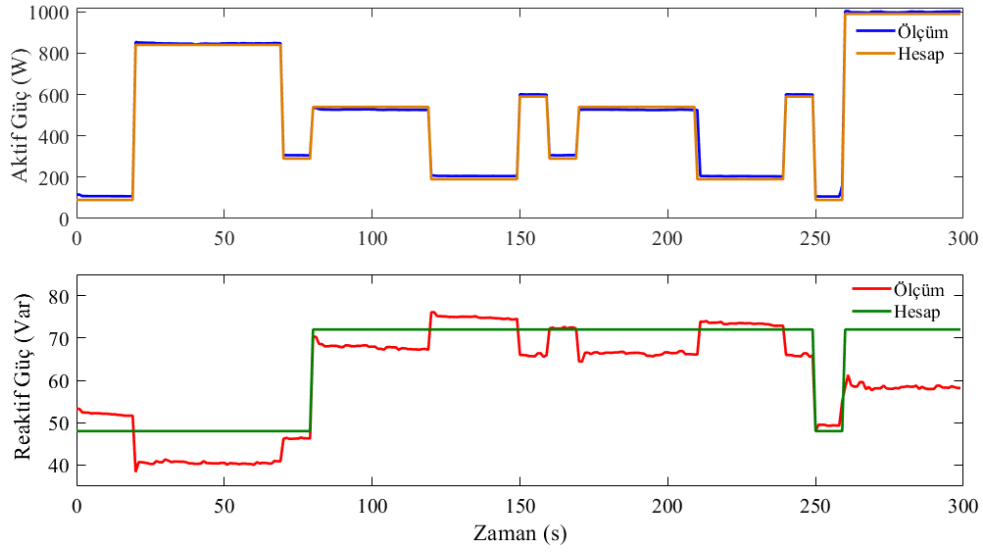
6.3. Konut Düzeyinde Enerji Yönetimi Deneysel Çalışmalar

Bu bölümde deneysel çalışmaya kadar yapılan işlemleri şöyle özetleyebiliriz. İlk olarak KEYS modelinin yapısı ve konuttaki cihazların matematiksel modelleri 2. bölümde

ayrıntılı olarak tanımlanmıştır. Ardından cihazların en uygun çalışma zamanlarının planlanması için optimizasyon tabanlı yöntemler kullanılarak kontrol ve yönetim stratejileri 3. bölümde geliştirilmiştir. Geliştirilen optimizasyon algoritmasında gerçek cihazları kullanmak yerine, bu cihazların güç tüketimleri 1/4 oranında ölçeklenerek aktif ve reaktif yükleri içeren programlanabilir bir yük bankası 5. bölümde oluşturulmuştur. Cihaz parametrelerini tanımlama ve konut düzeyinde enerji yönetimi benzetimleri 6. bölümde gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda bu bölümde konut düzeyinde enerji yönetimi için deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Deneysel çalışmada geliştirilen model ve algoritmanın işleyişini gözlemlemek için bir günlük süre (288 zaman aralığı) çok uzun olduğundan toplam 120 adet zaman aralığı alınmış ve her bir zaman aralığı 5 dakika yerine 10 saniye olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmada parametreleri bu şekilde seçme nedenimiz geliştirilen modelin başarı yüzdesini ölçmekten ziyade, tasarlanan donanımın ve geliştirilen algoritmasının kusursuz şekilde çalışıp çalışmadığını gözlemlemektir.

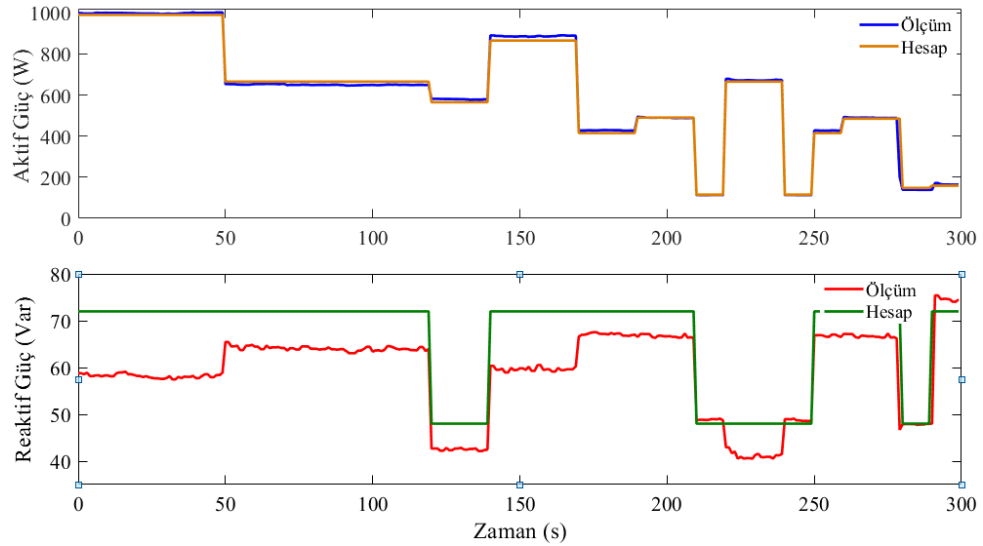
Bilgisayarda Tablo 6.1, Tablo 6.2, Tablo 6.3 ve Tablo 6.4'teki cihaz parametreleri kullanılıp, tüketici tercihleri dikkate alınarak 120 zaman aralıklı bir cihaz çalışma programı hazırlanmıştır. Her bir zaman aralığındaki güç tüketim miktarları $\frac{1}{4}$ oranında ölçeklenerek güç tüketim değerleri tablo halinde Ek-B'de verilmiştir. Programlanabilir yük bankasında bulunan direnç ve endüktif yükleri devreye alıp veya devre dışı bırakan röleleri kontrol etmek için Matlab ortamında oluşturulan 9 adet sayısal kontrol işareti arduino haberleşme portalı üzerinden gerçek zamanlı olarak gönderilmiştir. Bilgisayardan gönderilen çalışma programına bağlı olarak çalışan yük bankası üzerinden akım, gerilim, aktif güç, reaktif güç, görünür güç, frekans, güç katsayısı değerleri ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Ek-C'de tablo şeklinde verilmiştir. Bu ölçüm sonuçlarından aktif ve reaktif güç değişimleri 5 dakikalık süreler için 4 grafik hazırlanmıştır. Her bir grafikte programlama süreci sonunda hesaplanan güç değerleri ve gerçek zamanlı ölçüm sonuçları bulunmaktadır. Hazırlanan bu grafikler ve çalışma senaryoları aşağıya detaylı olarak incelenmiştir.

Şekil 6.16'da ilk 20s buzdolabı, derin dondurucu ve diğer yükler çalışırken yaklaşık 115W aktif ve 53Var reaktif güç tüketmektedir. Özellikle buzdolabı ve derin dondurucu sürekli çalışması nedeniyle reaktif güç tüketimi süreklidir. 20s–80s arasında çalışmakta olan yüklere ek olarak fırın devreye alınmıştır. Fırın direnç yükü içermesine rağmen, reaktif güçteki azalma gerilimin 51,4V seviyesine düşmesinden kaynaklanmaktadır. 80s–250s arasında çalışmakta sürekli çalışan yükler ve çamaşır makinasının çalışması görülmektedir. Burada çamaşır makinası motoru reaktif güç tüketmesi nedeniyle reaktif güç tüketimi önceki



Şekil 6.16. 0-300 s arasındaki aktif ve reaktif güç değişimi

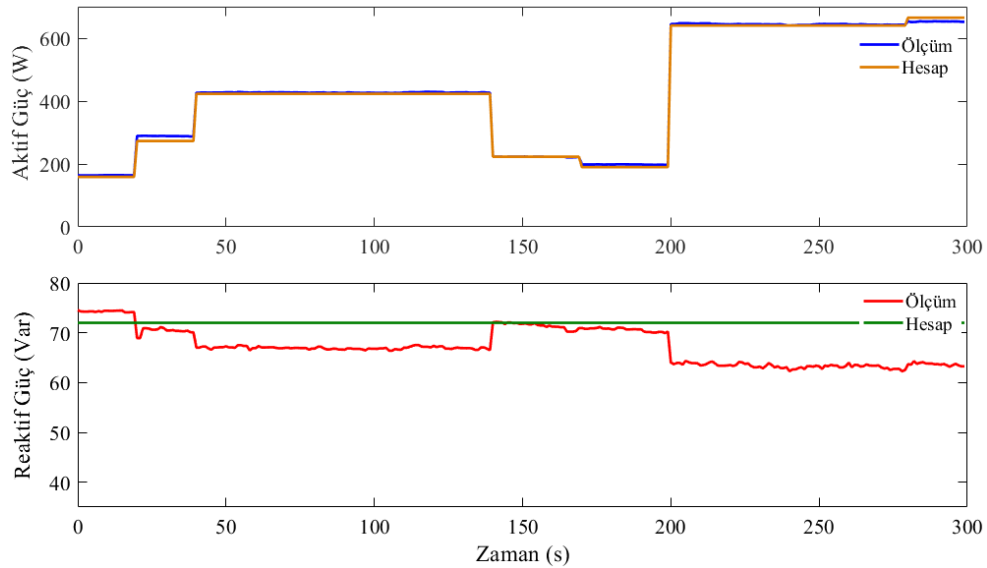
duruma göre artmıştır. Çamaşır makinasının çalışması boyunca aktif ve reaktif güç tüketiminin farklı seviyelerde seyretmesi farklı aşamalar barındırmasından kaynaklanmıştır. 260s-300s arasında çamaşır kurutucu çalışmaktadır. Çamaşır kurutucu ısı üretmesi ve motor içermesi nedeniyle yüksek aktif ve reaktif güç tüketimine sahiptir.



Şekil 6.17. 300s-600s arasındaki aktif ve reaktif güç değişimi

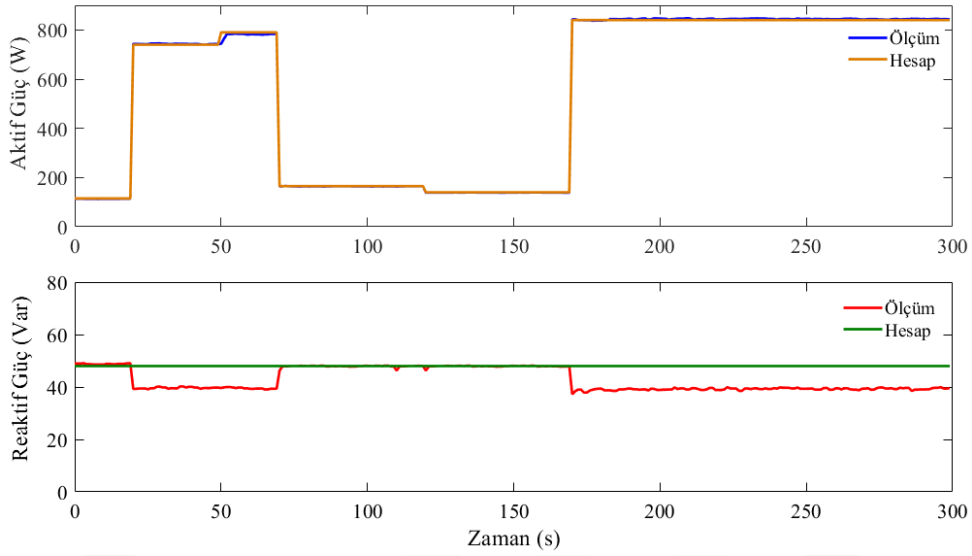
Şekil 6.17'deki grafikte ilk 50s içerisinde sürekli yükler ve çamaşır kurutucu çalışmıştır. 50s-120s arasında elektrikli süpürge çalıştırılmıştır. Süpürge vakum için motor içerdiğinden reaktif güç tüketimi büyüktür. Çamaşır kurutucu ve süpürge çalışmaları

sırasında hesaplanan reaktif güç değerlerinin değişmemesine rağmen, ölçüm farkı besleme geriliminden kaynaklanmaktadır. Çamaşır kurutucu çalışırken 50,1V seviyeye düşen gerilim, süpürge çalışırken 52,8V seviyeye çıkmıştır. 120s-170s arasında sürekli yükler ve su ısıtıcı çalışırken bu yüklerle 140s-190s arasında klima dahil olmuştur. Su ısıtıcı sadece direnç yükü içerdiğinden klima dahil olana kadar sadece aktif gücün artmasına rağmen, klimanın bu yüklerle dahil olmasıyla birlikte reaktif güç de artmıştır. 190s-210s arasında saç kurutuma çalışmıştır. Saç kurutma direnç yükü ve fan motoru içermesi nedeniyle aktif güç ve yüksek reaktif güç içermektedir. 220s-240s arasında sadece direnç yükü içeren tost makinası ve sürekli yükler çalışmıştır. 250s-280s arası tekrar klima çalışmıştır. Ayrıca 270s-300s arası bilgisayar, 130s-300s arasında televizyon çalışmıştır. Televizyon ve bilgisayarın güç tüketimlerinin küçük olması nedeniyle grafikde ciddi farklar oluşmamıştır.



Şekil 6.18. 600s-900s arasındaki aktif ve reaktif güç değişimi

Şekil 6.18'de ilk 20s içerisinde sürekli yükler ve televizyon ve aydınlatma çalışmıştır. 30s-330s arasında bulaşık makinası çalışmıştır. Bulaşık makinası çalışma süresince farklı aşamalar (su alma, yıkama, durulama ve kurutma) içerdiğinden aktif gücü değişmektedir. Bunun yanında bulaşık makinası elektrik motoru bulundurması nedeniyle sürekli yüklerdeki reaktif güce seviyesi artmıştır. Hesaplanan reaktif güç sabit olmasına rağmen aktif güç miktarı arttıkça gerilim düşümü meydana geleceğinden bu zaman diliminde reaktif güç az miktarda azalma gözlemlenmiştir. 280s-230s arası tekrar aydınlatma çalışmıştır. Aydınlatma gücü zaman ve konfor seviyesine bağlı olarak gün içerisinde değişebilmektedir.



Şekil 6.19900s-1200s arasındaki aktif ve reaktif güç değişimi

Şekil 6.19'da 0-120s arasında aydınlatma ve sürekli yükler çalışırken, 20s-70s arasında bu yüklerle ek olarak sadece direnç yükü olan ütü devreye alınmıştır. 50s-170s arasında EDS şarj olurken, 170s-300s arasında ise EA bataryasının şarj olduğu görülmektedir. Bu grafik boyunca sadece sürekli yükler reaktif güç tüketmektedir. Aktif güç tüketimi 750W üzerine çıktığında gerilim düşümünden dolayı reaktif güç değeri hesaplanın altına düşmüştür.

Yukarıdaki dört grafik aslında 20 dakikalık tek bir çalışmanın 5'er dakika aralıklara parçalanmış halidir. Olayların daha detaylı analiz edilip yorumlanmasında kolaylık sağlamaktadır.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Bu tezde akıllı şebekeye bağlı akıllı konut ve mahallenin işletimi için uygun enerji yönetimi modelleri geliştirilmiştir. Son kullanıcılara yönelik finansal teşvikleri de düşünerek akıllı konutlar için en uygun kontrol ve planlama konularında çalışılmıştır. Aynı zamanda, aynı dağıtım trafosundan beslenen akıllı konutların oluşturduğu bir mahallenin güç koordinasyonu için en uygun yönetim stratejileri oluşturulmuştur. Akıllı konutlar için geliştirilen KEYS'in amacı son kullanıcının bir günlük elektrik maliyetini indirmek ve yük eğrisini düzleştirmektir. Akıllı konutlar elektrik şebekesine ek olarak dağıtık üretim sistemleri, batarya tabanlı EDS, EA ve elektrikli cihazlar gibi güç bileşenleriyle donatılmıştır. Bunların her birinin çalışma kısıtlamaları matematiksel olarak modellenmiştir. Matematiksel modeller kullanılarak bir test düzeneği tasarlanmıştır.

Bunun yanında çatı tipi FV ve RT gibi tesislerin güç üretimleri meteorolojik koşullara bağlı olarak değişmektedir. Bu kaynakların gün öncesi üretimi, ölçülen rüzgâr hızı, sıcaklık ve ışınım bilgileri kullanılarak YSA ile tahmin edilmiştir. Tahmin ve ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında, tahmin sonuçlarının başarılı olduğu doğrulanmıştır.

Enerji depolamasında kullanılan EDS ve EA bataryaları dağıtık üretimden veya şebekeden şarj edilmiştir. Bataryalar konutlarda cihazların güç taleplerini karşılamak veya şebekeye elektrik satmak için deşarj edilmiştir. Depolama sistemleri ile konut (şebeke) arasındaki güç transferi ÇYGD sağlanmıştır. ÇYGD DA-DA ve DA-AA dönüştürücülerden oluşmuştur. DA-DA dönüştürücü batarya şarjında azaltan, deşarjında ise arttıran olarak çalışmıştır. DA-AA dönüştürücü batarya şarjında doğrultucu, deşarjında ise evirici işlevi görmüştür. Konutun güç talebi sadece batarya grubundan karşılanırsa DA-AA dönüştürücü şebeke bağlantısız evirici durumunda, güç talebi şebeke ve bataryadan birlikte karşılanırsa şebeke bağlantılı evirici olarak çalışmıştır. ÇYGD farklı aktif ve reaktif güç aktarımı için DA-AA dönüştürücü doğrultucu, şebeke bağlantısız ve bağlantılı evirici olarak çalışmalarına benzetim ve testler yürütülmüştür. Ayrıca bataryaların şarj ve deşarj süreleri SOC bağlı olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada gerilim tabanlı SOC belirleme yöntemi kullanılmıştır.

KEYS modelinde belirlenen amaç fonksiyonlarının gerçekleştirilmesi için son kullanıcılardan alınan tüketici tercihleri oluşturulan optimizasyon algoritmalarına uygulanır. Matematiksel işlem yükünün az olması, süre kısıtlamasının bulunmaması ve her çalıştırıldığında alternatif çözümler üretmesi sebebiyle konutlardaki cihazların güç tüketiminin çizelgelenmesinde GA ve GKO yöntemleri kullanılmıştır. Optimize edilen KEYS modelinin etkinliğini ve başarımını kontrol etmek ve kanıtlamak için farklı senaryolar ve benzetimler uygulanmaktadır. İlk senaryoda FV ve RT gibi dağıtık üretimden hiçbirinin bulunmadığı, sadece FV, sadece RT ve her ikisinin de bulunduğu durumlarda güç üretiminin konutlardaki cihazların çalışma zamanlarına etkileri değerlendirilmiştir. İkinci senaryoda batarya tabanlı EDS varlığının, üçüncü senaryoda EA batarya kapasitesinin, dördüncü senaryoda EA şarj cihazının şarj oranının, beşinci senaryoda EA şarj cihazının sadece G2V çalışma durumu ve hem G2V hem de V2G çalışma durumlarının ve altıncı senaryoda sabit ve dinamik elektrik fiyatlarının akıllı konutlardaki cihazların programlanması üzerinde etkileri incelenmiştir. KEYS modeli optimizasyon algoritması çok sayıda konut sakinine farklı çalışma planları sunmuştur.

Tüketicilerin cihaz kullanım alışkanlıklarını belirlemek için 50 kişiye bir anket çalışması uygulanmıştır. Anket sonuçlarında tüketicilerin ortalama elektrik maliyetleri, yük eğrileri ve genel amaç fonksiyonları hesaplanmıştır. Benzer şekilde amaç fonksiyonları meta-sezgisel tabanlı GA ve GKO optimizasyon algoritmalarında çalıştırılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında GA, tüketici anketleri ve GKO yöntemine göre daha başarılı olmuştur.

Mahalle genelinde yük profilini düzenlemek, dağıtım trafosunu yüklenmesini azaltmak için yeni bir indikatör indisi tanımlanmıştır ve BOT kullanılarak MEYS modeli geliştirilmiştir. Mahalledeki konutlar Bayesyen oyununda oyuncuyu, konutlardaki cihaz çalışma planları oyuncuların stratejilerini temsil etmiştir. Mahallenin ortak çıkarları doğrultusunda MEYS oyuncuların hangi stratejileri uygulayacağına karar vermiştir. Hazırlanan senaryolar MEYS modeline uygulandığında, elektrik maliyetleri ve indikatör indislerinde kayda değer iyileşmeler görülmüştür.

7.2. Öneriler

Bu tez, önce bir akıllı konutun optimum cihazla çalışma zamanının planlamasını, daha sonra birden fazla akıllı konutun güç koordinasyonunu sağlayan bir iki aşamalı yeni bir enerji yönetim algoritması sunmuştur. Önerilen algoritma konut ve mahallede ekonomik,

verimli ve güvenilir elektrik enerjisi yönetimini sağlayan hem kullanışlı hem de ilginç bir konu olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte bu alanda gelecekteki araştırmamızı genişletmek için birkaç potansiyel fikrimiz aşağıda sıralanmıştır.

Tezde bir günlük optimizasyon süresi 5 dakikalık zaman aralıklarına bölünerek cihazlar kontrol edilmiştir. Cihazların her aşamadaki güç tüketimleri son kullanıcılar tarafından ortalama güç tüketimi olarak tanımlanmış ve KEYS bu bilgi ve zaman aralığına göre optimizasyon işlemini gerçekleştirmiştir. Bu optimizasyon işlemi başarılı sonuçları vermesine rağmen, zaman aralıklarının küçültülmesi ve cihazların güç bilgilerinin müdahaleci veya müdahaleci olmayan yük izleme yöntemleri kullanılarak KEYS'e öğretilmesi durumunda, kontrol hassasiyeti ve amaç fonksiyonlarının optimizasyon başarımı artacaktır.

Çalışmada KEYS modeli için kurulum ve bakım onarım maliyetleri göz ardı edilmiştir. Bu nedenle güç bileşenlerini oluşturan dağıtık üretim ve depolama sistemlerinin kapasiteleri konutun güç tüketimi doğrultusunda yaklaşık değerlerde seçilmiştir. Ancak kurulum ve bakım onarım maliyetleri eklenirse, büyük kapasite seçimi kurulum maliyetinin artmasına veya şebeke bağlantılı bir sistemde ihtiyaç fazlası bir durumun oluşmasına yol açacaktır. Bu sebeple kurulan tesis için kapasite boyutlandırma optimizasyonu yapılması toplam maliyetlerin düşürülmesinde önemli başarı sağlayacaktır.

8. KAYNAKLAR

1. Aduda, K., Zeiler, W., ve Boxem, Smart Grid - BEMS: The Art of Optimizing the Connection between Comfort Demand and Energy Supply, 2013 Fourth International Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Applications, Kasım 2013, Zhangjiajie, 565-569.
2. Kuzlu, M., Pipattanasomporn, M., and Rahman, S. Hardware demonstration of a home energy management system for demand response applications, IEEE Transactions on Smart Grid, 3,4 (2012) 1704-1711.
3. Roscia, M., Longo, M. ve Lazaroiu, G. C., Smart City by multi-agent systems, 2013 International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), Ekim 2013, Madrid, 371-376.
4. Lasne, L., Electrotechnique, Dunod, Second Edition, 2011.
5. Shahid, A., Smart Grid Integration of Renewable Energy Systems, 2018 7th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), Ekim 2018, Paris, 944-948.
6. Pang, C., Kezunovic, M. ve Ehsani, M., Demand side management by using electric vehicles as Distributed Energy Resources, 2012 IEEE International Electric Vehicle Conference, Mart 2012, Greenville, 1-7.
7. Melhem, F. ve Mougharbel, I., Dimensioning a residential PV system for a cost minimization when operating under abnormal situations: Case study for Lebanon, IEEE International Conference on Renewable Energies for Developing Countries, Kasım 2014, Beyrut, 112-117.
8. Ramchurn, S., Vytelingum, P., Rogers, A. ve Jennings, N., Putting the smarts into the smart grid: a grand challenge for artificial intelligence, 55, 4 (2012) 86-97.
9. Bouckaert, S., Selosse, S., Dubreuil, A., Assoumou, E. ve Maizi, N., Analyzing water supply in future energy systems using the TIMES Integrated Assessment Model (TIAMFR), Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics, 10,1 (2012) 89-94.
10. Zipperer, A., Aloise-young, P.A., Suryanarayanan, S., Roche, R., Earle, L., Christensen, D., Bauleo, P., ve Zimmerle, D., Electric energy management in the smart home: Perspectives on enabling technologies and consumer behavior, Proceedings of the IEEE 101, 11 (2013), 2397-2408.
11. Mehigan, L., Deane, J.P., Gallachóir, B.P.Ó. ve Bertsch, V., A review of the role of distributed generation (DG) in future electricity systems, Energy, 163 (2018), 822-836.

12. Saber, H., Moeini-Aghaie, M. ve Ehsan, M., Developing a multi-objective framework for expansion planning studies of distributed energy storage systems (DESSs), Energy, 157, (2018), 1079-1089.
13. Grijalva, S., ve Tariq, M.U., Prosumer-based smart grid architecture enables a flat, sustainable electricity industry, ISGT, Ocak 2011, Anaheim, 1–6.
14. CAISO, “What the duck curve tells us about managing a green grid.” http://www.caiso.com/Documents/FlexibleResourcesHelpRenewables_FastFacts.pdf, 24.12.2016.
15. Wisler, R.H., Mills, M., Seel, J., Levin, T. ve Botterud, A., Impacts of Variable Renewable Energy on Bulk Power System Assets, Pricing, and Costs. Lawrence Berkeley National Lab. (LBNL), Berkeley, Kasım 2017.
16. Sun, Y., Wang, S., Xiao, F. Ve Gao, D., Peak load shifting control using different cold thermal energy storage facilities in commercial buildings: a review, Energy Conversion and Management 71 (2013) 101-114.
17. Dehning, P., Blume, S., Dér, A., Flick, D., Herrmann, C., ve Thiede, S., Load profile analysis for reducing energy demands of production systems in non-production times, Applied Energy, 237 (2019) 117-130.
18. Vlot, M.C., Knigge, J.D. ve Sloopweg, J. G., Economical Regulation Power Through Load Shifting With Smart Energy Appliances, IEEE Transactions on Smart Grid, 4, 3 (2013) 1705-1712.
19. Caprino, D., Vedova, M.L.D. ve Facchinetti, T., Peak shaving through real-time scheduling of household appliances, Energy and Buildings 75 (2014) 133-148.
20. Paterakis, N.G., Erdinc, O., Bakirtzis, A.G. ve Catalão, J.P., Load-Following Reserves Procurement Considering Flexible Demand-Side Resources Under High Wind Power Penetration, IEEE Transactions on Power Systems, 30, 3 (2015) 1337-1350.
21. Xinda, K., Wu, D. ve Lu, N., A Real-Time Greedy-Index Dispatching Policy for Using PEVs to Provide Frequency Regulation Service, IEEE Transactions on Smart Grid, 10, 1 (2019) 864-877.
22. Watson, D.S., Fast automated demand response to enable the integration of renewable resources, CEC/LBNL, Berkeley, 2012.
23. Palensky, P., ve Dietmar D., Demand side management: Demand response, intelligent energy systems, and smart loads, IEEE transactions on industrial informatics 7, 3 (2011) 381-388.
24. Mathieu, J.L. ve Callaway, D.S., State Estimation and Control of Heterogeneous Thermostatically Controlled Loads for Load Following, 45th Hawaii International Conference on System Sciences, Ocak 2012, Maui, 2002-2011.

25. Macedo, M., Galo, J., De Almeida, L., ve Lima, A.D.C., Demand side management using artificial neural networks in a smart grid environment. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41 (2015), 128–133.
26. Gyamfi, S., Krumdieck, S., ve Urmee, T., Residential peak electricity demand response highlights of some behavioural issues. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 25 (2013), 71–77.
27. Hu, Z., Kim, J.-H., Wang, J., ve Byrne, J., Review of dynamic pricing programs in the US and Europe: Status quo and policy recommendations, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 42 (2015) 743–751.
28. Vlot, M.C., Knigge, J.D. ve Slootweg, J. G., Economical Regulation Power Through Load Shifting With Smart Energy Appliances, IEEE Transactions on Smart Grid, 4, 3 (2013) 1705-1712.
29. Paterakis, N.G., Erdinc, O., Bakirtzis, A.G. ve Catalão, J. P. S., Load-Following Reserves Procurement Considering Flexible Demand-Side Resources Under High Wind Power Penetration, IEEE Power Systems, 30, 3 (2015) 1337-1350.
30. Macedo, M., Galo, J., De Almeida, L., ve Lima, A.D.C., Demand side management using artificial neural networks in a smart grid environment. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41 (2015), 128–133.
31. Shafiei, S.E., Knudsen, T., Wisniewski, R., ve Andersen, P., Data-driven predictive direct load control of refrigeration systems. IET Control Theory & Applications, 9, 7 (2015) 1022–1033.
32. Niu, W., ve Li, Y., Uncertain optimization decision of interruptible load in demand response program., IEEE Innovative Smart Grid Technologies Asia, Mayıs 2014, Kuala Lumpur, 675–679.
33. Lee, S.S., Lee, H.C., Yoo, T.H., Noh, J.W., Naa, Y.J., Park, J.K., ve Yoon, Y.T., Demand response prospects in the south korean power system., IEEE Power and Energy Society General Meeting, Temmuz 2010, Providence, 1–6.
34. Homaei, O., Zakariazadeh, A., ve Jadid, S., Real time voltage control using emergency demand response in distribution system by integrating advanced metering infrastructure., Journal of Renewable and Sustainable Energy, 6, 3 (2014).
35. Aalami, H., Moghaddam, M.P., ve Yousefi, G., Demand response modeling considering interruptible/curtailable loads and capacity market programs. Applied Energy, 87, 1 (2010), 243–250.

36. Pavlak, G.S., Henze, G.P., ve Cushing, V.J., Optimizing commercial building participation in energy and ancillary service markets., Energy and Buildings, 81 (2014) 115–126.
37. Subbiah, R., Pal, A.E., Nordberg, K., Marathe, A. ve Marathe, M. V., Energy Demand Model for Residential Sector: A First Principles Approach, IEEE Transactions on Sustainable Energy, 8, 3 (2017) 1215-1224.
38. Mtshali, P. ve Khubia, F., A Smart Home Energy Management System using Smart Plugs, 2019 Conference on Information Communications Technology and Society (ICTAS), Mart 2019, Durban, 1-5.
39. Bozchalui, M.C., Hashmi, S.A., Hassen, H., Canizares, C.A., ve Bhattacharya, K., Optimal operation of residential energy hubs in smart grids, IEEE Transactions on Smart Grid, 3, 4 (2012), 1755–1766.
40. Saurav, K., Bansal, H., Nawhal, M., Chandan, V., ve Arya, V., Minimizing energy costs of commercial buildings in developing countries, 2016 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm), Kasım 2016, Sydney, 637–642.
41. Inamdar, H.P. ve Hasabe, R.P., It based energy management through demand side in the industrial sector, 2009 International Conference on Control, Automation, Communication and Energy Conservation, Haziran 2009, Perundurai, 1-7.
42. Collins, K., Mallick, M., Volpe, G. ve Morsi, W.G., Smart energy monitoring and management system for industrial applications, 2012 IEEE Electrical Power and Energy Conference, Ekim 2012, London, 92-97.
43. Chueh, T.H., Chou, K.L., Liu, N.T.Y. ve Tseng, H.R., An analysis of energy saving and carbon reduction strategies in the transportation sector in Taiwan, 2012 12th International Conference on ITS Telecommunications, Kasım 2012, Taipei, 316-318.
44. Abuelnasr, M., El-Khattam, W. ve Helal, I., Examining the influence of micro-grids topologies on optimal energy management systems decisions using genetic algorithm, Ain Shams Engineering Journal, 9, 4 (2018) 2807-2814.
45. Anvari-Moghaddam, A., Monsef, H., Rahimi-Kian, A., Guerrero J.M. ve Vasquez, J.C., Optimized energy management of a single-house residential micro-grid with automated demand response, 2015 IEEE Eindhoven PowerTech, Temmuz 2015, Eindhoven, 1-6.

46. Bahramara, S., Sheikahmadi, P. ve Golpira, H., Co-optimization of energy and reserve in standalone micro-grid considering uncertainties, Energy, 176 (2019) 792-804.
47. Alam, M.R., Reaz, M.B.I. ve Ali, M.A.M., A review of smart homes past, present, and future, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), 42, 6 (2012), 1190-1203.
48. Collotta, M. ve Pau, G., A Novel Energy Management Approach for Smart Homes Using Bluetooth Low Energy, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 33, 12 (2015) 2988-2996.
49. Lee, J.I., Choi, C.S., Park, W.K., Han, J.S. ve Lee, I.W., A study on the use cases of the smart grid home energy management system, ICTC, Ekim 2011, Seoul, 46-50.
50. Pau, G., Collotta, M., Ruano, A. ve Qin, J., Smart home energy management, Energies, 10 (2017) 382.
51. Squartini, S., Boaro, M., De Angelis, F., Fuselli, D. ve Piazza, F., Optimization algorithms for home energy resource scheduling in presence of data uncertainty, ICICIP, Haziran 2013, Beijing, 323-328.
52. Fan, Z., Kulkarni, P., Gormus, S., Efthymiou, C., Kalogridis, G., Sooriyabandara, M., Zhu, Z., Lambotharan, S. ve Chin, W.H. Smart grid communications: Overview of research challenges, solutions, and standardization activities, IEEE Communications Surveys & Tutorials, 15, 1 (2013) 21-38.
53. Hansen, T., Roche, R., Suryanarayanan, S., Siegel, H.J., Zimmerle, D., Young, P.M. ve Maciejewski, A.A., A proposed framework for heuristic approaches to resource allocation in the emerging smart grid, 2012 IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON), Kasım 2012, Auckland, 1-6.
54. Gkatzikis, L., Koutsopoulos, I. ve Salonidis, T., The role of aggregators in smart grid demand response markets, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 31, 7 (2013), 1247-1257.
55. Lan, T., Kang, Q., An, J., Yan, W. ve Wang, L., Siting and sizing of aggregator controlled park for plug-in hybrid electric vehicle based on particle swarm optimization, Neural Computing and Applications, 22, 2 (2013) 249-257.
56. Han, S., Han, S.H. ve Sezaki, K., Design of an optimal aggregator for vehicle-to-grid regulation service, Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), Ocak 2010, Gothenburg, 1-8.

57. Gujar, M., Datta, A. ve Mohanty, P., Smart Mini Grid: An innovative distributed generation based energy system, 2013 IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia), Kasım 2013, Bangalore, 1-5.
58. El-Baz, W., Tzscheutschler, P. ve Wagner, U., Day-ahead probabilistic PV generation forecast for buildings energy management systems, Solar Energy, 171, (2018) 478-490.
59. Jurasz, J., Modeling and forecasting energy flow between national power grid and a solar-wind-pumped-hydroelectricity (PV-WT-PSH) energy source, Energy Conversion and Management, 136 (2017) 382-394.
60. Sridhar, J., Mouli, G.R.C., Bauer, P. ve Raaijen, E., Analysis of load shedding strategies for battery management in PV-based rural off-grids, 2015 IEEE Eindhoven PowerTech, Haziran 2015, Eindhoven, 1-6.
61. Wu, H., Pratt, A. ve Chakraborty, S., Stochastic optimal scheduling of residential applications with renewable energy sources Power & Energy Society General Meeting, Temmuz 2015, Denver, 1-5.
62. Byrne, R.H., Nguyen, T.A., Copp, D.A., Chalamala, B.R. ve Gyuk, I., Energy Management and Optimization Methods for Grid Energy Storage Systems, IEEE Access, 6, (2018) 13231-13260.
63. Bevrani, H., Ghosh, A. ve Ledwich, G., Renewable energy sources and frequency regulation: survey and new perspectives, IET Renewable Power Generation, 4, 5 (2010) 438-457.
64. Dragičević, T., Lu, X. Vasquez, J.C. ve Guerrero, J.M., DC microgrids Part I: A review of control strategies and stabilization techniques, IEEE Transactions on Power Electronics, 31, 7 (2016) 4876-4891.
65. Ouammi, A. Dagdougui, H. ve Sacile, R., Optimal Control of Power Flows and Energy Local Storages in a Network of Microgrids Modeled as a System of Systems, IEEE Transactions on Control Systems Technology, 23, 1 (2015) 128-138.
66. Mishra, A. Irwin, D. Shenoy, P. Kurose, J. ve Zhu, T., SmartCharge: Cutting the electricity bill in smart homes with energy storage, 2012 Third International Conference on Future Systems: Where Energy, Computing and Communication Meet (e-Energy), Mayıs 2012, Madrid, 1-10.
67. Mishra, A., Irwin, D., Shenoy, P., and Zhu, T., Scaling Distributed Energy Storage for Grid Peak Reduction”, 2013 Proceedings of the fourth international conference on Future energy systems (e-Energy), Mayıs 2013, California, 3-14.

68. Hu, R.L., Skorupski, R., Entriken, R. ve Ye, Y., A Mathematical Formulation for Optimal Load Shifting of Electricity Demand for the Smart Grid, IEEE Transactions on Big Data, (2016) 1-1.
69. Zhang, Y., Zeng, P., Li, S., Zang, C., Li, H., A Novel Multiobjective Optimization Algorithm for Home Energy Management System in Smart Grid Mathematical Problems in Engineering, (2015) 1-19.
70. Yu, T., Kim D.S. ve Son, S.Y., Optimization of scheduling for home applications in conjunction with renewable and energy storage resources, International Journal of Smart Home, 7,4 (2013) 261-272.
71. Liu, C., Chau, K.T., Wu, D. ve Gao, S., Opportunities and challenges of vehicle-to-home, vehicle-to-vehicle, and vehicle-to-grid technologies, Proc. IEEE, 101, 11 (2013) 2409–2427.
72. Ostadi, A. ve Kazerani, M., Optimal Sizing of the Battery Unit in a Plug-in Electric Vehicle, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 63, 7 (2014) 3077-3084.
73. Tushar, M.H.K., Assi, C. Ve Maier, M., Distributed real-time electricity allocation mechanism for large residential microgrid, IEEE Transaction on Smart Grid, 6, 3 (2015) 1353-1363.
74. Dubey, A. ve Santoso, S., Electric vehicle charging on residential distribution systems: Impacts and mitigations, IEEE Access, 3, (2015) 1871-1893.
75. Richardson, D.B., Electric vehicles and the electric grid: A review of modeling approaches, Impacts, and renewable energy integration, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 19 (2013) 247-254.
76. Thomas, D., Deblecker, O., Ioakimidis, C.S., Optimal design and techno-economic analysis of an autonomous small isolated microgrid aiming at high RES penetration, Energy, 116 (2016) 364-379.
77. Monteiro, V., Pinto, J. G. ve Afonso, J. L., Operation Modes for the Electric Vehicle in Smart Grids and Smart Homes: Present and Proposed Modes, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 65, 3 (2016) 1007-1020.
78. Deilami, S., Masoum, A.S. Moses, P.S. Ve Masoum, M.A.S., Real-time coordination of plug-in electric vehicle charging in smart grids to minimize power losses and improve voltage profile, IEEE Transaction on Smart Grid, 2, 3 (2011) 456-467.

79. Yılmaz, M. ve Krein, P.T., Review of the impact of vehicle-to-grid technologies on distribution systems and utility interfaces, IEEE Transactions on Power Electronics, 28 (2013) 5673-5689.
80. Ito, A., Kawashima, A., Suzuki, T., Inagaki, S., Yamaguchi, T. ve Zhou, Z., Model Predictive Charging Control of In-Vehicle Batteries for Home Energy Management Based on Vehicle State Prediction, IEEE Transactions on Control Systems Technology, 26, 1 (2018) 51-64.
81. Tara, E., Shahidinejad, S., Filizadeh, S. ve Bibeau, E., Battery storage sizing in a retrofitted plug-in hybrid electric vehicle, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 59, 6 (2010) 2786-2794.
82. Mohamed, N., Aymen, F., Mouna, B.H. ve Alassaad, S., Review on autonomous charger for EV and HEV, 2017 International Conference on Green Energy Conversion Systems (GECS), Mart 2017, Hammamet, 1-6.
83. Kumar, S ve A. Usman, A., A Review of Converter Topologies for Battery Charging Applications in Plug-in Hybrid Electric Vehicles, 2018 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting (IAS), Ekim 2018, Portland, 1-9.
84. Yin, H., Zhao, C., Li, M. Ma, C. ve Chow, M.Y., A Game Theory Approach to Energy Management of An Engine-Generator/Battery/Ultracapacitor Hybrid Energy System, IEEE Trans. Ind. Electron., 63, 7 (2016) 4266-4277.
85. Castaings, A., Lhomme, W., Trigui, R. ve Bouscayrol, A., Comparison of energy management strategies of a battery/supercapacitors system for electric vehicle under real-time constraints, Applied Energy, 163 (2016) 190-200.
86. Kim, B.G., Ren, S., Schaar, V.D.M. ve Lee, J.W., Bidirectional energy trading for residential load scheduling and electric vehicles, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 12, 11(2013) 595-599.
87. Shakeri, M., Shayestegan, M., Abunima, H., Reza, S.S., Akhtaruzzaman, M., Alamoud, A., Sopian, K. ve Amin, N., An intelligent system architecture in home energy management systems (HEMS) for efficient demand response in smart grid, Energy and Buildings, 138 (2017) 154-163.
88. Joo, I.Y. ve Choi, D.H., Distributed optimization framework for energy management of multiple smart homes with distributed energy resources, IEEE Access: Practical Innovations, Open Solutions, 5 (2017) 15551-15560.

89. Miguel, P., Neves, L., ve Martins, A. G. Methodology to simulate the impact of a large deployment of a residential energy management system in the electricity grid. Electric Power Systems Research, 116 (2014), 399-407.
90. Chen, C., Wang, J., Heo, Y. ve Kishore, S., Mpc-based appliance scheduling for residential building energy management controller, IEEE Transactions on Smart Grid, 4, 3 (2013), 1401–1410.
91. Yang, J., Liu, J., Fang, Z. ve Liu, W., Electricity scheduling strategy for home energy management system with renewable energy and battery storage: A case study, IET Renewable Power Generation, 12, 8 (2018), 639-648.
92. Agnetis, A., Pascale, G.D., Detti, P. ve Vicino, A., Load scheduling for household energy consumption optimization, IEEE Transactions on Smart Grid, 4, 4 (2013), 2364–2373.
93. Wang, J. Shi, Y. Fang, K. Zhou, Y. ve Li, Y., A Robust Optimization Strategy for Domestic Electric Water Heater Load Scheduling under Uncertainties, Applied Sciences, 7, 11 (2017) 1136.
94. Alimi, O.A. ve Ouahada, K., Smart Home Appliances Scheduling to Manage Energy Usage, 2018 IEEE 7th International Conference on Adaptive Science & Technology (ICAST), Ağustos 2018, Accra, 1-5.
95. Stokke, A. V., Doorman, G. L., ve Ericson, T., An analysis of a demand charge electricity grid tariff in the residential sector. Energy Efficiency, 3, 3 (2010) 267–282.
96. Celebi, E. ve Fuller, J. D., Time-of-Use Pricing in Electricity Markets Under Different Market Structures, IEEE Transactions on Power Systems, 27, 3 (2012) 1170-1181.
97. Park, S.C., Jin, Y.G., Song, H.Y. ve Yoon, Y.T., Designing a critical peak pricing scheme for the profit maximization objective considering price responsiveness of customers, Energy, 83 (2015) 521-531.
98. Mahmud, A.S.M.A. ve Sant, P., Real-time price savings through price suggestions for the smart grid demand response model, 2017 5th International Istanbul Smart Grid and Cities Congress and Fair (ICSG), Nisan 2017, Istanbul, 65-69.
99. Lebedev, D., Rosin, A. ve Kütt, L., Simulation of real time electricity price based Energy Management System, IECON 2016-42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Ekim 2016, Florence, 2106-2110.

100. Yousefi, M., Hajizadeh, A. ve Soltani, M., Energy management strategies for smart home regarding uncertainties: State of the art, trends, and challenges, 2018 IEEE International Conference on Industrial Technology, Şubat 2018, Lyon, 1219-1225.
101. Chen, X., Wei, T. ve Hu, S., Uncertainty-Aware Household Appliance Scheduling Considering Dynamic Electricity Pricing in Smart Home, IEEE Transactions on Smart Grid, 4, 2 (2013) 932-941.
102. Harb, H., Kröpelin, J., Huchtemann, K., Müller, D., Scheduling based Energy Management Strategy for decentralized Building Energy Systems under Uncertainty Building Performance Modeling Conference Ağustos 2016, Salt Lake, 189-196.
103. Shakeri, M., Shayestegan, M., Reza, S.M.S., Yahya, I., Bais, B., Akhtaruzzaman, M., Sopian, K. ve Amin, N., Implementation of a novel home energy management system (HEMS) architecture with solar photovoltaic system as supplementary source, Renewable Energy, 125 (2018) 108-120.
104. Bortolini, M., Gamberi, M. ve Graziani, A., Technical and economic design of photovoltaic and battery energy storage system, Energy Conversion and Management, 86 (2014) 81-92.
105. Potisat, T., Tongsovit, S., Aksornkij, A. ve Mounghareon, S., To buy the system or to buy the service: the emergence of a solar service model in Thailand, Renewable Energy Focus, 21, (2017) 1-10.
106. Moghaddam, A.A, Dragicevic, T., Vasquez, J.C. ve Guerrero, J.M., Optimal utilization of microgrids supplemented with battery energy storage systems in grid support applications, IEEE International Conference on Dc Microgrids, Haziran 2015, Atlanta, 57-61.
107. Chaianong, A. ve Pharino, C., Outlook and challenges for promoting solar photovoltaic rooftops in Thailand, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 48 (2015) 356-372.
108. Mahesh, A. ve Sandhu, K.S., Optimal sizing of a PV/Wind hybrid system using pigeon inspired optimization, 2016 IEEE 7th Power India International Conference (PIICON), Kasım 2016, Bikaner, 1-6.
109. Mao, M., Zhou, L., Wang, Y. ve Chang, L., Optimal Size and Multi-objective Control of Battery Energy Storages in Distribution System with High Penetration of Distributed PV Generators, 2018 International Power Electronics Conference, Mayıs 2018, Nigata, 2505-2511.

110. Sisodiya, S. ve Kumbhar, G.B., Demand-Side Resources for Electric Energy Management, 2018 4th International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES), Şubat 2018, Chennai, 20-25.
111. Chandra, L. ve Chanana, S., Energy Management of Smart Homes with Energy Storage, Rooftop PV and Electric Vehicle, 2018 IEEE International Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS), Şubat 2018, Bhopal, 1-6.
112. Melhem, F.Y., Grunder, O. Hammoudan, Z. ve Moubayed, N., Optimization and Energy Management in Smart Home Considering Photovoltaic, Wind, and Battery Storage System With Integration of Electric Vehicles, Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering, 40, 2 (2017) 128-138.
113. Al Essa, M.J.M., Home energy management of thermostatically controlled loads and photovoltaic-battery systems, Energy, 176 (2019) 742-752.
114. Wu, X., Hu, X., Moura, S., Yin, X. ve Pickert, V., Stochastic control of smart home energy management with plug-in electric vehicle battery energy storage and photovoltaic array, Power Sources, 333 (2016) 203-212.
115. Aki, H., Wakui, T., Yokoyama, R. ve Sawada, K., Optimal management of multiple heat sources in a residential area by an energy management system, Energy, 153 (2018) 1048-1060.
116. Aktas, A., Erhan, K., Ozdemir, S. ve Ozdemir, E., Dynamic energy management for photovoltaic power system including hybrid energy storage in smart grid applications, Energy 162 (2018) 72-82.
117. Pipattanasomporn, M., Kuzlu, M. ve Rahman, S., An algorithm for intelligent home energy management and demand response analysis, IEEE Transaction on Smart Grid, 3, 4 (2012) 2166-2173.
118. Boonchuay, K. ve Chaitusaney, S., Optimal critical peak pricing scheme with consideration of marginal generation cost, 2017 ECTI-CON, Haziran 2017, Phuket, 226-229.
119. Krishna, P.N., Gupta, S.R., Shankaranarayanan, P.V., Sidharth, S. ve Sirphi, M., Fuzzy Logic Based Smart Home Energy Management System, 2018 ICCCNT, Temmuz 2018, Bangalore, 1-5.
120. Meng, K. Wang, D. Yang Dong, Z. Gao, X. Vve Zheng, Y., Distributed control of thermostatically controlled loads in distribution network with high penetration of solar PV, CSEE J Power Energy Syst, 3, 1 (2017) 53-62.

121. Şengör, İ., Erenoğlu, A.K., Erdiñç, O., Taşcıkaraoğlu, A. ve Catalão, J.P.S., Optimal Coordination of EV Charging through Aggregators under Peak Load Limitation Based DR Considering Stochasticity, 2018 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST), Eylül 2018, Sevilla, 1-6.
122. Yu, L. Jiang, T. ve Zou, Y., Online Energy Management for a Sustainable Smart Home With an HVAC Load and Random Occupancy, IEEE Transactions on Smart Grid, 10, 2 (2019) 1646-1659.
123. Latif, U., Javaid, N., Zarin, S.S., Naz, M., Jamal, A. ve Mateen, A., Cost Optimization in Home Energy Management System Using Genetic Algorithm, Bat Algorithm and Hybrid Bat Genetic Algorithm, 2018 IEEE AINA, Mayıs 2018, Krakow, 667-677.
124. Marzband, M., Alavi, H., Ghazimirsaeid, S.S., Uppal, H. ve Fernando, T., Optimal energy management system based on stochastic approach for a home microgrid with integrated responsive load demand and energy storage, Sustain. Cities Soc., 28 (2017) 256-264.
125. Patel, K. ve Khosla, A., Home energy management systems in future smart grid networks: A systematic review, 2015 1st International Conference on Next Generation Computing Technologies (NGCT), Eylül 2015, Dehradun, 479-483.
126. Kawakami, T., Yoshihisa, T., Fujita, N. ve Tsukamoto, M., A rule-based home energy management system using the rete algorithm, 2013 IEEE 2nd Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), Ekim 2013, Tokyo, 162-163.
127. Yoshihisa, T., Fujita, N. ve Tsukamoto, M., A rule generation method for electrical appliances management systems with home EoD", 2013 IEEE 2nd Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), Ekim 2012, Tokyo, 248-250.
128. Chekired, F., Mahrane, A., Samara, Z., Chikh, M. Guenounou, M., ve Meflah, A., Fuzzy logic energy management for a photovoltaic solar home, Energy Procedia, 134 (2017) 723-730.
129. Ahmed, M.S., Shareef, H., Mohamed, A., Ali, J.A. ve Mutlag, A.H., Rule base home energy management system considering residential demand response application, Applied Mechanics and Materials, 785 (2015) 526-531.
130. Boulkroune A., Hamel S., Azar A.T. ve Vaidyanathan S., Fuzzy control-based function synchronization of unknown chaotic systems with dead-zone input, Advances in Chaos Theory and Intelligent Control, 337 (2016) 699-718.

131. Ahmed, M. S., Mohamed, A., Shareef, H., Homod, R.Z. ve Ali, J.A., Artificial neural network based controller for home energy management considering demand response events, 2016 International Conference on Advances in Electrical, Electronic and Systems Engineering (ICAEEES), Kasım 2016, Putrajaya, 506-509.
132. Moon, J.W. ve Kim, J.J., ANN-based thermal control models for residential buildings, Building and Environment, 45, 7 (2010) 1612-1625.
133. Yuce, B., Rezgüi, Y. ve Mourshed, M., ANN-GA smart appliance scheduling for optimised energy management in the domestic sector, Energy Buildings, 111 (2016) 311-325.
134. Liu, Y., Yuen, C., Yu, R., Zhang, Y. ve Xie, S., Queuing-based energy consumption management for heterogeneous residential demands in smart grid, IEEE Transaction Smart Grid, 7, 3 (2016) 1650-1659.
135. Hong, Y.Y., Lin, J.K., Wu, C.P. ve Chuang, C.C., Multi-objective air-conditioning control considering fuzzy parameters using immune clonal selection programming", IEEE Transaction Smart Grid, 3, 4 (2012) 1603-1610.
136. Mohsenzadeh, A. Shariatkhah, M. ve Haghifam, M., Applying fuzzy techniques to model customer comfort in a smart home control system, 22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2013), Haziran 2013, Stockholm, 1-4.
137. Wu, Z., Zhou, S., Li, J. ve Zhang, X.P., Real-time scheduling of residential appliances via conditional risk-at-value, IEEE Transaction Smart Grid, 5, 3 (2014) 1282-1291.
138. Mohsenian-Rad, A.H. ve Leon-Garcia, A., Optimal residential load control with price prediction in real-time electricity pricing environments, IEEE Transaction on Smart Grid, 1, 2 (2010) 120-133.
139. Mohsenian-Rad, A.H., Wong, V.W.S., Jatskevich, J. ve Schober, R., Optimal and autonomous incentive-based energy consumption scheduling algorithm for smart grid, ISGT, Ocak 2010, Gaithersburg, 1-6.
140. Guo, Y., Pan, M. ve Fang, Y., Optimal power management of residential customers in the smart grid, IEEE Transaction on Parallel Distribution Systems, 23, 9 (2012) 1593-1606.
141. Tsui, K.M. ve Chan, S.C., Demand response optimization for smart home scheduling under real-time pricing, IEEE Transaction on Smart Grid, 3, 4 (2012) 1812-1821.

142. Setlhaolo, D. Xia, X. ve Zhang, J., Optimal scheduling of household appliances for demand response, Electr. Power Syst. Res., 116 (2014) 24–28.
143. Anvari-Moghaddam, A., Monsef, H. ve Rahimi-Kian, A., Optimal smart home energy management considering energy saving and a comfortable lifestyle, IEEE Transaction Smart Grid, 6, 1 (2015) 324–332.
144. Yaagoubi, N. ve Mouftah, H.T., User-aware game theoretic approach for demand management, IEEE Transaction on Smart Grid, 6, 2 (2015) 716-725.
145. Mirabbasi, D. ve Beydaghi, S., Optimal scheduling of smart home appliances considering PHEV and energy storage system, EPECS, Kasım 2015, Sharjah, 1–6.
146. Wang, Z., Yang, R. ve Wang, L., Multi-agent control system with intelligent optimization for smart and energy-efficient buildings, IECON 2010, Kasım 2010, Glendale, 1144–1149.
147. Ahmed, M.S., Mohamed, A., Khatib, T., Shareef, H., Homod, R.Z. ve Ali, J.A., Real time optimal schedule controller for home energy management system using new binary backtracking search algorithm, Energy Buildings, 138 (2017) 215-227.
148. Pedrasa, M., Spooner, E. ve MacGill, I., Robust scheduling of residential distributed energy resources using a novel energy service decisionsupport tool, ISGT 2010, Ocak 2011, Anaheim, 1–8.
149. Chen, Z., Wu, L. ve Fu, Y., Real-time price-based demand response management for residential appliances via stochastic optimization and robust optimization, IEEE Transaction on Smart Grid, 3, 4 (2012) 1822-1831.
150. Golmohamadi, H., Keypour, R., Bak-Jensen, B. ve Pillai, J.R., Optimization of household energy consumption towards day-ahead retail electricity price in home energy management systems, Sustainable Cities and Society, 47 (2019) 101468.
151. Caron, S. ve Kesidis, G., Incentive-based energy consumption scheduling algorithms for the smart grid, IEEE 1st International Conference on Smart Grid Communications, Ekim 2010, Gaithersburg, 391-396.
152. Zhu, X., Yan, J. ve Lu, N., A Graphical Performance-Based Energy Storage Capacity Sizing Method for High Solar Penetration Residential Feeders, IEEE Transactions on Smart Grid, 8, 1 (2017) 3-12.
153. Rastegar, M., Fotuhi-Firuzabad, M. ve Zareipour, H., Home energy management incorporating operational priority of appliances, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 74,1 (2016) 286-292.

154. Hu, J., Design of Residential Smart Meter System Based on Tiered Pricing for Electricity, 2015 Seventh International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, Haziran 2015, Nanchang, 362-365.
155. Du, P. ve Lu, N., Appliance commitment for household load scheduling, *Transaction on Smart Grid*, 2, 2 (2011) 411-419.
156. Wang, H., Meng, K., Luo, F., Dong, Z.Y., Verbič, G., Xu, Z. ve Wong, K.P., Demand response through smart home energy management using thermal inertia, 2013 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC), Eylül 2013, Hobart, 1-6.
157. Nguyen, D. ve Le, L., Joint optimization of electric vehicle and home energy scheduling considering user comfort preference, *Transactions on Smart Grid*, 5, 1 (2013) 188-199, 2013.
158. Sivanandam, S.N. ve Deepa, S.N., *Introduction to Genetic Algorithms*, Springer, New York, 2007.
159. Sakawa, M., *Genetic algorithms and fuzzy multiobjective optimization*, First Edition, Kluwer Academic Publishers, Boston, 2002.
160. Mirjalili, S., Mirjalili, S.M. ve Lewis, A., Grey Wolf Optimizer, *Advances in Engineering Software*, 69 (2014) 46-61.
161. Malik, M.R.S., Mohideen E.R. ve Ali, L., Weighted distance Grey wolf optimizer for global optimization problems, 2015 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC), Aralık 2015, Madurai, 1-6.
162. Guseinov, K.G., Akyar, E. ve Düzce, S.A., *Oyun Teorisi: Çatışma ve Anlaşmanın Matematiksel Modelleri*, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2010.
163. Nash, J.F., *Non-Cooperative Games*, Doktora Tezi, Princeton University, Department of Mathematics, New Jersey, 1950.
164. Doya, K., Ishii, S., Pouget, A. ve Rao, R.P.N., *Bayesian Brain: Probabilistic Approaches to Neural Coding*. MIT Press, Boston, 2011.
165. Lasaulce, S. ve Tembine, H., *Game Theory and Learning for Wireless Networks*. Academic Press, Londra, 2011.

166. Han, J., Kamber, M. ve Pei, J., Data Mining: Concepts and Techniques, Third Edition, Morgan Kaufmann Publishers, Waltham, 2012.
167. Zurada, J.M., Introduction to artificial neural systems, First Edition, West Group, 1992.
168. Haykin, S.O., Neural Networks and Learning Machines, Third Edition, Pearson, 2008.
169. Sobri, S., Koohi-Kamali, S. ve Rahim, N.A., Solar photovoltaic generation forecasting methods: A review, Conversion and Management, 156 (2018) 459-497.
170. Jung, J. ve Broadwater, R.P., Current status and future advances for wind speed and power forecasting, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 31 (2014) 762-777.
171. Tezde, E.I, Okumuş, H.I., Batarya Modelleri ve Şarj Durumu (SOC) Belirleme, EMO Bilimsel Dergi, 8 (1) 21-25.

9. EKLER

Ek-A1: 0-500W arasındaki güç talep için güç matrisi

	A	B	C	D	E	F
1	65	90	90	90	90	90
2	70	74	90	90	90	90
3	Fan	57	90	Fan	90	90

Ek-A2: 500W-800W arasındaki güç talep için güç matrisi

	A	B	C	D	E	F
1	61	84	84	84	84	84
2	69	69	84	84	84	84
3	Fan	53	84	Fan	84	84

Ek-A3: 800W-1000W arasındaki güç talep için güç matrisi

	A	B	C	D	E	F
1	56	76	76	76	76	76
2	60	64	76	76	76	76
3	Fan	50	76	Fan	76	76

Ek-B

	Periyot	EDS	EA	Çamaşır Makinası	Bulaşık Makinası	Çamaşır Kurutucu	Buzdolabı	Derin dondurucu	Fırın	Mikrodalgaya	Elektrik Süpürgesi	Saç Kurutma	Saç Düzleştirici	Ütü	Su ısıtıcı	Tost Makinası	Bilgisayar ve Yazıcı	Televizyon	Aydınlatma	Diğer	Klima	Toplam	Toplam * 0,25
1	0	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,36	0,09
2	0	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,36	0,09
3	0	0	0	0	0	0	0,1	0,06	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	3,36	0,84
4	0	0	0	0	0	0	0,1	0,06	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	3,36	0,84
5	0	0	0	0	0	0	0,1	0,06	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	3,36	0,84
6	0	0	0	0	0	0	0,1	0,06	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	3,36	0,84
7	0	0	0	0	0	0	0,1	0,06	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	3,36	0,84
8	0	0	0,8	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	1,16	0,29
9	0	0	1,8	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	2,16	0,54

10	0	0	1,8	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	2,16	0,54
11	0	0	1,8	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	2,16	0,54
12	0	0	1,8	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	2,16	0,54
13	0	0	0,4	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,76	0,19
14	0	0	0,4	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,76	0,19
15	0	0	0,4	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,76	0,19
16	0	0	0,2	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,56	0,14
17	0	0	0,8	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	1,16	0,29
18	0	0	1,8	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	2,16	0,54
19	0	0	1,8	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	2,16	0,54
20	0	0	1,8	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	2,16	0,54
21	0	0	1,8	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	2,16	0,54
22	0	0	0,4	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,76	0,19
23	0	0	0,4	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,76	0,19
24	0	0	0,4	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,76	0,19
25	0	0	0,2	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,56	0,14
26	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,36	0,09
27	0	0	0	0	3,6	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	3,96	0,99
28	0	0	0	0	3,6	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	3,96	0,99
29	0	0	0	0	3,6	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	3,96	0,99
30	0	0	0	0	3,6	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	3,96	0,99
31	0	0	0	0	3,6	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	3,96	0,99
32	0	0	0	0	3,6	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	3,96	0,99
33	0	0	0	0	3,6	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	3,96	0,99
34	0	0	0	0	3,6	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	3,96	0,99
35	0	0	0	0	3,6	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	3,96	0,99
36	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	2,3	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	2,66	0,665
37	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	2,3	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	2,66	0,665
38	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	2,3	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	2,66	0,665
39	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	2,3	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	2,66	0,665
40	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	2,3	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	2,66	0,665
41	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	2,3	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	2,66	0,665
42	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	2,3	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	2,66	0,665
43	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	1,8	0	0	0,1	0	0,2	0	2,26	0,565
44	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	1,8	0	0	0,1	0	0,2	0	2,26	0,565
45	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	1,8	0	0	0,1	0	0,2	1,2	3,46	0,865
46	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	1,8	0	0	0,1	0	0,2	1,2	3,46	0,865
47	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	1,8	0	0	0,1	0	0,2	1,2	3,46	0,865
48	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,2	1,2	1,66	0,415	
49	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,2	1,2	1,66	0,415	
50	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	1,5	0	0	0	0	0,1	0	0,2	0	1,96	0,49
51	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	1,5	0	0	0	0	0,1	0	0,2	0	1,96	0,49
52	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,2	0	0,46	0,115
53	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	2,2	0	0,1	0	0,2	0	2,66	0,665
54	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	2,2	0	0,1	0	0,2	0	2,66	0,665

55	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,2	0	0,46	0,115	
56	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,2	1,2	1,66	0,415	
57	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0,1	0	0,2	1,2	1,79	0,4475	
58	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0,1	0	0,2	1,2	1,79	0,4475	
59	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0,1	0	0,2	0	0,59	0,1475	
60	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0,05	0	0	0	0,13	0,1	0	0,2	0	0,635	0,1588
61	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0,05	0	0	0	0,13	0,1	0	0,2	0	0,635	0,1588
62	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0,05	0	0	0	0,13	0,1	0	0,2	0	0,635	0,1588
63	0	0	0	0,6	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0	0,2	0	1,09	0,2725	
64	0	0	0	0,6	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0	0,2	0	1,09	0,2725	
65	0	0	0	1,2	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0	0,2	0	1,69	0,4225	
66	0	0	0	1,2	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0	0,2	0	1,69	0,4225	
67	0	0	0	1,2	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0	0,2	0	1,69	0,4225	
68	0	0	0	1,2	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0	0,2	0	1,69	0,4225	
69	0	0	0	1,2	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0	0,2	0	1,69	0,4225	
70	0	0	0	1,2	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0	0,2	0	1,69	0,4225	
71	0	0	0	1,2	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0	0,2	0	1,69	0,4225	
72	0	0	0	1,2	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0	0,2	0	1,69	0,4225	
73	0	0	0	1,2	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0	0,2	0	1,69	0,4225	
74	0	0	0	1,2	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0	0,2	0	1,69	0,4225	
75	0	0	0	0,4	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0	0,2	0	0,89	0,2225	
76	0	0	0	0,4	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0	0,2	0	0,89	0,2225	
77	0	0	0	0,4	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0	0,2	0	0,89	0,2225	
78	0	0	0	0,4	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,76	0,19	
79	0	0	0	0,4	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,76	0,19	
80	0	0	0	0,4	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,76	0,19	
81	0	0	0	2,2	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	2,56	0,64	
82	0	0	0	2,2	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	2,56	0,64	
83	0	0	0	2,2	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	2,56	0,64	
84	0	0	0	2,2	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	2,56	0,64	
85	0	0	0	2,2	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	2,56	0,64	
86	0	0	0	2,2	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	2,56	0,64	
87	0	0	0	2,2	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	2,56	0,64	
88	0	0	0	2,2	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	2,56	0,64	
89	0	0	0	2,2	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,2	0	2,66	0,665	
90	0	0	0	2,2	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,2	0	2,66	0,665	
91	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,2	0	0,46	0,115	
92	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,2	0	0,46	0,115	
93	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	2,5	0	0	0	0	0,2	0	2,96	0,74	
94	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	2,5	0	0	0	0	0,2	0	2,96	0,74	
95	0	0	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	2,5	0	0	0	0	0,2	0	2,96	0,74	
96	0	0,2	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	2,5	0	0	0	0	0,2	0	3,16	0,79	
97	0	0,2	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	2,5	0	0	0	0	0,2	0	3,16	0,79	
98	0	0,2	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,2	0	0,66	0,165	
99	0	0,2	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,2	0	0,66	0,165	

100	0	0,2	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,2	0	0,66	0,165
101	0	0,2	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,2	0	0,66	0,165
102	0	0,2	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,2	0	0,66	0,165
103	0	0,2	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,56	0,14
104	0	0,2	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,56	0,14
105	0	0,2	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,56	0,14
106	0	0,2	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,56	0,14
107	0	0,2	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,56	0,14
108	0	3	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	3,36	0,84
109	0	3	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	3,36	0,84
110	0	3	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	3,36	0,84
111	0	3	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	3,36	0,84
112	0	3	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	3,36	0,84
113	0	3	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	3,36	0,84
114	0	3	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	3,36	0,84
115	0	3	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	3,36	0,84
116	0	3	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	3,36	0,84
117	0	3	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	3,36	0,84
118	0	3	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	3,36	0,84
119	0	3	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	3,36	0,84
120	0	3	0	0	0	0,1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	3,36	0,84

Ek-C

Time	Hz	V _{rm} s	V _{th} d	V _c f	P _{st}	Arm s	A _{th} d	Ac f	W	VAR	VA	PF	DPF
	Hz	V	%			A	%		W	VAR	VA		
16:09:45	49,96	56,9	2,4	1,4	0	2,1	9,2	1,4	108,43	52,38	120,94	0,90	0,90
16:09:55	49,97	57	2,5	1,4	0	2,1	9,2	1,4	108,40	52,11	120,85	0,90	0,90
16:10:05	49,98	54,9	2,5	1,4	0	10,3	9,1	1,4	398,40	53,60	563,10	0,71	0,67
16:10:15	49,99	51,4	2	1,4	0	16,5	2	1,4	847,34	40,67	848,36	1,00	1,00
16:10:25	49,99	51,3	2	1,4	0	16,5	1,9	1,4	845,57	40,41	846,58	1,00	1,00
16:10:35	49,97	51,4	2	1,4	0,1	16,5	1,8	1,4	846,74	40,52	847,75	1,00	1,00
16:10:45	49,96	51,4	2	1,4	0,1	16,5	1,9	1,4	846,88	40,25	847,90	1,00	1,00
16:10:55	50	55	2,1	1,4	0	5,6	3,1	1,4	306,42	46,18	310,08	0,99	0,99
16:11:05	49,96	53,5	2	1,4	0,1	9,9	2,8	1,4	527,00	68,02	531,56	0,99	0,99
16:11:15	49,97	53,5	2	1,4	0,1	9,9	2,8	1,4	528,20	68,26	532,74	0,99	0,99
16:11:25	49,98	53,4	2	1,4	0,1	9,9	2,8	1,4	525,42	67,21	529,89	0,99	0,99
16:11:35	49,97	53,4	2	1,4	0,1	9,9	2,8	1,4	525,58	67,57	530,06	0,99	0,99
16:11:45	49,98	53,5	2	1,4	0,1	9,9	2,7	1,4	208,04	76,08	222,50	0,94	0,92
16:11:55	50	55,8	2,2	1,4	0,1	3,9	6,5	1,5	205,58	75,02	219,23	0,94	0,94
16:12:05	49,99	55,8	2,2	1,4	0,1	3,9	6,5	1,5	205,60	74,79	219,20	0,94	0,94
16:12:15	49,95	52,3	1,8	1,4	0,1	11,6	2,1	1,4	600,97	42,45	602,50	0,91	0,86
16:12:25	50,01	55	1,9	1,4	0,1	5,7	4,4	1,4	306,03	72,23	314,79	0,97	0,97
16:12:35	49,97	54,6	2	1,4	0,1	7,3	4,1	1,5	526,65	64,44	530,97	0,99	0,99
16:12:45	49,98	53,5	2	1,4	0,1	9,9	2,7	1,4	526,95	66,52	531,27	0,99	0,99
16:12:55	50	53,5	2	1,4	0,1	9,9	2,7	1,4	525,93	66,49	530,24	0,99	0,99

16:13:05	49,97	53,4	2	1,4	0,1	9,9	2,6	1,4	525,33	66,60	529,64	0,99	0,99
16:13:15	49,97	55,2	2	1,4	0,1	6	2,7	1,5	205,63	73,83	218,94	0,94	0,94
16:13:25	49,96	55,7	2,1	1,4	0,1	3,9	6,5	1,5	204,49	73,42	217,69	0,94	0,94
16:13:35	49,97	55,7	2,1	1,4	0	3,9	6,4	1,5	204,36	73,39	217,52	0,94	0,94
16:13:45	49,96	55,7	2,1	1,4	0	3,9	6,4	1,4	203,61	72,91	216,67	0,94	0,94
16:13:55	49,94	52,4	1,9	1,4	0,1	11,5	1,9	1,4	600,23	42,35	601,77	0,99	0,99
16:14:05	49,97	56,8	2,3	1,4	0	2,1	8,9	1,4	106,76	47,99	118,20	0,90	0,91
16:14:15	49,97	49,9	1,7	1,4	0	20,2	2,2	1,4	1003,16	58,38	1005,25	1,00	1,00
16:14:25	49,96	50,1	1,7	1,4	0	20	1,9	1,4	1000,67	58,10	1002,47	1,00	1,00
16:14:35	49,99	50	1,7	1,4	0,4	20	1,9	1,4	997,46	58,42	999,26	1,00	1,00
16:14:45	49,98	50,1	1,7	1,4	0,4	20	1,8	1,4	998,78	57,96	1000,57	1,00	1,00
16:14:55	49,98	50,1	1,7	1,4	0,4	20	1,9	1,4	998,33	58,78	1000,12	1,00	1,00
16:15:05	49,98	50,1	1,7	1,4	0,4	20	1,8	1,4	999,79	58,30	1001,58	1,00	1,00
16:15:15	49,97	50,1	1,7	1,4	0,4	20	1,9	1,4	996,78	58,20	998,55	1,00	1,00
16:15:25	49,96	50	1,7	1,4	0,4	19,9	1,9	1,4	995,70	57,75	997,48	1,00	1,00
16:15:35	49,97	50,1	1,7	1,4	0	20	1,9	1,4	999,45	57,72	1001,23	1,00	1,00
16:15:45	49,97	52,7	1,8	1,4	0	13,2	1,8	1,4	653,42	65,44	656,73	1,00	1,00
16:15:55	49,98	52,9	2	1,4	0	12,4	2,3	1,4	653,16	64,46	656,46	1,00	1,00
16:16:05	49,99	52,9	2	1,4	0	12,4	2,2	1,4	653,70	64,17	657,00	1,00	1,00
16:16:15	49,97	52,7	1,9	1,4	0	12,4	2,3	1,4	648,40	64,01	651,66	1,00	1,00
16:16:25	49,97	52,7	2	1,4	0	12,4	2,3	1,4	648,70	63,93	651,96	1,00	1,00
16:16:35	49,96	52,7	1,9	1,4	0	12,4	2,2	1,4	649,23	63,42	652,48	1,00	1,00
16:16:45	49,96	52,7	2	1,4	0	12,4	2,2	1,4	649,66	63,97	652,92	1,00	1,00
16:16:55	49,96	53,4	2	1,4	0	10,9	2,2	1,4	581,51	42,70	583,15	1,00	1,00
16:17:05	49,96	53,4	2,1	1,4	0	10,9	2,2	1,4	579,78	42,86	581,42	1,00	1,00
16:17:15	50	51,1	1,9	1,4	0	17,5	1,8	1,4	889,77	60,35	891,85	1,00	1,00
16:17:25	49,97	51	1,8	1,4	0	17,4	1,8	1,4	885,63	59,83	887,70	1,00	1,00
16:17:35	49,97	51	1,8	1,4	0	17,4	1,8	1,4	884,81	59,62	886,88	1,00	1,00
16:17:45	49,96	54,1	2	1,4	0	8	3,3	1,4	426,16	66,59	431,55	0,99	0,99
16:17:55	49,98	54,3	2,1	1,4	0	8	3,2	1,4	429,17	67,07	434,61	0,99	0,99
16:18:05	50	53,8	2	1,4	0,1	9,2	2,9	1,4	489,66	66,67	494,37	0,99	0,99
16:18:15	49,99	53,7	2	1,4	0,1	9,2	2,9	1,4	487,92	66,21	492,59	0,99	0,99
16:18:25	49,99	56,1	2,3	1,4	0	2,3	8,2	1,4	113,52	48,75	123,98	0,92	0,92
16:18:35	50	53,6	2,6	1,4	0	10,6	35	1,4	678,64	42,95	680,07	1,00	1,00
16:18:45	49,99	51,9	2,1	1,4	0	13	2,1	1,4	670,64	41,35	671,96	1,00	1,00
16:18:55	50,01	56,2	2,2	1,4	0	2,2	8,9	1,4	113,63	48,96	124,18	0,97	0,97
16:19:05	49,98	54,2	2,1	1,4	0	8	3,2	1,4	427,53	66,92	432,93	0,99	0,99
16:19:15	49,98	53,8	2	1,4	0,1	9,2	2,9	1,4	489,93	67,14	494,64	0,99	0,99
16:19:25	50	53,8	2	1,4	0,1	9,2	2,9	1,4	490,00	66,70	494,69	0,99	0,99
16:19:35	49,98	56,4	2,2	1,4	0	2,6	7	1,4	138,73	47,95	147,12	0,94	0,95
16:19:45	49,97	56,4	2,2	1,4	0	2,6	7	1,4	138,84	48,05	147,24	0,94	0,95
16:19:55	49,97	56	2,1	1,4	0	3,2	7,9	1,4	164,13	74,54	180,73	0,91	0,91
16:20:05	49,98	56,1	2,1	1,4	0	3,2	7,9	1,5	164,47	74,41	181,05	0,91	0,91
16:20:15	50,01	55,8	2,1	1,4	0	4,3	7,7	1,6	289,26	68,92	298,07	0,97	0,97
16:20:25	49,99	55,2	2,1	1,4	0	5,4	4,7	1,4	288,71	70,45	297,48	0,97	0,97
16:20:35	49,98	54	2	1,4	0	7,9	9,7	1,4	426,48	67,01	431,86	0,99	0,99
16:20:45	49,97	54,2	2	1,4	0	8	3,2	1,4	427,98	67,27	433,42	0,99	0,99
16:20:55	49,97	54,1	1,9	1,4	0	8	3,2	1,4	427,28	66,91	432,69	0,99	0,99
16:21:05	49,97	54,2	2,1	1,4	0	8	3,3	1,4	427,59	66,98	433,02	0,99	0,99
16:21:15	49,97	54,1	2	1,4	0	8	3,2	1,4	426,78	66,83	432,18	0,99	0,99
16:21:25	49,98	54,1	2	1,4	0	8	3,1	1,4	425,94	66,60	431,32	0,99	0,99

16:21:35	49,97	54,1	1,9	1,4	0	8	3,3	1,4	426,14	66,78	431,52	0,99	0,99
16:21:45	49,96	54,2	2	1,4	0	8	3,3	1,4	427,47	67,00	432,88	0,99	0,99
16:21:55	49,98	54,3	2,1	1,4	0	8	3,2	1,4	429,11	67,37	434,55	0,99	0,99
16:22:05	49,98	54,2	2,1	1,4	0	8	3,2	1,4	427,53	66,92	432,93	0,99	0,99
16:22:15	49,97	55	2,1	1,4	0	4,3	6,1	1,4	223,48	72,09	235,23	0,95	0,95
16:22:25	49,97	55,1	2,2	1,4	0	4,3	6,2	1,4	223,74	71,79	235,43	0,95	0,95
16:22:35	49,98	55	2,1	1,4	0	4,3	6,2	1,4	223,08	71,23	234,62	0,95	0,95
16:22:45	49,97	55	2,2	1,4	0	3,8	6,6	1,5	198,53	70,94	211,23	0,94	0,94
16:22:55	49,96	55	2,1	1,4	0	3,8	6,7	1,5	198,58	70,85	211,26	0,94	0,94
16:23:05	49,97	55	2,1	1,4	0	3,8	6,7	1,5	198,58	70,67	211,22	0,94	0,94
16:23:15	49,99	52,5	2,1	1,4	0	12,3	2,4	1,4	644,78	64,02	648,07	1,00	1,00
16:23:25	50	52,6	2	1,4	0	12,4	2,4	1,4	647,04	63,44	650,32	1,00	1,00
16:23:35	49,99	52,5	2	1,4	0,2	12,3	2,5	1,4	643,63	63,52	646,89	1,00	1,00
16:23:45	50	52,5	2	1,4	0,2	12,3	2,5	1,4	644,49	63,21	647,73	1,00	1,00
16:23:55	49,98	52,4	2	1,4	0,2	12,3	2,4	1,4	640,13	62,28	643,35	1,00	1,00
16:24:05	50	52,5	2,1	1,4	0,2	12,3	2,4	1,4	644,90	63,27	648,15	1,00	1,00
16:24:15	49,99	52,5	2,1	1,4	0,2	12,3	2,4	1,4	643,48	63,99	646,69	1,00	1,00
16:24:25	49,98	52,5	2,1	1,4	0,2	12,3	2,4	1,4	642,37	63,45	645,56	1,00	1,00
16:24:35	49,97	52	2	1,4	0	12,6	2,6	1,4	653,65	63,68	656,88	1,00	1,00
16:24:45	49,99	52,1	2	1,4	0,1	12,6	2,4	1,4	653,32	63,70	656,55	1,00	1,00
16:24:55	49,98	56,2	2,2	1,4	0	2,2	8,9	1,4	113,63	48,96	124,18	0,92	0,93
16:25:05	49,98	56,2	2,3	1,4	0	2,2	8,9	1,4	113,14	48,59	123,59	0,99	0,99
16:25:15	49,91	55	2,1	1,4	0,1	7	3,6	1,4	742,85	39,27	743,95	1,00	1,00
16:25:25	49,98	52	1,9	1,4	0,1	14,3	1,8	1,4	743,53	39,84	744,64	1,00	1,00
16:25:35	49,99	52	1,9	1,4	0,1	14,3	1,8	1,4	742,36	40,08	743,47	1,00	1,00
16:25:45	49,98	51,8	1,9	1,4	0,2	15,1	1,9	1,4	780,93	39,49	781,97	1,00	1,00
16:25:55	49,98	51,8	1,9	1,4	0,2	15,1	1,8	1,4	782,29	39,28	783,34	1,00	1,00
16:26:05	49,96	56	2	1,4	0	3,2	7,8	1,5	164,01	74,33	180,53	0,89	0,89
16:26:15	49,97	56,1	2,1	1,4	0	3,2	7,9	1,5	164,48	74,39	181,03	0,99	0,99
16:26:25	49,97	56	2	1,4	0	3,2	7,9	1,5	164,31	74,56	180,98	0,99	0,99
16:26:35	49,97	56	2,1	1,4	0	3,2	7,9	1,5	163,65	74,18	180,15	0,99	0,99
16:26:45	49,99	56,3	2,3	1,4	0	2,6	7,1	1,4	138,88	46,26	147,25	0,99	0,99
16:26:55	49,99	56,4	2,3	1,4	0	2,6	7	1,4	139,27	47,98	147,70	0,99	0,99
16:27:05	49,97	56,4	2,3	1,4	0	2,6	7	1,4	138,86	47,93	147,25	0,99	0,99
16:27:15	49,98	56,4	2,2	1,4	0	2,6	7,1	1,4	138,91	48,05	147,29	0,99	0,99
16:27:25	49,98	56,4	2,2	1,4	0	2,6	7	1,4	139,19	47,98	147,61	0,99	0,99
16:27:35	49,99	51,4	1,9	1,4	0,1	16,4	1,7	1,4	843,17	37,26	844,10	1,00	1,00
16:27:45	49,97	51,3	1,9	1,4	0	16,4	1,8	1,4	838,15	39,34	839,09	1,00	1,00
16:27:55	49,99	51,5	1,9	1,4	0	16,4	1,8	1,4	845,14	39,39	846,09	1,00	1,00
16:28:05	50	51,5	1,9	1,4	0	16,4	1,8	1,4	846,55	38,87	847,51	1,00	1,00
16:28:15	50,02	51,6	1,9	1,4	0	16,4	1,8	1,4	847,32	39,05	848,28	1,00	1,00
16:28:25	50	51,4	1,7	1,4	0	16,4	1,7	1,4	842,89	38,85	843,84	1,00	1,00
16:28:35	49,99	51,5	1,9	1,4	0	16,4	1,8	1,4	845,20	39,43	846,16	1,00	1,00
16:28:45	50	51,5	1,7	1,4	0	16,4	1,7	1,4	842,02	39,38	842,98	1,00	1,00
16:28:55	50	51,5	1,7	1,4	0	16,4	1,7	1,4	845,04	39,34	846,00	1,00	1,00
16:29:05	49,99	51,4	1,7	1,4	0	16,4	1,7	1,4	843,32	39,49	844,28	1,00	1,00
16:29:15	49,97	51,4	1,8	1,4	0	16,4	1,7	1,4	842,56	39,35	843,53	1,00	1,00
16:29:25	49,98	51,5	1,7	1,4	0	16,4	1,7	1,4	844,21	39,22	845,18	1,00	1,00
16:29:35	49,99	51,5	1,8	1,4	0	16,4	1,8	1,4	842,90	39,59	843,86	1,00	1,00

ÖZGEÇMİŞ

Efe İsa TEZDE, 05.11.1983 tarihinde Aydın iline bağlı Karacasu ilçesinde doğdu. İlköğretim ve ortaöğretimini Karacasu'da tamamladı. 2007 yılında Pamukkale Üniversitesi Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Bölümünden mezun oldu. 2011 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisansını tamamladı. 2014 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünü tamamladı. 2013 yılından itibaren Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora eğitimini devam ettirmektedir. Aynı zamanda 2009 yılından itibaren Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmalarını sürdürmektedir. Yabancı dil olarak iyi derece İngilizce bilmektedir.

SCI/SCI-E indekslerine giren dergilerde yayınlanan makaleler

- Tezde E.I., Okumuş H.I., Savran I., "Two-Stage Energy Management of Multiple Smart Homes With Distributed Generation and Storage", Electronics, 8(5), 2019.

Hakemli konferans/sempozyumların bilkitaplarında yer alan yayınlar

- Tezde E.İ., Okumuş H.İ., Gürünlü C., "Çift Yönlü DA-DA Dönüştürücü Tasarımı ve Kontrolü", ELECO 2018, Elektrik-Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı, Bursa, TÜRKİYE, 30 Kasım-1 Aralık 2018, pp.363-368.
- Tezde E.I., Demir M.M., Gürel F., Okumuş H.I., Kahveci H., "Two-Stage Power Converter Design and Control for Renewable Energy Systems", 18th International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC), Budapeşte, MACARISTAN, 26-30 Ağustos 2018, pp.457-462.
- Tezde E.I., Okumuş H.I., "Energy Management with Heuristic Approach in Smart Homes", 1st International Conference on Energy Systems Engineering, Karabük, TÜRKİYE, 2-4 Kasım 2017, pp.842-848.