

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TALEP TARAFI YÖNETİMİ KULLANILARAK KONUTLAR İÇİN
MERKEZİ BATARYA VEYA ELEKTRİKLİ ARAÇ BATARYASI İLE
DESTEKLENEN PV GÜÇ SİSTEMİNİN BOYUTLANDIRILMASI,
ENERJİ YÖNETİMİ VE EKONOMİK ANALİZİ**

Gül Feray SEZEN

**Danışman
Dr.Öğr.Üyesi Kıvanç BAŞARAN**



MANİSA-2020

**Gül Feray
SEZEN**

**TALEP TARAFI YÖNETİMİ KULLANILARAK KONUTLAR İÇİN MERKEZİ
BATARYA VEYA ELEKTRİKLI ARAÇ BATARYASI İLE DESTEKLENEN PV GÜÇ
SİSTEMİNİN BOYUTLANDIRILMASI, ENERJİ YÖNETİMİ VE EKONOMİK ANALİZİ**

2020

TEZ ONAYI

Gül Feray SEZEN tarafından hazırlanan "Talep Tarafı Yönetimi Kullanılarak Konutlar İçin Merkezi Batarya veya Elektrikli Araç Bataryası İle Desteklenen PV Güç Sisteminin Boyutlandırılması, Enerji Yönetimi ve Ekonomik Analizi" adlı tez çalışması 27/07/2020 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Dr.Öğr.Üyesi Kıvanç BAŞARAN

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi

Doç.Dr. Numan Sabit ÇETİN

Ege Üniversitesi

Jüri Üyesi

Dr.Öğr.Üyesi Ayşe Bilgen AKSOY

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Gül Feray SEZEN



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
TABLO DİZİNİ.....	VI
TEŞEKKÜR.....	VII
ÖZET.....	VIII
ABSTRACT.....	X
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	12
2.1. PV Sistemler.....	12
2.1.1. Şebeke Bağlantılı PV Sistemler.....	12
2.1.2. Şebeke Bağlantısız PV Sistemler.....	13
2.1.3. Hibrit PV Sistemler.....	14
2.1.4. PV Sistemlerde Üretilen Enerji Miktarının Hesaplanması.....	15
2.1.5. PV Sistemlerin Ekonomik Analizi.....	16
2.2. Talep Tarafı Yönetimi.....	18
2.2.1. Temel Yük Şekillendirme Teknikleri.....	19
2.2.2. Yük Kaydırma Tekniği.....	20
2.3. Merkezi Enerji Depolama Sistemi.....	21
2.3.1. Batarya Tipleri ve Doğru Batarya Tipinin Seçilmesi.....	22
2.3.2. Enerji Depolama Sistemi Tasarlarken Dikkat Edilmesi Gerekenler.....	27
2.4. Araç Aküsünün Konut Elektrik Tesisine Entegrasyonu (V2G Teknolojisi).....	28
2.4.1. V2G Teknolojisinin Faydaları.....	30
2.4.2. Batarya Kapasitesinin Belirlenmesi.....	32
2.5. Enerji Yönetim Sistemi.....	34
2.5.1. Lityum İyon Batarya Yönetim Sistemi.....	38
2.5.2. Bataryalarda Şarj Durumu, Deşarj Derinliği ve Kapasite.....	41
2.5.3. Batarya Yönetim Sistemi Türleri.....	42
2.5.4. Batarya Yönetim Sistemi Fonksiyonları.....	45
2.6. Enerji Yükü Tahminlemesi.....	46
2.6.1. Elektrik Yükü Tahmin Yöntemleri.....	47
A. Çoklu Regresyon Metodu.....	47
B. Üstel Yumuşatma Yöntemi.....	47
C. Yinelemeli Olarak Yeniden Ağırlıklandırılmış En Küçük Kareler Yöntemi.....	48
D. Uyarlamalı Yük Tahmini.....	48
E. Zaman Serileri Analizi.....	48
F. Bulanık Mantık.....	48
G. Yapay Sinir Ağları.....	49
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	50
3.1. Materyal.....	50
3.1.1. Yük Tahmini İçin Veri Seti.....	50
3.1.2. Sistem Boyutlandırması İçin Veri Seti.....	51
3.2. Yöntemler.....	52
3.2.1. Kısa Dönem Yük Tahmini.....	52

3.2.2. Önerilen Talep Tarafı Yönetimi ve Enerji Yönetimi.....	54
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	59
4.1. Kısa Dönem Yük Tahmini Sonuçları	59
4.2. Kısa Dönem Yük Tahmini İçin Performans Değerlendirmesi Sonuçları.....	61
4.3. PV Sistem Tasarımı ve Boyutlandırması	64
4.4. PV Sistemin Ekonomik Analizi	69
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	72
KAYNAKLAR.....	74
ÖZGEÇMİŞ	77



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CO₂	Karbondioksit
PV	Fotovoltaik
DC	Doğru Akım
AC	Alternatif Akım
I_T	PV panel yüzeyi tarafından alınan ışınım miktarı
I_b	Direkt ışınım
I_d	Yayılı ışınım
R_d	Yayılı ışın eğim faktörü
R_r	Yansıtılan ışınların eğim faktörü
A_{PV}	PV panel yüzey alanı
P_{Si}	PV panel saatlik güç üretimi
η	PV sistem verimliliği
η_m	PV modül verimliliği
η_r	PV modül referans verimliliği
η_{pc}	Güç koşullandırma verimliliği
P_f	Paketleme faktörü
β	Sıcaklık katsayısı
T_r	Hücre verimliliği için referans sıcaklığı
T_c	Aylık ortalama hücre sıcaklığı
T_a	Anlık ortam sıcaklığı
NOCT	PV hücre normal sıcaklığı
Re	Öz sermaye oranı
Rf	Yatırımın yapıldığı ülkedeki yatırım araçlarından en düşük riskli
NPV	Nakit akışlarının bugünkü değeri
NÇ_t	Yatırımın tesis ve işletme döneminde gerektirdiği yıllık net gider
LCOE	Seviyelendirilmiş enerji maliyeti
LCO	Lityum Kobalt Oksit
LMO	Lityum Manganez Oksit
NMC	Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit
NCA	Lityum Nikel Kobalt Alüminyum Oksit
LFP	Lityum Demir Fosfat
VRLA	Taşmalı Kurşun Asit ve Sübap Ayarlı Kurşun Asit

RFB	Redoks akışlı batarya
LiNMC	Lityum nikel manganez kobalt oksit
K	Yıllık kazanç
F_{dFREKANS}	Frekans düzenleme fiyatı
G_{MW}	Güç kapasitesi
YSA	Yapay Sinir Ağları



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. 1990-2017 Tarihleri Arasında Yıllara ve Sektörlere Göre Toplam Enerji Tüketimi.....	1
Şekil 1.2. Dağıtım Ağında Merkezi Batarya Sistemi.....	3
Şekil 2.1. Şebeke Bağlantılı PV Sistemler.....	13
Şekil 2.2. Şebeke Bağlantısız PV Sistemler.....	14
Şekil 2.3. Hibrit PV Sistemler.....	15
Şekil 2.4. Yük Şekillendirme Teknikleri.....	20
Şekil 2.5. Lityum-iyon Batarya Fiyatlarındaki Düşüşün Yıllara Göre Gösterimi	25
Şekil 2.6. Lityum-iyon Batarya ve Kurşun Asit Batarya C Oranı Grafiği	26
Şekil 2.7. Lityum Bazlı Batarya ile Kurşun Asit Bataryalar İçin Gerilim Karşılaştırması	27
Şekil 2.8. V2H Teknolojisinin Çalışma Şeması.....	29
Şekil 2.9. ABD elektrik şebekelerinde frekans düzenlemesi sağlayan bir elektrikli araç için 16 yıllık gelirler. ISO-NE (ISO-New England), NYISO (New York ISO), ERCOT (Teksas Elektrik Güvenilirlik Konseyi) ve CAISO (California ISO) gibi farklı bölgesel yönetmelikler için.....	31
Şekil 2.10. Mikro Şebekelerde Enerji Yönetim Sistemi Yöntemleri.....	35
Şekil 2.11. DC Micro Şebekelerin Yapısı.....	36
Şekil 2.12. AC Mikro Şebekelerin Yapısı.....	37
Şekil 2.13. Hibrit AC/DC Mikro Şebekelerin Yapısı	38
Şekil 2.14. Şarj Cihazını Kontrol Eden Batarya Yönetim Sistemi ile Şarj İşlemi	40
Şekil 2.15.Şarj Cihazını Kontrol Eden Batarya Yönetim Sistemi ile Deşarj İşlemi	41
Şekil 2.16. Merkezi Batarya Yönetim Sisteminin Blok Şeması	43
Şekil 2.17. Modüler Batarya Yönetim Sisteminin Blok Şeması.....	43
Şekil 2.18. Ana Kart-Yardımcı Kart (Master-Slave) Batarya Yönetim Sisteminin Blok Şeması	44
Şekil 2.19. Dağıtılmış Batarya Yönetim Sisteminin Blok Şeması.....	45
Şekil 3.1. İstanbul için aylık ve yıllık ortalama ışınım	52
Şekil 3.2. Yapay Sınır Ağları	53
Şekil 3.3. Enerji Yönetimi Algoritması	58
Şekil 4.1. Gerçek Yük Değeri ile Tahmin Edilen Yük Değeri Grafiği	59
Şekil 4.2. Bir aylık yük tahminini ve gerçek yük değeri.....	60
Şekil 4.3. Bir haftalık gerçek yük değeri-tahmin edilen yük değeri grafiği.....	60
Şekil 4.4. Parametre optimizasyonu yapılmamış KerasRegressor algoritmasının doğruluk ve kayıp değerleri	62
Şekil 4.5. İterasyonlar ile değişen doğruluk ve kayıp değerleri.....	63
Şekil 4.6. Geçek Yük Değerleri ve Tahmini Yük Değerleri Genel Görünümü..	63
Şekil 4.7. Önerilen PV Güç Sistemi.....	64
Şekil 4.8. Villa'nın Yıllık Elektrik Tüketimi Grafiği (Yıl 2018).....	65
Şekil 4.9. İstanbul için aylık ve yıllık PV panel güç üretimi grafiği.....	69

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Farklı Tip Bataryaların Teknik Açından Karşılaştırılması.....	24
Tablo 2.2. SOC ve DOD Değerlerinin Karşılaştırması.....	42
Tablo 3.1. Haftanın Günleri'nin Numerik Temsilleri.....	51
Tablo 3.2. İstanbul için aylık ve yıllık ortalama ışınım, sıcaklık, rüzgar hızı, bulanıklık indisi ve nem değerleri.....	51
Tablo 4.1. Uygulanan Yöntemler için Performans Sonuçları.....	62
Tablo 4.2. Aylık Pik Yük Tüketim Miktarları	66
Tablo 4.3. Yük Dağılımı Tablosu	67
Tablo 4.4. İstanbul için ışınım değerlerine göre aylık ve yıllık PV panel güç üretimi değerleri	68
Tablo 4.5 Ekonomik Analiz için Giriş Değerleri	70
Tablo 4.6 Maliyet Parametreleri	71



TEŞEKKÜR

Çalıőmamın her aşamasında bilgi ve tecrübesi ile lisansüstü öğrenim hayatımın tüm zorlu aşamalarında maddi manevi her yönden yardımcı olan, tecrübeleri ile beni aydınlatan ve desteğini hiç eksik etmeyen, kendisini tanımaktan büyük onur duyduğum sevgili danışman hocam Sayın Dr.Öğr.Üyesi KIVANÇ BAŞARAN'a, kıymetli danışman hocam Dr.Öğr.Üyesi KIVANÇ BAŞARAN aracılığıyla tanışma őansına eriőtığım desteğini hiç esirgemeyen sevgili hocam Dr.Öğr.Üyesi FATMA BOZYİĞİT'e öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan aileme, bu süreçte yanımda olan arkadaşlarıma yürekten teşekkür ederim.

Gül Feray SEZEN
Manisa, 2020



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Talep Tarafı Yönetimi Kullanılarak Konutlar İçin Merkezi Batarya veya Elektrikli Araç Bataryası İle Desteklenen PV Güç Sisteminin Boyutlandırılması, Enerji Yönetimi ve Ekonomik Analizi

Gül Feray SEZEN

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Kıvanç BAŞARAN

Akıllı şebeke ve akıllı mikro şebeke teknolojilerinin gelişmesi geleceğin elektrik güç sistemleri için önemli bir adım olmuştur. Akıllı mikro şebeke sistemlerinde yenilenebilir enerji kaynakları, enerji depolama sistemleri, talep tarafı yönetimi ve elektrikli araçların şebekeye entegrasyonu araştırma konularının temelini oluşturmaktadır. Farklı tip enerji üretim kaynakları ve depolama sistemlerinin kullanılması ve bunların elektrik şebekesine entegrasyonu ile enerji talep tarafının birlikte ele alınması akıllı kontrol ve enerji yönetim sistemlerinin geliştirilmesini zorunlu hale getirmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında özellikle rüzgâr ve güneş enerjisinin kullanımı öne çıkmaktadır. Ancak, şehir içi kurulumlu ya da küçük güçlü sistemler ele alındığında büyük ölçüde güneş enerjisinden yararlanıldığı görülmektedir. Güneş enerjisi de diğer birçok yenilenebilir enerji kaynağında olduğu gibi kesikli enerji kaynağıdır. Bu nedenle, enerji sürekliliğini sağlamak için ya üretilen enerjinin depo edilmesi ya da enerji üretiminin olmadığı zamanlarda şebeke enerjisinin kullanılması gerekmektedir. Elektrik enerjisini depolamak için çoğunlukla akümülatörler (batarya) kullanılmaktadır. Ancak hem bataryaların ömür problemi hem de maliyetleri nedeniyle özellikle şebeke bağlantılı sistemlerde kullanımı tercih edilmemektedir. Bu nedenle bataryaların şebeke bağlantılı sistemlerde ekonomik kullanımı için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalardan, şebeke elektrik enerjisinin pahalı olduğu zaman diliminde yetecek kapasitede batarya kullanımı ile merkezi batarya kullanımı öne çıkmaktadır. Merkezi batarya kullanımında da elektrik dağıtım şirketleri ile mahsuplaşmanın ya da binadaki diğer dairelerin merkezi bataryadan yararlanma ve mahsuplaşma şartlarının belirlenmesi ve bunlara ait yönetmeliklerin çıkartılması gerekmektedir. Son yıllarda elektrikli araç kullanımının hızla artması ve bu araçlarda bir dairenin bir günde ihtiyaç duyacağı batarya kapasitesinin yaklaşık 15-20 katı bataryanın kullanılması, elektrikli araçların akıllı mikro şebekelerde sadece enerji tüketen bir eleman değil aynı zamanda sisteme enerji sağlayan bir eleman olarak kullanımını da gündeme getirmiştir.

Enerjinin verimli ve etkin kullanımı büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle, akıllı mikro şebekelerde hem enerji verimli cihazların kullanımı hem de cihazların kullanım zaman aralıkları önemlidir. Binalarda kullanılan cihazların bir kısmı kullanım zamanı değiştirilemez cihazlar olarak sınıflandırılırken bir kısmı da esnek çalışma saatlerine sahip cihazlar olarak sınıflandırılmaktadır. Elektrikli cihazların

kullanım zamanlarının ve sürelerinin belirlenmesi ve yönetilmesi sürecine talep tarafı yönetimi denilmektedir. Talep tarafı yönetimi, enerjinin üretilmesi kadar önemli bir süreçtir. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı akıllı sistemlerde enerji üretim tarafı ile enerji tüketim tarafı sürekli etkileşim halindedir.

Bu tez çalışmasında, bir binanın elektrik enerjisi ihtiyacının merkezi batarya ve/veya araç bataryası destekli fotovoltaik (PV) güç sisteminden karşılanabilmesi için gerekli hesaplamalar ve simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca, incelenen bina da talep tarafı yönetimi için esnek ve sabit çalışma zamanlı cihazlar ve özellikleri belirlenerek talep tarafı yönetimi için gerekli çalışmalar yapılmıştır. Güç sisteminin boyutlandırılması için öncelikle binanın bulunduğu bölgedeki ışınım, sıcaklık gibi meteorolojik verilerin temini sağlanmıştır. Elde edilen bilgiler doğrultusunda ihtiyaç duyulacak PV sistem ve batarya boyutlandırması bir algoritma geliştirmek suretiyle yapılmıştır. Tez çalışmasının temelini geliştirilen bu algoritma ve buna bağlı olarak işleyen enerji yönetim birimi oluşturmaktadır.

Batarya destekli PV güç sisteminin optimum boyutlandırması yapıldıktan sonra sistemin ekonomik analizi yapılmıştır. Ekonomik analiz çalışmasında, literatürde en çok kabul görmüş olan seviyelendirilmiş enerji maliyeti (LCOE), net bugün ki değer (NPV) ve amortisman süresi hesaplama teknikleri kullanılmıştır.

Sonuç olarak, binanın yıllık enerji ihtiyacı 4.940,811 kWh, bu ihtiyacı karşılamak için 325 Wp gücünde 14 adet PV panel, 15 kWh kapasiteli akü kullanılması gerektiği ve sistemin seviyelendirilmiş enerji fiyatı (LCOE) 0,109094183, sistem geri ödeme süre 15 Yıl, net bugünkü değer (NPV) 34,86171052 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Talep Tarafı Yönetimi, Yük Tahmini, Merkezi Depolama Sistemi, Elektrikli Araç, V2G Teknolojisi, PV Sistem Boyutlandırma, PV Sistem Ekonomik Analizi

2020, 77 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Sizing, Energy Management and Economic Analysis Of PV Powered Micro Grid With Community Battery Or EV Battery Storage Considering Demand Response

Gül Feray SEZEN

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Energy Systems Engineering**

Supervisor: Asst.Prof.Dr. Kıvanç BAŞARAN

The development of smart grid and smart micro grid Technologies has been an important step for the electrical power systems of the future. In smart micro grid systems field, renewable energy sources, energy storage systems, demand side management and the integration of electric vehicles into the grid form the basis of the research topics. The use of different types of energy generation sources and storage systems and their integration into the electricity grid with the demand side management system, makes it imperative to develop smart control and energy management systems. Among the renewable energy source, especially the use of wind and solar energy stands out. When it comes to urban or small scale power systems, it is seen that the solar energy is used to a great extent. Solar energy is discrete energy source just like many other renewable energy sources. For this reason, when there is no energy production in the PV system it is necessary to either store the produced energy or use energy from the grid, to ensure energy continuity. To store electrical energy Accumulators (batteries) are most used technology. However, it is not preferred to use battery especially in grid-connected systems due to both battery life problems and costs. Therefore, various studies are carried out for the economical use of batteries in grid-connected systems. Among these studies, two idea stands out. One of them is the use of batteries with sufficient capacity during the time when grid electricity is expensive. Second one is central battery usage. In the use of central batteries, it is necessary to netting with electricity distribution companies, determining the usage and netting conditions of the central batter of other other apartments in the building. Also, related regulations need to be issued. In recent years, electric vehicle usage increased rapidly in the World. In electric vehicles, a battery with a capacity of about 15-20 times greater than the battery capacity that a flat will need in a day is used. This brought up the use of electric vehicles not only as an energy consuming element in smart microgrids, but also as an element that supplies energy to the system.

Efficient and effective use of energy has great importance. Therefore, both the use of energy efficient devices and the usage time intervals of devices are important in smart microgrids. While some of the electronic devices used in homes are classified as non-replaceable devices, some are classified as devices with flexible working hours. The process of determining and managing the usage hours and times

of electrical devices is called demand-side management. Demand-side management is as important process as generating electricity. For this reason, in smart systems based on renewable energy sources, the energy production side and the energy consumption side interact.

In this thesis, In this thesis study, necessary calculations and simulation studies have been made to meet the electrical energy need of a building from the central battery and / or vehicle battery supported photovoltaic (PV) power system. In addition, flexible and fixed working time devices and specifications for demand side management were determined in the examined building and necessary studies were carried out for demand side management. In order to sizing the power system, firstly, meteorological data such as radiation and temperature in the area where the building is located were provided. In line with the information obtained, the PV system and battery sizing that will be needed was made by developing an algorithm. This algorithm has been developed as the basis of the thesis work and the energy management unit that operates accordingly. After optimum dimensioning of battery backed PV power system, economic analysis of the system was made. In the economic analysis study, the most commonly accepted calculation techniques in the literature which are levelized cost of energy (LCOE), net present value (NPV) and pay back period were used.

As a result, the annual energy need of the building is 4,940,811 kWh, 14 PV panels with a power of 325 Wp and a battery of 15kWh capacity should be used to meet this need. Levelized cost of energy calculated as 0,109094183, system pay back period calculated as 15 years and Net Present Value calculated as 34,86171052.

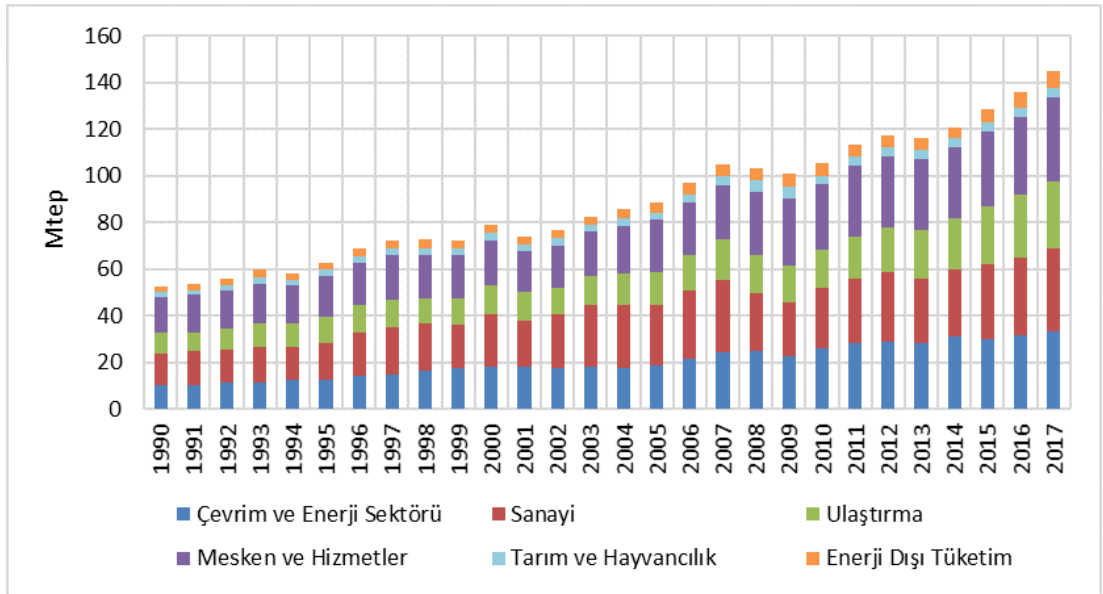
Keywords: Demand Response, Load Forecasting, Community Storage System, Electric Vehicle, V2G, PV System Sizing, Economic Analysis of PV System

2020, 77 pages

1. GİRİŞ

Hali hazırda kullandığımız enerji sistemi 20.yy'ın en büyük buluşu olarak kabul edilebilir. Ancak günümüz ihtiyaçlarını karşılayamamaktadır. Üretilen enerjinin neredeyse %8'lik kısmı üretimde kaybedilirken, %20'side aslında sadece küçük bir zaman diliminde gerçekleşen yüksek enerji talebini karşılayabilmek için üretilmektedir [1].

Konut sektörünün enerji tüketimindeki payı azımsanmayacak kadar büyüktür. Atmosfere salınan karbondioksitin (CO_2) %8,8'i konut sektöründe kullanılan enerjinin sonucunda ortaya çıkmaktadır [2]. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 2017 yılında yayımladığı "Dünya ve Türkiye Tabii Kaynaklar Görünümü" raporuna göre küresel elektrik talebinin yıllık ortalama %2,3 olmak üzere 2040 yılına kadar %80 oranında artacağı beklenmektedir. Bu raporda, 2017 yılında Türkiye'deki enerji tüketiminin sektörlere dağılımına bakıldığında, en yüksek tüketimin %24,3'lük pay ile mesken ve hizmetleri sektöründe gerçekleştiği görülürken hemen sonrasında ikinci en büyük pay olan %24,4 ile sanayi sektörü gelmektedir. %23,1 ile enerji ve çevrim sektörü, %19,6 ile ulaşım sektörü, %5,1 ile enerji dışı ve %2,9 ile tarım ve hayvancılık sektörü bunları takip etmektedir [3].



Şekil 1.1. 1990-2017 Tarihleri Arasında Yıllara ve Sektörlere Göre Toplam Enerji Tüketimi [3]

Tüm dünyada artmakta olan enerji talebi, bütün sektörlerde sürdürülebilir enerji sistemlerinin aktif olarak geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Elektrik enerjisi üretim sektöründe de sürdürülebilirliği sağlamak için yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanımı her geçen gün artan bir grafik göstererek gelişimini devam ettirmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik enerjisi üretim sistemleri içinde PV sistemlerin gelişimi öne çıkmaktadır. Toplum düzeyinde dağıtık PV (Community Level Distributed Photovoltaic) sistemlerinin teknolojik ilerlemesi, yatırım maliyetini azaltması ve çevresel faydaları sayesinde en hızlı büyüyen enerji üretim sistemi olmuştur. Topluluk düzeyinde dağıtık PV sistemler konsepti güneşten sağlanan yenilenebilir enerjinin kullanılarak birden fazla üyesine güç ve/veya finansal fayda sağlayan PV sistemler olarak tanımlanmıştır. Bu sistemler, içerisinde sistem özelinde depolama ya da merkezi enerji depolama sistemlerini barındırabilmektedir. Topluluk düzeyinde enerji üretim planlarının, bireysel küçük ölçekli üretim sistemlerine göre birçok avantajı vardır. Bu sistemler sayesinde bireylerin büyük yatırımlar yapma ihtiyacı ortadan kaldırılırken düşük maliyetli yenilenebilir enerji sağlanabilmektedir. Merkezi Enerji Depolama Sistemleri birkaç konut birimine veya birden fazla küçük ticari yüke hizmet veren transformatörün sekonder tarafına bağlı dağıtık enerji depolama alanlarıdır. Günümüzde elektrikli araç kullanımının hızla artması, PV enerji sistemlerinde ayrıca bir batarya grubunun kullanımına gerek bırakmayacak potansiyelin oluşmasına imkân sağlamaktadır. Elektrikli araç bataryaları da merkezi depolama ünitesi olarak değerlendirilebilmektedir. Elektrikli araç bataryasının bu sisteme eklenmesiyle gün ışığında üretilen fazla enerjiyi depolayan merkezi batarya akşam evlerinde araç bataryalarını şarj etmek isteyen kullanıcılar tarafından kullanılabilir. Ayrıca sisteme eklenen elektrikli araç bataryaları çift taraflı kullanılarak elektrikli araç bataryasındaki fazla enerji son kullanıcılar tarafından kullanılabilir. Şekil 1.2'de Merkezi Batarya Sisteminin şematik diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Dağıtım Ağında Merkezi Batarya Sistemi

Dong ve ark. [4] İngiltere için merkezi enerji depolama (MED) ve bireysel enerji depolama (household energy storage) için teknolojik ve ekonomik değerlendirme çalışması yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada merkezi enerji depolama sistemlerinin bireysel enerji depolama sistemlerine göre birçok avantajını tanımlamışlardır ve bir dizi kritere dayanarak merkezi enerji depolama sistemlerini analiz etmek için ajan tabanlı modelleme önermişlerdir. Sonuçlar hem bireysel enerji depolamanın hem de merkezi enerji depolamanın pik tüketim zamanlarında elektrik alımını önemli ölçüde azaltabildiğini, öz yeterliliği ve verimliliği arttırdığını böylelikle enerji tasarrufuna büyük bir katkı sağladığını göstermiştir. Ayrıca, optimum kapasitedeki merkezi enerji depolama sistemlerinin yüksek elektrik üretimi dönemlerinde PV sistemde üretilen enerjinin daha verimli kullanılmasını ve taleplere daha iyi yanıt verilmesini sağladığı sonucuna ulaşmışlardır. Ancak, merkezi enerji depolama sistemini ortaklaşa kullanan paydaşlara ortağı oldukları PV elektrik üretim sisteminde üretilen enerjinin eşit olarak dağıtılmasının zor olduğunu belirlemişlerdir. Schram ve ark. [5] emisyonun azaltılması ve ekonomik kazanç arasında bir ödünleşim ilişkisi olduğunu yani biri iyileşirken diğ erinin kötüleştiğini emisyon azaldıkça ekonomik kazancın da azalmakta, emisyon arttıkça ekonomik kazancında da artmakta olduğunu söylemiş ve PV elektrik üretim kapasiteli sisteme sahip bir mahallede merkezi enerji depolama sisteminin kullanıldığı durumda bu ödünleşimin belirlenmesi için Pareto

optimizasyonunu önermişlerdir. Yaptıkları çalışmanın sonuçları, bataryasız ya da bireysel enerji depolamalı PV sitemlere kıyasla merkezi enerji depolamalı sistemlerin hem maliyeti hem de emisyonu aynı anda azaltılabileceğini göstermiştir. Dolayısıyla, akü verimliliğinin aynı anda maliyetleri ve emisyonu azaltmak için önemli bir belirleyici faktör olduğu anlaşılmıştır. Dong [6], yapmış olduğu araştırma da bir grup kişi tarafından paylaşımlı olarak kullanılan merkezi depolama sisteminde, bireysel enerji depolama seçeneğine göre ortalama kullanım oranının daha düşük olmasına ve böylece daha az şarj/deşarj olduğundan bakım maliyetlerini olumlu yönde etkilediğine değinmiştir. Van der Stelt ve ark. [7] yaptıkları çalışmada, hem bireysel enerji depolama hem de merkezi enerji depolama sistemlerinin ekonomik fizibilitesini belirlemişlerdir. Her iki sistem içinde birden fazla batarya tipi ile modelleme yapılmıştır. Her iki senaryoda da konutların şebekeden aldıkları enerjinin maliyetini en aza indirmek amaçlanmıştır. Çalışmalarında Hollanda Breda'daki dağıtım sistemi operatörü Enexis tarafından başlatılan bir pilot projede 39 hanenin gerçek talep ve PV üretim profillerinden elde edilen veriler sayısal analiz için kullanılmıştır. Sonuçlar mevcut yatırım maliyetleri altında, her iki depolama sisteminin de haneler için ekonomik olarak mümkün olmadığını göstermiştir. Ancak bu depolama sistemlerinin en verimli kullanım şeklinin öz tüketimi arttırmak için kullanılması olduğu da belirlenmiştir. Barbour ve ark.'nın [8] çalışmasında Cambridge' de belirlenmiş konutların 15 dakikalık elektrik tüketimi varsayımsal olarak belirlemişler ve bu konutları gerçek konumlarına göre komşu topluluklar halinde gruplandırılmışlardır. Daha sonra bu konutlar için bireysel enerji depolama sistemi kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar ile merkezi enerji depolama sistemi kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar veri odaklı yaklaşım kullanılarak karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, varsayılan koşullar altında merkezi enerji depolamanın; toplam depolama alanını azaltmak, depolama sistemi sayısını ve maliyetini azaltmak, toplam PV gücünü azaltmak ve toplulukların öz yeterliliklerinin arttırılması gibi birçok avantajı olduğunu göstermişlerdir. Merkezi enerji depolama sistemlerinin iç kararlılık oranının, bireysel enerji depolama sistemlerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca, iç karlılık oranı bu sisteme katılan PV arttıkça artış göstermiştir. Sardi ve ark. [9] yaptıkları çalışmada mevcut bir topluluk düzeyinde çatı tipi PV sisteme, merkezi enerji depolama sistemi entegrasyonu için yeni bir bakış açısı oluşturmuşlardır. Bu bakış açısı, ağ performansını arttırmak için merkezi enerji depolama sistemi entegrasyonunun üç önemli parametresini ele

almaktadır. Bu parametreler konum, boyut ve operasyonel özelliklerdir. İlk olarak, enerji kaybını en aza indirmek için merkezi enerji depolama sisteminin yerini belirlemede ağırlık merkezi teorisi temelinde basit bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Sonrasında, merkezi enerji depolama sisteminin optimal kapasitesini belirlemek ve istenen yıllık yük faktörüne ulaşmak, saatlik sevk stratejisini tanımlamak için yükü takip eden bir kontrol yöntemine dayanan analitik bir formülasyon sunmuşlardır. Son olarak, günlük yük profilini hafifletmek ve gerilim profilini iyileştirmek için merkezi enerji depolama sisteminin optimal operasyonel özelliklerini belirleyen bir teknik önermişlerdir. Sayısal sonuçlar, önerilen bu yöntemin yük faktörünü maksimum 0,76'ya getirebildiğini göstermiştir. Buradaki merkezi enerji depolama sisteminin ve PV sisteminin katkısı sırasıyla %22 ve %5'tir, enerji kaybı %24,21 azalırken gerilim profili yükselmiştir. Ayrıca bu çalışmanın sonuçları merkezi enerji depolama sisteminin bu %22'lik katkısının şebekeden satın alınan yıllık enerji maliyetini %11,1 ve yıllık enerji kaybı maliyetini %36,88 azaltabildiğini göstermektedir. Parra ve ark.'nın [10] çalışmasında merkezi enerji depolamanın daha geniş bir enerji sistemi oluşturmadaki potansiyel rolüne ve zorluklarına odaklanarak disiplinler arası bir inceleme yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda, merkezi enerji depolama sistemlerinin PV kullanımının artırılmasında yeni fırsatlar sunacağı öngörülmüştür. Tek konutta enerji depolamaya kıyasla teknik ve ekonomik olarak daha faydalı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Sardi ve ark. [11] PV sisteme birden fazla merkezi enerji depolama sisteminin optimal bir şekilde yerleştirilmesi için bir strateji önermektedirler. Bu stratejinin ana katkısı olarak, merkezi enerji depolamanın enerji arbitrajı, enerji kaybını azaltma, gerilim kontrolü, geçici kararlılık hizmetleri, emisyon azaltma gibi tüm olası faydalarının ve maliyetlerinin dikkate alınması olduğunu öne sürülmüşlerdir. PV katılımının, yük modellerinin ve kullanılan merkezi batarya ünitelerinin sayılarının merkezi enerji depolama sistemi yatırımının karlılığı üzerindeki etkilerini araştırmak için çeşitli duyarlılık analizleri yapmışlardır. Ayrıca, yük faktörlerini ve voltaj profillerini iyileştirmek için merkezi batarya ünitelerinin analizinde optimal güç faktörü yaklaşımını kullanmışlardır. Sayısal sonuçlar önerilen stratejinin, güç kaynağındaki toplam PV sayısını arttırmak ve yük faktörlerini ve voltaj profillerini iyileştirmek için merkezi enerji depolama sistemi birimlerinin yerlerini, boyutunu ve operasyonel özelliklerini doğru bir şekilde belirlenmesini sağladığını göstermektedir. AlSkaif ve ark. [12] konut mikro şebekelerinde merkezi batarya sistemleri için stokastik akıllı şarj sistemi önermişlerdir. Merkezi enerji

depolama sisteminin şarj olma planlamasını elektrik fiyatlarının düşük olduğu zaman dilimlerine ve konutların kullandığı enerji miktarından daha fazla üretimin yapıldığı zamanlara programlamak için doğrusal optimizasyon modellemesi yapmışlardır. Burada temel amaç, her zaman diliminde konutların toplam enerji talebinin karşılanması olarak sunulmuştur. Bunu yaparken gün öncesi artık yük profilini oluşturmak için Markov zinciri tabanlı tahmin yaklaşımı kullanılmıştır. Sayısal sonuçları, Hollanda'nın Amersfoort kentinde 10 haneden oluşan gerçek yükü ve PV üretim geçmişini kullanarak elde etmişlerdir. Tahmin performansı, Kök-Ortalama-Kare Hatası (RMSE) kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki, çok zamanlı elektrik tarifesine dayanarak akıllı şarj işlemine sahip merkezi depolama sistemleri geleneksel depolama sistemlerine kıyasla %68'e kadar daha fazla tasarruf sağlayabilmiştir. Arghandeh ve ark.'da [13] merkezi enerji depolama cihazlarının optimum şarj/deşarj zamanlaması için sezgisel optimizasyon algoritmasını sunmuş ve aynı zamanda optimizasyonun birkaç temel sürücüsünün analizini yapmıştır. Analiz, merkezi enerji depolama sistemlerinin ekonomik faydalarının LMP (Locational marginal Price)'nin doğruluğuna büyük ölçüde bağlı olduğunu göstermiştir. Merkezi enerji depolama sistemlerinin kullanılmasının güç sistemi güvenilirliği ve kapasite gereksinimlerini karşılamayı sağlarken, önerilen optimum çalışma stratejisinin de bu depolama sisteminin değerini arttırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Onar ve ark. [14] çalışmalarında Elektrikli araç ya da plug-in hibrit araç bataryalarından oluşan bir enerji depolama sistemi modellemesini ve sistemin yönetimini sunmuşlardır. Merkezi enerji depolama sistemlerini, ekonomik ve çevresel nedenlerden dolayı araç akülerinden sonra en uygulanabilir sistem olarak tanımlamışlardır. Arghandeh ve ark. [15] PV sistemler ile enerji depolama sistemlerinin birbiri ile en iyi şekilde koordine olmasının öneminden bahsetmiş ve bunun için Discrete Ascent Optimal Programing (DAOP) algoritmasını önermişlerdir.

Akıllı mikro şebekelerin gelişimi ile yenilenebilir enerji kaynakları, elektrikli araçlar ve enerji depolama sistemlerinin mikro şebekelere entegrasyonu popüler bir yaklaşım haline gelmiştir. Elektrikli araçların kullanılmasına bağlı olarak mikro şebekelerin yanı sıra güç şebekesinin de toplam yük profili değişebilmektedir. Ayrıca güneş enerjisinin kesikli bir kaynak olması ve elektrikli araçların sistemdeki varlığı güç şebekesinin istikrarını bozabilmektedir. Elektrikli araç bataryalarının, enerji

depolama sistemlerinin ve yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme entegrasyonunun yanı sıra kullanıcı yük tüketiminin de akıllıca yönetilmesi hem operatörlere hem de tüketicilere fayda sağlayacaktır. Yenilenebilir enerji kaynakları, elektrikli araçlar ve enerji depolama sistemlerinin şebekeye entegrasyonu ile enerji maliyetini en aza indirmek, enerji üretim ve tüketimini dengelemek, iletim ve dağıtım kayıplarını azaltmak ve mikro şebekeler arasındaki enerji paylaşımını verimli bir şekilde gerçekleştirebilmek için enerji yönetim sistemleri oluşturulur. Enerji yönetimi enerji sistemini optimize etmek anlamına gelir. Enerji üretimini ve dağıtımını optimize etmek konusu çok daha eski bir konu olsa da, günümüzde talep tarafı yönetimi ile talep tarafının optimize edilmesi akademik ve sanayi çevreleri tarafından artan bir ilgi görmektedir. Talep tarafı yönetimi, tüketim tarafındaki enerji sistemini geliştirmeye yönelik tedbirlerdir. Daha iyi malzemeler kullanarak enerji verimliliğini arttırmaktan, belirli tüketim kalıpları için teşvikleri içeren enerji tarifelerinden, dağıtık enerji kaynaklarının gerçek zamanlı kontrolüne kadar uzanır.

Luo ve ark. [16] çalışmalarında içerisinde PV, rüzgâr türbini, yakıt hücresi gibi çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarını ve enerji depolama sistemini bulunduran şebekeye bağlı bir mikro şebeke için yeni bir enerji yönetim sistemi önermişlerdir. Mikro şebeke içerisinde çalışan PV sistem için matematiksel bir modelleme sunmuşlardır. Bu modelde, farklı gün ve mevsimlerde çeşitli ışınım değerlerinin mikro şebekenin gün öncesi programlamasına etkisi değerlendirilmiştir. Ayrıca, PV sisteminin ve rüzgâr türbininin çıkış gücündeki belirsizlikle, yük tahmini hataları ve elektrik fiyat değişiklikleri çeşitli senaryo tabanlı teknik ile modellenmiştir. Bu şebeke bağlantılı mikro şebekenin yüksek belirsizliklerini ortadan kaldırmak için yarasa algoritması kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları, PV modelin kullanımının enerji yönetim sisteminin doğruluğunu arttırdığını ve mikro şebekenin toplam işletme maliyetini azalttığını göstermiştir. Kumar ve ark. [17] hazırladıkları makalede küçük ölçekli rüzgâr ve güneş enerjisini içeren hibrit bir mikro şebeke için enerji yönetim sistemi önermişlerdir. Enerji yönetim sistemine sahip küçük ölçekli deneysel bir hibrit mikro şebeke geliştirmiş ve uygulamışlardır. Farklı enerji kaynaklarında ve farklı yük taleplerinde enerji yönetim sisteminin etkinliğini test etmek için deneyler yapmışlardır. Enerji yönetim sistemi ve kontrol algoritmaları DSPACE kontrolünde hızlı kontrol prototipi kullanılarak uygulanmıştır. Bu test sistemin, hibrit yenilenebilir enerji kaynaklı mikro şebeke sistemleri alanında

yapılacak araştırmalar için farklı durum senaryoları ve kontrol algoritmaları için testlerin yapılabileceği bir platform sunduğunu savunmuşlardır. Nasr ve ark.'nın [18] çalışmasında şebek bağlantısız mikro şebekeler için gerilim kararlılığını ve olası üretim kısıtlamalarını dikkate alan bir enerji yönetim sistemi önermektedirler. Güç kayıplarını, gerilim sapmalarını ve güç üretim maliyetlerini en aza indirmeyi amaçlayan çok amaçlı güvenlik kısıtlanmalı mikro şebeke enerji yönetim sistemini ortaya koymaktadırlar. Ortaya koydukları bu enerji yönetim sisteminin performansını göstermek için avrupa orta gerilim şebekelerine dayanan CIGRE karşılaştırma testini kullanmuşlardır. Önerilen sistemi GAMS ile modellenmesiyle elde edilen simülasyon sonuçları, önerilen modelin fizibilitesini göstermiş ve mikro şebeke enerji yönetim sistemlerinde güvenlik kısıtlamalarının önemini kanıtlamıştır. Jadhav ve ark. [19] enerji depolama sistemi ile donatılmış birden fazla mikro şebekenin enerji yönetimini uygulamak için bir optimizasyon mekanizması sunmuşlardır. Önerilen mekanizma esnektir ve değişken elektrik fiyatlarına adapte olur. Bu sistem her koşulda toplam yük talebini karşılar, enerji depolama sistemi ile dağıtım şebekesi arasındaki enerji yönetimini de sağlamaya yöneliktir. Çoklu şebekelerdeki toplam enerji üretimi ve yük talebi arasındaki dengesizlik sadece komşu üreticiler arasında ve ana şebeke ile yapılan enerji paylaşımı ile değil aynı zamanda enerji depolama sistemini etkin kullanarak sağlanmıştır. Önerilen yöntem kullanılarak sistemin çalışma maliyetinin %34,32 azaltılabildiği gösterilmiştir. Skumar ve ark. [20] karma mod enerji yönetim stratejisi ve mikro şebekeyi mümkün olan en düşük işletme maliyetiyle çalıştırmak için uygun batarya boyutlandırma yöntemi sunmuşlardır. Bu karma mod enerji yönetim stratejisi 24 saatlik zaman dilimi için sürekli çalışma modu, güç paylaşımı modu ve açık/kapalı modundan oluşan üç mod birleştirilerek oluşturulmuştur. Güç paylaşımı modu, ana şebekeyle yapılan güç alışverişini dikkate alırken, yakıt hücresi modu sürekli çalışmalıdır. Bu modların her ikisi de doğrusal programlama optimizasyon yöntemi ile oluşturulurken, açık/kapalı modu karma tam sayılı optimizasyon yöntemi ile mikro şebekenin ana şebeke, yakıt hücresi ve enerji depolama sistemine bağlantısının açık/kapalı olma durumuna göre optimize edilmesi için oluşturulmuştur. Enerji depolama sisteminin optimum enerji kapasitesinin kWh cinsinden belirlenmesi için parçacık sürü optimizasyonu kullanılmıştır. Batarya sisteminin boyutu mikro şebekenin işletme maliyetini etkilediğinden, enerji yönetim stratejisinin yanında batarya kapasitede optimize edilmelidir. Ahmad ve ark. [21] araştırmalarında enerji tüketimini yönetmek için ikili geri izleme arama algoritmasını

(Binary Backtracking Search Algorithm) kullanarak ev enerji yönetim sistemi için gerçek zamanlı kontrolü önermişlerdir. İkili geri izleme arama algoritması (BBSA) toplam yük talebini sınırlamak ve elektrikli ev aletlerinin gün içinde belirli zamanlarda çalışmasını programlamak için en uygun zamanlamayı verir. Algoritma iki ayrı senaryo için uygulanmıştır. Önerilen ikili geri izleme arama algoritmasının deneysel sonuçları, ikili parçacık sürüsü optimizasyonu (Binary Particle Swarm optimization) ile karşılaştırılmıştır. Sonuçların karşılaştırılması, İkili geri izleme arama algoritmasını tüketicilerin konfor düzeyini etkilemeden elektrikli ev aletlerinin hafta içi ve hafta sonu enerji tüketimini azaltmada ikili parçacık sürüsü optimizasyonundan daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İkili parçacık sürüsü optimizasyonu ile hafta içi günde 4,87 kWh ve hafta sonu günde 6,6 kWh tasarruf sağlanırken, ikili parçacık sürüsü optimizasyonu ile enerji tasarrufu miktarı hafta içi günde 4,52 kWh ve hafta sonu 6,3 kWh olarak belirlendi. Zhang ve ark. [22] ihtiyacı karşılayabilecek bir talep tarafı yönetimi ve konut enerji yönetimi sistemi için makine öğrenmesi, optimizasyon ve veri tasarımını birleştiren disiplinler arası bir mekanizma geliştirmeye odaklanmışlardır. Elektrikli ev aletlerini üç kategoriye ayırmışlardır. Birinci kategori sabit yükler, ikinci kategori regüle edilebilir yükler ve üçüncü kategori ertelenebilir yükler. Bu kategorileme her cihaz için talep yönetiminin ayrı ayrı çözüldüğü ve daha optimal bir strateji formüle etmek mümkün olmuştur. Bu mekanizma ölçülen ya da simüle edilen verilerin makine öğrenmesiyle bir evin enerji tüketim modelini elde etmeyi sağlar. Evin enerji tüketim modeli her mevsim, kullanıcı ya da hava koşulunda günlük olarak güncellenmektedir. Talep tarafı yönetimini geliştirmek için bir ev enerji simülatörü (eQUEST) ve MATLAB'ı bir araya getiren simülasyon stratejisini benimsemişlerdir. Comodi ve ark. [23] çalışmalarında altı daire, bir 20 kWp PV santral, bir solar tabanlı termal enerji santrali, bir jeotermal ısı pompası ve bir termal enerji depolama sistemi oluşan bir konut mikro şebekesinin operasyonel sonuçlarını sunar. PV güç sisteminin ve solar termal enerji sisteminin üretimini tahmin etmek için radyal tabanlı yapay sinir ağı yöntemini kullanmışlardır. Ancak bataryaların yüksek yatırım ve bakım maliyetleri nedeniyle konut piyasasına entegrasyonunun ekonomik olarak uygun olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Logenthiran ve ark. [24] akıllı şebekeler için yük kaydırma tekniği ile talep tarafı yönetimi stratejisi sunmuşlardır. Önerilen gün öncesi yük kaydırma tekniği, bir minimizasyon problemi olarak matematiksel olarak formüle edilmiştir. Bu minimizasyon problemini çözmek için Evrimsel Algoritma

geliştirilmiştir. Simülasyonlar konut, endüstri ve ticari olmak üzere üç farklı senaryodaki çeşitli yükleri içeren akıllı şebekeler için yapıldı. Simülasyon sonuçlarıyla, önerilen talep tarafı yönetimi stratejisinin önemli ölçüde tasarruf sağladığı ve akıllı şebekelerin azami yük talebini azalttığı sonucuna ulaşılmıştır. Mehrjerdi ve ark. [25] şebekeye bağlı bir konut için etkili bir enerji yönetimi üzerine çalışmışlardır. Test yapılan konutta araç aküsünün bina elektrik tesisine entegrasyonu, rüzgâr türbini ve dizel jeneratör gibi donanımlar mevcuttur. Rüzgâr enerjisi ve yük belirsizliği stokastik programlama ile modellenmiştir. Sonuçlar tüm bu kaynakları içeren modelin işletme maliyetini günde 20,19 \$ azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Bu tez çalışmasının birinci bölümünde; klasik hali hazırda kullandığımız enerji sisteminden büyük oradan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı akıllı enerji sistemlerine geçişi zorunlu kılan sebeplerden, Dünya’da ve Türkiye’de enerji kullanımından ve enerji kullanımının sektörlere dağılımından, enerji depolama sistemlerinden özellikle de merkezi enerji depolama sistemlerinden, PV sistemlerden, bu alanda yapılan ekonomik analiz çalışmalarından, PV sistem boyutlandırmasından ve talep tarafı yönetiminden kısaca bahsedilmiş olup bu alanda yapılan çalışmalar literatür özeti olarak verilmiştir. İkinci Bölümde ise, PV sistemler ve PV sistem çeşitleri, PV sistemlerin ekonomik analizi, talep tarafı yönetimi ve temel yük şekillendirme yöntemlerinden, batarya tiplerinden ve doğru batarya seçiminin nasıl yapılabileceğinden, araç akülerinin konut elektrik tesisine entegrasyonu konusundan, enerji yönetimi sistemlerinden ve yük tahmini yöntemlerinden ayrıntılı bir şekilde bahsedilmiş ve açıklanmıştır. Üçüncü kısımda, yük tahmini ve sistem boyutlandırması yaparken kullandığımız veri setlerinin ayrıntılı açıklaması, tezde önerilen modelin gösterimi ve açıklanması, kullanılan yük tahmini yöntemi, talep tarafı yönetiminin nasıl yapıldığı ve önerilen talep tarafı yönetimi yöntemi için algoritma, tezde kullanılan çeşitli matematiksel eşitlikler ayrıntılarıyla verilmiştir. Dördüncü bölümde kısa dönem yük tahmini sonuçları ve performans değerlendirmesi, PV sistem boyutlandırması ve ekonomik analizler gösterilmiş böylece araştırma bulguları ortaya koyulmuştur. Beşinci ve son kısımda sonuçlar değerlendirilmiş olup konu ile ilgili gelecekte yapılabilecek araştırmalar için önerilere yer verilmiştir.

Her güç sisteminde, sistemin verimli, güvenli ve ekonomik çalışıyor olması önemlidir. Verimli, güvenilir ve ekonomik çalışan bir güç sistemi tasarlanabilmesi için güç sisteminin davranışları anlaşılmalıdır. Bu çalışmanın ana amacı yük tahmini yöntemi ile tüketici davranışlarını anlayıp duruma uygun talep tarafı yönetimi önermek ve merkezi batarya sistemine elektrikli araç bataryalarının da dahil edildiği akıllı bir güç sistemi ve çalışma mantığı önermektir.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. PV Sistemler

Güneş enerjisini ısı ve ışık formunda aktarır. Temelde iki tür güneş enerjisi sistemi vardır bunlardan biri suyu ısıtmak için ısıyı tutan termal güneş sistemleri, diğeri ise ışığı doğrudan elektriğe dönüştüren PV sistemlerdir. PV sistemler şebekeye bağlantılarına göre 3 farklı kategoride sınıflandırılabilir. Bunlar, şebeke bağlantılı PV sistemler, şebeke bağlantısız PV sistemler ve her ikisinin kombinasyonu olan hibrit PV sistemler [26].

2.1.1 Şebeke Bağlantılı PV Sistemler

PV modüller güneş ışığına maruz kaldığında, doğru akım (DC) üretmektedir. Üretilen DC akım bir invertör yardımıyla alternatif akıma (AC) dönüştürülür, böylece güç kaynağının kalitesini etkilemeden konutların AC dağıtım panolarını beslenebilir. Şebeke bağlantılı PV sistemler şehir şebekesine bağlı güneş enerjisi üretim sistemleridir. Sistem tarafından üretilen elektrik enerjisi, öncelikli olarak kullanıcıya ait yüklerle yönlendirilir. Eğer üretilen enerji yükler tarafından talep edilen enerjiden daha fazla ise talep fazlası enerji şebekeye aktarılır. Eğer üretilen enerji talep edilen enerjiden daha az ise şebekeden enerji çekilir. Güneş ışığının olmadığı dolayısıyla da PV sistemde elektrik enerjisi üretiminin olmadığı zamanlarda kullanıcıların tüm elektrik enerjisi ihtiyacı şebekeden karşılanır. Şebeke bağlantılı PV sistemlerde elektrik enerjisi, sadece şebekede elektrik mevcut olduğu sürede üretilir. Şebeke kesintisi durumunda PV paneller enerji üretiyor olsa dahi invertör çıkışına enerji aktarılmamaktadır. İnvertör ek olarak konutu besleyen elektriğin miktarını ve gerilimini düzenler, çünkü üretilen elektrik enerjisinin miktarı çoğunlukla kullanıcıların ihtiyacından fazladır. Bu sistem çift yönlü çalışır yani elektrik tedariki hem şehir şebekesinden kullanıcıya doğru hem de kullanıcıdan şebekeye doğru olabilir. Bu özellik, şebeke bağlantılı PV sistemleri ekonomik ve kullanışlı hale getirebilmektedir. Şebek bağlantılı PV sistemlerin temel bileşenleri PV paneller, invertör, çift yönlü sayaçlardır. Şebeke bağlantılı PV sistemlerin şematik görünümü ve çalışma akışı şekil Şekil 2.1'de gösterilmiştir.

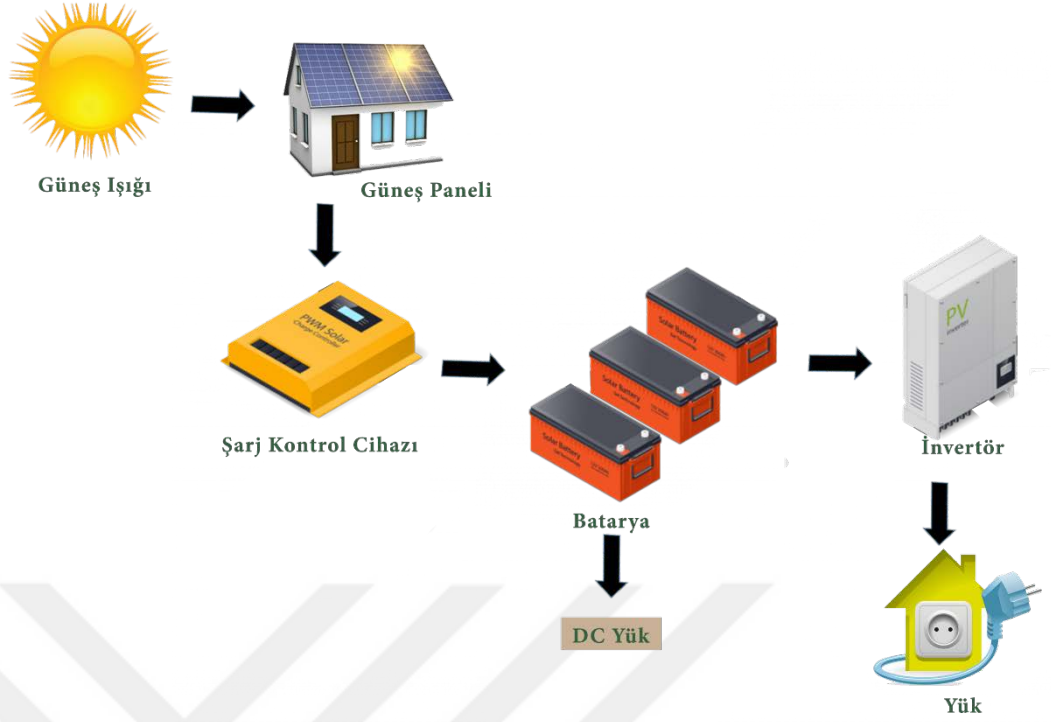


Şekil 2.1 Şebeke bağlantılı PV Sistemler

Şebeke bağlantılı PV sistemler, şebeke gücüne olan bağımlılığın azaltılmasında, yenilenebilir enerji üretiminin artırılmasında ve çevreye verilen zararın azaltılmasında etkili bir yol olabilmektedir.

2.1.2 Şebeke Bağlantısız PV Sistemler

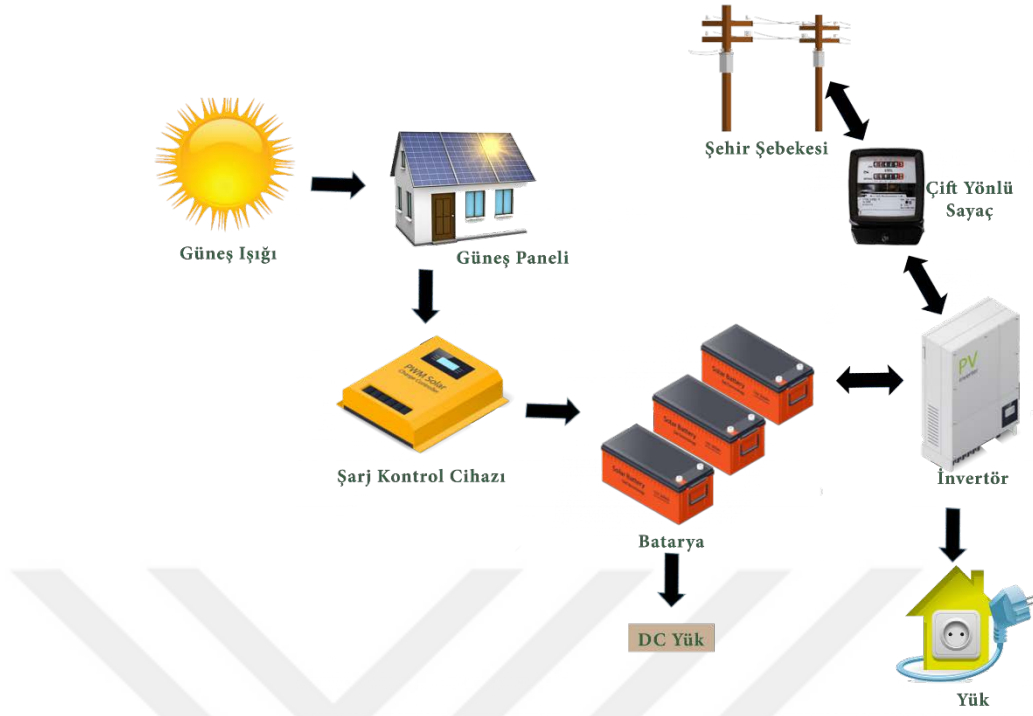
Şebeke bağlantısız PV sistemlerde PV paneller tarafından üretilen elektrik enerjisi, şarj kontrol cihazı üzerinden bataryalara aktarılır. AC yüklerin enerji ihtiyacı invertör üzerinden sağlanırken, DC yüklerin enerji ihtiyacı bataryalardan sağlanmaktadır. Şebeke bağlantısız PV sistemler genellikle kırsal alanlarda veya elektrik şebekesine erişimin olmadığı izole alanlara kurulmaktadır. Bu sistemde batarya kullanıldığı için gece veya güneşe daha az maruz kaldığı zamanlarda da güneş enerjisinden üretilen elektriği kullanmak mümkün olabilmektedir. Şebek bağlantısız PV sistemlerin temel bileşenleri PV paneller, bataryalar ve şarj kontrol cihazıdır. Şebeke bağlantısız PV sistemlerin şematik görünümü ve çalışma akışı şekil Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Şebeke Bağlantısız PV Sistemler

2.1.3 Hibrit PV Sistemler

Hibrit PV sistemler şebeke bağlantılı PV sistemler ile aynı şekilde güç üretir, ancak aralarındaki temel fark hibrit PV sistemler de daha sonra kullanılmak üzere elektrik enerjisi depolamak için batarya sisteminin de kullanılmasıdır. Bu sistemler hem şebeke bağlantılı PV sistem gibi çalışarak şehir şebekesine enerji aktarabilir hem de şebeke bağlantısız PV sistem gibi tamamen bağımsız bir enerji sistemi gibi çalışabilir. Bu özelliği sayesinde sistem önemli bir esnekliğe sahiptir. Bu esneklik doğru enerji yönetimi ile birleştiğinden ekonomik açıdan diğer iki PV sistemine göre oldukça avantajlı bir durumda olabilmektedir. Hibrit sistemlerde güneşten elde edilen enerji depolanabildiği gibi şebekeden alınan ucuz enerji de depolanabilir. Bu sayede enerji talebinin yüksek olduğu zamanlarda depolanan ucuz enerji kullanılabilir. Hibrit PV sistemlerin temel bileşenleri PV paneller, bataryalar, şarj kontrol cihazı, güç ölçer ve invertördür. Hibrit PV sistemlerin şematik görünümü ve çalışma akışı şekil Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Hibrit PV Sistemler

2.1.4 PV Sistemlerde Üretilen Enerji Miktarının Hesaplanması

PV paneller güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren cihazlardır. PV panellerin verimleri %15-20 arasında değişiklik göstermektedir. PV panellerin verimlerini arttırmak için yapılan çalışmalar günümüzde devam etmektedir ve gelecekte bu verimlilik değerlerinin yükseltilmesi hedeflenmektedir. PV sistemlerde üretilen enerji miktarı PV panel yüzeyi tarafından alınan ışınım miktarına büyük ölçüde bağlıdır. Bu yüzden, çevre koşullarının elverişli olması PV panellerin nominal güç üretimini yapabilmesi için önemlidir. Panel camının kirli olması, güneş ışınlarının geliş açısının dik olmaması, havanın çok soğuk ya da çok sıcak olması panel verimini düşürebilmektedir. PV panel yüzeyi tarafından alınan ışınım miktarı aşağıdaki Eşitlik 2.1 de gösterildiği gibi hesaplanabilir [4].

$$I_T = I_b R_b + I_d R_d + (I_b + I_d) R_r \quad (2.1)$$

Eşitlik 2.1'deki I_b ve I_d sırasıyla direkt ışınım ve yayılı ışınımı gösterirken, R_d ve R_r güneş ışınımının sırasıyla yayılı (diffüz) ışın ve yansıtılan ışınlarının eğim faktörlerini sembolize eder. Işınım miktarı güneşin aylık olarak değişen konumlarına

bağlı olarak değişmektedir. Bu yüzden, i. ayın ortalama bir gününde PV yüzeyine gelen toplam ışınım miktarı I_T (kW/m^2) olduğunda A_{PV} (m^2) alana sahip PV panelden alınan saatlik güç üretimi Eşitlik 2.2’de gösterildiği şekilde hesaplanabilmektedir [4].

$$P_{Sj} = I_{Tj} \times \eta \times A_{PV} \quad (2.2)$$

η sembolü sistem verimliliğidir ve Eşitlik 2.3’ de gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$\eta = \eta_m \times \eta_{pc} \times P_f \quad (2.3)$$

Eşitlik 2.3’te gösterilen η_m modül verimliliğini sembolize eder. Modül verimliliği Eşitlik 2.4 ile hesaplanmaktadır.

$$\eta_m = \eta_r [1 - \beta(T_c - T_r)] \quad (2.4)$$

Burada η_r modül referans verimini, η_{pc} güç koşullandırma verimini, P_f paketleme faktörünü, β dizi verimliliğinde sıcaklık katsayısını, T_r hücre verimliliği için referans sıcaklığını ve T_c aylık ortalama hücre sıcaklığını sembolize eder. T_c Eşitlik 2.5’ de gösterildiği gibi hesaplanır.

$$T_c = T_a + \alpha\tau/U_L \quad (2.5)$$

T_a anlık ortam sıcaklığıdır. NOCT PV hücrenin normal sıcaklığını sembolize ederken, $U_L/\alpha\tau = I_{T,NOCT}/(NOCT - T_{a,NOCT})$ şeklinde gösterilebilmektedir.

2.1.5 PV Sistemlerin Ekonomik Analizi

PV sistemlerin ekonomik analizi, çeşitli ekonomik göstergeler kullanılarak yapılmaktadır. Bu ekonomik analizler yapılırken kullanılan ve yatırımcıların akıllı bir yatırım yapabilmelerini sağlayabilecek üç temel ekonomik ölçü vardır. Bu ölçüler Net Bugünkü Değer Analizi (NPV), Geri Ödeme Süresi ve Seviyelendirilmiş Enerji Maliyetidir.

PV sisteminin net bugünkü değeri, bu sistemin ekonomik ömrü boyunca sağlayacağı kazancın önceden belirlenmiş bir iskonto üzerinden bugüne uyarlanmış değerleri toplamı ile bu sistemin kurulması için harcanacak paranın bu belirlenmiş indirim üzerinden bugünkü değeri arasındaki farktır [27]. Eğer kurulum borçlanma maliyeti olmadan öz sermaye tarafından karşılanacaksa indirim oranı olarak öz sermaye kullanılır. Öz sermaye oranı Eşitlik 2.6 ile hesaplanır.

$$Re = Rf + (\beta \times R) \quad (2.6)$$

Rf , yatırımın yapıldığı ülkedeki yatırım araçlarından riski en düşük olanı ifade eder. Rm , yatırımın yapıldığı ülkede en risksiz sermaye piyasası araçlarına yatırım yapıldığında devlet tahvillerine oranla kazanılması öngörülen ekstra kazancı ifade eder. Türkiye ve Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde pazar riski, genellikle %5 olarak görülmektedir [46]. β özel riskler, faaliyet riskleri ve finansal yapı risklerini temsil eder. Nakit akışlarının bugünkü değeri Eşitlik 2.7 ile hesaplanabilir.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NG_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{NÇ_t}{(1+i)^t} \quad (2.7)$$

Burada NG_t bu yatırımın sağlayacağı yıllık net para girişini ve $NÇ_t$ yatırımın tesis ve işletme döneminde gerektirdiği yıllık net gideri temsil etmektedir. Önceden saptanmış indirim miktarı i ile gösterilmiştir.

Geri ödeme süresi, yatırımdan sağlanan net nakit akışlarının, yatırım için yapılan harcamaları karşılayabilmesi için geçmesi gereken yıl sayısının belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Geri ödeme süresi yönteminde Eşitlik 2.8 kullanılmaktadır.

$$I = \sum_{t=1}^{N^*} \frac{A_t}{(1+i)^t} \quad (2.8)$$

Burada I yatırım maliyetini, i önceden saptanmış indirim oranını ve N^* geri ödeme süresini temsil etmektedir.

Seviyelendirilmiş enerji maliyeti (LCOE) bir enerji üretim tesisinin kullanım ömrü boyunca yapacağı elektrik üretiminin bugünkü ortalama net maliyetinin bir ölçüsüdür. Sistemin kullanım ömrü boyunca meydana gelecek toplam giderlerin, sistemden elde edilecek toplam enerji üretimine oranı ile hesaplanır. LCOE, genellikle farklı üretim yöntemlerinin ekonomik açıdan karşılaştırılmasında kullanılır. Seviyelendirilmiş enerji maliyeti Eşitlik 2.9 ile hesaplanabilir.

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+i)^t}} \quad (2.9)$$

Eşitlik 2.9'de ki I_t , t yıllık yatırım harcamalarını M_t , t yıllık işletme ve bakım giderlerini F_t , t yıllık yakıt harcamasını E_t , t yıllık elektrik üretimini i , indirim oranını ve n , sistemin kullanım ömrünü göstermektedir.

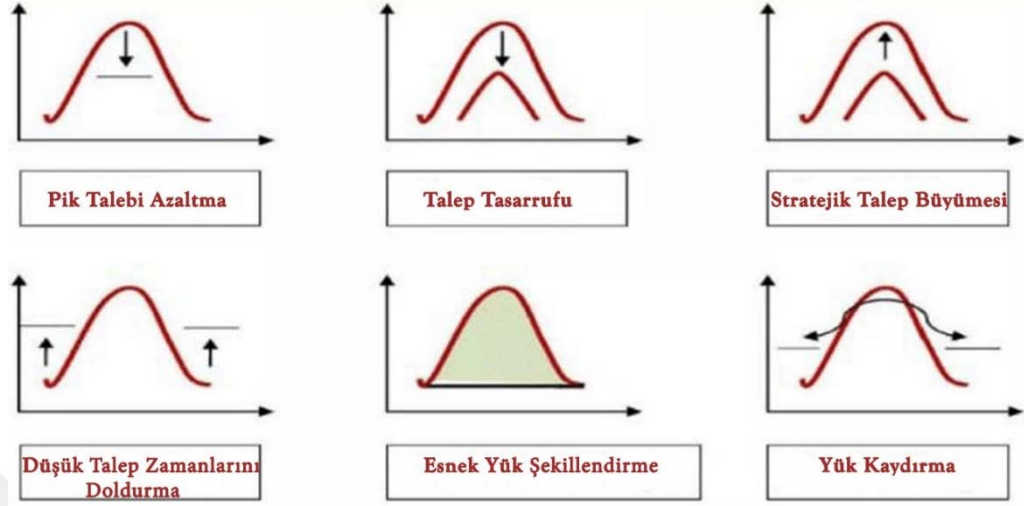
2.2. Talep Tarafı Yönetimi

Talep tarafı yönetimi, enerji tedarikçilerin pik yük talebini azaltmasına yardımcı olan ve yükleri enerji talebinin yoğun saatlerden yoğun olmadığı saatlere kaydırarak elektrik faturalarının azalmasını sağlayan akıllı şebekelerin önemli işlevlerinden biridir. Talep tarafı yönetimi yük kullanımını planlamak için tüketici faaliyetlerinin planlanması ve denetlenmesidir. Yük talep eğrisini hafifletmek için enerji kullanımını yoğun saatlerden yoğun olmayan saatlere kaydırarak tüketicilerin yoğun saatlerde minimum güç kullanmasını sağlar. Talep tarafı yönetimi tüketimi üretime göre kontrol edebilmeyi de sağlar. Ayrıca, enerji sisteminde kullanılan cihazların işletme ve bakım maliyetlerini azaltarak büyük ölçekli yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme entegrasyonunu arttırabilirken, uygun tüketici yük planlamasını ve gerçek zamanlı takibini yaparak kullanıcılar için elektrik maliyetlerini en aza indirir. Dolayısıyla, Talep tarafı yönetiminin gerçekleştirilebilmesi için şebeke yükünün şekillendirilmesi gerekmektedir. Bunun için literatürde pik talebi azaltma, düşük talep zamanını doldurma, yük kaydırma, talep tasarrufu, stratejik yük talep büyümesi ve esnek yük şekillendirme olmak üzere temel altı adet teknik gösterilmektedir.

2.2.1. Temel Yük Şekillendirme Teknikleri

Talep tarafı yönetimi farklı teknikler ve yollar izlenerek gerçekleştirilebilir. Bunlardan ilki Pik Talebi Azaltma (Peak Clipping). Pik talebi azaltma, ağırlıklı olarak enerji talebinin yoğun olduğu zaman içerisinde şebeke üzerindeki yükü azaltmaktır. Hem pik talepte hem de toplam enerji tüketiminde azalma gerçekleşir. İkinci Düşük Talep Zamanlarını Doldurma (Valley Filling). Sistemin yük faktörü enerji talebinin az olduğu zaman dilimlerinde yükü arttırarak geliştirilebilir. Bu teknik kullanılarak yük eğrisi hafifletilebilir ve böylece besleme ve yükler arasında denge sağlanarak sistem verimliliği artırılabilir. Toplam enerji tüketiminde bir artış sağlamakla birlikte, pik talepte artış oluşturmaz. Bu yöntem genellikle elektrikli araçların gece şarjı ve termal enerji depolama gibi daha önce elektrikli olmayan yeni elektrik yüklerinin yaratılmasıyla uygulanır. Üçüncüsü Yük Kaydırmadır (Load Shifting). Yükü pik noktasından elektrik talebinin az olduğu zaman dilimlerine kaydırmaktır. Pik talepte azalma sağlar ancak toplam enerji tüketiminde bir değişiklik oluşturmaz. Bu yöntem genellikle geleneksel elektrik cihaz işletiminin zamanlamasını değiştiren depolama cihazları ile uygulanır. Yük Kaydırma ve Düşük Talep Zamanlarını Doldurma yöntemleri arasındaki en önemli fark, Düşük Talep Zamanlarının Doldurulmasında sisteme talebin az olduğu zaman dilimleri için yeni yükler eklenirken, Yük Kaydırma yönteminde toplam tüketim değiştirilmeden tüketimin zamanlamasının değiştirilmesidir. Bir diğer teknik Talep Tasarrufudur (Strategic Conservation). Talep tasarrufu enerji tasarruflu cihazlar ve akıllı cihazlar kullanarak ya da genel kullanımı azaltarak yükün gün içinde azaltılmasıdır. Hem pik talebinde hem de toplam enerji tüketiminde düşüşler olur. Bu genellikle son kullanım verimliliği sağlanarak uygulanır. Beşincisi Stratejik Yük Talep Büyümesidir (Strategic Load Growth). Stratejik talep büyümesi elektrik satışının kademeli olarak arttırılabileceğini ve bununda ekonomik büyümeyi otomatik olarak etkileyeceğini öngörmektedir. Bu genellikle enerji yoğunluğunun arttırılması ve yeni tüketicilerin eklenmesiyle uygulanır. Sonuncusu Esnek Yük Şekillendirmedir (Flexible Load Shape). Esnek yük şekillendirme, hizmet kalitesindeki farkı ifade eder. Yük şeklini kalıcı olarak etkilemek yerine, yardımcı program gerektiğinde yükleri kesme seçeneğine sahiptir. Pik talepte net bir düşüş olabilirken toplam enerji tüketiminde herhangi bir değişiklik olmaz ya da çok az olur. Bu genellikle kesilebilir ya da kısıtlanabilir oranlar kullanılarak uygulanır.

Yukarıda açıklanan talep tarafı yönetimi teknikleri Şekil 2.4 de görselleştirilerek gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Yük Şekillendirme Teknikleri

Elektrik üretiminin az olduğu zamanlarda elektrik fiyatları yükselir buna karşılık elektrik sağlayıcılar daha fazla elektrik satmak isterlerken tüketicide yüksek fiyatlardan dolayı tüketimini azaltmak ister. Bu yüzden, talep tarafı yönetimi teknikleri kullanılarak arz ve talep arasındaki denge sağlanır. Elektrik fiyatlarında artış yenilenebilir enerjinin katkısının az olduğu durumlarda da gerçekleşebilir.

2.2.2. Yük Kaydırma Tekniği

Yük kaydırma tekniği esnek yüklerin kullanımının elektrik enerjisi tüketiminin yoğun olduğu saatlerden yoğun olmayan saatlere kaydırılmasıdır. Farklı yük üretimleri nedeniyle farklı zamanlarda üretilen elektrik ile ilişkili farklı maliyetler olabilir. Bu maliyetin yüksek olduğu zamanlarda yükün bir kısmı farklı zamanlara kaydırılabilirse üretim maliyetlerinde önemli tasarruflar sağlanabilir. Yük kaydırma tekniğinde yük tanımlama yapılır. Sisteme çalışırken ihtiyaç duyacağı çeşitli bilgiler kullanıcı tarafından verilir. Yük tanımla potansiyel kontrol çözümlerini tanımlamak için gereklidir. Tüm elektrik yüklerinin akıllı kontrol cihazı tarafından tanınması zorunlu değildir ancak sistem yükler hakkında ne kadar fazla bilgiye sahip olursa, yönetimi o kadar iyi yapacaktır. Bu tez çalışmasında kullanılan talep tarafı yönetimi tekniği de yük kaydırma tekniğidir.

2.3. Merkezi Enerji Depolama Sistemi

Enerji depolama teknolojileri akıllı şebekelerin uygulanmasına paralel olarak gelişmiştir. Farklı aktörlerin iş birliği, uygun politikalar ve düzenlemeler sayesinde lisanssız elektrik üretimi hızla yaygınlaşmaktadır. Elektrik Enerjisi Araştırma Enstitüsü (EPRI) akıllı şebekeyi “çevreye olumsuz etkiyi en aza indirmek, elektrik piyasasını geliştirmek, güvenilirliği ve hizmet kalitesini arttırmak, maliyeti düşürmek ve verimliliği arttırmak için bilgi ve iletişim teknolojilerini elektrik üretimi, dağıtım ve tüketimi alanlarına dahil eden bir ağ” olarak tanımlar. Dolayısıyla, akıllı şebekelerin potansiyellerinden biri de yüksek şebeke güvenilirliği ve güç kalitesini sürdürürken olabildiğince fazla yenilenebilir enerji barındırabilmektir [28]. Bu sebepten dolayı enerji depolamanın önemi artmaktadır.

Enerji depolama esnek bir enerji sistemi için kilit gereksinimlerden biridir ve bunun yanı sıra ısı, elektrik ve ulaşım gibi farklı sektörlerin entegre ve sinerjik çalışmasını sağlayabilir. Kullanılan malzemeye, depoladığı enerji türüne, işlevine tepki süresine ve depolama süresine göre sınıflandırılacak çeşitli enerji depolama teknolojileri vardır. Enerji depolama teknolojileri temel olarak mekanik, elektrokimyasal, elektrik, termokimyasal, kimyasal ve termal enerji depolaması olarak gruplandırılabilir.

Günümüzde birçok hane çatı üstü PV sistemleri kurmaktadır. Çatı üstü PV sistemlerinden elde edilen üretimin pik elektrik yükleri ile uyumlu olmadığı bilinmektedir ve bu durum günümüzde kullanılan enerji sistemlerine entegre edilecek güneş enerjisi üretimi oranının sınırlandırmasına yol açabilir. Bu sebeple yerel PV öz tüketimi özellikle güneş enerjisi sistemlerinin kullanımının yaygın olduğu ülkelerde dikkat çekmektedir. Enerji depolama enerji taleplerinin daha büyük bir kısmını PV üretimi tarafından karşılanmasına olanak sağlayan bir yoldur ve son dönemlerde yapılan çalışmalar bataryaların dağına güvenilir bir şekilde entegre edilecek PV miktarını arttırmak için kullanılabilirliğini göstermektedir. Bireysel konutlarda depolamanın aksine birbirine yakın bir konumda bulunan akıllı enerji topluluğunun üyeleri arasında paylaşımlı kullanılacak bir merkezi enerji depolama sistemi de yapılabilir. Günümüzde de yenilenebilir enerji alanında gelişmiş birçok ülke merkezi enerji depolama sistemlerinde artışlar yaşamış, komşu gruplar enerji maliyetini

düşürmek ve yenilenebilir enerji sektörünün gelişimi için motive olmuşlardır [29]. Merkezi enerji depolama sistemi toplum için bir enerji yönetim sistemi olarak hareket eder.

2.3.1 Batarya Tipleri ve Doğru Bataryanın Tipinin Seçilmesi

Depolama sistemlerinin PV sistemlere entegrasyonu için birçok teknik parametreyi göz önüne almak gerekmektedir. Farklı ortam ve çalışma koşullarında farklı tip bataryalar farklı performans sergilemektedirler. Bu nedenle, PV sistemlerde kullanılacak bataryaların teknik özelliklerinin ve PV sistemlerle uyumunun önemi büyüktür. Güneş enerjisi depolayabilen birden fazla batarya modeli vardır, her birinin de avantaj ve dezavantajları vardır. Genellikle güneş enerjisi depolama uygulamalarında kullanılan dört tip pil vardır. Bu batarya tipleri Lityum-iyon bataryalar, kurşun asit bataryalar, sodyum bazlı bataryalar ve akış bataryalarıdır.

Günümüzde, PV sistemlerde en çok Lityum-iyon batarya teknolojisi tercih edilmektedir [30]. Bu batarya tipi, şarj ve deşarj reaksiyonları sırasında elektrotlar arasında lityum iyonlarının transferi ile karakterize edilmektedir. Akü hücrelerinde kobalt, nikel ve manganez gibi ek malzemelerin kullanılmasıyla akünün performansı ve güvenilirliği değiştirilmektedir. Lityum-iyon bataryalar çoğunlukla gerilim ve sıcaklığı izlemek için batarya yönetim sistemlerine ihtiyaç duymaları nedeniyle diğer batarya tiplerinden daha pahalıdır. Bununla birlikte, lityum-iyon bataryaların uzun kullanım ömrü, yüksek şarj deşarj verimliliği, hafif ve düşük bakım maliyeti gibi avantajları vardır. Bu bataryalar yüksek enerji yoğunluğuna ve oldukça düşük kendi kendine deşarj değerine sahiptir. Lityum-iyon batarya az bakım gerektirir ve periyodik deşarj gerektirmez. Genellikle büyük ölçekli güneş enerjisi depolama uygulamaları için kullanılan Lityum Kobalt Oksit (LCO), Lityum Manganez Oksit (LMO), Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit (NMC), Lityum Nikel Kobalt Alüminyum Oksit (NCA) ve Lityum Demir Fosfat (LFP) olmak üzere beş ana lityum-iyon batarya türü vardır [31]. LCO bataryalar çok kararlı ve boyut olarak küçüktür, bu da onları cep telefonları ve dizüstü bilgisayarlar için popüler bir seçim haline getirmiştir. Kobaltlı herhangi bir bataryanın termal kaçak ve yanma riski kobaltlı olmayan bataryalara göre daha yüksektir. Kısa ömürlü ve sınırlı yük kapasiteleri nedeniyle büyük enerji depolama uygulamaları için uygun değildir. LMO bataryalar içerisinde kobalt olmadığından hızlı şarj özelliğine ve daha yüksek

termal stabiliteye sahiptir. Bu batarya tipi genellikle tıbbi cihazlarda ve elektrikli aletlerde kullanılır. Çünkü, kobaltlı bataryalara göre daha güvenli, uzun ömürlü ve daha yüksek enerji kapasiteli bir alternatiftir. NMC bataryalar yüksek özgül enerji ve kararlılık sağlar. Bununla birlikte, kobalt kullanımı termal kaçak riskini artırır. NCA bataryalar nispeten yeni bir türdür ve NMC bataryalara benzer şekilde çalışır. Alüminyum ilavesi daha fazla stabilite sağlar. LFP bataryalarda güvenlik ve termal yetenekleri artırmak için demir fosfat kullanılmıştır, uzun ömürlüdür. Çok az ısı ürettiğinden bu bataryalar havalandırma veya soğutma gerektirmez. Bu nedenle iç mekân uygulamalarında kullanılabilir. Konut depolama sistemleri için çok uygundur.

Kurşun asit bataryalar her biri yaklaşık 2 V üreten ayrı hücrelerden oluşur. Her hücre %33'lük bir sülfürik asit çözeltisine iki kurşun elektrottan oluşur. İki çeşit kurşun asit bataryadan bahsedebiliriz. Bunlar; Taşmalı Kurşun Asit ve Sübap Ayarlı Kurşun Asit (VRLA) bataryalardır. Taşmalı kurşun asit bataryalar hasara karşı dayanıklı değildir ve önemli bakım onarım gerektirir. Bu bataryalar gaz tahliye seviyelerinin tehlikeli bir noktaya ulaşmasını önlemek için yeterli havalandırmaya sahip bir muhafaza içine yerleştirilmelidirler. Sübap ayarlı kurşun asit bataryalar kapatılabilir ve gaz tahliyesini düzenlemek için vanalar kullanılabilir. Taşmalı kurşun asit bataryalara göre çok daha az bakım gerektirir veya bakım gerektirmez [32].

Sodyum bazlı bataryalarda temiz ve uzun süreli güç sağlamak için tuz kullanılır. Tuz bazlı hücreler sisteme zarar vermeden tamamen sıfır yüke kadar boşaltılabilir. Bununla karşılaştırıldığında lityum iyon bataryalar her zaman biraz şarj bulundurmaya zorundadır. Sodyum bazlı bataryalar yanıcı ve patlayıcı değildir ve geniş sıcaklık aralığında çalışabilirler.

Akış bataryaları güç sağlamak için bir zar ile ayrılmış sıvılar içinde çözülmüş iki ayrı kimyasal bileşen kullanırlar. Elektrik akımının akışı zardan olurken her iki kimyasal sıvıda kendi alanlarında dolaşır. Akış bataryaları yakıt hücreleri gibi çalışır çünkü elektriği oluşturan unsur sıvı enerji kaynağıdır. Akış bataryaları uzun süreli depolama uygulamalarında mükemmeldir ve az bakım gerektirir. Kapasiteyi arttırmak için bir depolama sistemine daha fazla batarya birimi eklemek yerine akışlı batarya sistemleri daha fazla elektrolit sıvısına ihtiyaç duyar. Redoks akışlı batarya (RFB) sistemleri enerjiyi sıvı elektrolit çözeltisinde depolamak için kimyasal

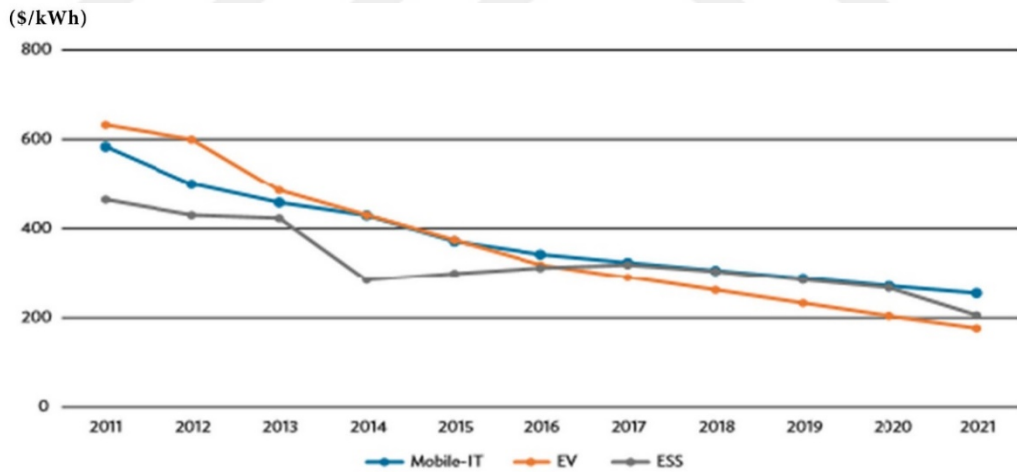
indirgeme ve oksidasyon reaksiyonu kullanır. Deşarj sırasında elektron oksidasyon yoluyla salınır ve diğer taraftaki bir indirgeme reaksiyonu yoluyla kabul edilir. Hibrit akışlı akülerde katı metal katkısı vardır. Örneğin elektrolit sıvısında çözülmüş çinko bromür tuzu bulunabilir. Batarya tiplerinin teknik açıdan karşılaştırılması Tablo 2.1 de gösterilmiştir [33].

Tablo 2.1. Farklı Tip Bataryaların Teknik Açından Karşılaştırılması

Parametreler	Kurşun-Asit Batarya	Nikel-Kadmiyum Hibrit Batarya	Nikel-Metal Hibrit Batarya	Lityum-İyon (sıvı) Batarya	Lityum-İyon (polimer) Batarya
Hücre Gerilimi	2	1,2	1,2	3,6	3,6
Ağırlık-Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	35	50	80	125	170
Hacim-Enerji Yoğunluğu (Wh/l)	80	150	200	320	400
İç Direnç (mΩ)	200-300	100-200	200-300	150-300	25-50
Hızlı Şarj Süresi	8h-16h	1h	2h-4h	1,5h-3h	1h
Yük Akımı	0,2 C	1 C	0,5 C	1 C	10 C
İşletim Sıcaklığı	-20 – 60	-40 – 60	-20 – 60	-20 – 60	-20 – 60
Bakım İhtiyacı	3-6 Ay	30-60 Gün	60-90 Gün	Gerekmiyor	Gerekmiyor
Çevrim Ömrü	500-800	1000	700-1000	5000	5000
Kendi Kendine Deşarj Değeri (%/Ay)	5	20	30	3	3
Elektrolit Durumu	Sıvı	Sıvı	Sıvı	Sıvı	Polimer Jel
Çevre Kirliliği Etkisi	YÜKSEK	YÜKSEK	AZ	AZ	AZ
Üretim Maliyeti	En Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Orta

Tablo 2.1 de görüldüğü gibi bataryaların birbirlerine göre çeşitli avantajları olduğu gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Bu yüzden farklı ortam koşulları, kullanım amaçları ve senaryolara uygun batarya tipi farklı olacaktır. Tablo 2.1'deki parametreler göz önünde bulundurularak uygulanmak istenen duruma ve sisteme en uygun batarya seçilebilir. PV sistemlerde kullanılan en eski batarya çeşidi kurşun asit

bataryalardır. Kurşun asit bataryalar üretim maliyetinin diğer bataryalara göre ucuz olması nedeniyle özellikle küçük güçlü PV sistemlerde yaygın olarak kullanılmışlardır. Ancak günümüzde enerji yoğunluklarının yüksek, şarj sürelerinin kısa, iç direncinin düşük olması sebebiyle lityum-iyon bataryalar tercih edilmeye başlanmıştır. Lityum elektrik akımının kolayca geçebileceği hafif bir metaldir. Lityum-iyon bataryalar yüksek miktarlarda enerji depolayabilir ve diğer batarya türlerinden daha uzun süre şarj tutarlar. Elektrikli araç pazarındaki büyüme bataryaların önemli bir bileşen olması dolayısıyla batarya fiyatlarının düşmesine katkıda bulunmaktadır. Şekil 2.5 de lityum-iyon batarya fiyatlarının yıllar içindeki değişimi ve 2021 yılı için beklenen fiyatı gösterilmektedir. Bataryaların giderek daha fazla kullanılması ve gelişen teknoloji ile birlikte üretim maliyetlerinin düşmesi gibi nedenlerden ötürü önümüzdeki yıllarda da lityum-iyon batarya fiyatlarının düşmesi beklenmektedir. Merkezi depolama sistemleri içinde lityum-iyon batarya kullanımı mantıklı bir tercihtir. Çünkü iyi C oranı, şarj/deşarj işlemlerinin olmadığı durumda kapasite kaybının yavaş olması ve düşük bakım maliyetleri göz önüne alındığında konut uygulamaları için iyi bir seçenek oluşturmaktadır.

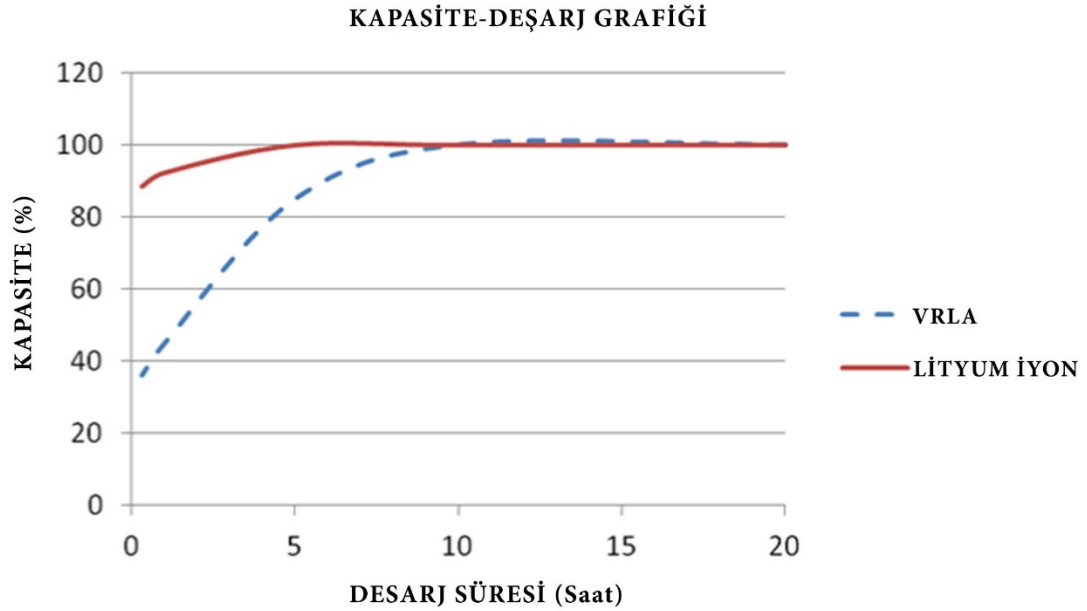


ESS=Enerji Depolama Sistemi, EV=Elektrikli Araç, IT=Bilgi Teknolojileri

Şeki 2.5 Lityum-iyon batarya fiyatlarındaki düşüşün yıllara göre gösterimi [34].

Uygun batarya seçimi yapabilmek için göz önünde bulundurulması gereken en önemli parametrelerden biri C oranıdır. C oranı bataryaların süreklideşarj oranının bir göstergesidir ve bataryaya zarar vermeden çekilebilecek maksimum akımı belirlemek için kullanılır. Şekil 2.6 de şarj edilebilir kurşun asit bataryaların bir çeşidi olan, yalıtılmış veya bakımsız batarya olarak bilinen VRLA ile lityum-iyon

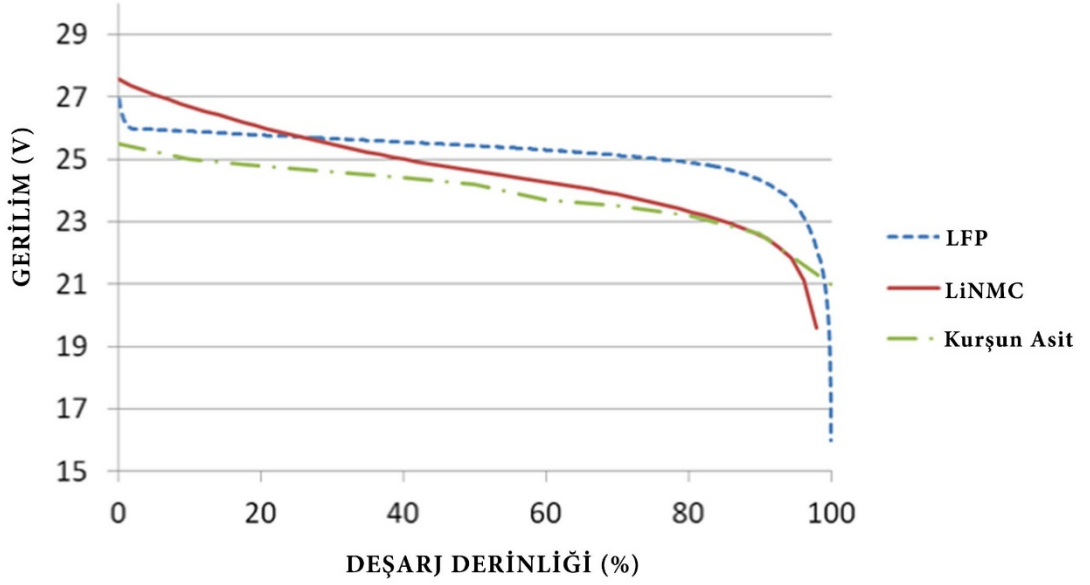
bataryanın C oranlarına ait grafik verilmiştir. Görüldüğü üzere 100Ah'lik bir kurşun asit batarya sistemi 4 saatlik bir deşarj süresinde 80 Ah verebilir. Buna karşılık, 100Ah'lik bir lityum-iyon batarya sistemi 30dk bir deşarj sırasında bile 92 Ah in üzerine çıkabilmektedir. Şekil 2.6 da gösterildiği üzere bu durum lityum iyon bataryalar tam deşarjın 8 saatten daha kısa sürede gerçekleştiği uygulamalar için çok uygun hale getirir.



Şekil 2.6 Lityum-iyon batarya ve Kurşun asit batarya C oranı grafiği [35]

Bataryalarda önemli olan bir diğer parametre batarya deşarj olurken ki gerilimin zamana göre değişimidir. Şarj gerilimindeki değişim miktarının az olması yani gerilim stabilitesi batarya seçiminde önemli bir faktördür. Şekil 2.7 de Lithium Iron Phosphate (LFP), Lityum-iyon bataryaların bir çeşidi olan lityum nikel manganez kobalt oksit (LiNMC) ve Kurşun asit akülerin deşarj durumuna göre gerilim değerindeki değişimler gösterilmiştir. Lityum-iyon bataryaların gerilim aralığının büyük bir kısımda kurşun asit bataryalar ile uyumlu olduğu görülmektedir ancak en iyi performansı elde etmek için elektrik sistemlerinin yüksek şarj voltajını karşılayabilmesi gerekmektedir. Çoğu yenilenebilir enerji batarya şarj regülatörü ve deşarj invertörü kurşun asit ve lityum-iyon arasında ayarlanabilmektedir [35].

FARKLI BATARYA TİPLERİ İÇİN GERİLİM KARŞILAŞTIRMASI



Şekil 2.7 Lityum Bazlı Batarya ile Kurşun Asit Bataryalar için Gerilim Karşılaştırması [35].

2.3.2 Enerji Depolama Sistemi Tasarlarken Dikkat Edilmesi Gereken Kriterler

Enerji depolama sistemi tasarlanırken dikkat edilmesi gereken bazı teknik gereksinimler vardır bunlardan en önemlileri çevrim verimliliği (Round-Trip Efficiency), tepki süresi, boyutlandırma, kullanım ömrü ve çevrim ömrüdür. Depolamaya aktarılan enerjinin (MWh) depolamadan alınan enerjiye (MWh) oranı çevrim verimliliğidir. Güç düşümleri ve parazitik yüklerden kaynaklanan enerji kayıpları dikkate alınır. Bu parametre enerji depolama teknolojilerinin maliyet etkinliğinin önemli bir belirleyicisidir. Enerji depolama seçenekleri arasında, basınçlı hava enerji depolama (CAES) %40-%50 ile bildirilen en düşük verimliliğe ve Lityum-iyon piller %87-%94 ile en yüksek verimliliğe sahiptir. PV'lere entegre edilmiş enerji depolama sistemleri için %75'in altındaki verimliliklerin maliyet etkin olması olası değildir.

Hızlı tepki süresine de duyulan ihtiyaç fotovoltaik sistemlerde oldukça önemlidir. Bulut geçişleri fotovoltaik üretim güç çıkışındaki hızlı değişikliklerin birincil kaynağıdır. Güneşe maruz kalma miktarı saniyeler içinde %60'tan fazla değişebilir. Şebeke ölçeğinde fotovoltaik sistemlerde güç çıkışındaki bu büyüklükteki bir değişimin dakikalar içinde meydana gelmesi beklenmektedir.

Saniye cinsinden bir tepki süresi, önemli büyüklükteki kısa süreli değişkenlik olaylarını hafifletmek için yeterli olabilmektedir.

Verimlilikte olduğu gibi enerji depolamanın maliyet etkinliği kullanım ömrü ile de doğrudan ilgilidir. Bir enerji depolama sisteminin ömrü, şarj/deşarj döngüsü,deşarj derinliği ve çevresel koşullar gibi birçok faktöre bağlıdır. Herhangi bir uygulama içindeşarj derinliğini en üst düzeye çıkarmak gerekli enerji depolama kapasitesini en aza indirir. Konut ve ticari uygulamalar için günde bir veya iki çevrim fotovoltaik güç değişimi ve gece boyunca ucuz şebeke elektriğinin depolanması için yeterli olacaktır. Li-ion bataryaların çevrim ömrü 5000 çevrimdir. [36]. Günde bir çevrim olacağını varsaydığımızda 5000 çevrim yaklaşık 14 yıl anlamına gelir. Depolama sisteminin müdahalesi olmadan tolere edilen güç değişimlerinin büyüklüğünü veya yüzdesini arttırmak da çevrim ömrü gereksinimini azaltabilir.

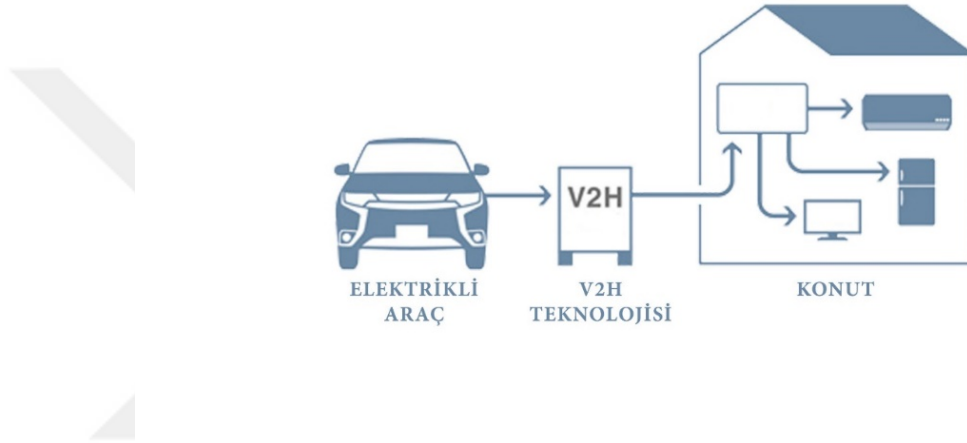
Frekans regülasyonu için kurulan batarya sistemleri güç dönüştürücü kapasitesine göre MW cinsinden boyutlandırılır. Yenilenebilir enerji entegrasyonu ve mikro şebekeler için kurulan batarya sistemleri güç depolama kapasitesine göre MWh cinsinden boyutlandırılır. Kurulum için gerekli batarya kapasitesi eşitlik 2.10 ile hesaplanabilir.

$$\text{Batarya Kapasitesi(MWh)} = \frac{\text{ihtiyaç duy.güç (MW)} \times \text{ihtiyaç duy.süre(h)}}{\text{deşarj derinliği (\%)} \times \text{batarya verimliliği(\%)}} \quad (2.10)$$

2.4. Araç Aküsünün Konut Elektrik Tesisine Entegrasyonu (V2H ya da V2G Teknolojisi)

Araç aküsünün şebekeye entegrasyonu fikri ilk olarak 1997 yılında Kempton ve Letendre tarafından ortaya çıkarılmıştır [25]. Elektrikli araçlar bataryalarını şarj ederken zaten hali hazırda şebekeye bağlıdır ancak V2G teknolojisi olmadan depoladıkları gücü şebekeye veremezler. Bu nedenle, elektrikli araç bataryası ile şebeke arasında çift yönlü iletişimi sağlamak için elektrikli araca yapılması gereken çeşitli eklemelerin yanı sıra bir V2G sisteminin geliştirilmesi de gerekir. Bir V2G sisteminin elektrik şebekesine güç bağlantısı, elektrikli araçların şarj vedeşarjını kontrol eden bir sistem ve şebekeye verilen hizmetin kontrolü için bir araç olmak

üzere üç temel unsuru vardır. V2G teknolojisi ile elektrikli araç aküsü yakınındaki elektrik üretimi ya da elektrik tüketimi gibi farklı sinyallere dayalı olarak şarj ya da deşarj olabilir. V2G konsepti akıllı şarj konseptine benzetilebilir. Akıllı şarj elektrikli aracın şarj edilme işlemini gücün gerektiğinde artırılıp gerektiğinde azaltılması şeklinde kontrol eder. V2G teknolojisi akıllı şarj teknolojisini bir adım öteye taşıyarak, enerji üretimi ve tüketimindeki farklılıkları dengelemek için bataryadaki mevcut enerjiyi şebekeye geri gönderebilir.



Şekil 2.8. V2H Teknolojisinin Çalışma Şeması

Uygulamada V2G teknolojisinin kullanımındaki en önemli konu elektrikli araç kullanıcılarının ihtiyaç duyduklarında araç akülerinin yeterli enerjiye sahip olmasını sağlamaktır. Elektrikli araç sürücüleri aracını ne zaman sistemden çıkaracağı ve çıkardığı zaman bataryasının ne kadar dolu olması gerektiği konusunda V2G teknolojisi ile iletişim halinde olabilmelidir. Örneğin sürücünün aracını kullanması gerektiğinde araç aküsü her zaman %70-90 oranında dolu olmalıdır.

V2G şarj cihazları birçok şekil ve boyutta olabilmektedir. Genellikle maksimum şarj gücü 10 kW civarındadır bu da konut ve iş yerlerinde şarj için yeterlidir. V2G şarj teknolojileri DC cihazlardır. V2G teknolojisini kullanmanın araç akü ömrüne herhangi bir olumsuz etkisi olmamaktadır çünkü araç aküleri zaten gün içerisinde kullanım dolayısıyla boşaltılıyor ve bununla karşılaştırıldığında, araçtan

şebekeye deşarj etkisiz sayılabilir. Artan şebekeye deşarj günde sadece birkaç dakika sürer.

2.4.1 V2G Teknolojisinin Faydaları

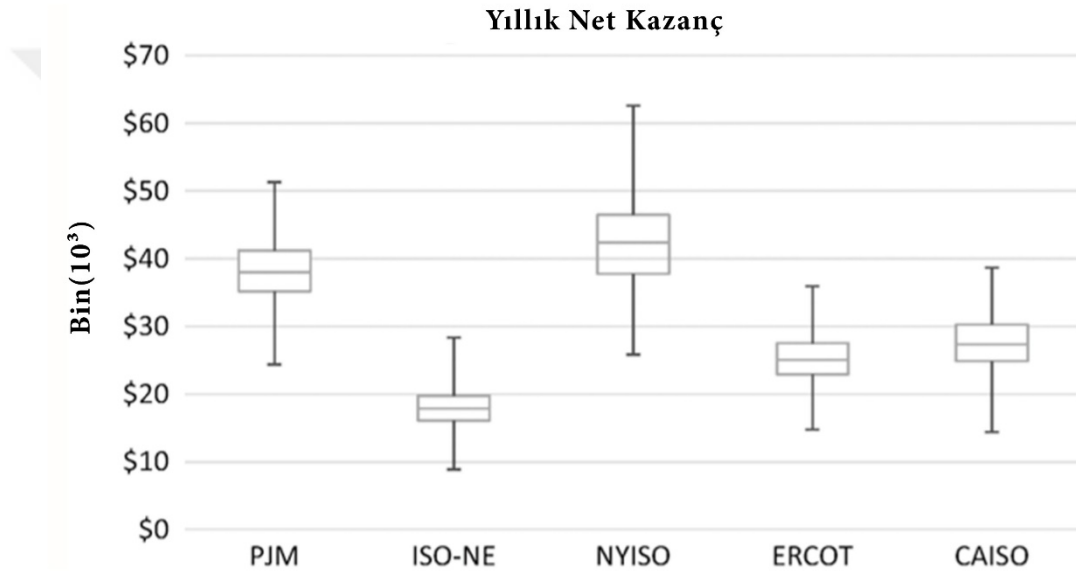
V2G teknolojisinin birincil faydası depolama yoluyla güç şebekesine sağladığı teknik destektir. Çünkü elektrikli araç bataryası yüksek bir güç kapasitesine sahiptir ve hızlı bir şekilde tepki sağlayabilir. V2G hızlı tepki süresine ve nispeten yüksek verimliliğe sahipken, alternatiflerinin çoğunda bunlardan sadece bir tanesi vardır. Ayrıca şarj cihazlarının verimliliğinin artırılmasıyla V2G teknolojisinin daha da kullanışlı bir hale gelmesi beklenmektedir [37]. Eyer ve Corey [38] V2G teknolojisinin şebekeye sağlayabileceği 17 genel fayda bulmuşlardır. Kısaca bu faydalardan bazıları gelişmiş güç kalitesi, voltaj desteği, iletim tıkanıklığını azaltma, enerji talebinin değiştirilmesi, artan elektrik güvenilirliği ve rüzgâr-güneş gibi temiz enerji kaynaklarının entegrasyonunu içerir. Ekonomik açıdan en önemlisi frekans düzenleme gibi yardımcı hizmetler, toplumsal açıdan en önemlisi de yenilenebilir enerji entegrasyonudur. Bu iki fayda V2G sistemlerinin birincil faydalarıdır diğer faydalarını ikincil faydalar olarak kabul edebiliriz. V2G sistemler şebekeyi teknik olarak daha verimli hale getirmenin yanı sıra hem elektrikli araç sahibine hem de topluma ekonomik faydalar sağlar. Elektrikli araç sahipleri için V2G yeni gelir kaynağı oluşturabilirken şebeke operatörleri ve toplum için mevcut piyasa katılımcılarına daha ucuz bir alternatif sunabilir.

Tüketici perspektifinden bakıldığında ekonomik faydaların birincil yolu piyasa hizmetine katılımın sağladığı gelirdir. Şu anda V2G teknolojisinin birincil ve en değerli hizmeti frekans düzenlemesidir. Frekans düzenlemesinin karşılığı, genellikle bir saat içindeki her bir MW güç kapasitesi için verilir. Frekans düzenlemesine katılımın sağladığı yıllık gelir eşitlik 2.11 ile hesaplanır.

$$K = F_{\text{DFREKANS}} \times G_{\text{MW}} \times t \quad (2.11)$$

K yıllık kazanç, F_{DFREKANS} frekans düzenleme fiyatını (tl/MWh), G_{MW} güç kapasitesini (MW) ve t V2G'nin kullanıldığı süreyi (saat) sembolize eder. Eşitlik 2.11 ile frekans düzenlemesine katılımın bir elektrikli araç sahibine ne kadar fayda gelir sağlayacağı hesaplanabilir. Frekans düzenleme fiyatları zaman içinde

değişkenlik gösterir. Şekil 2.9 ABD’de beş elektrik şebekesinde 16 yıl boyunca frekans düzenlemesi sağlayan bir V2G sahibinin toplam gelirini göstermektedir. Buradaki toplam gelirler yaklaşık 20.000 \$ ile 45.000 \$ arasında değişmiştir [39]. Buradaki gelirler denklemdeki üç faktöre dayanmaktadır. Bu üç faktör frekans düzenleme fiyatı, güç kapasitesi ve elektrikli aracın kullanılabilirlik süresidir. Güç kapasitesi ve elektrikli aracın kullanılabilirliği teknolojik gelişmeler sayesinde her zaman artırılabilir, bu da gelir potansiyelini artıracaktır. Buradan sağlanan gelir sayesinde elektrikli araca sahip olma maliyeti azalmaktadır. Bu durumun elektrikli araçların kullanımına teşvik edici olabileceği de söylenebilir.



Şekil 2.9. ABD elektrik şebekelerinde frekans düzenlemesi sağlayan bir elektrikli araç için 16 yıllık gelirler. ISO-NE (ISO-New England), NYISO (New York ISO), ERCOT (Teksas Elektrik Güvenilirlik Konseyi) ve CAISO (California ISO) gibi farklı bölgesel yönetmelikler için.

V2G teknolojisi elektrikli araç sahiplerine yeni bir gelir kaynağı oluşturmasının dışında hizmetlerin maliyet etkinliğini artırabilir ve bu da şebeke operatörleri ve toplum için masrafların azalması demektir. ABD’ de sadece frekans düzeltme pazarının yılda yaklaşık 400 milyon dolara mal olduğu tahmin edilmektedir [40]. Sistemin geliştirilip kapasitesi arttırıldığında esasen sıfır olan çok sınırlı işletme maliyeti düşünüldüğünde V2G teknolojisi şebeke operatörlerini potansiyel olarak yılda yüz milyonlarca dolar tasarruf ettirebilir. Henüz bu şekilde para kazanılmamış olsa da başka şekillerde de maliyet azaltması muhtemeldir. Örneğin, diğer depolama

seçeneklerine kıyasla yenilenebilir enerjiyi sisteme entegre etmenin en optimum yoludur. Mevcut sistemden elektrikli araçların kullanımına tam bir geçiş olduğunda, yakıt ve bakım için yapılan toplumsal harcamaların da önemli ölçüde azalması beklenmektedir. Dolayısıyla, V2G den elde edilen şebeke verimliliği tasarrufuna ek olarak elektrikli araçlar da ek sosyoekonomik tasarruf sağlayabilirler. Sonuç olarak, bu teknolojiler iyi bir şekilde uygulandığında hem elektrikli araç sahiplerine hem de tüm topluma ekonomik faydalar sağlayabilecek potansiyelindedirler.

Ekonomik faydalara ek olarak V2G teknolojisi, hem elektrik hem de ulaşım sektöründe çevreye ve insan sağlığına verilen zararları azaltarak toplumsal fayda sağlar. Mevcut sistemde gaz emisyonları pek çok çevresel hasara yol açarken gaz emisyonlarına ek elektrik üretimi de yaban hayatı, arazi kullanımı ve su kaynakları üzerinde önemli olumsuz etkilere neden olmaktadır. V2G teknolojisi yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik sistemine eklenmesini kolaylaştırmada önemli bir rol üstlenmesi beklenmektedir. Özetle, V2G teknolojisi ekonomi, çevre ve sağlık konularında faydalara sahip ucuz ve teknik olarak avantajlı bir depolama biçimi sunmaktadır.

2.4.2 Batarya Kapasitesinin Belirlenmesi

Batarya depolama kapasitesini, PV panelin enerji üretimi yapmadığı zamanlarda gerekli yük talebini mümkün olduğunca karşılayacak şekilde seçmek önemlidir. Batarya boyutlandırması yapılırken maksimum deşarj derinliği, düzeltme faktörü, nominal pil kapasitesi ve pil ömrü gibi birçok faktör göz önünde bulundurulur. Gerekli batarya kapasitesi Eşitlik 2.12 ile hesaplanabilir.

$$B_{rc} = E_{c(Ah)} D_s / DOD_{max} \eta_t \quad (2.12)$$

Burada $E_{c(Ah)}$ amper-saat cinsinden yükü, D_s batarya depolama gün sayısını, DOD_{max} bataryanın maksimum deşarj derinliğini ve η_t düzeltme faktörünü temsil eder. Bataryanın şarj ya da deşarj durumu üretilen güç ile yük arasındaki fark ile hesaplanır. Bir bataryanın t anında şarj miktarı Eşitlik 2.13 ile elde edilebilir.

$$E_B(t) = E_B(t-1)(1 - \Delta) + (E_{GA}(t) - E_L(t)/\eta_{inv})\eta_{bat}. \quad (2.13)$$

Burada $E_B(t)$ ve $E_B(t - 1)$, bataryanın t ve $t-1$ zamanlarındaki şarj miktarını, Δ saatlik kendi kendine deşarj oranını, $E_{GA}(t)$ yenilenebilir enerji kaynağı tarafından üretilen toplam enerjiyi, $E_L(t)$ t anındaki yük talebini, η_{inv} ve η_{bat} invertör verimliliğini ve bataryanın şarj verimliliğini temsil eder. Ayrıca bataryaların şarj kısıtları vardır ve Eşitlik 2.14 de bu kısıtlama formülize edilmiştir.

$$E_{Bmin} \leq E_B(t) \leq E_{Bmax} \quad (2.14)$$

E_{Bmax} ve E_{Bmin} bataryanın maksimum ve minimum şarj değerini temsil etmektedir.

Merkezi enerji depolama sistemlerinde, enerji üretimi ve yük talebi her konut için farklı olacağından merkezi enerji depolama sisteminin optimum depolama kapasitesi de her konut için farklıdır. Bu nedenle, merkezi batarya her konut için bilinen istatistiklere göre paylaşılır. Batarya paylarının belirlenmesi, maliyet bölümü ve ekonomik analiz yapmak için en temel gerekliliktir. Optimum batarya payı fazla PV enerjisinin şebekeye aktarılması ile ilgili istatistiklere göre bulunur. Her hane için elde edilen şebekeye güç aktarımı seviyesi Eşitlik 2.15 de batarya boyutunu belirlemek için kullanılır.

$$Cap_{CES}^i = \frac{E_{şebeke,inj}^i}{(SOC_{max} - SOC_{min})\eta_{ch}} \quad (2.15)$$

Burada $E_{şebeke,inj}^i$ şebekeye aktarılan elektrik için bilinen istatistiklere göre belirlenir. Merkezi enerji depolama sisteminin boyutunun sınırlı olduğu varsayıldığından, her konut için en uygun batarya boyutu bu sistemlerde mümkün olmayabilir. Bu nedenle, merkezi enerji depolama sisteminin her konut için optimum batarya payını sağlamak üzere bir paylaşım faktörü vardır ve Eşitlik 2.16 de gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$Pay^i = \frac{Cap_{CES}^i}{\sum_{j \in N} Cap_{CES}^j} \quad (2.16)$$

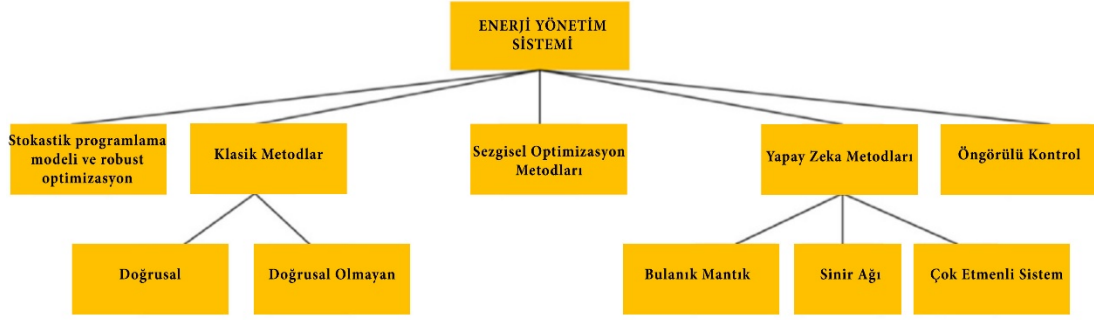
Alternatif olarak merkezi enerji depolama sisteminin boyutlandırması Eşitlik 2.17 kullanılarak da hesaplanabilir.

$$\text{Cap}_{\text{CES,opt}} = \sum_{i \in N} \text{Cap}_{\text{CES}}^i \quad (2.17)$$

2.5 Enerji Yönetim Sistemi

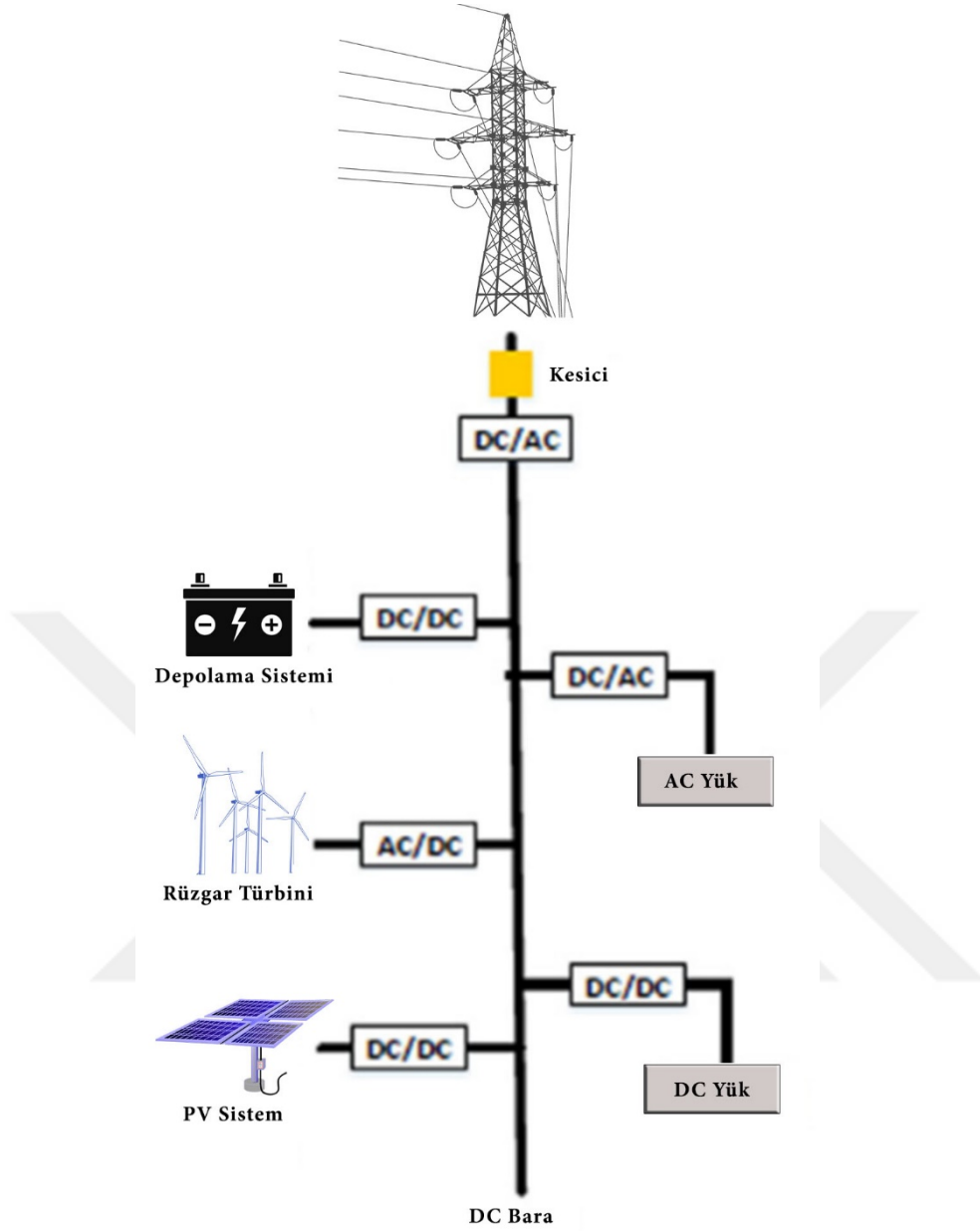
Yenilenebilir enerji kaynaklarının çoğu kesikli enerji kaynaklarıdır. Özellikle rüzgâr ve güneş enerjisinin meteorolojik faktörlere bağımlılığı nedeniyle üretilen enerji miktarı değişkenlik göstermektedir. Bu kaynakların belirsiz güç çıkışı sorununu ortadan kaldırmak için yenilenebilir enerji sistemleri enerji depolama sistemleri ve geleneksel üretim birimleri ile birleştirilmektedir. Yenilenebilir enerji sistemlerini geleneksel güç sistemleri ile uyumlu hale getirmek için mikro şebeke kavramı geliştirilmiştir [41]. Mikro şebekelerin yük profilini geliştirmek, enerji kaybını azaltmak, ısı yükünü sağlamak, hat kesintilerini azaltmak gibi çeşitli faydaları vardır. Mikro şebekeler gerilim cinsine göre AC mikro şebeke, DC mikro şebeke ve AC/DC hibrit mikro şebeke şeklinde sınıflandırılabilir. Ayrıca mikro şebekeler ana şebekeye bağlı olma durumlarına göre şebeke bağlantılı ve şebeke bağlantısız olabilir. Mikro şebekeler için enerji yönetim sistemlerinin geliştirilmesi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına erişilebilirliğin artırılabilmesi için önemlidir. Enerji yönetim sistemleri yük ve tedarik arasında bir dengeyi ve sistemin farklı operasyonel ve ekonomik kısıtlamalarını sağlamalıdır.

Mikro şebekelerin optimum enerji yönetimini sağlamak için bir enerji yönetim sistemi geliştirmek, Uluslararası Elektroteknik Komisyonu tarafından IEC 61970 standartlarında “Temel destek hizmetleri sağlayan bir yazılım platformu ve elektrik üretim ve iletim tesislerinin etkin çalışması için gereken işlevselliği sağlayacak bir dizi uygulama içeren bilgisayar sistemi” şeklinde tanımlanmıştır [42]. Farklı mikro şebeke türleri için enerji yönetim sistemi geliştirilirken çeşitli klasik ve sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Şekil 2.10’de kullanılan yöntemlerin sınıflandırılması gösterilmektedir.



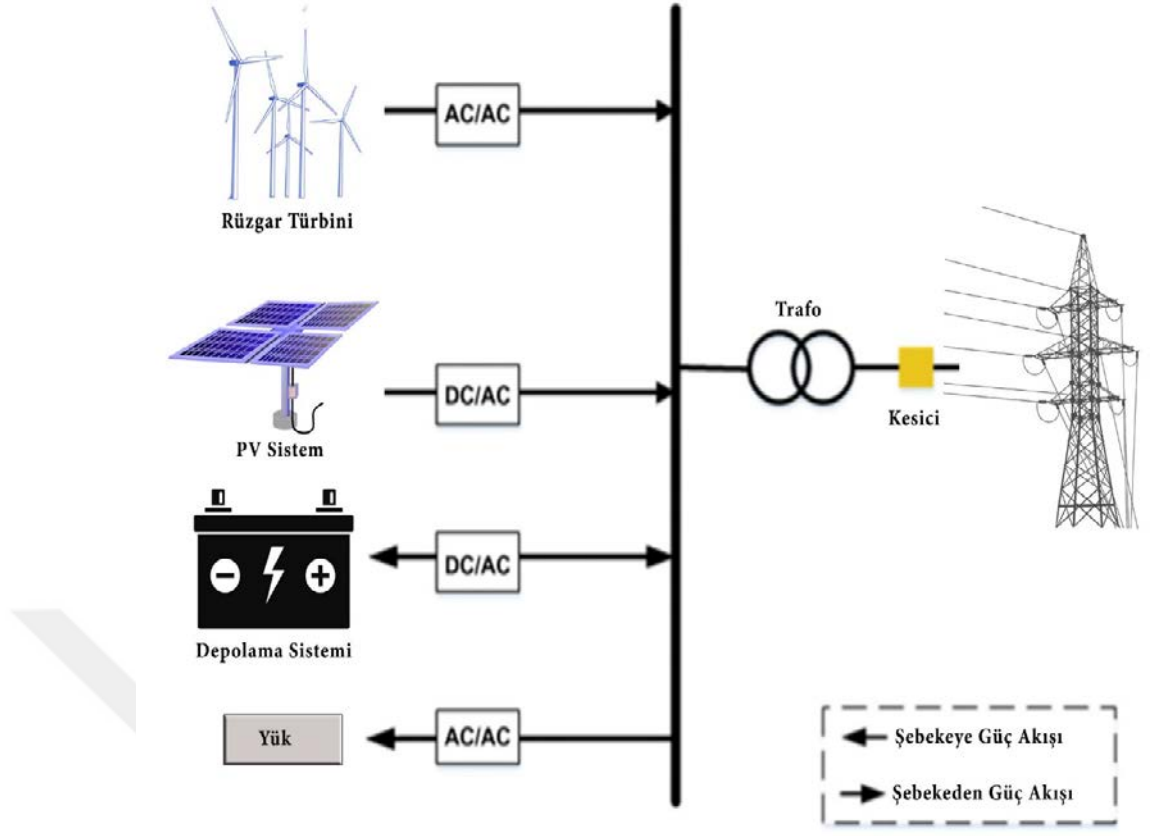
Şekil 2.10 Mikro Şebekelerde Enerji Yönetim Sistemi Yöntemleri

DC mikro şebekelerde, dağıtık enerji üreticilerinin senkronizasyonuna gerek yoktur. DC bara gerilimi üzerindeki kontroller doğrudan yapılmaktadır. Özellikle hastanelerde, ticari alanlarda ve yerleşim yerlerinde DC tarafındaki yüklerin artması DC mikro şebekeleri gelecekteki gereksinimleri karşılayabilecek en ekonomik çözüm haline getirmektedir. Elektrikli araçlar ve LED ışıklar en önemli DC yükler olarak kabul edilebilir. Yakın gelecekte kullanımı yaygınlaşacak olan elektrikli araçlar, DC mikro şebekeleri bugün olduğundan daha cazip hale getirme potansiyeline sahiptir. Diğer bir yandan, DC mikro şebekeler yüksek gerilimli AC sistemlere kıyasla 120 V, 240 V, 360 V, 480 V gibi nominal aralıklar göz önüne alındığında güvenlik açısından da tercih edilebilir. Özetle, DC mikro şebekelerde çeviriciye daha az ihtiyaç duyulması nedeniyle verimliliğinin yüksek olması, senkronizasyonun gerekmemesi, yenilenebilir enerji sistemlerine kolay entegrasyonu, artan sayıda DC yükün verimli bir şekilde tedarik edilmesi ve daha yüksek güvenlik seviyesi sağlaması açısından avantajlıdır. Şekil 2.11’de DC mikro şebekenin yapısı gösterilmiştir.



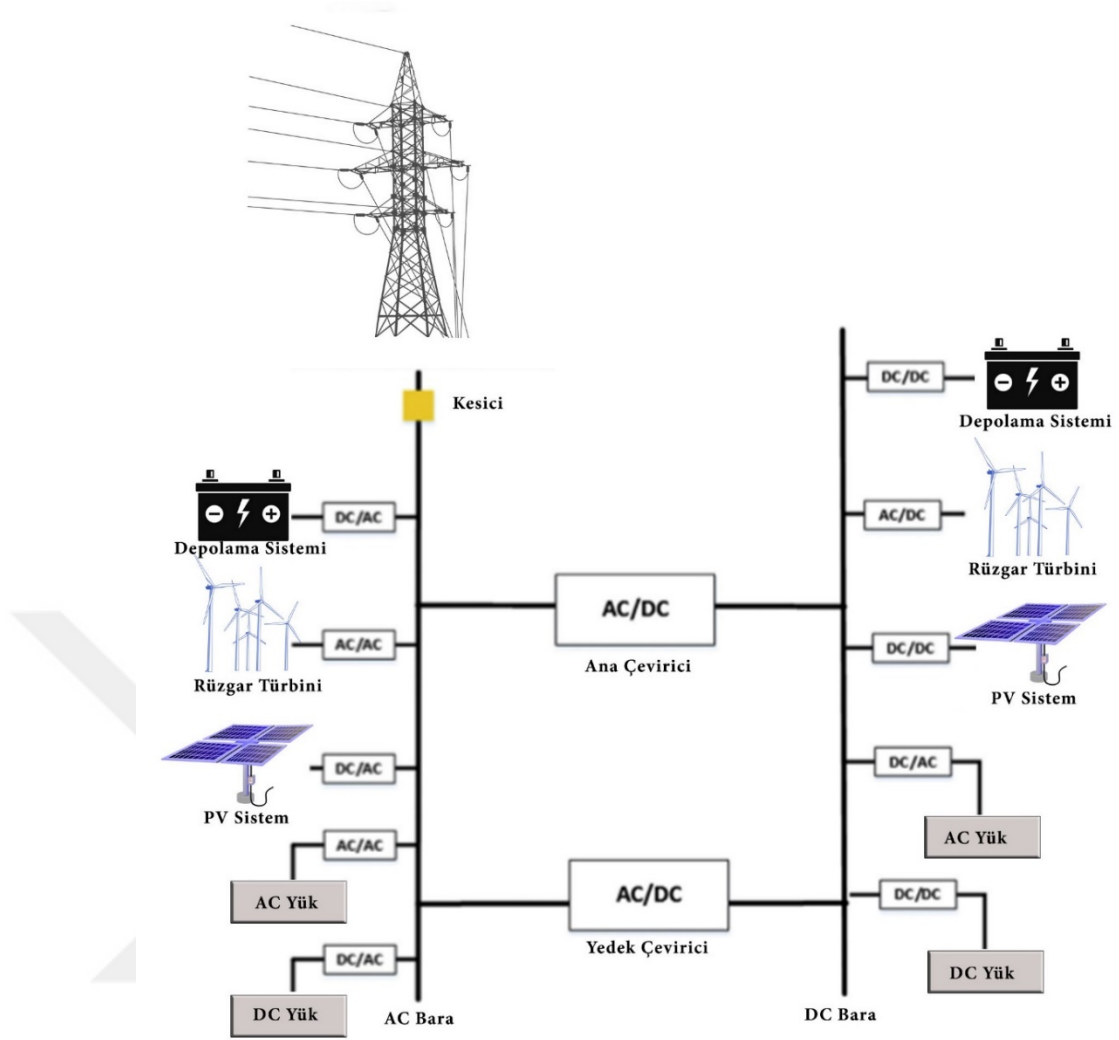
Şekil 2.11 DC Mikro Şebekenin Yapısı

AC mikro şebekelerin temel avantajı dağıtık güç kaynaklarının doğrudan sisteme uygulanmasıdır. Ancak reaktif güç kontrolü, gerilim kararlılığı ve senkronizasyon gereksinimi bu tür sistemlerin ana problemi olarak sayılmaktadır [43]. AC mikro şebekelerin kullanımının ana motivasyonu, mevcut güç sistemlerini akıllı şebeke ile birleştirmektir. Şekil 2.12’de AC mikro şebekenin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.12 AC Mikro Şebekenin Yapısı

Günümüzde batarya depolama sistemleri, PV sistemler, yakıt hücreleri gibi DC kaynakların artıyor olması nedeniyle hibrit AC/DC mikro şebekelere olan ilgi hızla artmaktadır. Şekil 2.13’de görüldüğü üzere bu mikro şebekelerde AC ve DC alt şebekeler AC/DC dönüştürücü kullanılarak birbirine bağlanır. DC alt şebeke yenilenebilir enerji kaynakları tarafından üretilen enerji dahili yükünden daha yüksek olduğunda AC tarafa enerji aktarabilir [44].



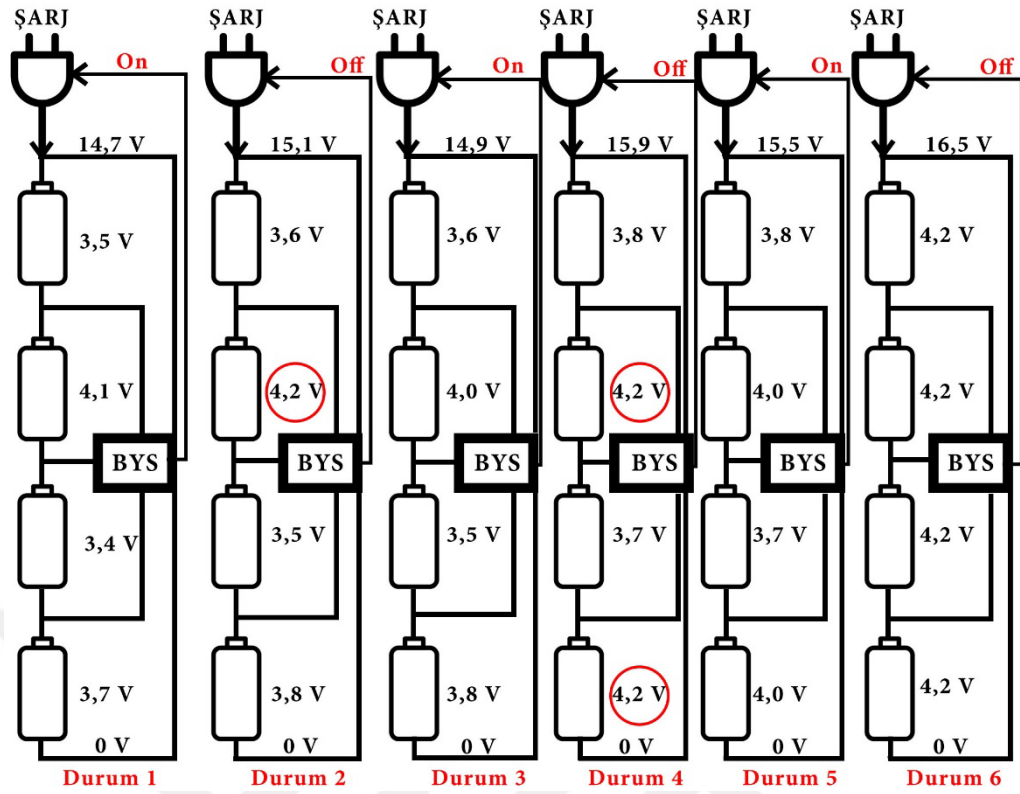
Şekil 2.13 Hibrit AC/DC Mikro Şebekelerin Yapısı

2.5.1 Lityum İyon Batarya Yönetim Sistemi

Batarya yönetim sistemlerinin işlevleri arasında bataryaları izlemek, korumak, durumunu tahmin etmek, performansını en üst düzeye çıkarmak ve kullanıcılara ve/veya harici cihazlara rapor vermek gibi işlevler sıralanabilir. Ancak, bir batarya yönetim sisteminin temel görevi bataryanın uygun gerilim ve sıcaklık aralığında çalışmasını sağlamaktır. Bu, özellikle büyük ölçekli lityum-iyon bataryalar için çok önemlidir. Çünkü, lityum-iyon bataryaların yanlış kullanımı kimyasından dolayı diğer bataryalara göre daha tehlikelidir. Birden fazla batarya hücrelerinin seri bağlı olduğu batarya grupları hücreler arasındaki dengesizlik nedeniyle düzensiz bir şekilde şarj ve deşarj olma eğilimindedir. Lityum-iyon piller tamamen şarj edilmemeli veya tamamen boşaltılmamalıdır. Lityum-iyon batarya yönetim sistemleri şarj akımını durdurarak yada kullanıcıdan durdurulmasını talep ederek

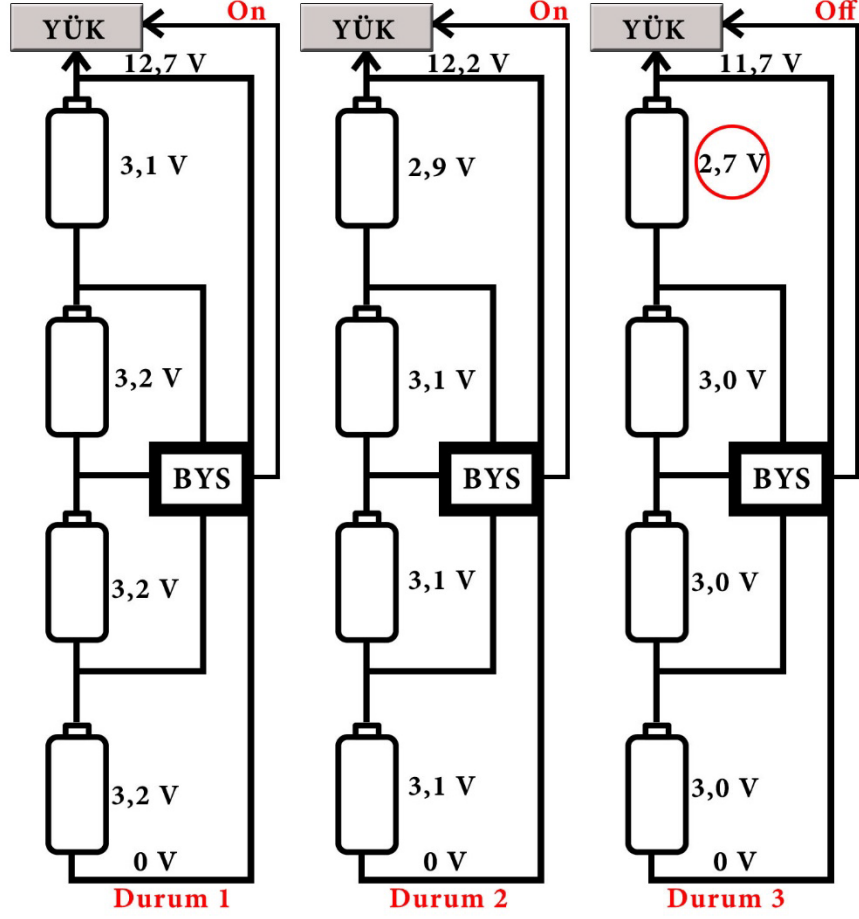
hücrelerin geriliminin sınırı aşmasını önlemelidir. Çünkü bu durum tüm lityum-iyon hücreler için bir güvenlik sorunudur. Aynı şekilde batarya akımını doğrudan durdurarak, durdurulmasını talep ederek yada soğutma talebinde bulunarak sıcaklığının belli bir sınırı aşmasını önlemelidir. Çünkü lityum-iyon bataryalar termal kaçak eğilimlidir. Ayrıca, şarj ve deşarj akımlarında uygun sınırlar içerisinde kalmasını sağlamalıdır. Özetle, lityum-iyon bataryalar şarj edilirken boşaltılırken batarya yönetim sistemine ihtiyaç duyar. Şarj edilirken herhangi bir hücre maksimum şarj gerilimine ulaşır ulaşmaz, şarj cihazını kapatmalıdır ve deşarj olurken herhangi bir hücre düşük bir kesme gerilimine ulaşır ulaşmaz yükü kapatmalıdır. Batarya yönetim sistemi ayrıca bataryaların kapasitesini en üst düzeye çıkarmak için bataryaları dengeleyebilmektedir. Bunu şarj cihazının hücrelerin tekrar şarj edilmesine izin vereceği noktaya kadar en yüklü hücreden deşarj yaparak uygulayabilmektedir. Bu işlemin yeterince tekrarlanmasından sonra hücreler aynı voltaja ulaşacak ve tam olarak şarj edilecektir yani batarya grupları dengelenecektir.

Şekil 2.14’de şarj cihazını kontrol eden bir batarya yönetim sistemi ile şarj işlemi gösterilmektedir. Birinci durumda batarya grubu şarj işlemi halindedir. İkinci durumda batarya hücrelerinden bir tanesinin kesme gerilimine ulaşması sonucunda şarj işlemi durdurulur. Üçüncü durumda batarya yönetim sisteminin batarya hücreleri arasında gerilimi dengelemesi sonrasında gerilim biraz azalır ve şarj işlemi yeniden başlar. Dördüncü durumda bazı batarya hücrelerinin kesme gerilimine ulaşması sebebiyle dengeleme işleminin tekrarlandığı görülmektedir. Beşinci durumda şarj işleminin devam ettiği gösterilmiştir ve son durumda dengelenip kesme gerilimine ulaşan batarya grubunun şarj işlemi sonlandırılmıştır.



Şekil 2.14 Şarj Cihazını Kontrol Eden Batarya Yönetim Sistemi ile Şarj İşlemi

Şekil 2.15’de şarj cihazını kontrol eden bir batarya yönetim sistemi ile deşarj işlemi gösterilmektedir. Birinci ve ikinci durumda batarya grubunun deşarj işlemi halinde olduğu görülmektedir. Üçüncü durumda batarya hücrelerinden birtanesinin alt kesme gerilimine düşmesi sebebiyle şarj işleminin batarya yönetim sistemi tarafından durdurulmuştur.



Şekil 2.15 Şarj Cihazını Kontrol Eden Batarya Yönetim Sistemi ile Deşarj İşlemi

2.5.2 Bataryalarda Şarj Durumu, Deşarj Derinliği ve Kapasite

Belirli bir zamanda bir batarya hücresinin veya bataryanın şarj durumu (SOC), o anda var olan şarj miktarının batarya tam olarak şarj edildiğinde var olabilecek şarj miktarına oranıdır. Batarya doluyken %100'den boşken %0'a kadar yüzdelik ile ifade edilir. SOC değerlendirme fonksiyonu, elektrikli araçlarda yakıt göstergesi olarak da bilinir. Bir bataryada her hücrenin kendi ayrı SOC değeri ve bataryanın kendisinin ayrı SOC değeri vardır.

Bir batarya hücresinin veya bataryanın deşarj derinliği (DOD), oradan alınabilecek yükün bir ölçüsüdür. Amper-saat (Ah) veya yüzde cinsinden ifade edilebilir. Örneğin bir batarya hücresinden nominal kapasiteye eşit bir yük alındığında, SOC'si %0 dır ve DOD'si %100 veya batarya hücresinin nominal kapasitesidir (örneğin 150Ah). Ancak Ah cinsinden ifade edildiğinde daha net bir

bilgi olacaktır. Çünkü, DOD nominal değer üzerinde çıkabilmekte ancak yüzdelikli gösteriminde %100'ün üzerinde bir gösterim yapılamamaktadır.

İlk bakışta, SOC'nin DOD'nin tersi olduğu düşünülebilir çünkü biri azalırken diğeri artar ancak öyle değildir. SOC ve DOD değerlerinin karşılaştırması Tablo 2.2'de yapılmaktadır. 100-Ah lik bir bataryanın kapasitesi yarıya indiğinde SOC hala %100 ile %0 arasında değişir ancak DOD öncesinde 0 Ah ile 100 Ah saat arasında değişecekken kapasitesi yarıya indiğinde 0 Ah ile 50 Ah arasında değişir. Bir bataryanın gerçek kapasitesi tamamen boşaldığında DOD değerine eşittir. Bir hücrenin nominal kapasitesi hücre üreticisi tarafından belirlenir. Şarj ve deşarj işlemlerinin durdurulduğu noktalar hücre kapasitesinin önemli sınırlamalarıdır.

Tablo 2.2. SOC ve DOD Değerlerinin Karşılaştırması

	SOC	DOD
Birim	%	Ah
Referans Değeri	İki Nokta : Dolu ve Boş	Bir Nokta: Dolu
Dolu Batarya Değeri	%100	0 Ah
Boş Batarya Değeri	%0	Söz Konusu Değil
Değişim Oranı	Söz Konusu Değil	Batarya Akımı ile Orantılı
Batarya Boşaldıktan Sonra	%0 Altına İnememez	Artmaya Devam Eder

2.5.3 Batarya Yönetim Sistemi Türleri

Batarya yönetim sistemleri kurulum şekillerine bağlı olarak ayrı ayrı ve doğrudan her hücreye kurulum, cihazda tek bir kurulum veya bu ikisinin ara formunda olacak şekilde kategorize edilir. Bu kurulum şekilleri maliyeti, güvenliği, kurulum kolaylığını, bakım kolaylığını ve ölçüm hassasiyetini etkilediğinden önemlidir. Burada batarya yönetim sistemleri merkezi batarya yönetim sistemi, modüler batarya yönetim sistemi, ana kart-yardımcı kart (Master-Slave) batarya yönetim sistemi ve dağıtılmış batarya yönetim sistemi olarak kategorize edilir.

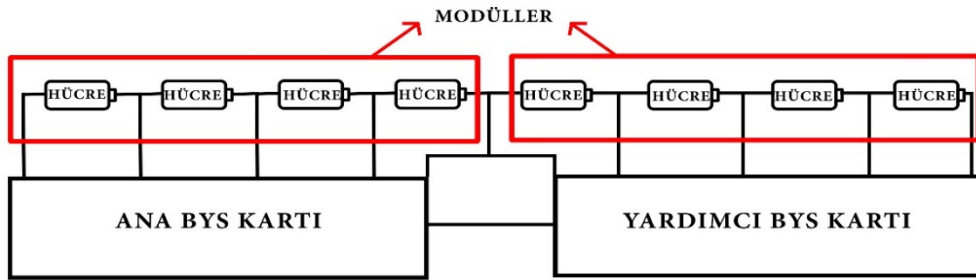
Şekil 2.16'da merkezi batarya yönetim sisteminin blok şeması gösterilmiştir. Bu şemada da açıkça görüleceği üzere merkezi batarya yönetim sistemi tamamen tek bir düzenekte bulunur, N tane hücre için N+1 tane tel hücrelere girer. Tek bir düzenekten oluşmasının çeşitli avantajları vardır. Kompakttır, en uygun fiyatlı

yaklaşımıdır. Çünkü, devreyi tek bir montajda gruplamak birden fazla montaja bölmekten ekonomik açıdan daha avantajlıdır, sorun giderme veya onarım gerekirse yalnızca tek bir montajı değiştirmek daha kolaydır.



Şekil 2.16 Merkezi Batarya Yönetim Sisteminin Blok Şeması

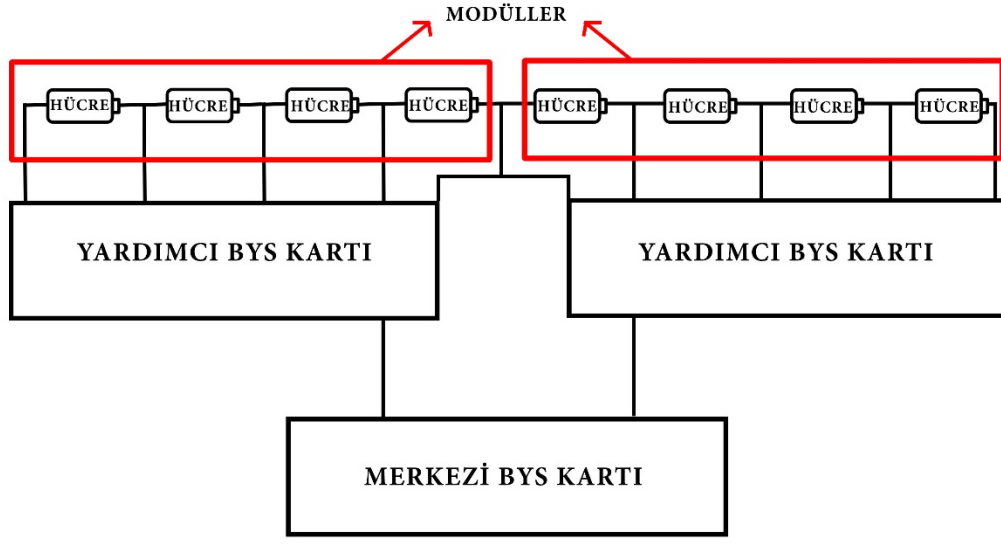
Şekil 2.17’de modüler batarya yönetim sisteminin blok şeması gösterilmiştir. Modüler batarya yönetim sistemi merkezi batarya yönetim sistemi modeline benzer, ancak batarya yönetim sistemi, özdeş iki modüle ayrılmıştır ve her biri gruptaki bataryalardan birine bağlanır. Tipik olarak modüllerden bir tanesi master olarak atanır. Çünkü, diğer modüller basit bir uzaktan ölçüm cihazı olarak işlev görürken master modülü tüm batarya grubunu yöneten ve sistemin geri kalanıyla iletişim kuran kısımdır. Modüler batarya yönetim sistemi merkezi batarya yönetim sistemi ile aynı avantajlara sahiptir. Bu avantajlara ek olarak batarya hücrelerine giden kabloların yönetimi daha kolaydır çünkü her modül yönettiği bataryaya yakın yerleştirilir ve bu batarya yönetim sistemine kolayca modül eklenebileceğinden daha büyük paketlere genişletmek kolaydır. Ancak, modüler batarya yönetim sisteminin maliyeti merkezi batarya yönetim sistemine göre biraz daha yüksektir.



Şekil 2.17 Modüler Batarya Yönetim Sisteminin Blok Şeması

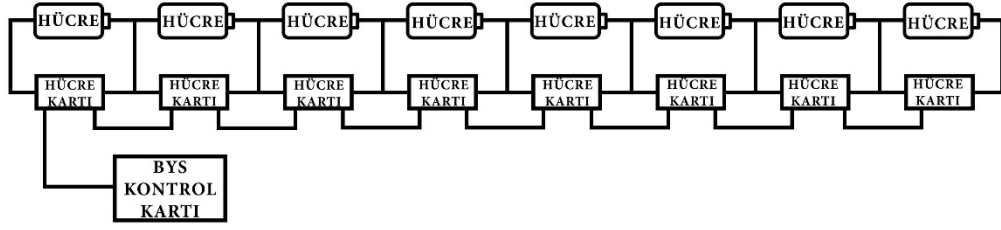
Şekil 2.18’de ana kart-yardımcı kart (Master-Slave) batarya yönetim sisteminin blok şeması gösterilmiştir. Ana kart-Yardımcı kart batarya yönetim

sistemi her biri birkaç hücrenin gerilimini ölçen çoklu özdeş modüllerden oluşmasından dolayı modüler batarya yönetim sistemine benzetilebilir. Ölçümler yardımcı kartlarda yapılırken, veri işleme ve haberleşme gibi fonksiyonlar ana kart ile yapılır. Ana kart-yardımcı kart batarya yönetim sistemleri çoğunlukla modüler batarya yönetim sistemleriyle aynı avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Bunlara ek olarak maliyeti modüler batarya yönetim sistemine göre daha düşüktür.



Şekil 2.18 Ana Kart-Yardımcı Kart (Master-Slave) Batarya Yönetim Sisteminin Blok Şeması

Şekil 2.19’da dağıtılmış batarya yönetim sisteminin blok şeması gösterilmiştir. Dağıtılmış batarya yönetim sistemi Şekil 2.16’daki blok şemadan da anlaşılacağı üzere diğer batarya yönetim sistemlerinden oldukça farklı bir yapıdadır. Bu batarya yönetim sisteminde elektronik aksamlar doğrudan hücrelere yerleştirilen hücre kartlarında bulunur yani modül yoktur. Dağıtılmış batarya yönetim sistemlerinde ölçüm doğruluğu diğer batarya yönetim sistemlerine göre daha yüksektir ve gürültü azdır. Diğer batarya yönetim sistemlerine göre çok daha fazla elektronik eleman ve bağlantıdan oluştuğu için arızaya daha yatkındır.



Şekil 2.19. Dağıtılmış Batarya Yönetim Sisteminin Blok Şeması

2.5.4 Batarya Yönetim Sistemi Fonksiyonları

Batarya yönetim sistemlerinin fonksiyonlarını güvenliği sağlama, haberleşmeyi sağlama, veri işleme, hücre gerilim dengesizliklerinin giderilmesi, ölçme ve görüntüleme olarak sıralayabiliriz. Güvenliği sağlama işlemi enerji depolama sistemini aşırı şarj, aşırı deşarj, yüksek sıcaklık, yüksek şarj akımı ve kısa devre gibi tehlikeli durumlardan korumak ve bu durumların oluşmasının engellenmesi şeklinde gerçekleşir. Bataryalar belirli sıcaklıklar arasında tutulmalıdır. Çünkü, fazla soğuk olması bataryanın daha hızlı deşaj olmasına ve şarj süresinin uzamasına sebep olur, fazla sıcak olması durumunda da benzer bir sorun söz konusu olacaktır. Sıcaklığın uygun aralıkta tutulması özellikle lityum tabanlı bataryalarda oldukça önemlidir çünkü lityum tabanlı bataryalar maksimum dayanıklılık sıcaklığın aşıldığında kimyasal yapıları sebebiyle reaksiyon başlatırlar ve bu patlamaya sebep olabilmektedir. Şarj ve deşarj akımları da sınırlar içerisinde olmalıdır. Katalogta belirtilen limitlerin üzerinde akımlarla şarj yada deşarj edilen bataryanın kullanım ömrü kısılacaktır. Şarj ve deşarj esnasından minimum ve maksimum gerilim seviyelerine de dikkat edilmelidir. Batarya yönetim sistemlerinde haberleşme şerj durumu, bataryanın sağlık durumu, hücre sıcaklığının ne olduğu ve aşırı şarj yada deşarj işlemlerinin olup olmadığı gibi bilgilerin sisteme ve/veya kullanıcıya iletilmesidir. Haberleşme fonksiyonu güvenliğin sağlanması fonksiyonunun sağlıklı çalışabilmesi için de önemlidir. Ölçme ve görüntüleme de batarya yönetim sistemlerinin hizmetleri arasındadır. Hücre gerilimi, modül gerilimi, batarya gerilimi, akım ve sıcaklık gibi verilerin ölçülmesi gerekmektedir. Akım ölçümü Shunt veya Hall etkili sensörler ile yapılabilmektedir. Burada gürültüsüz temiz bir ölçüm almak önemlidir bu yüzden çoğunlukla filtre devresi kurmak veya ölçüm işlenirken yazılım filtresi uygulamak gerekmektedir. Veri işleme fonksi şarj durumu (SOC) tahmininin ve sağlık durumu (SOH) tahmininin yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Farklı

sebeplerden kaynaklı hücreler arasında gerilim dengesizliği olabilmektedir, oluşan bu dengesizliği dengeleme yöntemleri pasif yöntemler ve aktif yöntemler olarak ikiye ayrılır. Direnç kullanılan bir yöntemdir. Pasif yöntemlerde herhangi bir hücredeki fazla enerji ısıya dönüştürülerek harcanır. Aktif yöntemlerde gerilim seviyesinin yüksek olduğu hücrelerden derilim seviyesinin düşük olduğu hücelere enerji aktarılır. Aktif yöntemler kapasitif yöntemleri indüktif yöntemler yada dönüştürücü içeren yöntemler olabilirler.

2.6. Elektrik Yüğü Tahminlemesi

Elektrik yüğü tahmini, elektrik hizmetlerinin planlanması ve işletilmesinde temel ve ayrılmaz bir süreçtir. Elektrik yüğü tahminin doğruluğı güç sisteminin kapasite planması ve yönetimi için büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte, elektrik yüğü tahmininin doğruluğı çoğı zaman istenileni yerine getiremez. Çünkü, elektrik yüğü tahmininin doğruluğı ekonomik kalkınma, insanların sosyal faaliyetleri, ülke politikaları ve iklim değışiklikleri gibi çeşitli belirsizlikler ve kontrol edilemeyen faktörlerden etkilenir. Yüğü tahmini; tahmin aralığına göre çok kısa dönem yüğü tahmini, kısa dönem yüğü tahmini, orta dönem yüğü tahmini ve uzun dönem yüğü tahmini şeklinde dört sınıfa ayrılabilir. Çok kısa dönem yüğü tahmini birkaç dakika ile bir saat sonrası için yapılan yüğü tahminidir. Bu yüğü tahmini gerçek zamanlı kontrol için kullanılır. Kısa dönem yüğü tahmini bir saat ile bir haftaya kadar olan aralık için yapılan tahmindir ve bir enerji sisteminin günlük çalışmasını, elektrik üretimini ve iletimini programlamada önemli bir yere sahiptir. Kısa dönem yüğü tahmini elektrik kullanıcılarının sürekli güvenilir ve düşük maliyetli enerjiye ulaşabilmeleri için akıllı şebekelerin önemli bir bileşenidir. Talep tarafı yönetiminin yapılmasında tüketim miktarının azaltılması yada kullanım alışkanlıklarının ve zamanlarının değıştirilmesinde önemli oranda kolaylık sağlamaktadır. Talep tarafı yönetiminin yapılmasında sağladığı fayda sebebiyle bu tez çalışmasında kısa dönem yüğü tahmini yapılmıştır. Çok kısa dönem yüğü tahmini ve kısa dönem yüğü tahmini için tahmin sürelerinden dolayı orta ve uzun dönem yüğü tahminine göre çok farklı parametreler kullanılır. Orta dönem yüğü tahmini, genellikle bir haftadan bir yıla kadar olan tahminlerdir. Bu tahminleme yakıt alımlarının ve bakımların planlanması için önemlidir. Orta dönem yüğü tahminlerinde ülkelerin ekonomik gelişimleri, nüfus artışı, büyüme hızı ve o yıl yada o ay içerisinde gerçekleştirilmesi planlanan önemli bir dönemlik olayın (örneğin festivaller, spor etkinlikleri) olması yüğü değerine etki

etmektedir. Uzun dönem yük tahmini bir yıldan yirmi yıla kadar yapılan yük tahminidir. Bu tür bir tahmin, stratejik planlama ve yeni sistemlerin inşası için önemlidir. Tahminlerdeki önemli bir sapma arz tesislerinin gereğinden fazla kurulmasına sebep olabilmektedir. Uzun dönem yük tahminlerinde ekonomik faktörler, yük değerine en çok etki eden parametrelerdir.

2.6.1 Elektrik Yükü Tahmin Yöntemleri

Doğru bir yük tahmini yapılabilmesi için çok sayıda tahmin yöntemi ve modeli geliştirilmiştir. Farklı elektrik şebekeleri için uygun tahmin modeli değişmektedir. Yük tahmini teknikleri Çoklu Regresyon Metodu, Üstel Yumuşatma, Yinelemeli Olarak Yeniden Ağırlıklandırılmış En Küçük Kareler, Uyarlamalı Yük Tahmini, Zaman Serileri, Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağları olmak üzere yedi kategoride sınıflandırılabilir. Geliştirilen modellerin performans değerlendirmesi yapılırken ortalama mutlak yüzde hatası (The mean absolute percentage error, MAPE) en çok kullanılan performans ölçüsüdür.

A. Çoklu Regresyon Metodu

Yük tahmini için çoklu regresyon analizi, ağırlıklı en küçük kareler tekniğini kullanır. Bu analize dayanarak, toplam yük ve hava koşulları arasındaki istatistiksel ilişki hesaplanabilir. Bu analizi uygulamak için Eşitlik 2.18 kullanılabilir [44].

$$Y_t = v_t a_t + \varepsilon_t \quad (2.18)$$

Burada t örnekleme zamanını, Y_t ölçülen sistem toplam yükünü, v_t zaman, sıcaklık, rüzgar hızı, gün tipi (iş günü, hafta sonu) vb. gibi değişkenleri, a_t transpozisyon vektörünün regresyon katsayılarını, ε_t tahmin sırasında oluşan hatayı gösterir. Bu yöntemde Eşitlik 2.18 ile gösterilen modeldeki tüm değişkenlerin sonuca etkisi hesaplanır ve Y_t için tahmini değer belirlenir. Çoklu regresyon metodunda modelde kullanılan değişkenlerin belirlenmesi için çeşitli istatistiksel tahmin yöntemleri uygulanır.

B. Üstel Yumuşatma Yöntemi

Üstel yumuşatma yük tahmini için kullanılan klasik yöntemlerden biridir. Bu yaklaşım önce yükü geçmiş verilere dayanarak modeller, daha sonra gelecek için yük

tahmininde bu modeli kullanır. t anındaki yükü ifade eden $y(t)$ Eşitlik 2.19 ile gösterilir [45].

$$y(t) = \beta(t)^T f(t) + \varepsilon(t) \quad (2.19)$$

Burada $f(t)$ düzeltme fonksiyonu vektörünü, $\beta(t)$ katsayı vektörünü ve $\varepsilon(t)$ tahmin hatasını temsil etmektedir.

C. Yinelemeli Olarak Yeniden Ağırlıklandırılmış En Küçük Kareler Yöntemi

Yinelemeli olarak yeniden ağırlıklandırılmış en küçük kareler yöntemi model sırasını ve parametreleri tanımlamak için ilk kez 1992 yılında Mbamalu ve El-Hawany tarafından kullanılmıştır [45]. Bu yöntem, yük dinamiğinin modelinin tanımlanmasında farklı geçmiş yük verilerinin otokorelasyon fonksiyonunu ve kısmi otokorelasyon fonksiyonunu kullanır.

D. Uyarlamalı Yük Tahmini

Uyarlamalı yük tahmininde, değişen yük koşullarının sürekli takip edilerek model parametrelerinin otomatik olarak düzeltilmesi prensibine dayanır. Uyarlamalı yük tahmini, control sisteminde çevrimiçi yazılım paketi olarak kullanılabilir.

E. Zaman Serileri Analizi

Zaman serileri analizi yöntemi, yük tahmininde kullanılan en eski metodlardan biridir. Bu yöntem çok değişkenli ve tek değişkenli olabilmektedir. Çok değişkenli zaman serileri analizi tüm zaman aralıkları için kullanılabilirken, tek değişkenli zaman serileri analizi sadece çok kısa dönem yük tahminleri için kullanılmaktadır. Otoregresif Hareketli Ortalamalar Modeli (ARMA), Birleştirilmiş Otoregresif Hareketli Ortalamalar Modeli (ARIMA) ve Dışa Dönük Değişkenlerle Otoregresif Hareketli Ortalamalar Modeli (ARIMAX) en çok kullanılan zaman serileri analizi metodlarıdır.

F. Bulanık Mantık

Günlük hayatta kesin olarak bilemeyeceğimiz durumlar olabilmektedir. İncelenen bir sistem ne kadar karmaşık ise ve kullanılacak veri yetersiz ise bulanıklık okadar etkilidir. Bulanık mantık yöntemi sayısal verilerin az yada belirsiz

olduğu karmaşık sistemlerde, sistemin davranışını yaklaşık olarak anlayarak bir sonuç çıkarılmasını sağlamaktadır [47].

G. Yapay Sinir Ağları

Sinir ağları (NN) veya yapay sinir ağları (ANN), ğrenme yetenekleri nedeniyle çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu yöntem yk tahmininde de en sık uygulanan yöntemlerden biridir. Nöronlardan oluşan sinir ağları, canlılarda bulunan sinir ağlarının öğrenme özelliğinden örnek alınarak geliştirilmiş bir bilgi işleme modelidir. Yapay sinir ağları yöntemi yk tahmininde oldukca uygun bir yöntemdir nk önceden belirlenmiş bir yük modeline ihtiyaç yoktur. Bu sistem elektrik yükü, hava değişkenleri ve geçmiş yük modelleri arasında doğrusal olmayan bir eşleme sağlar. Diğer yöntemlere göre hataya toleransı daha yüksek ve daha güvenilirdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1. Materyal

Tez çalışmasının bu kısmında yük tahmini için kullanılan veri setinden ve PV sistemi boyutlandırırken kullanılan verilerden ayrıntılı bir şekilde bahsedilmiştir.

3.1.1 Yük Tahmini İçin Veri Seti

Bu çalışmada yük tahmini ve boyutlandırma için kullanılan veri seti İstanbul'da bulunan bir villanın 07.04.2017 ile 08.04.2019 tarihleri arasındaki elektrik yükü değerlerini ve aynı tarihler arasında, aynı konum için geçerli saatlik çeşitli meteoroloji verilerini içermektedir. Veri seti bir saat aralıklarla ölçülen verilerden oluşmaktadır. Bu çalışmada kullanılan meteorolojik veriler aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır:

1. Ortalama küresel yatay ışıınım (W/m^2) – Ortalama küresel yatay ışıınım değeri direk normal ışıınım, dağınık yatay ışıınım ve yansıyan ışıınım değeri toplamıdır.
2. Ortalama bağıl nem (%) – Ortalama bağıl nem değeri ölçülen nem ile mümkün olan maksimum nem miktarı arasındaki oran olarak ifade edilen havadaki su buharı miktarını ifade eder.
3. Ortalama rüzgâr hızı (m/s) – Ortalama rüzgâr hızı değeri yer yüzeyinden 10m-12m yüksekliğe yerleştirilen 3-cup anemometre ile 10 dakikada bir ölçülen rüzgar hızı değeri ile oluşturulmuştur.
4. Çiy noktası (dew point) ($^{\circ}C$) – Çiy noktası havadaki nemi gösteren başka bir ölçüdür. Eğer çiy noktası artıyorsa havadaki nem miktarı da artar. Çiy noktası derecesi insanların sıcaklığı nasıl hissettiğini gösteren bir ölçü olarak kullanılır.
5. Hava sıcaklığı ($^{\circ}C$) – yer yüzeyinden 2 metre yükseklikte ölçülen sıcaklık değeridir.

Veri setinin ölçüm sıklığı ve doğruluğu yük tahmininin performansını doğrudan etkileyeceğinden ölçüm aralıklarının bir saat olması ve veri setinin doğruluğu büyük önem teşkil etmektedir. Verilerin bulunduğu Excel® dosyasında verinin kaydedildiğı haftanın günü için sayısal gösterimi içeren haftanın günü sütunu bulunmaktadır. Haftanın günlerinin numerik değeri Tablo 3.1. de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Haftanın Günleri'nin Numerik Temsilleri

Haftanın Günleri	Numerik Gösterim
PAZARTESİ	1
SALI	2
ÇARŞAMBA	3
PERŞEMBE	4
CUMA	5
CUMARTESİ	6
PAZAR	7

Hava durumu verilerine 2004 yılında hidrometeoroloji ve bitişik alanlarda faaliyet lisansına sahip bir şirket olan Raspisaniye Pogodi Ltd., St. Petersburg, Rusya tarafından tasarlanmış web sitesi rp5 üzerinden erişilmiştir.

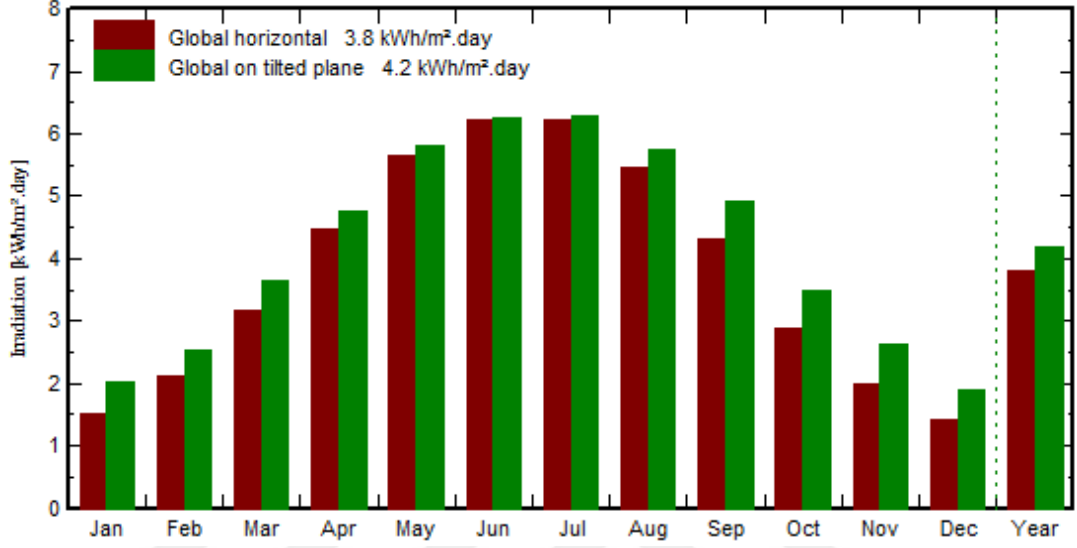
3.1.2. Sistem Boyutlandırması İçin Veri Seti

Sistem boyutlandırması yapılırken yararlanılması gereken en önemli parametrelerden bir tanesi meteoroloji değerleridir. Tablo 3.2'de bu tez çalışmasında kullanılan ışınım, sıcaklık, rüzgar hızı, bulanıklık indisi ve nem değerlerinin aylık ve yıllık ortalaması verilmiştir, ancak bu çalışmada bu meteoroloji verileri saatlik bazda kullanılmıştır.

Tablo 3.2 İstanbul için aylık ve yıllık ortalama ışınım, sıcaklık, rüzgar hızı, bulanıklık indisi ve nem değerleri

	Yatay Küresel Işınım (kWh/m ²)	Panel Düzlemindeki Işınım (kWh/m ²)	Sıcaklık (°C)	Rüzgar Hızı (m/s)	Bulanıklık Faktörü	Bağıl Nem (%)
OCAK	46,9	25,4	6,2	3,79	2,670	76,2
ŞUBAT	59,4	37,2	6,5	3,90	2,901	75,3
MART	98,5	54,9	9,3	3,79	3,118	71,2
NİSAN	134,5	77,2	12,7	3,40	3,388	69,0
MAYIS	175,5	77,7	18,1	3,29	3,188	66,0
HAZİRAN	187,1	87,7	22,7	3,39	3,257	63,4
TEMMUZ	192,9	86,0	25,8	3,69	3,257	59,9
AĞUSTOS	168,8	82,5	25,6	3,69	3,388	63,7
EYLÜL	129,8	51,5	21,1	3,40	3,188	69,2
EKİM	89,2	44,9	17,0	3,30	2,901	73,7
KASIM	59,3	30,1	11,8	3,41	2,826	76,3
ARALIK	44,3	26,9	8,1	3,80	2,670	74,8
YILLIK	1386,2	682,0	15,4	3,6	3,063	69,9

Şekil 3.1’de bu tez çalışmasında kullanılan ışınım değerlerinin yıllık ve aylık olarak ortalama değerleri grafik olarak gösterilmiştir. En yüksek ışınım günlük 6,4 kWh/m² değeriyle Haziran ve Temmuz aylarında, en düşük ışınım 1,5 kWh/m² ile Aralık ve Ocak aylarında gerçekleşmiştir. Yıl bazında ortalama günlük ışınım miktarı 3,8 kWh/m²’dir.



Şekil 3.1 İstanbul için aylık ve yıllık ortalama ışınım

3.2. Yöntem

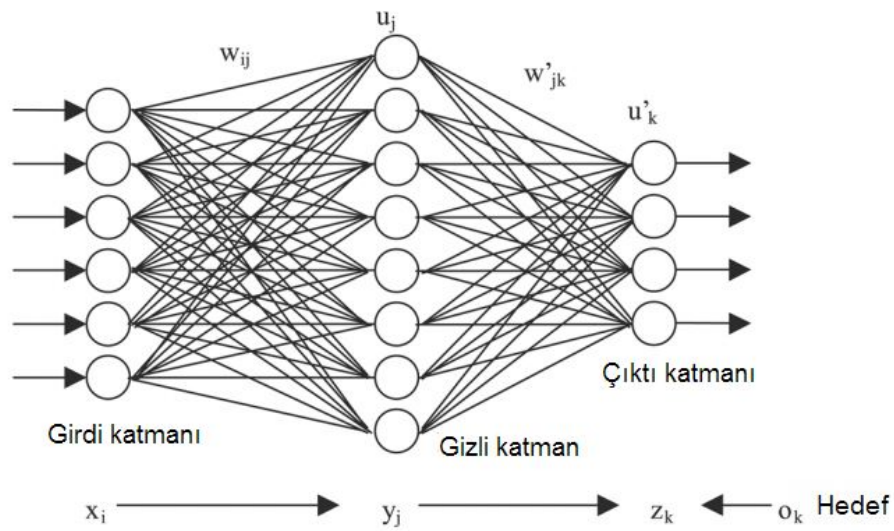
Tez çalışmasının bu kısmında yük tahmini yaparken kullandığımız yöntem ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Ayrıca talep tarafı yönetimi için sunduğumuz yöntem tüm aşamalarıyla anlatılmış algoritma ile desteklenerek açıklanmıştır. Dördüncü kısımda sonuçları verilen, yük tahmini performans değerlendirmesi yapılırken yararlanılan performans metriklerine de bu kısımda matematiksel eşitlikler başlığı altında yer verilmiştir.

3.2.1 Kısa Dönem Yük Tahmini

Bu tez çalışmasında kısa dönem yük tahmini yöntemi olarak Yapay Sinir Ağları (Neural Network) kullanılmıştır. Bu çalışmada önerilen yaklaşım Jupyter Notebook’a dayanan bir bulut hizmeti olan Google Colaborate platformundaki Scikit-learn ve Keras kütüphaneleriyle Python’da regresyon algoritmaları kullanarak farklı öğrenme modelleri oluşturularak uygulanmıştır. Google Colab, 12 GB DDR5 belleğe sahip NVIDIA Tesla K80 GPU sağlar. Yapay Sinir Ağları için aktivasyon parametresi relu (activation='relu') olarak seçilmiş, kayıp ortalama kare

hatası (loss='mse') olarak belirlenmiş, epoch 15 (epochs=15) olarak tanımlanmış, ortalama mutlak hata ve ortalama kare hata metrikler parametresi olarak (metriks=['mae','mse']) yapılandırılmıştır.

Bu tez çalışmasında kısa dönem yük tahmini yöntemi olarak kullanılan Geri Beslemeli Sinir Ağlarının şematik gösterimi diyagram Şekil 3.2’de görülmektedir. Geri beslemeli yapay sinir ağları çıkış katmanı ve gizli katmanlardan çıkan değerlerin girdi katmanına ya da önceki gizli katmanlara geri besleme yapıldığı yapay sinir ağıdır. Yapay sinir ağının eğitiminin sağlanabilmesi için hata değerinin her zaman adımında gerçek değer ile çıktı değeri arasındaki fark alınarak hesaplanır ve bu işlemin belirlenen sayıda tekrarlanması sonucunda öğrenme daha doğru sağlanır bu yöntem tahminin doğruluğunu arttırmaktadır.



Şekil 3.2 Yapay Sinir Ağları

Bir makine öğrenmesi algoritması tarafından bir tahmin modeli oluşturulduğunda veri kümesinin %80’i eğitim verisi olarak ve %20’si test verisi olarak veri setlerine ayrılır. Bu çalışmada da sahip olduğumuz verilerin %80’i eğitim verisi olarak, %20’si test verisi olarak kullanılmıştır.

Son olarak, sonuçlar toplanmış ve algoritmanın performans değerlendirmesi iki değerlendirme ölçütüne göre tartışılmıştır. Bu değerlendirme ölçütleri Ortalama Mutlak Hata (MAE) ve Kök Ortalama Kare Hata (RMSE)’dir. Elde edilen sonuçlar dördüncü bölümde açıklanmış ve yorumlanmıştır.

3.2.2 Önerilen Talep Tarafı Yönetimi ve Enerji Yönetimi

Bu tez yük kaydırma yöntemine dayalı bir Talep Tarafı Yönetimi sunar. İlk olarak sistem yük programlaması için kullanıcı girdilerini alır. Her bir yük için, kullanıcı yükün başlangıç zamanını yani yükün çalışabileceği en erken zamanı, yükün bitiş zamanını yani yükün çalışmayı bırakması gereken en geç zamanı, yük süresini ve yükün çalışması için ideal zamanı girmelidir. Ayrıca yükler sabit yükler, esnek ancak kesilemez yükler, esnek ve kesilebilir yükler şeklinde 3 grup halinde sınıflandırılır. Sabit yükler en çok dikkat edilmesi ve önceliğe sahip yüklerdir kullanıcıların belirlediği ideal çalışma zamanlarında çalıştırılmalıdır. Bu yükler için kaydırma yapılmayacaktır. Esnek ancak kesilemez yükler herhangi bir anda çalışabilecek ancak çalışmaya başladıktan sonra kesilmemesi gereken yüklerdir. Önerilen yöntem bu gruptaki yükler için kullanıcı tarafından belirlenen süre içerisinde yükün çalışma süresini de göz önüne alarak en düşük maliyetle çalışabileceği zaman aralığında yükü çalıştıracaktır. Bu yüklere örnek olarak bulaşık makinesi, çamaşır makinesi gibi cihazları gösterebiliriz. Esnek ve kesilebilir yükler kullanıcı tarafından belirlenen zaman aralığında bir ya da birden çok kez kesilip çalıştırılabilir bu da en uygun maliyetli çalışma koşulunu sağlayabilmek için farklı zaman çözümleri üretebilmek demektir.

Merkezi depolama sistemi için lityum-iyon batarya ile uygulayacağımız bir model geliştirdik çünkü lityum-iyon bataryalar iyi C oranı, şarj/deşarj işlemlerinin olmadığı durumda kapasite kaybının yavaş olması ve düşük bakım maliyetleri göz önüne alındığında konut uygulamaları için iyi bir seçenek sunar. Ayrıca elektrikli araç bataryaları lityum-iyon bataryalardır, tasarladığımız sistemde merkezi enerji depolama sisteminin elektrikli araç bataryaları ile desteklenebileceğini öngördüğümüzden bu durumda lityum-iyon batarya tercihimizde etkili olmuştur.

Bu tezde ortaya koyulan enerji yönetim sistemi yönteminde PV ve şebekeden en verimli şekilde yararlanarak maksimum fayda sağlamayı mümkün kılmak amaçlanmıştır. Bu enerji yönetim sisteminin uygulanmasında PLC ve SCADA sistemlerinin kullanılacağı ön görülmüştür. PLC, PV sistem, merkezi depolama sistemi ve elektrikli araç bataryalarının anlık durumlarını analiz ederek anlık şebeke fiyatlarına göre yaptığı karşılaştırma sonrası o anda kullanılacak en verimli kaynak üzerinden gerekli enerji yönlendirmelerini yapar. Şekil 3.3'te önerilen enerji

yönetim sisteminin çalışma prensibi gösterilmiştir. Önerilen enerji yönetim sisteminde şebeke fiyat durumu ucuz, orta ve pahalı olarak üçe ayrılmıştır. PLC öncelikle anlık şebeke fiyatını kontrol etmektedir. Anlık şebeke fiyatının ucuz, orta ya da pahalı olma durumlarına göre kaynaklar farklı şekilde yönlendirilmektedir. Anlık şebek fiyatının ucuz olduğu durumda PV sistemin anlık üretim değeri kontrol edilmektedir PV sistemin anlık üretim değeri anlık konut enerji ihtiyacını karşılayamaya yetersiz ise şebeke enerji fiyatının ucuz olması nedeniyle konutlar şebeke üzerinden beslenecektir ayrıca araç aküleri ve merkezi depolama sistemindeki bataryalar şebeke üzerinden doldurulur. PV sistemin anlık üretim değeri anlık konut enerji ihtiyacını karşılayabilecek miktarda ise konutların enerji ihtiyacı PV sistem üzerinden karşılanır ve bu esnada devamlı olarak PV üretimi kontrol edilerek konut ihtiyacı karşılamadıktan sonra artan enerji miktarı yeterli olduğu sürece araç aküleri şarj edilir, konut enerji kullanımı karşılandıktan sonra araç akülerinin dolumu için yeterli enerjinin olmadığı durumlarda araç aküleri ve merkezi depolama sistemindeki bataryalar şebeke üzerinden şarj edilir. PV sistem konut enerji kullanımını ve araç akü şarj işlemini gerçekleştirirken arta kalan enerji üretim miktarı merkezi depolama sistemlerini şarj etmeye yetecek miktarda olduğunda merkezi depolama sisteminin şarj işlemi de PV üzerinden yapılır, yetersiz olduğunda ise merkezi depolama sistemi şebeke üzerinden şarj edilir. PV sistemin anlık enerji üretim miktarı konut enerji kullanımını, araç bataryalarının şarjını ve merkezi enerji depolama sisteminin şarj işlemini gerçekleştirdikten sonra hala enerji üretim fazlası var ise bu fazla elektrik enerjisini çift yönlü sayaç üzerinden şebekeye aktararak elektrik dağıtım şirketine satışını yapmaktadır.

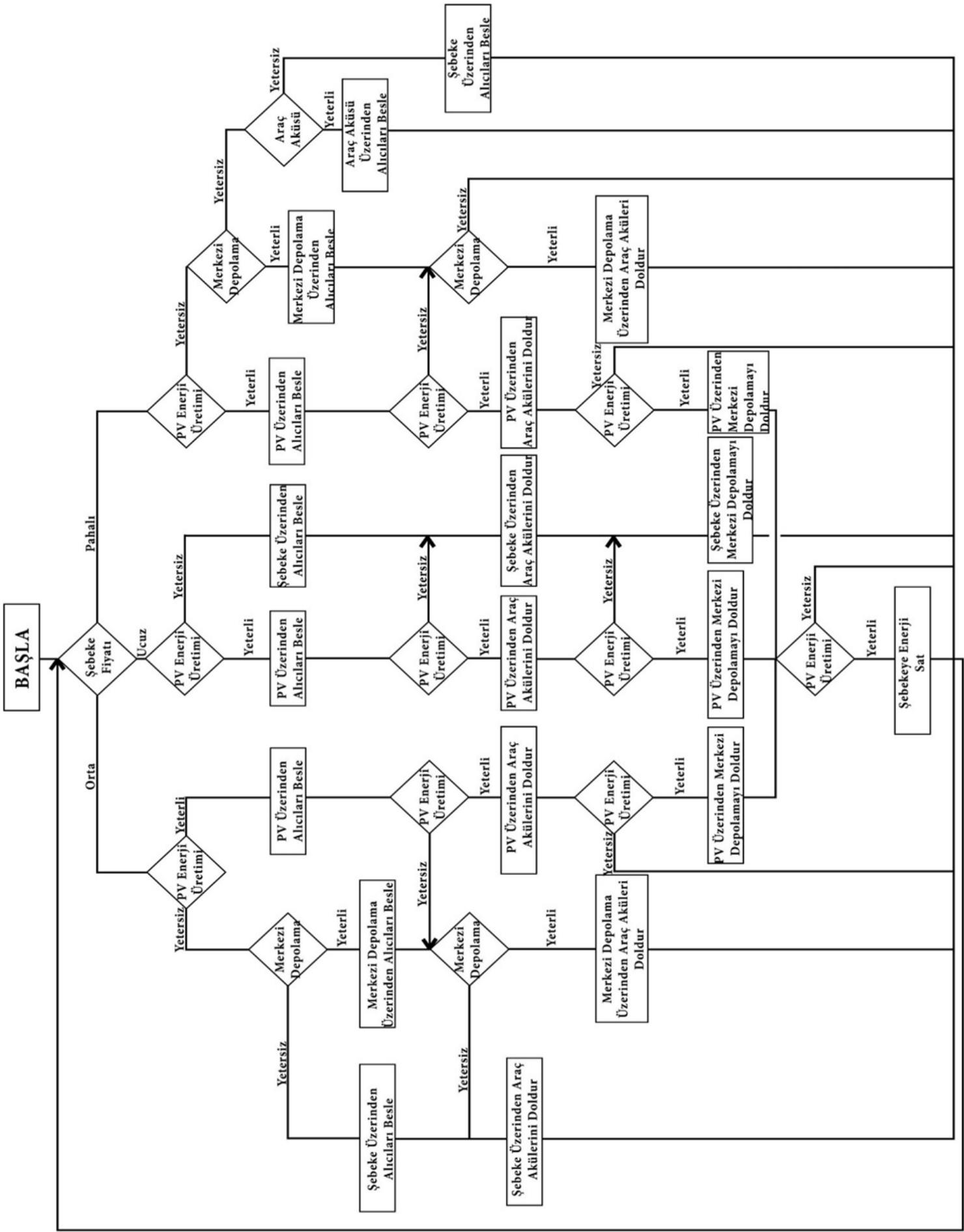
Anlık şebek fiyatının orta olduğu durumda PV sistemin anlık üretim değeri kontrol edilmektedir PV sistemin anlık üretim değeri anlık konut enerji ihtiyacını karşılayamaya yetersiz ise merkezi enerji depolama sisteminin şarj durumu kontrol edilmektedir. Merkezi enerji depolama sisteminin şarj durumu anlık konut enerji ihtiyacını karşılayamayacak durumda ise konutlar şebeke üzerinden beslenir ve araç aküleri şebeke üzerinden doldurulur, merkezi enerji depolama sisteminin şarj durumu anlık konut enerji ihtiyacını karşılayabilecek durumda ise konutların enerji ihtiyacı merkezi enerji depolama sistemi üzerinden karşılanır, bu konutların enerji kullanımından artakalan enerji miktarı araç akülerinin şarj edemeyecek durumda ise araç aküleri yine şebeke üzerinden şarj edilir ancak yeterli ise araç aküleri merkezi

enerji depolama sistemi üzerinden şarj edilir. PV sistemin enerji üretim miktarı anlık konut enerji ihtiyacını karşılayabilecek yeterlilikte ise konutların enerji ihtiyacı PV sistem üzerinden karşılanır ve karşılandıktan sonra artan enerji miktarı araç akülerinin şarj işlemi için yetersiz ise merkezi enerji depolama sisteminin şarj durumu kontrol edilir bu kontrol sonucunda merkezi enerji depolama sisteminin de şarj durumu araç akülerinin şarj işlemi için yetersiz ise araç aküleri şebeke üzerinden şarj edilir. Ancak merkezi enerji depolama sisteminin şarj durumu yeterli ise araç aküleri merkezi enerji depolama sistemi üzerinden şarj edilir. PV enerji üretimi konutların anlık enerji ihtiyacını karşıladıktan sonra artan enerji miktarı araç akülerini şarj etmek için yeterli ise araç aküleri PV sistem üzerinden şarj edilir, araç aküleri PV sistem üzerinden şarj edilirken ki arta kalan enerji miktarı merkezi enerji depolama sistemini şarj etmeye yeterli değil ise merkezi enerji depolama sistemi anlık şebeke enerji fiyatının orta olmasından dolayı şarj edilmez ve döngü başa döner, ancak yeterli ise merkezi enerji depolama sistemi de PV üzerinden şarj edilir bunun üzerine hala artan enerji var ise bu enerji şebekeye satılır yok ise döngü başa döner.

Anlık şebek fiyatının pahalı olduğu durumda PV sistemin anlık üretim değeri kontrol edilmektedir. PV sistemin anlık üretim değeri anlık konut enerji ihtiyacını karşılayamaya yetersiz ise merkezi enerji depolama sisteminin şarj durumu kontrol edilir. Merkezi enerji depolama sisteminin şarj durumu da anlık konut enerji ihtiyacını karşılamaya yetmeyecek durumda ise anlık şebeke enerji fiyatının pahalı olmasından dolayı araç bataryalarının şarj durumu kontrol edilir. Araç bataryalarının şarj durumu anlık konut enerji ihtiyacını karşılayabilecek miktarda ise konutlar araç aküleri üzerinden beslenir, yetersiz ise şebeke üzerinden beslenir. Merkezi enerji depolama sistemi anlık konut enerji talebini karşılayabilecek durumda ise konutların enerji ihtiyacı merkezi enerji depolama sistemi üzerinden karşılanır. Bunun üzerine merkezi enerji depolama sisteminde artan enerji miktarı araç akülerini şarj etmeye yetecek durumda ise araç akülerinin şarj işlemi de merkezi enerji depolama sistemi üzerinden yapılır, arta kalan enerji miktarı yetersiz ise döngü başa döner. PV enerji üretimi anlık konut enerji ihtiyacını karşılayabilecek durumda ise konutların enerji ihtiyacı PV sistem üzerinden karşılanır, konut kullanımından arta kalan enerji miktarı araç akülerini doldurmaya yetemeyecek durumda ise merkezi enerji depolama sisteminin şarj durumu kontrol edilir, merkezi enerji depolama sisteminin şarj

durumu araç akülerini şarj etmeye yetecek durumda ise araç aküleri merkezi enerji depolama sistemi üzerinden şarj edilir, yetersiz ise döngü başa döner. PV enerji üretimi anlık konut enerji ihtiyacını karşıladıktan sonra artan enerji miktarı araç akülerini şarj edebilecek durumda ise araç aküleri PV sistem üzerinden şarj edilir, yetersiz ise döngü başa döner. PV sistem araç akülerini de şarj ettikten sonra artan enerji miktarı merkezi enerji depolama sisteminin şarj işlemini gerçekleştirebilecek miktarda ise merkezi enerji depolama sistemi PV sistem üzerinden şarj edilir. Bu işlemler sonrasında hala artan enerji var ise çift yönlü sayaç üzerinden şebekeye aktarılır, yok ise döngü başa döner. Şekil 3.3'te enerji yönetimi algoritması görülmektedir.



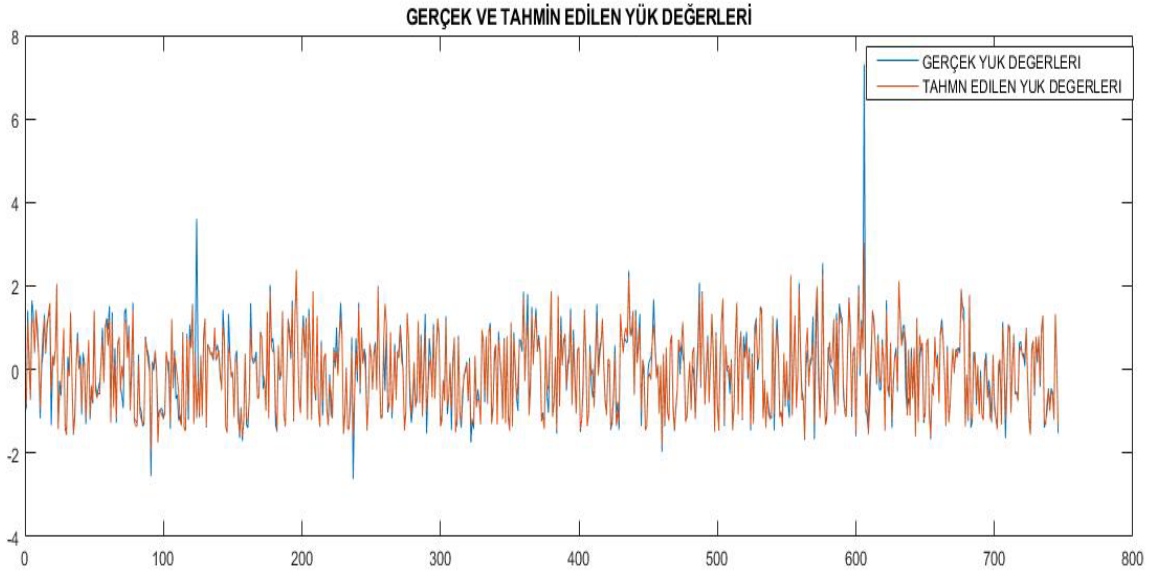


Şekil 3.3 Enerji Yönetim Algoritması

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

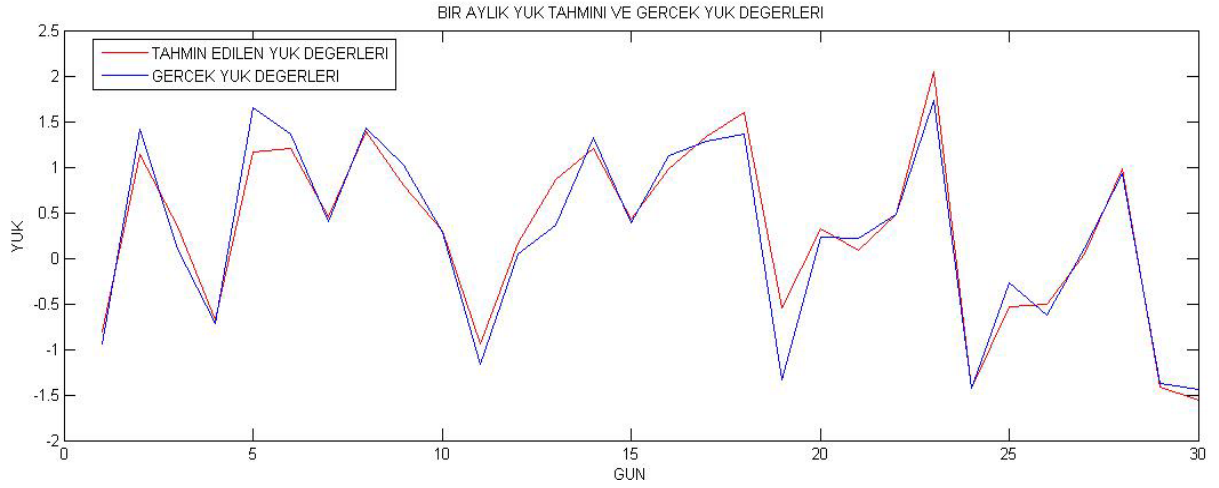
4.1. Kısa Dönem Yük Tahmini Sonuçları

Kısa dönem yük tahmini enerji yönetiminin ayrılmaz bir parçasıdır. Yük tahmini enerji sisteminin çeşitli aşamalarındaki kararlarda önemlidir. Kısa dönem yük tahmini sonuçları tedarik planlaması, üretim rezervi planlaması, sistem güvenliği, sevkiyat çizelgesi, talep tarafı yönetimi gibi karar aşamalarında kullanılır. Bir saat ile bir haftaya kadar olan süreler için yapılan yük tahmini kısa dönem yük tahminidir. Kısa bir zaman sonrası için yapılan bu tahminler günlük enerji üretimini ve iletimini programlamada kullanılması açısından çok önemlidir. Kısa dönem yük tahmini talep tarafının yönetilmesinde, tüketim miktarının ya da tüketim zamanlarının planlanmasında büyük ölçüde kolaylık sağlamaktadır.



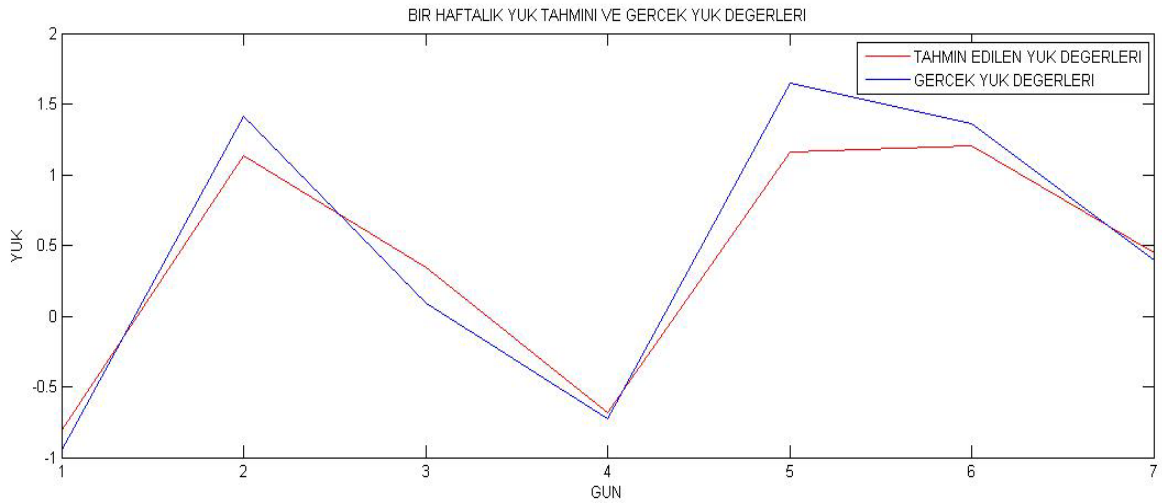
Şekil 4.1 Gerçek Yük Değeri ile Tahmin Edilen Yük Değeri Grafiği

Şekil 4.1 gün öncesi yük tahmini ile gerçek yük değerlerini göstermektedir. Mavi çizgi gerçek yük değerini, Kırmızı çizgi tahmini yük değerini temsil etmektedir. Grafikler karşılaştırıldığında yük tahmininin kabul edilebilir derecede doğru olduğu görülmektedir.



Şekil 4.2 Bir aylık yük tahminini ve gerçek yük değeri

Şekil 4.2 bir aylık gün öncesi yük tahmini ile gerçek yük değerlerini göstermektedir. Mavi çizgi gerçek yük değerini, Kırmızı çizgi tahmini yük değerini temsil etmektedir. Grafikler karşılaştırıldığında tahmin edilen yük değerleri ile gerçek yük değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 4.3 Bir haftalık gerçek yük değeri-tahmin edilen yük değeri grafiği

Şekil 4.3 bir haftalık yük tahminini ve gerçek yük değerini göstermektedir. Bir haftalık yük tüketimindeki pik yük tüketimi haftanın 5. Günü gerçekleşmiştir ve elektrik tüketiminin en düşük olduğu haftanın ilk günü olmuştur. Yük tüketiminin hafta sonu hafta içi tüketimine göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Yükteki değişimler grafik üzerinden okunabilmektedir. Elektrik yük tüketimi günlük duruma (iş günü, hafta sonu ya da tatil günü) ve meteorolojik değerlere göre değişiklik gösterebilmektedir.

4.2. Kısa Dönem Yük Tahmini İçin Performans Değerlendirmesi Sonuçları

Çalışmamızda uyguladığımız Yapay Sinir Ağları (YSA) algoritmasının performansını gözleme aşamasında literatürde yaygın olarak kullanılan istatistiksel metriklerden R^2 değeri hesaplanmıştır. R^2 doğrusal bir regresyon modeli için bağımsız değişkenleriniz tarafından açıklanan bağımlı değişkendeki değişimin oranını ölçer. Veri setinde yer alan tüm özelliklerin ve tahmin edilen yük değişkeninin sayısal değerler olması bizi R^2 metriğini kullanmaya yönlendirmiştir.

Çalışmamızda YSA algoritması veri bilimi alanında elverişli kütüphaneler sağlayan ve son zamanlarda fotovoltaik enerji üretimi ve yük kullanım veri tahmini alanlarında sıkça tercih edilen Python programlama dili kullanılmıştır. Kullandığımız kütüphaneler sırası ile numpy, sklearn ve tensorflowdur. YSA algoritması oluşturulurken ilk olarak sklearn kütüphanesi tarafından sağlanan MLPRegressor metodu implemente edilmiş sonrasında tensorflow tarafından sağlanan KerasRegressor regresyon metodu sonuçları gözlemlenmiştir. KerasRegressor fonksiyonu yapay sinir ağı modelini daha esnek bir şekilde oluşturmamızı mümkün kılması ve parametrelerini optimize ettiğimiz versiyonu ile daha iyi performans değerleri üretmesi sebebi ile tercih için edilen model olmuştur. Şekil 4.4 (python üzerindeki sonuçlar) parametre optimizasyonu yapılmamış KerasRegressor algoritmasının doğruluk ve kayıp değerleri hakkında bilgi vermektedir.

```

Epoch 1/15
1404/1404 [=====] - 2s 1ms/step - loss: 0.4640 - accuracy: 0.8952
Epoch 2/15
1404/1404 [=====] - 2s 1ms/step - loss: 0.4224 - accuracy: 0.8941
Epoch 3/15
1404/1404 [=====] - 2s 1ms/step - loss: 0.4011 - accuracy: 0.8877
Epoch 4/15
1404/1404 [=====] - 2s 1ms/step - loss: 0.3841 - accuracy: 0.8757
Epoch 5/15
1404/1404 [=====] - 2s 1ms/step - loss: 0.3677 - accuracy: 0.8668
Epoch 6/15
1404/1404 [=====] - 2s 1ms/step - loss: 0.3560 - accuracy: 0.8616
Epoch 7/15
1404/1404 [=====] - 2s 1ms/step - loss: 0.3446 - accuracy: 0.8590
Epoch 8/15
1404/1404 [=====] - 2s 1ms/step - loss: 0.3343 - accuracy: 0.8576
Epoch 9/15
1404/1404 [=====] - 2s 1ms/step - loss: 0.3217 - accuracy: 0.8540
Epoch 10/15
1404/1404 [=====] - 2s 1ms/step - loss: 0.3134 - accuracy: 0.8530
Epoch 11/15
1404/1404 [=====] - 2s 1ms/step - loss: 0.3026 - accuracy: 0.8472
Epoch 12/15
1404/1404 [=====] - 2s 1ms/step - loss: 0.2970 - accuracy: 0.8496
Epoch 13/15
1404/1404 [=====] - 2s 1ms/step - loss: 0.2884 - accuracy: 0.8467
Epoch 14/15
1404/1404 [=====] - 2s 1ms/step - loss: 0.2753 - accuracy: 0.8468
Epoch 15/15
1404/1404 [=====] - 2s 1ms/step - loss: 0.2683 - accuracy: 0.8472
439/439 [=====] - 0s 1ms/step - loss: 0.2554 - accuracy: 0.8351
accuracy: 83.51%

```

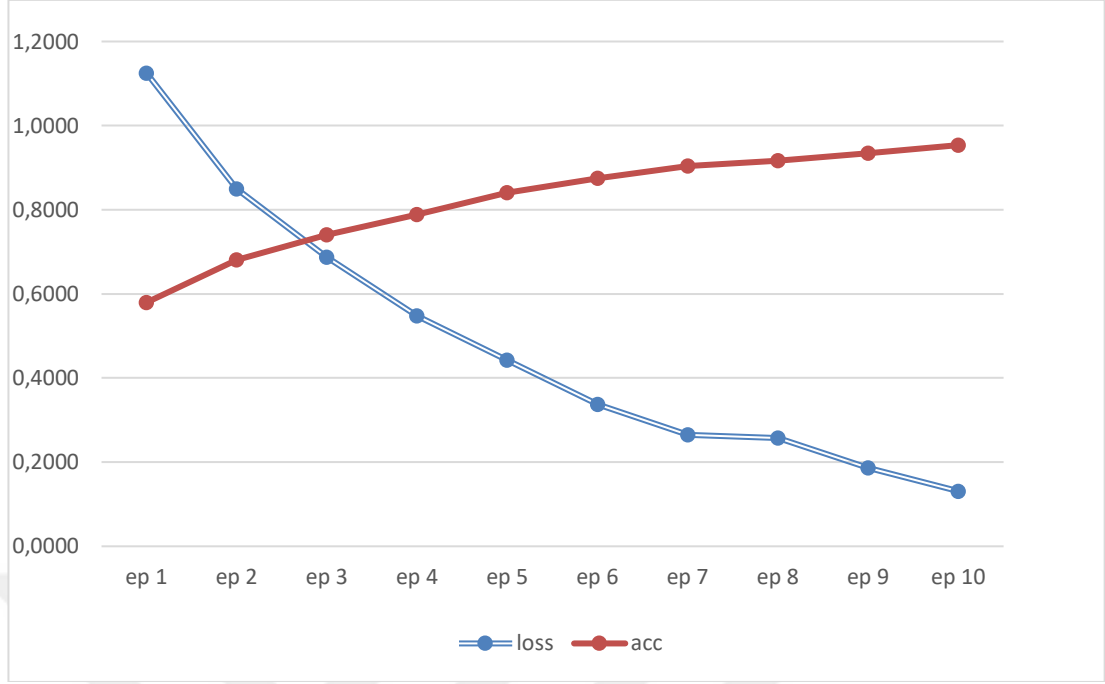
Şekil 4.4 Parametre optimizasyonu yapılmamış KerasRegressor algoritmasının doğruluk ve kayıp değerleri

Google Colab platformu üzerinde, Python programlama dili kullanarak yazılmış YSA algoritmasını çalıştırdığımızda elde edilen performans değeri R^2 cinsinden 0,8994 olarak ölçülmüştür. Ayrıca Tablo 4.1 uygulanan algoritmaların performans değerlendirme genel bir bilgi vermektedir.

Tablo 4.1 Uygulanan Yöntemler için Performans Sonuçları

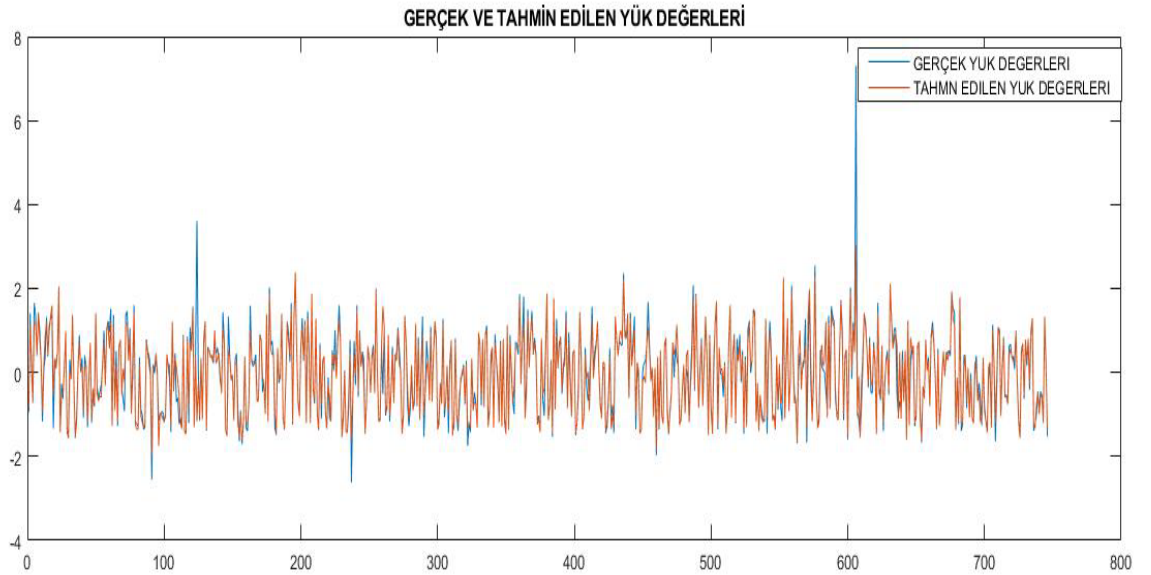
Uygulanan Yöntem	Performans Sonucu (R^2)
Multi Layer Perceptron Regressor	0,8442
KerasRegressor	0,8351
KerasRegressor (Optimize edilmiş)	0,8994

3 ara katman ve 21 sinir hücresi kullanarak oluşturduğu geri yayımlı YSA algoritmasının iterasyon sayısı 10 olarak ayarlanmıştır. Şekil 4.2 her iterasyon da değişen doğruluk ve kayıp değerleri hakkında bilgi vermektedir. Şekil 4.5'te de gözlemlenebileceği gibi genel olarak iterasyon (geri yayılma) sayısı arttıkça hedeflenen regresyon modelinin performans değeri artar iken kayıp değeri azalmıştır. Bu sayıyı 10 olarak belirlememizin sebebi kod üzerinde yapılan parametre optimizasyonunda en uygun değer 10-15 arasında gözlemlenmesidir.



Şekil 4.5 İterasyonlar ile değişen doğruluk ve kayıp değerleri

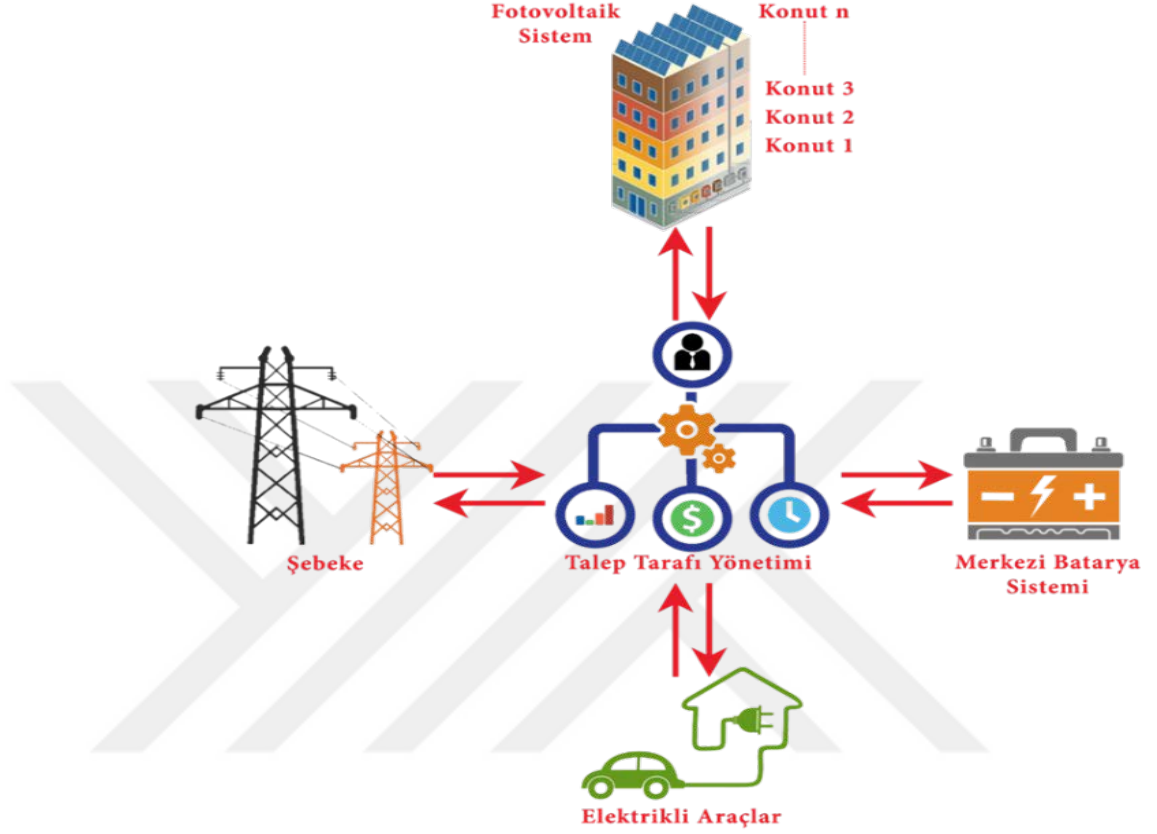
Hedeflenen YSA modelinde 17544 yük verisinden 16798 adeti modelin eğitimi 746 tanesi ise modelin test edilmesi için kullanılmıştır. Bu bilgiler göz önüne alınarak rasgele seçilen tüm test verileri üzerinden hesaplanan model performansı Şekil 4.5 ile görselleştirilmiştir.



Şekil 4.6 Geçek Yük Değerleri ve Tahmini Yük Değerleri Genel Görünümü

4.3. PV Sistem Tasarımı ve Boyutlandırması

Bu Tez çalışmasında önerilen PV güç sistemi Şekil 4.7’de görselleştirilmiştir. Şekildeki oklar güç akış yönünü göstermektedir.

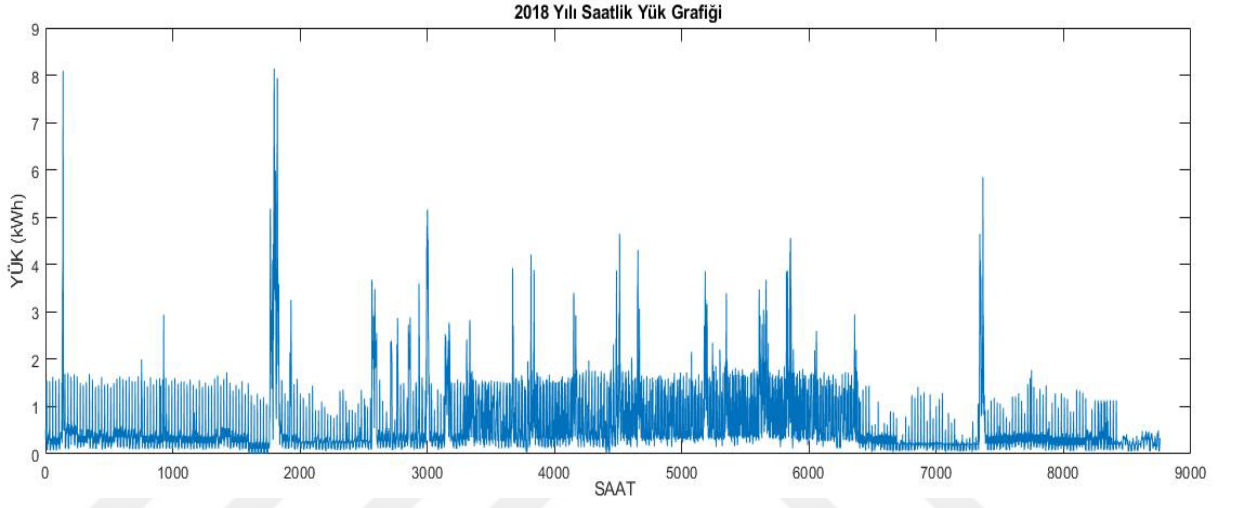


Şekil 4.7 Önerilen PV Güç Sistemi

Şekil 4.7 üzerinden de görülebildiği gibi bu tez çalışmasında önerilen PV güç sisteminde tüm elektrik yükü hareketleri talep tarafı yönetimi sistemi üzerinden kontrollü bir şekilde gerçekleşmektedir. PV sistem şebeke bağlantılı olup aynı zamanda merkezi depolama sistemine sahiptir yani bu tezde önerilen sistem hibrit PV sistemdir. Üretilen elektrik enerjisi birden fazla hane tarafından kullanılmaktadır. Ayrıca her kullanıcının bir elektrikli araç sahip olduğu varsayılmış ve araç akülerinin V2G teknolojisi kullanılarak sadece yük olarak değil aynı zamanda enerji sağlayıcı olarak da kullanılabilmesi göz önünde bulundurularak merkezi enerji depolama sistemini destekleyebilecek bir grup araç aküsü sisteme ve şebekeye eklenmiştir. Böylece, merkezi enerji depolama sisteminin boyutu küçültülebileceğinden, sistem

maliyetini en çok etkileyen faktör olan depolama sisteminin maliyetinin azaltılabileceği ön görülmüştür.

Bu tez çalışmasında kurulması gereken PV gücünün boyutlandırılması PVsyst programı ve matematiksel eşitlikler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Boyutlandırma çalışması bu tez çalışmasında baz alınan villanın yıllık enerji tüketim değerine göre yapılmıştır. Şekil 4.8’de bu tez çalışmasında baz alınan villanın yıllık elektrik tüketimine ait grafik verilmektedir.



Şekil 4.8 Villa'nın Yıllık Elektrik Tüketimi Grafiği (Yıl 2018)

Bu tez’de baz alınan villanın aylık enerji tüketimleri Ocak ayında 350,517 kWh, Şubat ayında 275,604 kWh, Mart ayında 475,039 kWh, Nisan ayında 360.104 kWh, Mayıs ayında 574,118 kWh, Haziran ayında 574,934 kWh, Temmuz ayında 582,096 kWh, Ağustos ayında 720,742 kWh, Eylül ayında 537,43 kWh, Ekim ayında 172,454 kWh, Kasım ayında 317,773 kWh, ve Aralık ayında 211,501 kWh olmuştur ve sonuçta tez çalışmasında baz alınan villa için yıllık toplam enerji tüketimi 4.940,811 kWh olmuştur.

Tez çalışmasında önerilen PV sistemde kullanılması gereken akü kapasitesi pik saatlerdeki enerji kullanımına göre hesaplanmıştır. Tablo 4.2 her ay için pik zaman aralığındaki tüketim miktarlarını göstermektedir.

Tarifeli sayaç uygulamasında sayaç saati her zaman yaz saatine göre işleyen sayaçlar için Ekim ayının son Pazar günü ve Mart ayının son Pazar günü arasındaki

tarikhlerde pik saat gündüz 18:00-23:00 saatleri arasında, Mart ayının son Pazar günü ve Ekim ayının son Pazar günü arasında pik saat 17:00-22:00 saatleri arasındadır, yine sayaç saati her zaman yaz saatine göre işleyen sayaçlar için genel yıllık enerji kullanımına bakıldığında pik saatler 17:00-22:00 saatleri arasındadır. Pik saatler dikkate alınarak her ay için pik saatte en yüksek tüketimin olduğu gün belirlenmiş ve o güne ait pik saatteki toplam enerji tüketimi Tablo 4.2 de verilmiştir.

Tablo 4.2 Aylık Pik Yük Tüketim Miktarları

AYLAR	PİK TÜKETİM MİKTARLARI (kWh)
Ocak	12,31 kWh
Şubat	2,733 kWh
Mart	15,922 kWh
Nisan	15,991 kWh
Mayıs	22,180 kWh
Haziran	12,646 kWh
Temmuz	15,436 kWh
Ağustos	16,813kWh
Eylül	19,667 kWh
Ekim	1,726 kWh
Kasım	18,493 kWh
Aralık	3,504 kWh

Tablo 4.2’de görülen pik yük tüketim miktarları değerlendirilerek sistemin bu haliyle kullanılması gereken akü kapasitesi Eşitlik 4.1 kullanılarak 27,5 kWh şeklinde belirlenmiştir. 12 aylık zaman aralığında pik saatteki toplam enerji tüketimi 144.628 kWh ile en yüksek mayıs ayında gerçekleşmiştir. Akü kapasitesi belirlenirken bu tüketim değeri baz alınmıştır.

$$E_{BAT} = \frac{E_L}{DOD} \quad (4.1)$$

Hesapladığımız 27,5 kWh büyüklükte aküye ihtiyaç duyulan durumdaki yük dağılımı Tablo 4.3’te görülmektedir.

Tablo 4.3 Yük Dağılımı Tablosu

	Tükettiği Güç (W)	Adet	Pik Saaat ortalama kullanım (saat)	Pik Saat ortalama kullanım (Wh)
TV	120	1	4	480
Ütü	3000	1	1	3000
Elektrikli Süpürge	200	1	0,5	50
Aydınlatma	18	5	5	450
Klima	6.800	1	2	6.800
Çamaşır Makinesi	800	1	1	800
Derin Dondurucu	50	1	5	250
Buzdolabı	40	1	5	200
Bulaşık Makinesi	150	1	1,5	225
Saç Kurutma Makinesi	2000	1	0,1	200
Bilgisayar	200	1	2	400
Fırın	3000	1	1	3000
			Mayıs Ayı Pik saat toplamı (kWh)	22,180

Üçüncü bölümde ayrıntılı bir şekilde anlatılan bu tez’de önerilen talep tarafı yöntemi kullanılarak yük dağılımını çok fazla değiştirilmese de bazı yüklerin kullanım zamanları değiştirilerek akü kapasitesi yeniden hesaplanmıştır. Tablo 4.3’te görülen cihazlardan ütü, çamaşır makinesi ve elektrik süpürgesi bu zaman diliminde kullanılmaması (yük kaydırması) sağlanarak pik saatteki toplam enerji tüketimi 12 kWh olmuştur. İhtiyacımız olan akü kapasitesi bu şekilde 27,5 kWh’ten 15 kWh’e

düşürülmüştür. Belirlenen her iki akü kapasitesi de ekonomik analizde ayrı ayrı ele alınmıştır.

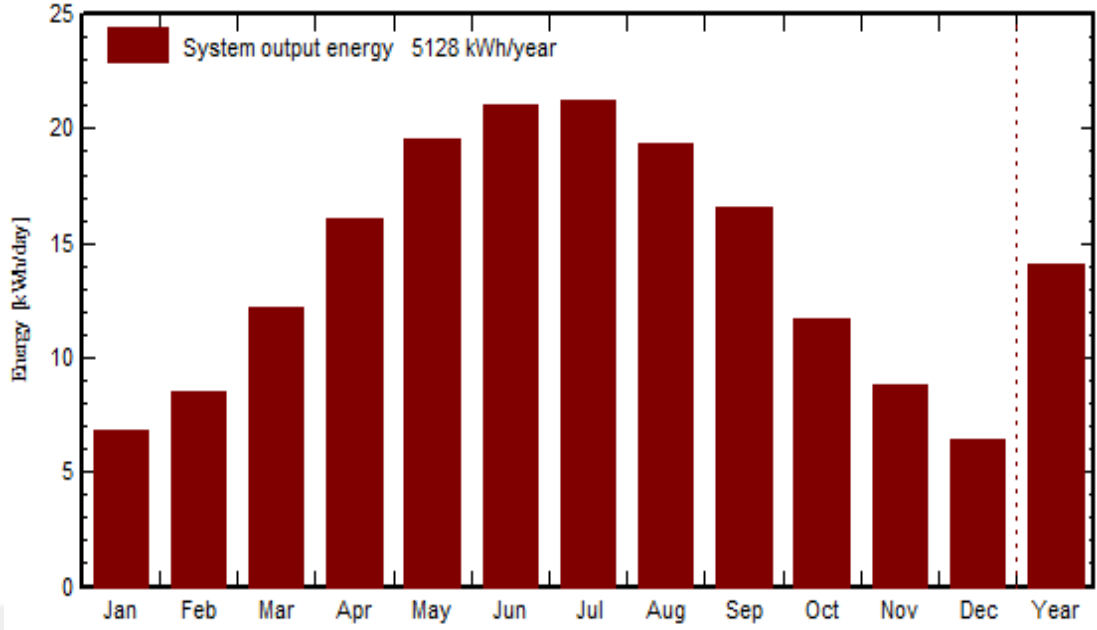
PV panel boyutlandırması PVsyst programı kullanılarak yapılmıştır. PVsyst kullanılarak meteorolojik veriler ve bu tez çalışmasında baz alınan villa ile ilgili bazı yük değerleri kullanılarak boyutlandırılmıştır.

PV Panelin aylara göre ve yıllık enerji üretimi Tablo 4.4' de görülmektedir en fazla üretim ayda 657 kWh ile temmuz ayında olurken, PV panelin en az elektrik ürettiği ay 199 kWh ile aralık ayıdır. PVsyst ile tasarlanan panelin yıllık üreteceği güç 5128 kWh'tir.

Tablo 4.4 İstanbul için ışınım değerlerine göre aylık ve yıllık PV panel güç üretimi değerleri

	Günlük Ortalama Yatay Işınım (kWh/m ² .gün)	Günlük Ortalama Panel Yüzeysel Işınımı (kWh/m ² .gün)	Günlük Ortalama Sistem Üretimi (kWh/gün)	Aylık Sistem Üretimi (kWh)
OCAK	1,51	2,02	6,79	210
ŞUBAT	2,12	2,54	8,59	239
MART	3,18	3,63	12,21	379
NİSAN	4,48	4,77	16,06	482
MAYIS	5,66	5,82	19,59	607
HAZİRAN	6,24	6,26	21,06	632
TEMMUZ	6,22	6,30	21,19	657
AĞUSTOS	5,45	5,74	19,30	598
EYLÜL	4,33	4,93	16,57	497
EKİM	2,88	3,49	11,74	364
KASIM	1,98	2,62	8,81	264
ARALIK	1,43	1,19	6,42	199
YIL	3,80	4,18	14,05	5128

İstanbul için PV panelin aylık ve yıllık güç üretimi değerleri Şekil 4.9'da görselleştirilmiştir. Güç üretimi miktarının aylara göre nasıl değiştiği net bir şekilde görülebilmektedir. En yüksek üretim ayda 657 kWh ile temmuz ayında olurken, PV sistemin en az elektrik ürettiği ay 199 kWh ile aralık ayıdır. Yıllık toplam enerji üretim miktarı da ilk yıl için 5128 kWh'tir.



Şekil 4.9 İstanbul için aylık ve yıllık PV panel güç üretimi grafiği

4.4. Sistemin Ekonomik Analizi

Bu Tez çalışmasında tasarlanan PV sistemin ekonomik analizi yapılırken üç farklı durum göz önünde bulundurulmuş ve üç ayrı durum içinde ekonomik analiz yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Ekonomik analizin yapıldığı birinci durum, PV güç sisteminin elektrikli araç aküsüyle desteklendiği bir PV sistemdir. İkinci durum için, bir merkezi depolama sistemi içeren PV güç sistemi baz alınmıştır. Üçüncü durum için sistem bir merkezi depolama sistemine sahip olduğu gibi talep tarafı yönetimi stratejisi de uygulanmıştır.

Bu üç durum için de seçilen yük profili ve kullanılan malzeme aynıdır. Sistemlerin ekonomik analizi aşamasında kullanılan girdi değerleri Tablo 4.5’de görülmektedir.

Tablo 4.5 Ekonomik Analiz için Giriş Değerleri

Giriş Değerleri	Araç Akülü Sistem	27,5 kWh Akü	15 kWh Akü
Elektrik Fiyatı (€/kWh)	0.101	0.101	0.101
Kurulum Maliyeti (€)	5000	7750	6500
Borç/Öz Sermaye	0.2	0.2	0.2
Faiz Oranı	0.06	0.06	0.06
Kredi Vadesi (yıl)	25	25	25
Efektif Vergi (€/kWh)	0.18	0.18	0.18
Nominal İndirim Oranı	0.04	0.04	0.04
Enflasyon Oranı	0.09	0.09	0.09
İşletme ve Bakım maliyetinin kurulum maliyetine oranı	0.01	0.01	0.01
Bozulma Oranı (degredation rate)	0.01	0.01	0.01

Tablo 4.5 incelendiğinde ekonomik analizi yapılan bu üç PV Güç sisteminden kurulum maliyeti en düşük olanı elektrikli araç aküsü ile desteklenen PV güç sistemidir. Bu durum açıkça depolama sistemi maliyetinin bu analizde bulunmamasına bağlanabilir. Araç aküsüyle desteklenen PV güç sistemi için depolama sistemi olarak hali hazırda var olan elektrikli araç bataryası kullanılarak batarya maliyeti ortadan kaldırılmıştır. Kurulum maliyetinin en yüksek olduğu durum, ikinci durumdur ikinci durumda PV güç sisteminin kurulum maliyeti hesaplanırken depolama sistemi (batarya) maliyeti de göz önünde bulundurulmuştur bu da kurulum maliyetini arttırmıştır. Üçüncü durumda PV gün sisteminin depolama sistemine sahip olmasının aynında talep tarafı yönetiminin de uygulandığı durum incelenmiştir. Talep tarafı yönetimi sayesinde pik saatlerdeki elektrik tüketimleri enerji tüketimi yoğunluğunun daha az olduğu zamanlara kaydırılarak ihtiyaç duyulan batarya kapasitesi büyüklüğü azaltılmıştır.

Üç durum içinde amortisman süreleri, net bugünkü değer (NPV) ve seviyelendirilmiş enerji maliyeti (LCOE) değerleri Tablo 4.6'da verilmiştir. Depolama sistemi olarak araç aküsünün kullanıldığı PV güç sistemi 9 yıl ile amortisman süresi en düşük olandır. Depolama sistemine sahip talep tarafı yönetimi yapılmaya PV güç sisteminin amortisman süresi 20 yıldır. Talep tarafı yönetimi yapılarak PV güç sisteminin amortisman süresi 15 yıla düşürülmüştür.

Tablo 4.6 Maliyet Parametreleri

Maliyet Parametreleri	Araç Akülü Sistem	27,5 kWh Akü	15 kWh Akü
Amortisman Süresi	9 yıl	20 yıl	15 yıl
Net Bugünkü Değer (NPV)	1849,084379	1476,990513	34,86171052
Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti (LCOE)	0,088466671	0,126283776	0,109094183

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Her güç sistemi için, tesisin verimli, güvenli ve ekonomik bir şekilde çalışması birincil hedeflerdir. Bu hedeflere ulaşılabilmesi için güç sistemlerinin davranışları anlaşılmalıdır. Güç sisteminin normal işletim sınırlarının analizi, müşteri taleplerine ve hava olaylarına göre tepkisinin anlaşılması, sistem yükü hakkında bilgi verir. Bu veriler kullanılarak yapılan kısa süreli yük tahmini, güç sisteminin operasyonel kararlarının alınmasına yardımcı olabilecek ertesi gün yük öngörüsü sağlayabilmektedir. Yapılan çalışma sonucunda kısa dönem yük tahminlemesi yapılmış ve talep tarafı yönetim stratejisi belirlenmiştir belirlenen talep tarafı yönetim stratejisinden dördüncü bölümde ayrıntılarıyla bahsedilmiştir. Tasarlanan güç sistemi talep tarafı yönetimi kullanılarak, merkezi batarya ve elektrikli araç bataryası ile desteklenerek konutlar için tasarlanmış bir hibrit PV güç sistemidir. Tasarlanan PV güç sisteminin ekonomik analizi ve boyutlandırılması da bu tez çalışmasında yapılmış ve dördüncü bölümde ayrıntılarıyla anlatılmıştır. Bu tez çalışmasında veri olarak 2017- 2020 tarihleri arasındaki yük kullanım değerleri ve ortalama küresel yatay ışınım, ortalama bağıl nem, ortalama rüzgar hızı, çiy noktası (dew point) ve hava sıcaklığı gibi çeşitli meteorolojik veriler kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında uyguladığımız Yapay Sinir Ağları (YSA) algoritmasının performansını gözleme aşamasında literatürde yaygın olarak kullanılan istatistiksel metriklerden R^2 değeri hesaplanmıştır. YSA algoritmasını çalıştırdığımızda elde edilen performans değeri R^2 cinsinden 0,8994 olarak ölçülmüştür. Multi Layer Perceptron Regressor, KerasRegressor ve KerasRegressor (Optimize edilmiş) olmak üzere üç farklı yöntem denenmiştir, performans sonuçları R^2 cinsinden sırasıyla 0,8442, 0,8351 ve 0,8994 olarak bulunmuştur.

Önerilen PV Güç Sisteminin tasarımı ve boyutlandırması pik zaman aralıklarındaki elektrik tüketimleri baz alınarak yapılmıştır. Tarifeli sayaç uygulamasına göre belirlenmiş pik saat aralıkları üzerinden hesaplanan batarya tüketim miktarları bu tez çalışmasında baz alınan Villa için Ocak ayında 12,31 kWh, Şubat ayında 2,733 kWh, Mart ayında 15,922 kWh, Nisan ayında 15,991 kWh, Mayıs ayında 22,180 kWh, Haziran ayında 12,646 kWh, Temmuz ayında 15,436 kWh, Ağustos ayında 16,813kWh, Eylül ayında 19,667 kWh, Ekim ayında 1,726 kWh, Kasım ayında 18,493 kWh ve Aralık ayında 3,504 kWh olarak belirlenmiştir.

Pik tüketim değerlerinden en yüksek elektrik tüketiminin olduğu 22,180 kWh'lik elektrik tüketimi baz alınarak batara kapasitesi 27,5 olarak belirlenmiştir. Sonrasında, mevcut yük dağılımını talep tarafı yönetimi ile değiştirerek pik zaman dilimindeki elektrik tüketiminin azaltılması sağlanmış ve batarya ihtiyacı 15 kWh'e düşürülmüştür.

Son olarak sistemin ekonomik analizi yapılmıştır. PV sistemin ekonomik analizi yapılırken üç farklı durum göz önünde bulundurulmuş ve üç ayrı durum içinde ekonomik analiz yapılmıştır. Bu üç durum, PV güç sisteminin elektrikli araç aküsüyle desteklendiği bir sistem, bir depolama sistemi içeren PV güç sistemi ve depolama sistemi içeren talep tarafı yönetimi stratejisi uygulanmış sistemdir. Kurulum maliyeti elektrikli araç bataryalı sistem için 5000 €, depolama sistemi bulunduran yani 27,5 kWh kapasiteli bataryalı sistem için 7750 € ve talep tarafı yönetimi stratejisi uygulanarak batarya kapasitesi ihtiyacı azaltılmış PV güç sistemi için 6500 € olmuştur ve amortisman süreleri sırasıyla 9 yıl, 20 yıl ve 15 yıl olarak hesaplanmıştır. Net Bugünkü Değer (NPV) ve Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti (LCOE) değerleri sırasıyla elektrikli araç akülü sistem için 1849,084379, 0,088466671, 27.5 kWh kapasiteli batarya sisteminin kullanıldığı sistem için 1476,990513, 0,126283776 ve talep tarafı yönetiminin uygulandığı sistem için 34,86171052, 0,109094183 olarak hesaplanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Edward, J.Ng., El-Shatshat, R. Multi-microgrid control systems (MMCS). In Proc. IEEE Power and Energy Society General Meeting, 25-29 July,2010, USA.
- [2] Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., Adler, A., Baum, I., Brunner, S., Eickemeier, P., Kriemann, B., Savolainen, J., Schlömer, S., Schlömer, C. von Stechow, Zwicke, T., and Minx, J.C., Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Cambridge University Press, 2014, DOI: 10.1017/CBO9781107415416.005
- [3] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tablolari/Denge-Tablolari>.
- [4] Dong, S., Kremers, E., Brucoli, M., Rothman, R., & Brown, S. Techno-economic assessment of household and community energy storage in the UK. Elsevier Energy Conversion and Management. 2020, 205.
- [5] Schram, W., AlSkaif, T., Lampropoulos, I., Henein, S., Sark, W. On the trade-off between Environmental and Economic Objectives in Community Energy Storage Operational Optimization. IEEE Transactions on Sustainable Energy. 2020
- [6] Chang, Hsiu-Chuan. Shared Community Energy Storage Allocation and Optimization, University of Waterloo, Applied Science in Management Sciences, Waterloo, Ontario, Canada, 2019, 85s. (Doktora Tezi).
- [7] Van der Stelt, S., AlSkaif, T., & van Sark, W., Techno-economic analysis of household and community energy storage for residential prosumers with smart appliances. Applied Energy. 2018, 209, 266–276.
- [8] Barbour, E., Parra, D., Awwad, Z., & González, M. C., Community energy storage: A smart choice for the smart grid, Applied Energy, 2018, 212, 489–497.
- [9] Sardi, J., Mithulananthan, N., & Hung, D. Q., Strategic allocation of community energy storage in a residential system with rooftop PV units. Applied Energy. 2018, 206, 159–171, doi:10.1016/j.apenergy.
- [10] Parra, D., Swierczynski, M., Stroe, D. I., Norman, S. A., Abdon, A., Worlitschek, J., O’Doherty, T., Rodrigues, L., Gillott, M., Zhang, X., Bauer, C., Patel, M. K., An interdisciplinary review of energy storage for communities: Challenges and perspectives. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017.
- [11] Sardi, J., Mithulananthan, N., Gallagher, M., & Hung, D. Q., Multiple community energy storage planning in distribution networks using a cost-benefit analysis. Applied Energy. 2017, 190, 453–463.
- [12] AlSkaif, T., Schram, W., Litjens, G., & van Sark, W., Smart charging of community storage units using Markov chains. IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe), 2017.
- [13] Arghandeh, R., Woyak, J., Onen, A., Jung, J., & Broadwater, R. P., Economic optimal operation of Community Energy Storage systems in competitive energy markets. Applied Energy, 2014, 135, 71–80.
- [14] Onar, O. C., Starke, M., Andrews, G. P., & Jackson, R., Modeling, controls, and applications of community energy storage systems with used EV/PHEV batteries. IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), 2012.
- [15] R. Arghandeh, R. P. Broadwater, Distributed energy storage control for optimal adoption of solar energy in residential networks. American society of mechanical engineers power conference, 2012.

- [16] Luo, L., Abdulkareem, S., Rezvani, A., Miveh, M., Samad, S., Pazhoohesh, M. Optimal scheduling of a renewable based microgrid considering photovoltaic system and battery energy storage under uncertainty. *Journal of Energy Storage*, 2020.
- [17] Kumar, P. S., Chandrasena, R. P. S., Ramu, V., Sreenivas, G. N., & Babu, K. V. S. M., Energy Management System for Small Scale Hybrid Wind Solar Battery Based Microgrid, 2020.
- [18] Nasr, M.-A., Nikkhah, S., Gharehpetian, G. B., Nasr-Azadani, E., & Hosseinian, S. H., A multi-objective voltage stability constrained energy management system for isolated microgrids. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2020, 117.
- [19] Jadhav, A. M., Zheng, Y., Suryanarayanan, S., & Patne, N. R., Energy Management in Multi-Microgrid System with Community Battery Energy Storage. 20th National Power Systems Conference (NPSC). 2018.
- [20] Sukumar S, Mokhlis H, Mekhilef S, Naidu K, Karimi M. Mix-mode energy management strategy and battery sizing for economic operation of grid-tied microgrid. *Energy*, 2017.
- [21] Ahmed, M. S., Mohamed, A., Khatib, T., Shareef, H., Homod, R. Z., & Ali, J. A., Real time optimal schedule controller for home energy management system using new binary backtracking search algorithm, 2017.
- [22] Zhang, D., Li, S., Sun, M., & O'Neill, Z., An Optimal and Learning-Based Demand Response and Home Energy Management System. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2016, 1790–1801.
- [23] Comodi G, Giantomassi A, Severini M, Squartini S, Ferracuti F, Fonti A, et al. Multi-apartment residential microgrid with electrical and thermal storage devices: experimental analysis and simulation of energy management strategies. *Appl Energy* 2015,137:854–66.
- [24] Logenthiran, T., Srinivasan, D., & Shun, T. Z. Demand Side Management in Smart Grid Using Heuristic Optimization. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2012, 3(3), 1244–1252.
- [25] Kempton W, Letendre SE. Electric vehicles as a new power source for electric utilities. *Transp Res Part Transp Environ*. 1997;2(3):157–75
- [26] Başaran, K., Bulanık Mantık Kontrollü Otonom ve Şebeke Bağlantılı Rüzgar-Güneş Hibrid Güç Sisteminin Optimizasyonu ve Adnan Menderes Üniversitesi Kampüs Alanında Uygulanması, Güneş Enerjisi Enstitüsü, İzmir, 2013, (Doktora Tezi).
- [27] Aydın N., Başar M., Çoşkun M., Finansal Yönetim, Detay Yayıncılık, Ankara, 2010, 380 s.
- [28] M. E. El-hawary, The smart grid state of the art and future trends, *Electr. Power Components Syst.* 2014, vol. 42, no. 3–4, pp. 239–250.
- [29] Dóci G, Vasileiadou E. Let s do it ourselves individual motivations for investing in renewables at community level. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;49:41–50
- [30] N., Comparison the Economic Analysis of the Battery between Lithium-ion and Lead-acid in PV Stand-alone Application. *Energy Procedia*. 2014, 56, 352–358. doi:10.1016/j.egypro.
- [31] Hannan, M. A., Hoque, M. M., Hussain, A., Yusof, Y., & Ker, P. J. (2018). State-of-the-Art and Energy Management System of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicle Applications: Issues and Recommendations. *IEEE Access*, 6, 19362–19378.

- [32] Dhundhara, S., Verma, Y. P., & Williams, A. (2018). Techno-economic analysis of the lithium-ion and lead-acid battery in microgrid systems. *Energy Conversion and Management*, 2018, 177, 122–142. doi:10.1016/j.enconman.
- [33] Özdemir, E., Çaliker, A., Koç İ. Yenilenebilir Enerji Kaynağından Belenen Elektrik Güç Sistemleri İçin Hibrit Enerji Depolama Teknolojileri. *ICCI*, 2014, 68-72.
- [34] Bank, A.D., Handbook on Battery Energy Storage System. Asian Development Bank, 2018, 94 s.
- [35] Alternenergymag, “A comparison of Lead Acid to Lithium-ion Stationary Storage Application”, erişim: 22 Nisan 2020, <https://www.altenergymag.com>.
- [36] Stolz, P., Frischknecht, R., Kessler, T., Züger., Life Cycle Assessment of PV-Battery Systems for a Cloakroom and Club Building in Zurich, Willey Photovoltaics, 2018.
- [37] Apostolaki-Iosifidou E, Codani P, Kempton W. Measurement of power loss during electric vehicle charging and discharging. *Energy*. 2017; 127:730–42.
- [38] Eyer J, Corey G. Energy storage for the electricity grid: benefits and market potential assessment guide. Albuquerque, NM: Sandia National Laboratories, 2010.
- [39] Noori M, Zhao Y, Onat NC, Gardner S, Tatari O. Light-duty electric vehicles to improve the integrity of the electricity grid through vehicle-to-grid technology: analysis of regional net revenue and emissions savings. *Appl Energy*. 2016;168:146–58.
- [40] Zhou Z, Levin T, Conzelmann G. Survey of U.S. ancillary services markets. Center for Energy, Environmental, and Economic Systems Analysis, Energy Systems Division, Argonne National Laboratory, 2016.
- [41] J. Hu, Y. Shan, Y. Xu, J.M. Guerrero, A coordinated control of hybrid ac/dc microgrids with PV-wind-battery under variable generation and load conditions, *Int. J. Electr. Power Energy Syst*. 2019.
- [42] Ghiani, E., Serpi, A., Pilloni, V., Sias, G., Simone, M., Marcialis, G., Pegoraro, P. A Multidisciplinary Approach for the Development of Smart Distribution Networks. *Energies*, 2018, 11(10), 2530.
- [43] A. Abdali, R. Noroozian, K. Mazlumi, Simultaneous control and protection schemes for DC multi microgrids systems, *Int. J. Electr. Power Energy Syst*. 2019. 104, 230-245.
- [44] S. Nojavan, K. Zare, Interval optimization based performance of photovoltaic/wind/ FC/electrolyzer/electric vehicles in energy price determination for customers by electricity retailer, *Sol. Energy*. 2018, 580-592
- [45] Alfares,H.K., Nazeeruddin, M., Electric Load Forecasting: Literature Survey and Classification of Methods, *International Journal of Systems Science*. 2010, 23-34.
- [46] Ertuğrul,İ., Öztwaş,T., Talep Tahmininde Bulanık Zaman Serilerinin Kullanılmasına Yönelik İşletme Uygulaması, *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*. 2016, 18(30),135-149.
- [47] Üçgül,İ., Tüysüzoğlu,E., Yakut,M. PV Çatı Uygulaması için Enerji Hesaplaması ve Ekonomik Analizi, *Suleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Science*. 2014, 18(2), 1-6.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gül Feray SEZEN

Doğum Yeri ve Yılı : Bodrum, 1995

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : feraysezen4@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise: Seferihisar Anadolu Lisesi, 2013

Lisans: İzmir Ekonomi Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 2018

Yüksek Lisans: Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü

Mesleki Deneyim

Merit Solar Enerji Ltd. Şti. 2020- (halen)

Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitaplarında (proceedings) Basılan Bildiriler

Basaran Kıvanç, Sezen Gül Feray (2018). Economic Analysis of an Off-Grid Photovoltaic System. International Conference on Energy Research, 277-285.

Projeler

Akıllı Mikro Sebekelerde Enerji ve Talep Tarafı Yönetimi, Uluslararası İkili İşbirliği Programları, Yürütücü: BASARAN KIVANÇ, Proje Koordinatörü: Siano Pierluigi, Araştırmacı: SEZEN Gül Feray, 02/09/2019 (Devam Ediyor)