

T.C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDE KULLANILAN DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN
İNCELENMESİ VE VERİM ARTTIRMA YÖNTEMLERİ**

Yüksel Çağrı GÜRSES

185210004

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Akıllı Ulaşım Sistemleri Programı

Temmuz 2021

T.C.

BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDE KULLANILAN DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN
İNCELENMESİ ve VERİM ARTTIRMA YÖNTEMLERİ**

Yüksel Çağrı GÜRSES

185210004

DANIŞMAN

Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ

II. DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Harun ÖZBAY

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Akıllı Ulaşım Sistemleri Programı

Temmuz 2021

ONAY

Yüksel Çağrı Gürses tarafından hazırlanan “Güneş Enerji Santrallerinde Kullanılan Depolama Sistemlerinin İncelenmesi ve Verim Artırma Yöntemleri” adlı tez çalışması .../.../... tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Ünvanı, Adı ve Soyadı

(Danışman)

Ünvanı, Adı ve Soyadı

(Üye)

Ünvanı, Adı ve Soyadı

(Üye)

Ünvanı, Adı ve Soyadı

(Üye) (varsa)

Ünvanı, Adı ve Soyadı

(Üye) (varsa)

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../... gün ve .../... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI

ETİK BEYANI

Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü yazılım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum “**Güneş Enerji Santrallerinde Kullanılan Depolama Sistemlerinin İncelenmesi ve Verim Artırma Yöntemleri**” adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim.

02/07/2021

Yüksel Çağrı Gürses

İmza

ÖNSÖZ

Güneş Enerji Santrallerinde Kullanılan Depolama Sistemlerinin İncelenmesi ve Verim Arttırma Yöntemleri' adlı çalışmamda günümüzde çok önemli olan enerjiye ulaşma ve enerjinin verimli kullanılması ile ilgili incelemeler yapılmış olup verimlilik ile ilgili yöntemler ortaya çıkarılmıştır.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde desteği, anlayışı, enerjisi ve katkılarından dolayı danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Harun ÖZBAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Ön lisans hayatımdan başlayarak mühendisliğe ve daha sonra yüksek lisansa kadar her zaman ufku ve sözleriyle beni cesaretlendiren ülkemizin nadide hocası danışmanım Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ'a teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca her zaman benim yanımda olan aileme teşekkür ederim.

ÖZET

GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDE KULLANILAN DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ VE VERİM ARTTIRMA YÖNTEMLERİ

Yüksel Çağrı GÜRSES

Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Harun ÖZBAY

Haziran 2021, 56 Sayfa

Güneş enerji sistemlerinde kullanılan teknolojinin ilerlemesi ve güneş enerji santrallerinde kullanılan malzemelerin maliyetinin zaman içerisinde düşmesiyle beraber güneş enerjisi sektörü son yıllarda büyük bir önem kazanmıştır. Bununla beraber güneş enerji santrallerinde depolamanın önemi artmıştır. Güneş enerji santralleri diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla çevresel faktörlerden olumsuz anlamda daha fazla etkilenmektedir. Bu olumsuz faktörler sistemin verimliliğini düşürmektedir. Bu olumsuz etkileri gözlemlemek ve ortadan kaldırmak amacıyla güneş enerji santrallerinde verimlilik çalışmaları istenilen maddi geri dönüşün sağlanabilmesi adına büyük önem taşımaktadır.

Bu tez çalışmasında Bandırma'da 1,2 MW kurulu güce sahip olacak güneş enerjisi santralının tasarımı ve simülasyonu yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre yorumlar yapılmış, güneş enerji santrallerinde kullanılan sistem elemanları, üretim sonrası enerjinin depolanmasını sağlayan depolama sistemleri ve güneş enerji santrallerinde verimliliği etkileyen faktörler ile beraber verimliliği arttırmak için gereklilikler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerji santrali, Enerji depolama sistemi, Enerji verimliliği

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF STORAGE SYSTEMS USED IN SOLAR POWER PLANTS AND METHODS OF INCREASING EFFICIENCY

Yüksel Çağrı GÜRSES

Bandırma Onyeddi Eylül University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Intelligent Transportation Systems and Technologies

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ

Co-Supervisor: Asst. Prof. Dr. Harun ÖZBAY

June 2021, 56 pages

The solar energy sector has gained great importance in recent years, as a result of the advancement of technology used in solar energy systems and the decrease in the cost of materials used in solar power plants over time. In addition, the importance of storage in solar power plants has increased. Compared to other renewable energy sources, solar power plants are more negatively affected by environmental factors. These negative factors reduce the efficiency of the system. In order to observe and eliminate these negative effects, efficiency studies in solar power plants are of great importance in order to achieve the desired financial return.

In this thesis, The solar power plant, which will have an installed capacity of 1.2 MW in Bandırma, has been designed and simulated. Comments have been made according to the findings obtained. system elements used in solar power plants, storage systems that provide post-production energy storage and factors affecting efficiency in solar power plants, as well as requirements to increase efficiency were presented..

Key Words: Solar power plant, Energy storage system, Energy efficiency

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
İÇİNDEKİLER.....	III
TABLO LİSTESİ	VII
SİMGE ve KISALTIMA LİSTESİ.....	VIII
1. GİRİŞ.....	1
1.1 TEZİN AMACI.....	1
1.2 LİTERATÜR TARAMASI.....	1
2. GÜNEŞ ENERJİSİ.....	3
2.1 DÜNYA'DA GÜNEŞ ENERJİSİ	3
2.1.1 Türkiye'de Güneş Enerjisi.....	4
2.2. FOTOVOLTAİK (FV) SİSTEMLER.....	7
2.2.1 Fotovoltaik Hücre Çeşitleri.....	7
2.2.2 Fotovoltaik Hücrelerin Matematiksel Modeli.....	10
2.2.3 FV Panellerin Karakteristik Eğrileri.....	12
2.2.4 Gölgeleme Etkisi	13
2.2.5 Optimum FV Panel Açısı	14
2.3. FV SİSTEM TİPLERİ	15
2.3.1 FV Sistem Bileşenleri.....	15
2.3.2 Şebekeden Bağımsız FV Sistemler	15
2.3.3 Şebekeye Bağlı FV Sistemler	16
2.3.4 Hibrit FV Sistemler	17
3. ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ	18
3.1 KİMYASAL ENERJİ DEPOLAMA	19
3.1.1 Bataryalar.....	19
3.2 MEKANİK ENERJİ DEPOLAMA	22

3.2.1 Volan ile Enerji Depolama	23
3.2.2 Basınçlı Su ile Enerji Depolama	23
3.2.3 Sıkıştırılmış Hava ile Enerji Depolama	23
3.3 TERMAL ENERJİ DEPOLAMA.....	23
3.3.1 Duyulur Isı Depolama	24
3.3.2 Gizli Isı Depolama.....	24
3.3.3 Termokimyasal Enerji Depolama	24
4. ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN KULLANILDIĞI YERLER.....	26
4.1 HİDROJEN ENERJİSİ VE DEPOLAMA.....	26
4.1.1 Hidrojenin Üretilmesi.....	26
4.1.2 Hidrojen Depolama Yöntemleri	27
4.2. AKILLI ŞEBEKELERDE ENERJİ DEPOLAMA	29
4.2.1 Yerel Şebeke Depolama Sistemleri.....	29
4.3 ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA ENERJİ DEPOLAMA.....	30
4.4 GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNDE ENERJİ DEPOLAMA.....	31
4.4.1 Balıkesir İlinde 1 MW Güneş Santrali ve Depolama Sistemi.....	31
5. ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİNDE VERİM ARTIRMA YÖNTEMLERİ...41	
5.1 GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNDE VERİM ARTTIRMA.....	41
5.1.1 Maksimum Güç Noktası Takibi	41
5.1.2 Güneş Takip Sistemleri	44
5.1.3 Sabit Eğim Açısıyla Panel Yerleşimi.....	44
5.1.4 Güneş Enerji Santrallerinde Termal Test.....	44
5.1.5 8 MW Burdur Güneş Enerji Santrali Termal Test Çalışması.....	47
5.2 ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA VERİM ARTTIRMA	47
5.2.1 Güneş Enerjisi Destekli Şarj İstasyonları.....	48
5.2.2 Şarj İstasyonlarının Şebeke ile Etkileşimi.....	48
5.2.3 Elektrikli Araçlarda Akıllı Yönetim Sistemi.....	48

6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	50
7. KAYNAKLAR.....	52



ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1: Güneş radyasyon haritası [2]	3
Şekil 2: Türkiye radyasyon haritası [1]	5
Şekil 3: Cemer kent ekipmanları 400 kWp çatı uygulaması-(2013 İzmir).....	6
Şekil 4: Niges 530 kWp saha test uygulama projesi- (2015 Niğde) [5]	6
Şekil 5: Ege Orman Vakfı 500kWp saha uygulama projesi (2014 İzmir) [5]	7
Şekil 6: Monokristal panel [7]	8
Şekil 7: Polikristal hücre [9]	8
Şekil 8: İnce film panel [10]	9
Şekil 9: Akım-Gerilim grafiği [11]	12
Şekil 10: Güç-Gerilim grafiği [11].....	12
Şekil 11: Gölgeleme etkisi [12]	13
Şekil 12: Şebekeden bağımsız PV sistem örneği [14]	16
Şekil 13: Şebekeye bağlı PV sistemi [16]	17
Şekil 14: Kurşun asit batarya [18]	20
Şekil 15: Nikel kadmiyum batarya [19].....	21
Şekil 16: Lityum iyon batarya [33]	21
Şekil 17: Lityum iyon polimer batarya [38]	22
Şekil 18: Hidrojen depolama kapasiteleri [47]	28
Şekil 19: Konsept tasarım	30
Şekil 20: Simülasyon parametreleri.....	33
Şekil 21: Gölgeleme tanımlamaları.....	34
Şekil 22: Proje tasarımı.....	35
Şekil 23: Proje tek hat şeması.....	36
Şekil 24: Genel sonuçlar	38
Şekil 25: Bandırma ilçesinde eğim açısına göre performans.....	39
Şekil 26: Değiştir & Gözle akış diyagramı (23).....	42
Şekil 27: Artan iletkenlik diyagramı (23).....	43
Şekil 28: Termal görüntü örneği (12)	45
Şekil 29: Hot-Spot örnekleri (12)	47

TABLO LİSTESİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 1: Fotovoltaik kurulum gücü en yüksek 11 ülke [3]	4
Tablo 2: Ülkemizin güneşten elektrik üretimi kurulu gücünün illere göre listesi [4]	5
Tablo 3: Elektriksel özellikler	10
Tablo 4: Sistem özellikleri.....	11
Tablo 5: Termal özellikler	11
Tablo 6: Mekanik özellikler.....	11
Tablo 7: Arazi Projeleri için Dikkat Edilmesi Gerekenler	14
Tablo 8: Çatı projeleri için dikkat edilmesi gerekenler [13]	14
Tablo 9: Çeşitli Depolanma Yöntemlerinde Elde Edilen Hidrojenin Miktarları ve Enerjisinin Yoğunluğunun Değerleri	27

SİMGE ve KISALTMA LİSTESİ

Simgeler

m^2	: Metre kare
m^3	: Metre küp
°	: Derece
°C	: Celcius
ηm	: Verimlilik
Ω	: Omega (direnç)

Açıklama

Kısaltmalar

AB	: Avrupa Birliği
AC	: Alternatif Akım
Ar-Ge	: Araştırma-Geliştirme
C	: Işık Hızı
Cm	: Santimetre
DC	: Doğru Akım
E	: Enerji
GW	: GigaWatt
kW	: KiloWatt
DdTe	: Kadmiyum tellürid
GaAs	: Galyum Arsenit
kWh	: KiloWattsaat
kWp	: KiloWattpeak
M	: Kütle
MW	: MegaWatt
PV	: Fotovoltaik
W	: Watt
YEKDEM	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması
V	: Volt
A	: Amper
Vmpp	: Çalışma gerilimi
Imp	: Çalışma akımı
Voc	: Açık devre gerilimi
Isc	: Kısa devre akımı
Kg	: Kilogram
M.Ö	: Milattan önce
CFC	: Kloroflorokarbon

1. GİRİŞ

1.1 TEZİN AMACI

Tez çalışmamızda incelenecek kısım güneşten elektrik üretimidir. Özellikle doğal olmayan enerji kaynaklarımızın son yüz yıldır aşırı şekilde kullanılması neticesinde küresel çevre sorunu yaşadığımız bugünlerde, güneş enerjisinin önemi daha da artmıştır. Güneş enerjisinden elektrik üretimi her ülke için enerji bağımsızlığı adına çok önemli bir yer tutmaktadır.

Güneş enerji santrallerinin doğru şekilde inşa edilmesi, konumlandırılması, olumsuz etkilerinin önceden tespit edilmesi ile birçok yenilenemez enerji kaynağına son verilebilir. Böylece çevremize daha temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı bırakılmış olur.

1.2 LİTERATÜR TARAMASI

Sonsuz enerji kaynağı olan güneşin içyapısının neredeyse %90'ı hidrojenle oluşmaktadır. Güneşin içyapısındaki hidrojenlerin birleşerek helyuma dönüşmesi sırasında ortaya çıkan enerji güneş enerjisidir [1].

Tepkimeler sonucunda meydana gelen güneş enerjisinin dünyamız için yaşam kaynağı olduğu gibi teknolojilerin hızla gelişmesiyle elektrik enerjisinin üretilmesinde de güneşten faydalanılmaktadır. Güneşten her saniye 4 milyon tona yakın kütle enerjiye dönüşür. Güneş yıllarca ışmasını sürdüreceği için dünyamız adına tükenmez bir enerji türüdür. Dünyamızda bulunan bazı enerji kaynakları da (kömür, petrol, rüzgâr, dalga enerjisi vb.) güneş tarafından oluşmaktadır. Genel tanım olarak tepkimeler sonucunda oluşan güneş enerjisi birçok alanda kullanılmaktadır. İlk akla elektrik üretimi alanında gelse de su ısıtmadan buhar elde edilmesine, hidrojen üretiminden deniz suyunun arıtılmasına kadar sayısızca alanda insan ve çevrenin yararına birincil enerji kaynağı olmaktadır. Güneş enerjisinin tükenmez bir kaynak olması, onun insanlık için en önemli enerji kaynağı olduğunu göstermektedir [6].

Tarihsel olarak birçok uygarlık ekonomisi, gıda, hatta inancına ait yaşam tarzını güneşe göre belirlemiştir. Güneş tutulması, güneşin renginin kıızıla dönmesini felaket habercisi olarak görürken bol güneşli geçen günlerde ise yaratıcının onlara hediye verdiğini düşünmüşlerdir. Kendi tarihimizde ise bazı padişahlar önemli bir karar vermeden önce gök cisimleri hareketleri ve güneşin durumuna göre kararlar vermiştir. Özellikle 3. Mustafa zamanında tüm önemli kararlar güneşin durumuna göre verilmiştir.

Günümüz teknolojisine baktığımız zaman, birçok firma ve ülkelerin yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş enerjisini tercih ettiği görülmektedir. Gelişen teknolojiler ve daha temiz bir enerji için güneş enerjisi kullanılmaktadır. Yakın gelecekte güneş enerjisinden elektrik üretimi daha ucuz ve daha verimli olması beklenmektedir [25].

Güneş enerjisinden doğru şekilde faydalanmak için güneş enerji santrallerinin, yani kullanılan fotovoltaik sistemlerin güneş ışınımından en yüksek verimi alabilmesi için fizibilite çalışması yapılması gerekmektedir. PVSyst gibi programlar yardımı ile güneş enerji santralının inşa edilecek konumunun raporlaması çıkarılmaktadır. Bu raporlamaya göre o konumdaki santralin üreteceği ortalama ve maksimum elektrik enerjisi, gölgelenme etkisi sonucu kaybettiği elektrik enerjisi vb. değerler elde edilmekte ve güneş enerji santralının yapılmasının uygun olup olmadığı kararlaştırılmaktadır.

Güneş panellerinin verimi sıcaklık ile ters orantılıdır. Ortam sıcaklığı arttıkça panel verimi azalmakta ve elektrik enerjisi üretimi azalmaktadır. İdealde bir panelin maksimum elektrik enerjisi üretmesi için güneş ışınımının yüksek ortam sıcaklığının ise düşük olması gerekmektedir [1],[6],[11,12].



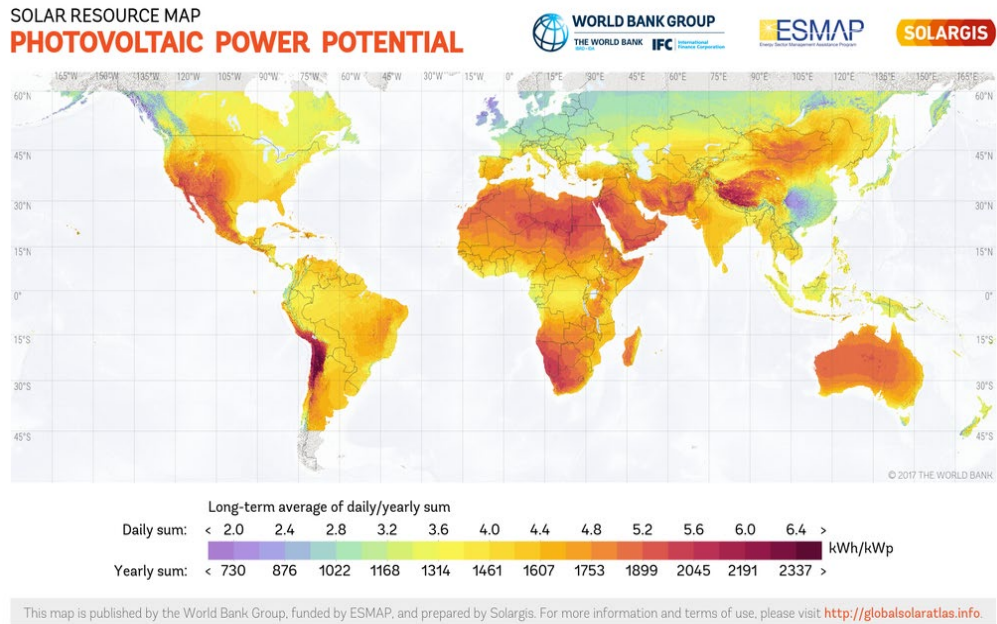
2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneşten gelen enerji, bir yıl içinde kullandığımız enerjinin yaklaşık olarak 20000 katına değerdir. Bu büyük potansiyelin kullanımı konusunda özellikle son elli yıldır üretim ve tüketimin artması neticesinde doğal olmayan kaynakların kullanılması yanında yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı artmıştır [1],[6].

2.1 DÜNYA'DA GÜNEŞ ENERJİSİ

Son 10 yıldır Güneş'ten fotovoltaik elektrik üretimi sektöründe, bilhassa fotovoltaik güneş elektrik panellerinin fiyatının ucuzlaması ve teknoloji gelişmişliği sayesinde veriminin artması sonucu, üretim sanayisi çok gelişmiş olan Çin, Amerika Birleşik Devletleri, Japonya ve Almanya'nın başını çektiği onlarca ülke güneşten elektrik üretimini stratejik hedefine koymuştur. Dünya Güneş'ten gelen enerji ile tüm elektrik ihtiyacını karşılayabilir. Sektörel raporlara göre 2100 yılına kadar elektrik üretim tesislerinin %99'u Güneş enerjisinden sağlanacaktır [1].

Şekil 1'de Dünya için güneş radyasyon haritası yer almaktadır. Güneş enerjisi için radyasyon değeri, yükselti, sıcaklık, nem, rüzgâr önemli katsayılarıdır. Ekvator kuşağı içerisinde bulunan bölgeler Güneş'ten elektrik üretimi için en verimli alanlardır. Dünyanın güneş radyasyon haritası Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1: Güneş radyasyon haritası [2]

2020 itibariyle fotovoltaik kurulumu sağip lkeler Tablo 1’de verildiği gibi sıralanmaktadır.

Tablo 1: Fotovoltaik kurulum gücü en yüksek 11 ülke [3]

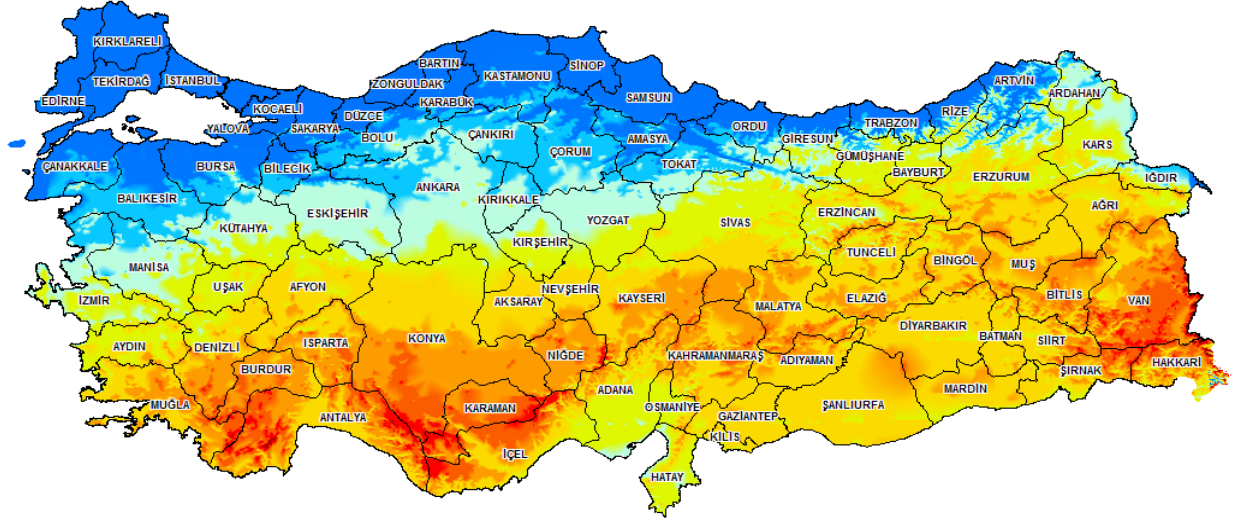
lke	Kurulu Gücü
Çin Halk Cumhuriyeti	240 GW
Amerika Birleşik Devletleri	80 GW
Japonya	65 GW
Almanya	51 GW
Hindistan	44 GW
İtalya	21 GW
Avustralya	15 GW
İngiltere	14 GW
Güney Kore	12 GW
Fransa	10 GW
Türkiye	7 GW
Toplam	559 GW

2.1.1 Türkiye’de Güneş Enerjisi

Ülkemiz, Ekvator bölgesinde yer almaktadır. Bu bölge güneş enerjisinden elektrik üretimi için en verimli bölgedir. Isınma, retim sanayisi ve elektrik üretiminde kaynaklarının hemen hemen tamamı ithal olan ülkemiz için yenilenebilir enerji kritik öneme sahiptir. Ülkelerin bağımsızlığı için en önemli kriterlerden biri enerjidir. Son 30 yılda Dünya ve çevremizde yaşanan savaş ve olaylara bakıldığında enerjisini ithal eden ülke olarak askeri caydırıcılığımızın, idari ve yönetim olarak kurumsallığımızın veya ekonomik gelişmişliğimizin yeterli olmadığı görülmektedir. Bilhassa lkemizin enerji kaynaklarını ithal ettiği ülkelerin ulusal çıkarlarımızın karşısında olması yenilenebilir enerjiyi kullanmamızın ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. 2010’ların başından itibaren Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu tarafından yönetmelikler yazılmıştır. İlk olarak 2010’ların başında Lisanslı Projeler için 600 MW’lık yarışma çağrısı yapılmış ancak yarışma 2013 yılında sonuçlanmıştır. Sonrasında ise bu Şekilde hedeflenen kurulu gücün yakalanamayacağını gören Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu 2013 yılında Lisanssız Elektrik retimi için 1 MW’a kadar yükselten ve daha az bürokrasi gerektiren yönetmeliği yayınlamıştır. 2013 yılından 2016 yılına kadar 6 GW’lık kapasite izin hakkını alan yatırımcılar ivedilikle kurulumlarını 2013-2019 yılları arasında tamamlanmış ve kurulu gücümüzü 7 GW seviyelerine

getirmişlerdir. 2013 yılından 2016 yılına kadar verilen kapasite izni 2016 yılında kapatılmış olup bu zamana kadar yeni arazi tipi güneş elektrik üretimi projesi için kapasite verilmemektedir. Ülkemiz için 2013'ten 2016 yılına kadarki pozitif gidişat 2016 yılından itibaren kapasite durdurulması neticesinde ne yazık ki negatif duruma gelmiştir [1],[4].

Şekil 2'de ülkemizin radyasyon değeri yer almaktadır. Görüldüğü üzere, Batı Anadolu, Orta Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerimizin verimi çok yüksektir.



Şekil 2: Türkiye radyasyon haritası [1]

Tablo 2'de ülkemizin güneşten elektrik üretimi kurulu gücünün illere göre listesi yer almaktadır;

Tablo 2: Ülkemizin güneşten elektrik üretimi kurulu gücünün illere göre listesi [4]

İller	Kurulu Güç (MW)	Oran (%)
Konya	504,73	7,92
Ankara	368,5	5,79
Şanlıurfa	342,98	5,38
Kayseri	318,72	5
İzmir	275,27	4,32
Afyonkarahisar	234,11	3,68
Kahramanmaraş	221,44	3,48
Manisa	216,73	3,4
Mersin	192,25	3,02
Diğer iller toplam	4325,27	58,01

Ülkemizde yapılmış olan bazı projelerin bilgileri Şekil 3'te verilmiştir;



Şekil 3: Cemer kent ekipmanları 400 kWp çatı uygulaması-(2013 İzmir)

İzmir ili Torbalı ilçesinde yapılan çatı üstü güneş enerjisi santrali Türkiye'nin ilk çatı üstü güneş projelerinden biridir. Panel teknolojisi Poly Kristal olan bu santralde 250W'lık paneller, 27kW'lık eviriciler kullanılmış olup yangın riskine karşı kablolar ayrı şekilde kablo tavalarından geçirilmiş, paneller arasına ulaşımın rahat olabilmesi adına uygun güzergah belirlenmiştir.



Şekil 4: Niges 530 kWp saha test uygulama projesi- (2015 Niğde) [5]

Niğde ili Merkez ilçesinde hayata geçen bu proje Türkiye'nin ilk test sahası olma özelliğine sahiptir. Santralde paneller farklı teknolojiden ve firmalardan seçilmiş, eviriciler farklı firmalardan kullanılmış, panel açıları 20 derece ile 45 derece arası olmak üzere her sırada farklı tasarlanmış, kablo dizileri 18 ila 23 arasında olmak üzere farklı tasarımla yapılmıştır. Bu sayede hem teknoloji hem de tasarımın dizi bazlı etkileri göz önüne alınarak ülkemizde daha sonra kurulmuş olan 6500 MW'lık güneş enerjisi santrallerine rehber niteliği taşımıştır.



Şekil 5: Ege Orman Vakfı 500kWp saha uygulama projesi (2014 İzmir) [5]

İzmir ili Menderes ilçesinde Ege Orman Vakfı adına yapılmış projede 250 W'lık Polikristal paneller kullanılmış, 27kW'lık eviriciler yer almıştır. Bu projenin en önemli özelliği vakıf ve devlet kurumlarının kendi elektrik ihtiyacını güneş enerjisinden sağlamanın avantajlarını göstermek olmuştur. Santral hibeler sayesinde kendini 3,5 yılda amorti etmiş, her yıl vakıfa elektrik ihtiyacını karşılamasının yanı sıra 1 Milyon Türk Lirasına yakın kazanç sağlamaktadır [5].

2.2. FOTOVOLTAİK (FV) SİSTEMLER

2.2.1 Fotovoltaik Hücre Çeşitleri

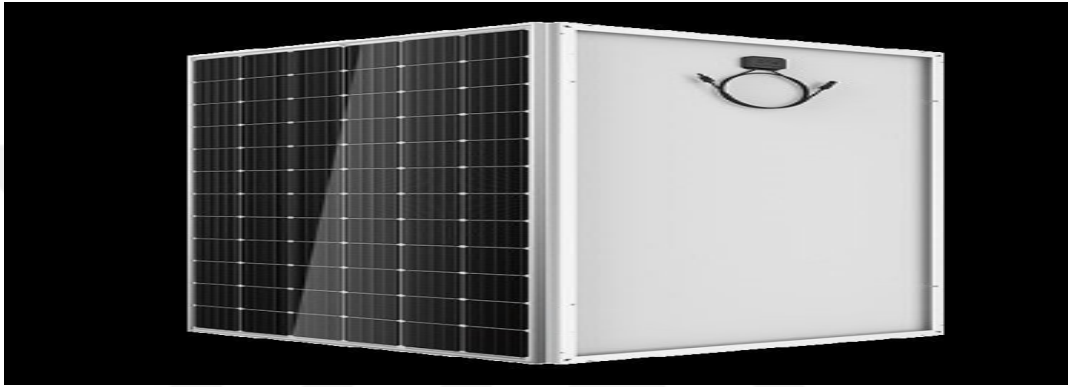
Güneşten elektrik üretiminde kullanılan güneş panelinin önemi çok büyüktür. Toplu bir sistemin maliyet açısından %65'ini güneş elektrik panelleri oluşturmaktadır [1].

Güneş panellerinin hücre çeşitlerini 3 ana kısma ayrılmaktadır. Bunlar;

- Kristal Silisyum Güneş Hücresi
- İnce Film Güneş Hücresi
- Geliştirilmekte Olan Hücre Teknolojileri

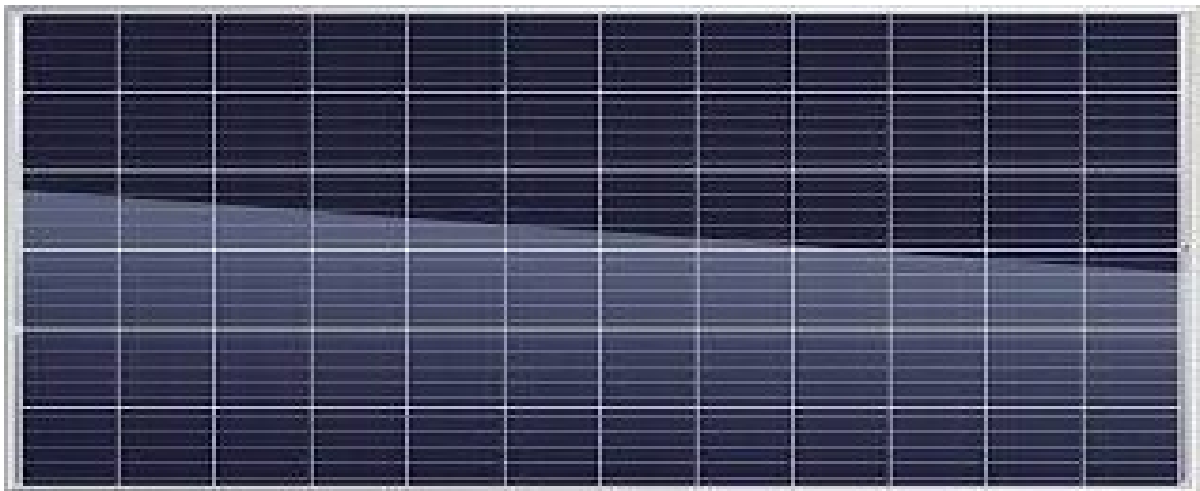
Kristal silisyum güneş hücresi, güneş hücresi imalatında en fazla kullanılan hücre çeşididir. Güneş ışınlarını tutma seviyesi az olmasına rağmen verim değerleri %11-17 arasındadır. Hücre çeşidine göre hücrelerin ve modellerin verimlilikleri değişkenlik göstermektedir. Monokristal ve polikristal olmak üzere, 2 çeşit hücre tipi vardır [1];

Monokristal hücre, saf silikon ile üretilen monokristal güneş hücreleri, tek kristal silisyum olarak da bilinmekte ve tanınmaktadır. En verimli hücre türü olan Monokristal hücreler koyu renklidirler. Monokristal güneş hücrelerinin verimlilikleri ortalama %24 oranındadır [6]. Şekil 6'da monokristal bir panele ait görsel verilmiştir.



Şekil 6: Monokristal panel [7]

Polikristal hücre, polikristal silikondan üretilen hücrelerdir, çoklu kristal silisyum olarak da bilinmektedir. Dikdörtgen yapısında hücrelerden oluşur, polikristal hücreler mavi renktedirler. Polikristal hücreye sahip güneş panellerinin verimliliği %14 ile %19 arasında değişmektedir [8]. Türkiye'de ki güneş enerjisi santrali sahalarında 2018 yılına kadar genellikle polikristal paneller tercih edilmiştir. Şekil 7'de polikristal hücre örneği verilmiştir.



Şekil 7: Polikristal hücre [9]

İnce film güneş hücresi, ilk olarak Amerika Birleşik Devletleri'nin Michigan eyaletinde yer alan, Michigan State Üniversitesi'nde yürütülmüş Ar-Ge operasyonlarıyla beraber güneş enerjisi sektöründe yer almaya başlamıştır. Bu Ar-Ge operasyonlarının ilk ortaya çıkış fikri güneş panellerinde kullanılan yarı iletken gereçlerin, panellerin üzerine ince film yapısında kaplanmasıyla olmuştur. Bu operasyonların sonucunda, güneş hücre üretiminde kullanılan yarı iletken gereçlerin maliyeti daha düşük olabilecek geniş yüzeylere uygulanıp maliyeti düşürebileceği görülmüştür. Üzerine yapılan çalışmalar sonucunda ince film güneş hücrelerinin verimlilik değerleri %18'i görmüştür ancak uzun dönemde kararlılık olarak istenenden düşük kalması, üretici firmaları etkilemektedir. İnce film güneş hücrelerinin üç çeşidi ön plana çıkmaktadır. Sırasıyla; kadmiyum, tellür ve amorf silisyum elementleri kullanılarak oluşturulan birleşik yarı iletken bakır ve kadmiyum tellür, selenyum, iridyum elementlerinin bir aralığından olan bakır iridyum diselenid bileşik yarı iletkenidir. Kristal yapı özelliği göstermeyen amorf silisyum pillerin verimleri %9 dolayında, ticari modüllerde ise %4-7 seviyesindedir. Kadmiyum tellürid (DdTe) çok kristal yapıda bir malzemedir. Bu sebeple güneş hücresi maliyetlerinin zaman içerisinde düşeceği öngörülmektedir. Laboratuvar şartlarındaki küçük alan bakır indiyum diselenid (CuInSe₂) pillerinin verimlilikleri %16'ı bulurken, 900 cm² yüzey alanı bulunan modüllerin ise veriminin sadece %15 seviyelerine ulaşabilmektedir. Şekil 8'de ince film panel örneği verilmiştir.



Şekil 8: İnce film panel [10]

Geliştirilmekte olan hücre teknolojileri; periyodik tabladaki 3. Ve 5. Grupta yer alana elementlerin tepkime oluşturmasıyla meydana gelen yarı iletkenlerden oluşur. Bunun sebebi ise bu iki gruptaki elementlerin oluşturduğu yarı iletkenin güneşi soğurma miktarının yüksek olmasından kaynaklıdır. Buna gösterilebilecek en iyi emsal ise galyum arsenittir. (GaAs) Soğurma miktarının yüksek olması neticesinde özellikle yaz aylarındaki sıcaklıktan dolayı güneş panellerinde oluşan verim kaybı azalmış olacaktır.

2.2.2 Fotovoltaik Hücrelerin Matematiksel Modeli

Güneş hücreleri gibi fotovoltaik yapıların güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürmesine fotovoltaik etki denmektedir. Fotovoltaik etki, güneşten dünyamıza gelen fotonların, güneş panellerinde kullanılan yarı iletken malzemelerin atomlarından elektronları serbest hale getirmesiyle oluşur. Güneş elektrik panellerinde hücre sayısı kullanım alanına göre değişmektedir [11]. Şu an dünyada hem maliyet olarak hem de verim olarak kullanılan panellerin hücre sayısı 60 ve 72'dir.

Aşağıda fotovoltaik panellerin çıkış gücü formülü yer almaktadır.

$$P = \left[\frac{nkTc}{q} \ln \left(\frac{I_{ph} + I_0 - I + Np}{I_0} - R_{sI} \right) * [NpI_{ph} - NpI_0] * \left[e^{-\frac{q(V + IR_s)}{nkTc}} - 1 \right] \right] \quad (2.1)$$

Tablo 3'te örnek bir güneş elektrik panelinin verileri yer almaktadır. Bu veriler Schmid Pekintaş firmasının 310 W Monokristal bir paneline aittir;

Tablo 3: Elektriksel özellikler

Elektriksel Özellikler (STC)					
Model		SPE 310		SPE 315	
Maksimum Güç	P_{max}	310,00	W_p	315,00	W_p
Maksimum Güçte Gerilim	V_{mpp}	33,18	V	33,46	V
Maksimum Güçte Akım	I_{mpp}	9,35	A	9,43	A
Açık Devre Gerilimi	V_{oc}	40,08	V	40,23	V
Kısa Devre Akımı	I_{sc}	9,90	A	10,00	A
Verimlilik	η_m	18,77	%	19,07	%
Pozitif Güç Toleransı		~+5W			

STC; Işınım 1000 W/m², Hava Kütlesi 1,5, Hücre Sıcaklığı 25 °C, Ölçüm Toleransı ± %3

Tablo 4: Sistem özellikleri

Sistem Özellikleri	
Maksimum Sistem Gerilimi	1000V DC (1500V DC isteğe bağlı)
İşletme Sıcaklığı	-40 °C — +85 °C
Maksimum Seri Sigorta Değeri,	15 A
Maksimum Statik Yük	5400 Pa
Güvenlik Sınıfı	II
Yangın Sınıfı	C

Tablo 5: Termal özellikler

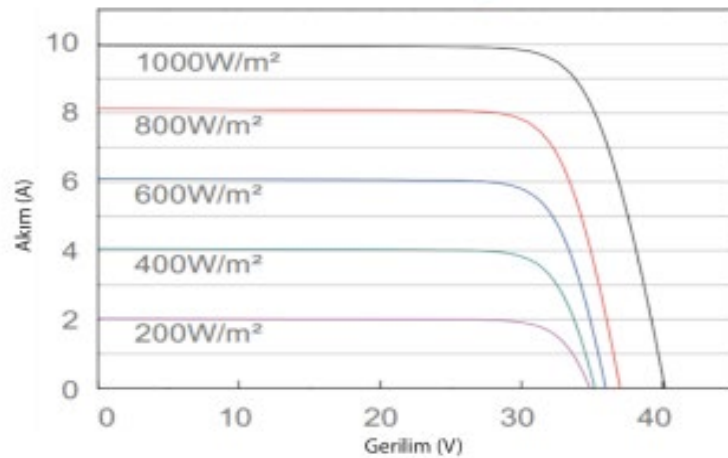
Termal Özellikleri	
NOCT	45 ± 2 °C
Sıcaklık Katsayısı Pmpp	-0,39 % / °C
Sıcaklık Katsayısı ISC	+0,05 % / °C
Sıcaklık Katsayısı Voc	-0,31 % / °C

Tablo 6: Mekanik özellikler

Mekanik Özellikler	
Panel Ölçüleri	1660mm x 995 mm x 35 mm
Hücre	Monokristal
Hücre Sayısı	60,00
Ağırlık	18 kg ± 1 kg
Ön Cam	3,2 mm, yüksek geçirgenlik ve düşük demir oranına sahip tepmerlenmiş cam
Enkapülen	Etilen Vinil Asetat (EVA)
Arka Koruma	PET Film
Çerçeve	Eloksal Kaplamalı Alüminyum
Bağlantı Kutusu	Koruma sınıfı IP63 (3 bypass diyotlu)
Kablo	4 mm ² solar kablo, uzunluk: 1000 mm
Konnektör	MC4 uyumlu

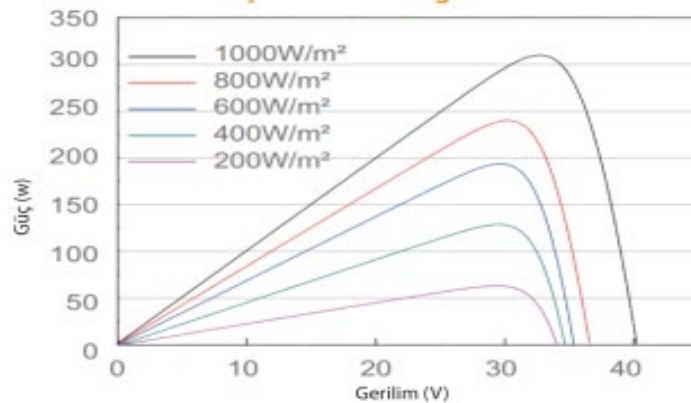
2.2.3 FV Panellerin Karakteristik Eğrileri

Güneş enerjisinde en önemli bileşen olan fotovoltaik panelin karakteristik eğrileri akım-gerilim-güç ekseninde incelenebilir. Karakteristik eğriler güneş enerjisi panelinin farklı ışınımlarda ürettiği akım ve gerilimi verirken üreteceği gücü de vermektedir. Bir güneş enerjisi panelinin ortalama 30 yıl çalışacağı öngörüldüğünden dolayı testlere tabi tutularak oluşturulan eğrilerin verileri çok önem arz etmektedir [11]. Şekil 10’da yer alan karakteristik eğriler de 310W Monokristal panele aittir;



Şekil 9: Akım-Gerilim grafiği [11]

Şekil 11’de görüldüğü üzere güneş radyasyonu arttıkça akım ve gerilim değerleri yükselmektedir.



Şekil 10: Güç-Gerilim grafiği [11]

Şekil 12’de görüldüğü üzere güneş radyasyonu arttıkça gerilim ve doğal olarak güç değeri yükselmektedir.

2.2.4 Gölgeleme Etkisi

Güneş enerjisi panellerinin birbirine bağlantısı yapılarak güneş enerjisi santralleri kurulur. Bu santrallerin proje geliştirmesinden proje çizimine ve uygulamasına kadar birçok önemli kısıtlar mevcuttur. Proje geliştirme bölümünde uygun bir arazi veya çatı üzerine kurgusu yapılmamış projelerde çiziminde optimum seviyede mühendislik yapılmamış veya uygulama aşamasında nizami projeye uygunluk gösterilmemiş kurulumlarda gölgeleme faktörü olmaktadır. Güneş enerjisi panelleri sıra olarak düşünüldüğünde birbirine seri olarak bağlanmaktadır. Bu seri olarak bağlanan sıradaki paneller grup oluşturur. Her gruptaki panel sıraları ise birbirlerine paralel olarak bağlanarak sistemi oluştururlar. Üzerine gölge düşen panelin bağlı bulunduğu sıradaki tüm paneller seri bağlı olduğu için en düşük değeri baz alacaktır [50]. Örneğin; 6,4kW gücündeki 20 adet 320 W'lık panellere sahip bir sistemde bir panelin gölgeye maruz kaldığında değeri 120W'a düşüyorsa tüm paneller için maksimum güç değeri 120W'a düşecektir. Bağlı bulunduğu sırada 6,4kW gücünde üretim olacakken bu rakam 2,4kW'a düşmüş olacaktır.

Güneş enerjisi panelinde gölgeleme olmasıyla sistem içerisindeki hücrelerin birbirleriyle olan bağlantısında kesilme oluşmaktadır. Bu kesilme oluşmasıyla içeriden geçen akım gölgeleme olan hücrelerden geçememekte ve karakteristik eğrilerde Şekil 11 ve Şekil 12'de görüldüğü gibi gerilim üretememektedir. Bunun sonucunda da üretebileceği gücün altında kalmaktadır. Şekil 13'te gölgeye maruz kalmış ve üretebileceği gücün neredeyse yarısını üreten bir güneş enerjisi sistemi yer almaktadır;



Şekil 11: Gölgeleme etkisi [12]

2.2.5 Optimum FV Panel Açısı

Güneş enerjisi sistemlerinde kurulum aşamasında güneş panelinin açısının optimum seviyede olması o sistemin yıl bazında üretebileceği maksimum elektrik enerjisi üretmesi bakımından çok önemlidir. Burada iki ayrı kurulum yeri olan arazi ve çatı projeleri için önem arz eden etmenler Tablo 7 ve Tablo 8’de belirtilmiştir [49];

Tablo 7: Arazi Projeleri için Dikkat Edilmesi Gerekenler

Arazi Projeleri
Arazi Yapısı
Ufuk Çizgisi
Güneş Açısı
Yükselti
Konum

Tablo 8: Çatı projeleri için dikkat edilmesi gerekenler [13]

Çatı Projeleri
Çatı Eğimi
Ufuk Çizgisi
Güneş Açısı
Yükselti
Konum

Yaz aylarında güneş panellerine gelen ışınım eğim yükseldikçe artar, kış aylarında ise tam tersi durum olarak azalmaktadır. Bunun için eğim açısı belirlenirken güneş santrallerinin yıl boyunca aktif olarak çalışacağı unutulmamalı ve toplamın en büyük olduğu eğim değeri tercih edilmelidir. Gökyüzünün bulutsuz yani açık olduğu zamanlardaki hesaplamalara göre bu değer Eğim=Enlem olarak görülmektedir.

Burada en önemli iki kriter arazi/çatı yapısı ve eğimi ile güneş enerjisi sisteminin kurulduğu yerdir. Çatı ve arazi projelerinde ilk tercih doğal eğime uygun olarak panel açısının ayarlanmasıdır. Ayrıca kurulum yapılacak alana güneş ışınının geliş açısı bakımından uygun olması çok önemlidir. Örneğin Niğde’de kurulacak bir santral için 27-30 derecelik bir açı uygun iken Kiev’de bulunan santral için 20 derecelik açı uygun gelmektedir.

2.3. FV SİSTEM TİPLERİ

2.3.1 FV Sistem Bileşenleri

Günümüzde elektrik üretiminin maliyetlerinin ve çevreye verdiği zararın artmasıyla birlikte yenilenebilir enerjinin önemi daha çok ortaya çıkmıştır. Fotovoltaik sistem ise özellikle şehir içi binalar ve endüstriyel fabrikalarda enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla birçok çözüm sunmaktadır [1]. Bu sistemin bileşenleri aşağıda yer almaktadır;

1. Güneş Enerjisi Paneli
2. Şarj Kontrol Cihazı
3. Batarya
4. Evirici

Genel olarak bakıldığında güneş radyasyonundan elektrik üretimi yapan güneş enerjisi paneli DA güç üretmektedir. Ülkemizde kullanılan şebeke elektriği AA olduğu için evirici panelde üretilmiş olan DA elektriği AA’ya çevirir. Çevrilmiş olan elektrik yardımcı pano ve/veya ana dağıtım pano vasıtasıyla şebeke elektriğine verilir. Şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız sistemlerde şebeke elektriği ve batarya kullanma farklılığı olmaktadır.

2.3.2 Şebekeden Bağımsız FV Sistemler

Şebeke elektriğinin olmadığı veya yetersiz geldiği yerlerde çoğunlukla şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler kullanılır. Ülkemizin şebeke ağı, AB standartları ortalamasının çok altında olması ve özelleştirilen dağıtım şirketlerinin taahhüt ettiği enerji nakil hatlarının çok az kısmını yapması sonucu önem arz etmektedir. Şekil 14’te görüldüğü üzere fotovoltaik panellerin ürettiği doğru akım şarj kontrol cihazı kontrolünde evirici ve aküye akar. Üretilen enerji tüketilen enerjiden fazla olduğu durumda aradaki fark miktarı kadar aküye depolanır. Tam tersi durumda ise anlık üretilen enerji direkt olarak tüketime gider. Tüketim üretimden fazla olduğu durumda ise aküden beslenir [14]. Bu olaylar Şekil 14’te görülmektedir.

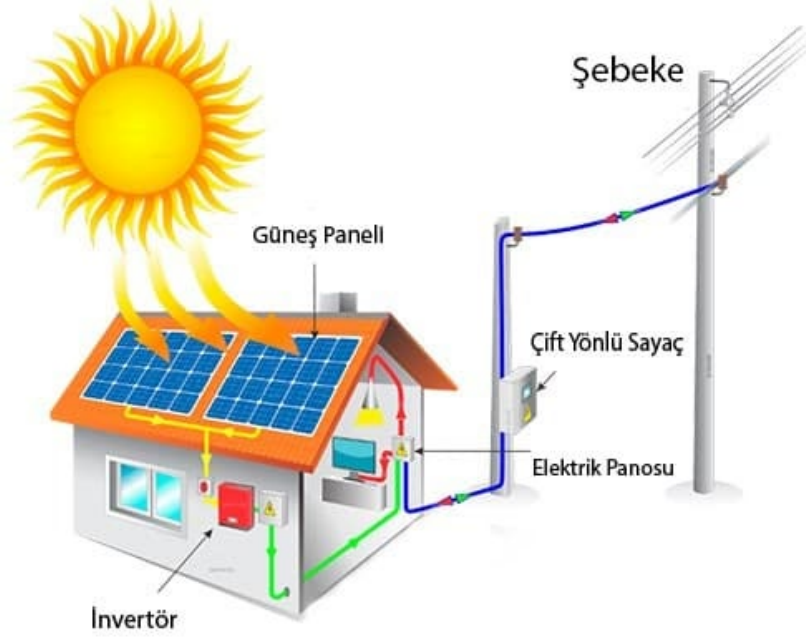


Şekil 12: Şebekeden bağımsız PV sistem örneği [14]

2.3.3 Şebekeye Bağlı FV Sistemler

Fotovoltaik kurulumlarda en çok kullanılan sistemdir. Şebekeden bağımsız FV sistemlere göre akü masrafı olmadığından dolayı kurulum maliyetleri daha uygundur. Güneş panellerin ürettiği doğru akım evirici vasıtasıyla alternatif akıma çevrilir. Buradaki enerji yardımcı panoya gelir ve çift yönlü sayaçtan geçtikten sonra şebeke elektriğine bağlanır. Üretilen enerji tüketilen enerjiden fazla olduğu durumda şebekeye gider, üretilen enerjinin tüketilen enerjiye yetememesi durumunda ise şebekeden alır [17]. 12.05.2019'da Resmi Gazetede yayımlanan Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği kapsamında fazla üretilen elektrik ve şebekeden çekilen elektrik çift yönlü sayaç vasıtasıyla aylık mahsuplaşıp, çıkan değere göre devletten alacaklı veya devlete verecekli duruma gelinebilir [32].

PV Sistem için şebeke elektriğinin olduğu yerler için en uygun kurulum olan şebekeye entegreli PV sistemlerde son 5 yıldaki elektrik ihtiyacı ve yatırımcıların teşebbüsleri sonucu 6GW'tan fazla kurulum olmuştur. Bu kurulumların neredeyse tamamı arazi projeleri olmuştur. 2019'daki yönetmelik ile birlikte evsel ve endüstriyel çatılarda da bu rakamın artması beklenmektedir. Şekil 15'te örnek bir şebekeye bağımlı PV sistem yer almaktadır;



Şekil 13: Şebekeye bağlı PV sistemi [16]

2.3.4 Hibrit FV Sistemler

Günümüzde sıcak su elde edilmesi için güneş enerji sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Güneş enerjisinden FV dönüşüm ilkesi ile güneş hücreleri sayesinde elektrik enerjisi üretimi de gerçekleşmektedir. Güneş hücrelerinin soğurduğu güneş ışınımının çoğu elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaz çünkü kullanıldığı takdirde hücrenin sıcaklığını arttırması verimini düşürmektedir. Bu nedenle gelişen teknoloji ile FV modüllerin tek kullanılmasında ayrı olarak aynı zamanda elektrik ve ısı enerjisi üreten, bir PV modülünün soğutma sistemiyle beraber kullanılan hibrit güneş hücresi/termal toplayıcısı (PV/T) sistemlerinin çalışmaları yoğunlaşmıştır [15].

Enerji verimliliğinin arttırılması için fotovoltaik hücre yapısı ve termal toplayıcı birleştirilerek düşük sıcaklık değerlerinde elektrik ve ısı elde edilmesi üzerine hibrit enerji üreteçleri kullanılır.

Özellikle evsel sistemlerde güneşten hem ısı hem elektrik enerjisi üretimi oluşturarak tek kaynaktan iki çözüm sunmaktadır. Güneşten ısıya dönüşüm olarak Dünya'da kullanım bakımından üçüncü olan Türkiye'de elektrik enerjisine dönüşümde de maliyetlerin azalması sonucu bu yöntemde ilgi çekecektir.

3. ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ

Günümüzde sanayileşme sürecinin hızlıca artması ve üretim yapabilmek için faal olan fabrika ve benzeri kuruluşlarda kullanılacak enerjinin sürekliliği ve arz güvenliği çok önemli bir durum olmuştur. Özellikle sanayisi gelişmiş ülkeler için üretimin aksamadan yapılması hayati bir önemdedir. Bundan dolayı başta Amerika Birleşik Devletleri, Almanya, Çin Halk Cumhuriyeti gibi ülkelerde enerji depolama sistemleri üzerine çalışmalar artmıştır. Özellikle akademik kurumların çalışmaları ve yayınları dikkate alındığında üretilen enerjinin fabrika ve benzeri üretim yapan yerler başta olmak üzere tüm alanlarda enerjinin depolanması ve bu depolanan enerjinin güvenli bir şekilde tüketimde kullanılması üzerine gelişmelerin fazlasıyla arttığı gözükmemektedir [27]. Yaklaşık on yıl öncesine kadar ek gereç veya yardımcı gereç olarak kullanılan enerji depolama sistemleri günümüzde ana gereç olarak kullanılmaktadır. Bilhassa yenilenebilir enerji kaynakları üzerine sistemlerin kullanılabilir hale gelmesi ve elektrikli araçlar teknolojisinin gelişmesiyle elektrikli araçların kullanılması dolayısıyla enerji depolama sistemlerinin kullanım alanı daha da artmıştır. Gelecek beş yıl içerisinde depolama sisteminin maliyetinin azalması ve veriminin artması neticesinde başta enerji olmak üzere ilgili birçok alanda dünya yeni bir devrim yaşayacaktır. Bu devrim ile birlikte enerji arz güvenliği için kullanılan doğalgaz çevrim santralleri, termik santraller gibi enerji üretimi santralleri yerine yenilenebilir enerji santralleri başrolü oynayacaktır [26,27].

Enerji arz güvenliği ve sürdürülebilirliği konusunda çok önem arz eden enerji depolama sistemlerinin tarihçesi çok ilginçtir.1930'lu yıllarda Irak Bağdat civarında yapılan kazı çalışmalarında tarihi tahminen M.Ö.200'lü yıllara dayanan 14 cm büyüklüğünde kavanoz bulunmuştur. Bu kavanozun diğerlerinden farkı içerisinde bakır bir silindirle beraber bakır diskin bulunması ve bakırın zift ile kaplı olmasıdır. Alman arkeolojist Dr.Wilhelm König'e göre bu kavanoz galvanik piller ve elektriksiz kaplamayla gümüş ile bakırı saflaştırmak için batarya olarak kullanılmıştır. 1651 yılından itibaren Avrupa coğrafyası bilim adamları tarafından değişik tür ve teknolojileri araştırılmış ve ürünler elde edilmiştir [29]. Yaklaşık 350 yıldır bataryaların araştırılması, geliştirilmesi ve kullanılmasının en büyük sebepleri maliyetinin düşük kullanım alanının fazla olmasıdır [25]. Günümüzde bataryalar saatlerden aydınlatmaya yenilenebilir enerji sistemleri depolamasından iletişim araçlarına kadar geniş sahalarda kullanılmaktadır [27].

Enerji depolama sistemleri olan bataryaların temel mantığı var olan anlık enerjiyi tutup onu etkin şekilde kullanmaktır. Enerji depolama teknikleri incelenecek olursa, dört ana depolama sınıfı vardır. Bunlardan ilki mekanik enerji depolamadır. Mekanik Enerji Depolamanın içinde Volan Enerji Depolaması, Sıkıştırılmış Hava Enerji Depolama ve Basıncılı Su Depolama teknikleri

sayılabılır. Temel olarak Volan Enerji Depolama sistemleri çok hızlı bir şekilde dönen tekerlekteki kinetik enerjinin volanlarda depolanmış halidir. Hava enerji depolama sistemlerinde ise kompresörleri çalıştırıp tanklarının havayı yüksek basınçla ittirdikten sonra piston ve türbin içerisindeki basınçlı havayı enerji üretimi amacıyla kullanmaktır. Basınçlı su depolamasında ise mantık, potansiyel enerji uygulamasıdır. Enerji depolama tekniklerinden ikincisi ise manyetik enerji depolamadır. Manyetik enerji depolamanın içerisinde süper iletken manyetik enerji depolamayı ve süper kapasitör enerji depolama sayılabılır. Diğer teknik olarak Termal Enerji Depolama için güneş termik elektrik depolama söylenebilir. Son teknik ise Kimyasal Enerji Depolamadır. Kimyasal depolama da Batarya Depolama örnek verilebilir [30,31],[37].

Bu tez çalışmasında incelenecek batarya tipleri, şarj edilebilir bataryalardır. Şarj edilebilir bataryalar enerji emre amade konusunda önem arz ettiğinden dolayı bu sistemlerin gelişmesi neticesinde birçok yeni sektör de oluşacaktır.

3.1 KİMYASAL ENERJİ DEPOLAMA

Yüksek enerji yoğunluğu istenen süreç ve ürünler için kullanılan depolama sistemidir. Depolama sisteminde temel olarak kimyasal reaksiyonların etkisinin olduğu ve bu sayede ısını kullanarak enerji yoğunluğu arttırarak daha yüksek verimli termal enerji depolama imkânı sağlamaktadır [39].

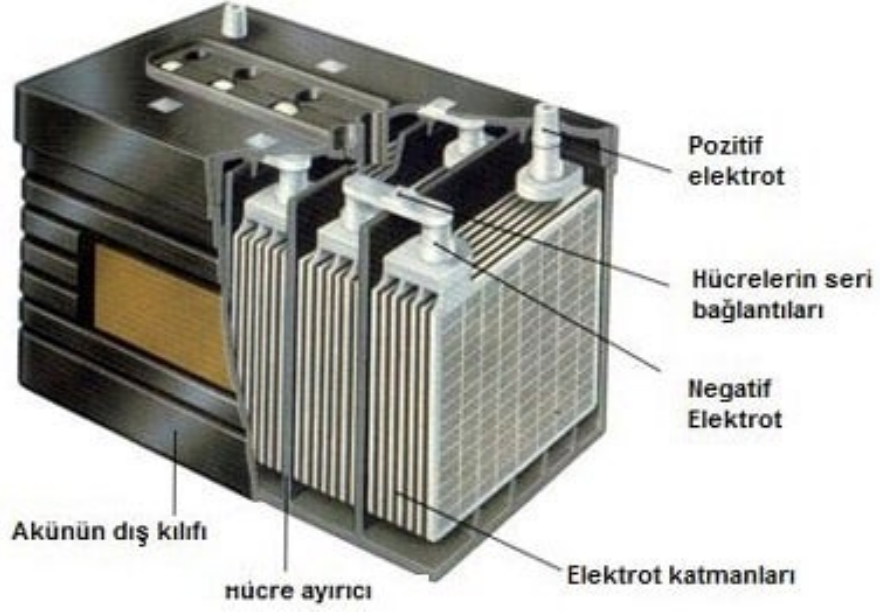
3.1.1 Bataryalar

3.1.1.1 Sekonder Bataryalar

Sekonder bataryalar yeniden şarj edilebilen batarya türüdür. Günlük hayatta kullanılan birçok ürünün şarj mekanizması sekonder bataryadır. Kullanılan ürünlerin içerisinde yeniden şarj edilebilmesi durumundan dolayı şarj devresi bulunur. Sekonder bataryalar primer bataryaların tersine çok hücreli olarak da üretilebilir [46].

3.1.1.2 Kurşun Asit Bataryalar

Şekil 16'da kurşun asit batarya görülmektedir. Bu tür bataryaların özelliği elektrotu kurşun olup oksitten oluşur. Ayrıca elektrolit bir sülfürik asit çözeltisidir.

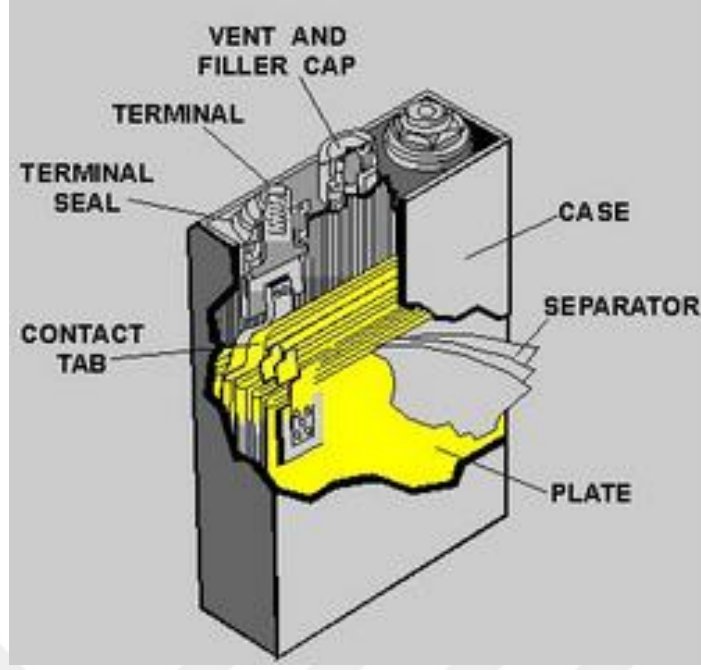


Şekil 14: Kurşun asit batarya [18]

Kurşun asit bataryaların en önemli özelliklerinden birisi sağlam olmasıdır. Ayrıca fiyatının ucuzluğu, makul enerji ve güç yoğunluğuna sahip olması da önemli avantajlarındandır. Her geçen gün karakteristiklerinin iyileştirilmesi sonucu birçok sektörde kullanılmaktadır. Bu sektörler aydınlatma, iletişim araçları, duyma aletleri, oyuncaklar vb. olarak sayılabilir. Şu an piyasada en çok kullanılan batarya çeşididir [41].

3.1.1.3 Nikel Kadmiyum Bataryalar

Nikel kadmiyum batarya Şekil 17'de görülmektedir. Nikel kadmiyum bataryaların elektrotları metalik kadmiyum ile nikel oksit hidroksit kullanarak meydana getirilmiştir ve ayrıca şarj edilebilir bir bataryadır.



Şekil 15: Nikel kadmiyum batarya [19]

Nikel kadmiyum bataryaların en büyük özelliği düzgün şarj karakteristiğine sahip olmasıdır. Batarya kapasitesi yüzde yüz verimle kullanılabilir ve çok yüksek kapasitelerde bulunabilirler. Tüm bu özelliklerine rağmen tam deşarj olmadan kullanıldıkları durumda çok hızlı deşarj olurlar [39].

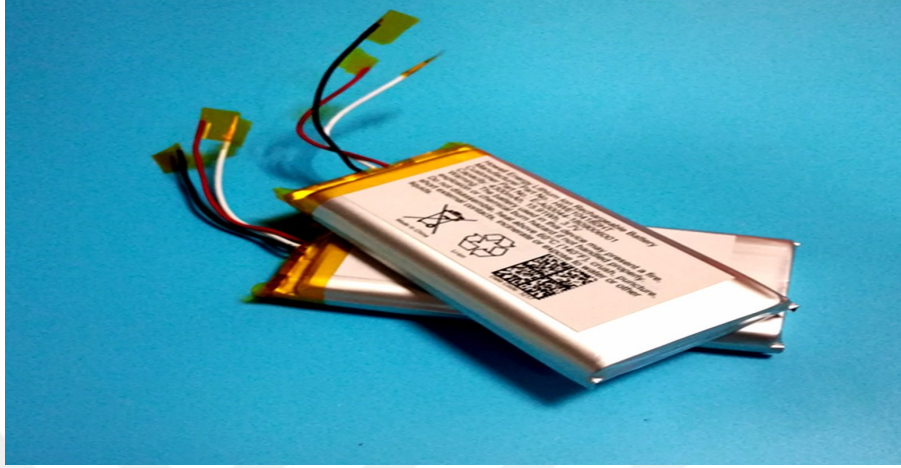
3.1.1.4 Lityum İyon Bataryalar

Lityum iyon batarya çeşidi ise günümüzde teknolojik gelişmelere en çok cevap veren bataryadır. Uzun ömürlü olması ve muntazam deşarj performansı vermesi birçok sektörde bu bataryanın kullanılmasını sağlamaktadır [33]. Şekil 18’de lityum iyon batarya gösterilmiştir.



Şekil 16: Lityum iyon batarya [33]

Günümüzde dizüstü bilgisayarlardan ev gereç aletlerine, teknolojik ürünlerden elektrikli araçlara kadar birçok sektörde kullanılmaktadır. Maliyeti uygun ve ağırlıkları fazla değildir. Kaynağının sadece Çin Halk Cumhuriyeti'nde bulunması üretimi için dezavantaj durum oluşturmaktadır [29]. Şekil 19'da bir lityum iyon polimer batarya gösterilmektedir.



Şekil 17: Lityum iyon polimer batarya [38]

3.1.1.5 Ultrakapasitörler

Ultrakapasitörler aldığı enerjiyi hızlı bir şekilde teslim eden ve kısa süreler içerisinde tekrardan doldurabilen sistemlerdir. Özellikle günümüzde elektrikli araçlar teknolojisi için bu özellik ultrakapasitörlerin kullanımının önemini göstermektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları tarafından üretilen enerjinin hızlı bir şekilde depolanması ve saniyeler içerisinde dolum yapılması çok önemlidir. Ayrıca ultrakapasitör sisteminin ekonomik olarak zorlayıcı olmaması yeni teknolojiler için çözüm sunmaktadır. Birçok avantajı olan ultrakapasitörlerin tek dezavantajı kapasitesinin düşük olmasıdır. Araştırma geliştirme çalışmaları kapasitenin artırılmasıyla birlikte hayatımıza etki eden birçok alanda ultrakapasitörler kullanılacaktır [42].

3.2 MEKANİK ENERJİ DEPOLAMA

Mekanik enerji depolamada temel mantık mevcut bir malzeme sistemine kuvvet uygulanarak bu kuvvetin etkisiyle oluşan enerji depolama sistemleridir. İki türlü yöntemi vardır. İlki potansiyel enerji farkından dolayı oluşan sistem, diğeri ise kütlelenin hareketi neticesinde oluşan kinetik enerjili sistemdir [40].

3.2.1 Volan ile Enerji Depolama

Volan depolama, kütlenin hareketi neticesinde oluşan kinetik enerji ile depolama yapan mekanik bir sistemdir. Tek eksenli olarak dönüp depolanan enerjinin dönüş hızına bağlı olarak artıp azalır. İlk anda kinetik enerjiyi sağlamak için başka kaynaktan oluşan enerjiye ihtiyaç vardır. Özellikle elektriksel sistemlerde kullanıldığı zaman elektrikli motorlar ile bu enerji sağlanır. Ayrıca Volan sisteminde depolanan enerji elektrik motoru vasıtasıyla elektrik enerjisine çevrilebilir. Volan enerjinin depolama kapasitesi yüksek olmadığından dolayı bilhassa elektrikli araçlarda batarya ile birlikte veya güç sistemlerinde yedek güç ünitesi olarak kullanılır [40].

3.2.2 Basınçlı Su ile Enerji Depolama

Basınçlı hava vasıtasıyla hareket ettirilen enerjinin hava yeraltı bölmelerinde, borularında ve tanklarda depo edilmesidir. Özellikle son yıllardaki çalışmalar neticesinde kıyılarda bulunan rüzgâr enerjisi santrallerinin ürettiği elektriğin tüketimi geçtiği durumlarda depolanması işlemidir. Yenilenebilir enerjinin ve özellikle stabilizesi olmayan rüzgâr enerjisi santrallerinin enerjisinin depolanması çok önemli olup basınçlı su ile enerji depolanması ile yurdumuzun özellikle Batı Karadeniz bölgesinde kurulması planlanan rüzgâr santrallerinin depolamasında kullanılabilir [39].

3.2.3 Sıkıştırılmış Hava ile Enerji Depolama

Ele alınan bu enerji depolama sisteminde basınçlı hava çeşitli yer üstündeki ve yer altındaki(terk edilmiş madenler, aküferler veya mağaralar) depolama tesislerince depolanır. Bu sistemlerin inşası kısa sürede tamamlanmaktadır. Sıkıştırılmış hava yardımıyla enerji depolama sisteminde ısının geri kazanılması ve sistemin termal olarak yönetilmesi önemli bir noktadır. Depolama tesislerinde oluşan ve dışarıya salınan soğuk hava türbinlerde buzlanmaya yol açabilir. Buzlanma olmaması için soğuk havanın ısıtılması gerekir. Bu tür sistemler verimlilik yüzdesi %41–53 civarında değişmektedir. Isıya izole edilmiş, gelişmiş sistemlerde havanın basınçlandırılması işlemiyle oluşan ısı enerjisi, enerjinin üretimi aşamasında kullanılmak için depolanır. Bu tür sistemlerin verimlilikleri %70'e çıkması mümkündür [46].

3.3 TERMAL ENERJİ DEPOLAMA

Termal enerjiyi depolama sistemlerinde, ozon tabakası için zararlı olan kloroflorokarbonlara (CFC) ihtiyaç olmadan direk olarak soğutulma veya ısıtılma işlemi yapılmaktadır. Elektrik enerjisinin fazlaca ihtiyacı azaltılmakta ve elektrik enerjisinin çok kullanıldığı zaman dilimlerinde aşırı yüklenme engellenmiş olmaktadır. Bu şekilde termal enerji

depolama sistemiyle yenilenemez enerji kaynaklarına (fosil, kömür vb.) olan bağılılığı azaltıp çevreyi az kirleten çözümler sunmuş olmaktadır [20].

Termal enerjiyi depolama sistemleri iki farklı yöntemle depolanır. Bunlar ısı depolama yönetimi ve kimyasal depolama yöntemidir.

3.3.1 Duyulur Isı Depolama

Bu yöntemde, ısı depolamanın gerçekleştiği materyaldeki sıcaklık değişimi sonucunda ortaya çıkan ısı depolanır. Duyulur ısı depolama katı, sıvı veya katı ile sıvının birlikte kullanıldığı hibrit materyallerde yapılmaktadır. Bu sistemin avantajı çok sayıda depolama ve geri kazanma işleminin gerçekleşmesi, dezavantajı ise ihtiyaç duyulan depo hacimlerinin büyük olmasıdır [20].

3.3.2 Gizli Isı Depolama

Gizli ısı, bir cismin faz değiştirmesi aşamasında çevresinden absorbe ettiği yahut çevresine verdiği ısıdır. Duyulur ısı depolamaya kıyasla gizli ısı depolama için ihtiyaç duyulan depo hacmi daha küçük bir boyuttadır. Faz değişimi olan maddeler (PCM, FDM) termal (ısı) enerjiyi gizli ısı olarak depolayabilen maddelerdir. Depolama materyalinin iç enerjisinin çokça değişmesi, materyalde faz değişimi aşamasına girmesine neden olmaktadır. Elverişli sıcaklık seviyelerinde, depolama materyalinin faz değiştirmesi sonucu oluşan gizli ısı depo edilebilir. Isı depolama isteğiyle, uygun sıcaklık değerlerinde faz değiştiren ve gizli ısı değerlerinin iyi olduğu materyaller tercih edilmektedir. Bu yöntemde kullanılan faz değişimleri sırasıyla; katı-katı ve katı-sıvı faz değişimleridir. Sıvı-gaz faz değişimi, gaz halinin depolanması için basınçlı depolama kullanılması ve basınçlı depolama için hacmi büyük kaplar gerektiğinden ısı depolama için uygun değildir. Katı durumda olan materyal kristalleşerek başka katı hale dönüştüğünde (katı-katı değişimi), kristalleşme ısısı şeklinde ısı enerjisi depolanabilir. Materyal başlangıçtaki katı haline tekrar dönüştüğünde, hal değişimi aşamasındaki depo edilen ısı enerjisi geri kazanılmış olur. Katı-katı hal değişimi aşamasında oluşan gizli ısı miktarı daha azdır. Katı-sıvı hal değişiminde, diğer hal değişimlerine göre az seviyede hacim değişir [21].

3.3.3 Termokimyasal Enerji Depolama

Termokimyasal enerji depolama; ekzotermik etkiye giren iki veya daha fazla kimyasal bileşiğin tersinir olarak tepkime süresinde kimyasal bağlarında ısı depolanma olayına dayanmaktadır. Bu depolama sistemi teorik olarak sınırsızdır.

Tersinir olarak ayrışma ve birleşme yapan kimyasal bağlar ısı seviyesi yüksek olan tepkimeler gerçekleştirir. Bu nedenle kimyasal bağların tersinir olarak ısı enerjisi depolama kapasiteleri yüksektir. Gizli ısı depolama yöntemine göre daha karmaşık olan termokimyasal enerji depolama yönteminde bu sistemdeki bileşenlerin kendi aralarında oluşturduğu etkileşimler önemli bir unsurdur [20].



4. ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN KULLANILDIĞI YERLER

4.1 HİDROJEN ENERJİSİ VE DEPOLAMA

Doğal gazdan buhar reformasyonu işlemi ile günümüzde hidrojen oluşturulmaktadır. Elektroliz edilen su ile hidrojen elde edilmesini ekonomik hale getirme konusunda çalışmalar mevcuttur. Biyoteknolojik yöntemlerle güneş enerjisinden de hidrojen elde etme operasyonları sürmektedir [40].

Hidrojen hakkındaki operasyonların çoğunluğu otomotiv sektörü ile ilgilidir. İçten yanmalı motorlarda yakıt görevini gören hidrojenin esas verimliliği yakıt pillerinde kullanıldığında görülmüştür. Hidrojenin üretilmesi ve depolanması amaçlandığında gelişen teknoloji ile sıklaşan çalışmalar sonucunda yakıt pillerinde de yine benzer operasyonların artmasına yol açmıştır. Otomotiv sektöründeki tanınmış firmaları çoğunluğu bu kapsamda hidrojen ile ilgili araştırma ve çalışmalar hakkında detaylı bilgi [30,31] mevcuttur.

Mevcut şartlarda hidrojen ile yaygın olarak kullanılan enerji kaynakları kıyaslandığında daha maliyetli olduğu Mormillan ve Veziroğlu'nun yaptığı çalışma ve analizler sonucunda görülmektedir. Hidrojenin birçok alanda bir enerji kaynağı olarak kullanılması günümüz şartlarında yapılacak geliştirme çalışmalarına bağlıdır. Diğer bir taraftan elektrik enerjisinin verimli bir şekilde depolanamaması hidrojenin depolanabilmesi durumu, hidrojenin depolama görevini üstlenmesi hususunda mevcut konumunu korumasına yol açmaktadır.

Hidrojeni önemli hale getiren bir diğer özellik ise şebekeden bağımsız olan yerlerde izole olarak enerji sistemlerinin oluşturulabilmesidir. Temel enerji kaynağı olarak güneş, rüzgâr vb. olmakta, üretilen bu elektrik enerjisi istenildiğinde hidrojen olarak depolanmaktadır. Bu sistemle depolanan enerji yakıt pilleri kullanılarak gerektiğinde elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Mevcut şartlar ve durumlarda hidrojenin en verimli kullanıldığı alan taşınabilir enerji uygulamaları olmuştur. Bu bağlamda mevcut pillerin ömür ve kapasite olarak gelişmiş şekli depolanmış hidrojen-yakıt pilleridir [44].

4.1.1 Hidrojenin Üretilmesi

Hidrojen enerjisi her ne kadar yeni olsa da üretim çalışmaları eski zamanlara dayanmaktadır. Günümüzde yaklaşık olarak her yıl 500 milyar m^3 hidrojenin üretimi, taşınması, depolanması ve kullanılması söz konusudur. Kullanıcılarının en büyük kısmı ise kimya sanayi ve petrokimya sanayidir.

Türkiye'de suni gübre sanayi (25 bin m^3), bitkisel yağ üretimi (margarin) (16 bin m^3), petrol arıtım yerleri (rafineri) (1200 m^3), petrokimya sanayi (30 bin m^3), hidrojen ile hayvansal

yağ üretilmesi ($200-300 m^3$) ayrıyeten çeşitli yerlerde kullanılmak üzere basınçlı silindirlerde gaz veya sıvı olarak hidrojen üretimi ($6 \text{ bin } m^3$) ise yalnızca sanayi alanlarında kullanılmaktadır. Enerjinin üretilmesi isteğiyle ticari olarak üretilmesi mevcut değildir. Hidrojenin üretilmesinde kullanılan kaynaklar çok ve çeşidi fazladır. Güneş enerjisi, rüzgâr enerji ve hidrolik enerjisi gibi yenilenebilir enerji sistemleri ile suyun elektrolizi olayıyla hidrojen elde edilebilmektedir. Hidrojenin en çok elde edildiği olay ise doğal gazın buhar reformasyonudur. Bilinen diğer bir farklı yöntem ise güneş enerjisi kullanılarak biyoteknolojik yaklaşımlar ile hidrojenin üretilmesidir [44]. Bu konuda araştırma-geliştirme çalışmaları devam etmektedir.

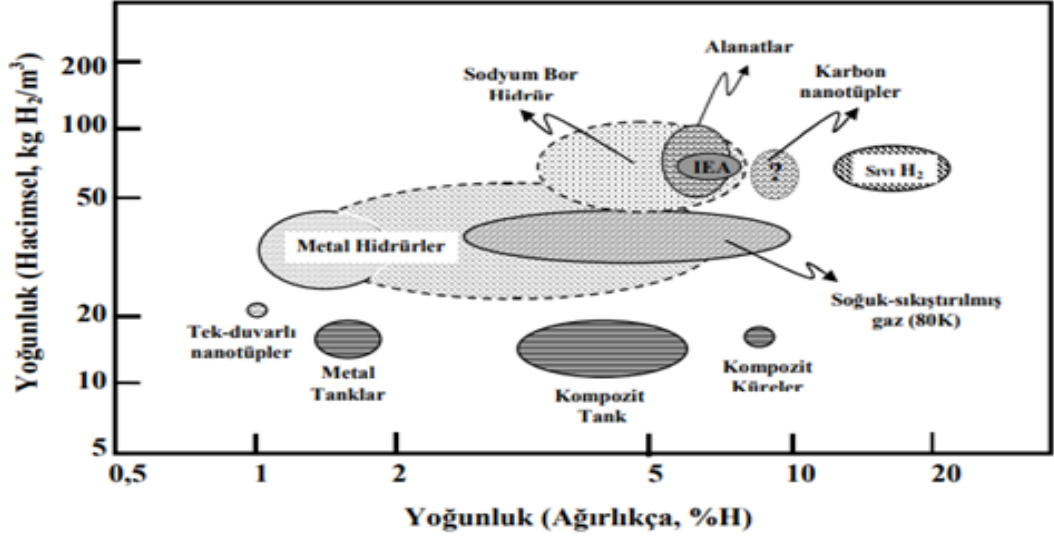
4.1.2 Hidrojen Depolama Yöntemleri

Hidrojenin birçok depolama yöntemi vardır. Sıvı ve gaz olarak saf haliyle hidrojen tanklarda, fiziksel olarak nanotüplerde, kimyasal olarak ise hidrür şekliyle depolama işlemi gerçekleştirilir [22]. Farklı depolanma yöntemleriyle elde edilen hidrojenin miktarları ve enerji yoğunluk değerleri Tablo 9’da verilmektedir;

Tablo 9: Çeşitli Depolanma Yöntemlerinde Elde Edilen Hidrojenin Miktarları ve Enerjisinin Yoğunluğunun Değerleri

Depolama Ortamı	Hidrojen Miktarı (ağ. %)	Hacimce Yoğunluk* (H atomu I ⁻¹ (x10 ²⁵))	Enerji Yoğunluğu*	
			MJ kg ⁻¹	MJ I ⁻¹
Gaz Halde H ₂ (150 atm)	100,00	0,5	141,90	1,20
Sıvı H ₂ (-253 °C)	100,00	4,2	141,90	9,92
MgH ₂	7,65	6,7	9,92	14,32
VH ₂	2,10	11,4	-	-
Mg ₂ NiH ₄	3,60	5,9	4,48	11,49
TiFeH _{1,95}	1,95	5,5	2,47	13,56
LaNi ₅ H _{6,7}	1,50	7,6	1,94	12,77
NaAlH ₄	7,40	-	-	8,25
NaBH ₄ (katı)	10,60	6,8	-	-
NaBH ₄ -20 Sol.	4,40	-	44,00	-
NaBH ₄ -35 Sol.	7,50	-	77,00	-
Nanotüpler	1-10(?)	-	?	?
Benzin	-	-	47,27	6,6 - 9,9
Metanol	-	-	22,69	5,9 - 8,9

* Bu değerlere tank ağırlığı dahil edilmemiştir.



Şekil 18: Hidrojen depolama kapasiteleri [47]

4.1.2.1 Katı Halde Depolama

Hidrojenin kimyasal olarak hidrür formunda depolanabilmesi mümkündür. Bu depolama metaller, arametallar ve alaşımlar aracılığıyla yapılır. Meydana gelen reaksiyonlar, basınç ile sıcaklık gibi iki önemli faktörden etkilenmektedir. Metal hidritlerin hidrojen depolaması için farklı uygulama alanları vardır [40]. Bunlardan en önemlisi, reaksiyonun ısısına ve reaksiyonun tersinirliğine dayalı olarak ısıtma-soğutma (termodinamik ekipman) uygulamasıdır. Bu uygulamalarda ısı ve sıcaklık kontrolü önemlidir

Pratik uygulamalara dayalı olarak, hidrojen depolama özellikleri aşağıdaki gibidir;

- 1) Geri dönüşümün yüksek olacağı depolama kapasiteleri
- 2) Geri-bırakım sıcaklıklarının düşük olması
- 3) Dolum tekrarlanabilirliğinin yüksek olması ve zehirlenmeye direnç gösterebilmesi

4.1.2.2 Sıvı Hidrojen Depolama

Petrolle kıyaslandığında, hidrojenin hacminin yaklaşık olarak 4 kat fazla olması sebebiyle hidrojeni sıvı halde depolamak hacmini küçültecek ve daha az yer kaplamasını sağlayacaktır. Bu işlemler için de yüksek basınca ve soğutulma işlemlerine gereksinim duyulmaktadır. Hidrojen gazının 20-25 kelvin sıcaklık değerlerinde sıvılaşmasından dolayı depolarda izolasyon dikkat edilmesi gerek bir husustur. Sıvı hidrojenin yaygınca kullanıldığı alanlar başlıca uzay teknolojisi ve roket sistemleridir. Sıvı depolama gaz depolamaya göre daha emniyetli ve daha az hacim kaplaması nedeniyle tercih edilmektedir. Sıvı hidrojen depolama, küçük yahut orta ölçekli

depolama için en yaygın olarak tercih edilen metottur. Büyük ölçekler için ele aldığımızda ise daha maliyetli bir opsiyondur [40].

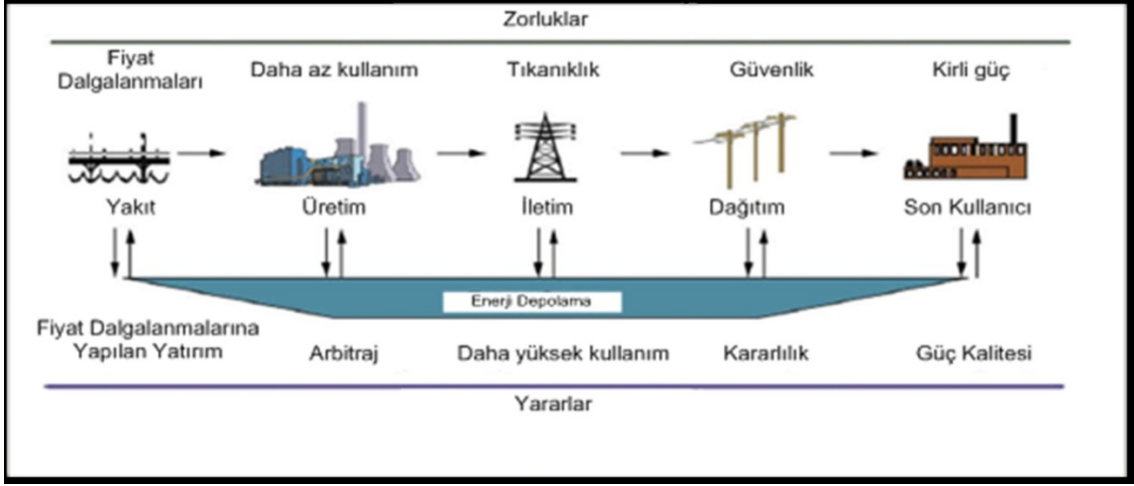
4.1.2.3 Gaz Halde Depolama

Diğer hidrojen depolama yöntemleri ile kıyaslandığında gaz halde depolama en düşük maliyete sahip yöntemdir. Bu depolama yöntemi, doğalgaza depolamaya benzer olarak yapılır; yerin altında bitmiş petrol yahut doğalgaz rezervuarlarında depolanır. Hidrojeni, yine yer altında bulunan maden ocaklarda bulunan mağaralarda muhafaza edilmesi mümkündür ancak bu biraz daha maliyetli bir işlemdir [40].

4.2. AKILLI ŞEBEKELERDE ENERJİ DEPOLAMA

4.2.1 Yerel Şebeke Depolama Sistemleri

Elektrik şebekeleri için enerji depolama sistemlerinin temel amacı, elektrik enerjisini depolanacak forma dönüştürüp saklayarak, ihtiyaç duyulduğunda tekrar şebekeye elektrik enerjisi olarak aktarabilmektir. Enerji depolama sistemleri çoğunlukla güvenli ve güvenilir bir işletme sürecini desteklemek adına kontrol sistemleri ile birlikte tesis edilmektedir. Amaç yalnızca lokal bir kontrol sağlamak değil, şebeke genelindeki ekipmanların koordineli şekilde kontrolüne imkan sağlamaktır. Şebekede bağlı bulunan bir enerji depolama sisteminin güç elektroniği ekipmanları, gerilim ve akım dalga formunu gereken şekilde ayarlayabilir. Böylece kontrolcü ve konverter depolama sisteminin yönetimini ele alarak şebekenin ihtiyacı doğrultusunda aktif ve reaktif güç için çalışma noktaları (P-Q set points) belirleyerek karar verme süreçlerine katılabilmektedirler [26]. Depolama sistemi için belirlenen bu çalışma noktaları, sistemin tasarımına göre uzaktan veya lokal olarak kontrol edilebilmektedir. Şekil 21’de depolama yönetim ortamı olarak gösterilen kısım, enerji dönüşümü birimlerinin de yer aldığı herhangi bir depolama teknolojisinin kullanıldığı sisteme karşılık gelmektedir. Bu bölge içerisinde enerji depolama ortamı olarak gösterilen kısım depolama birimleri ve batarya yönetim sisteminden oluşan ve bataryaların şarj/deşarj süreçlerini kontrol eden kısımlardır. Kontrol ve yönetim sistemleri tek bir birim için de tesis edilse de özellikle geniş çaplı uygulamalarda birimler arasında hiyerarşinin oluşturulması ve ana kontrol birimi ile yardımcı birimlerin belirlenmesi şarj/deşarj koordinasyonu ve verimlilik için kritiktir [28],[31].



Şekil 19: Konsept tasarım

Enerji depolama sistemleri maliyet yönünden fayda sağlamak veya talep yükü kontrol edebilmek amacıyla kendini deşarj edebilen sistemlerdir. Enerji depolama sistemlerinin etkinliğinin karşılaştırması bazı başlıklar altında gerçekleştirilmektedir. Bunlar;

- Ayrılabilirlik; kullanılan enerji depolama sistemi, günlük, haftalık veya sezonsal olarak değişen yük profiline ve talep yüküne karşılık uygun şekilde cevap verebilmelidir.
- Kesintili çalışma; rüzgâr ve güneş enerji kaynakları gibi yenilenebilir enerjiye dayalı dağıtık üretim birimlerinin kesintili üretim profiline ve diğer üretim birimlerinin çıkış gücünde yaşanabilecek dalgalanmalara karşılık uygun tepkileri hızlı şekilde verebilmelidir.
- Verimlilik: enerji depolama sisteminin şarj/deşarj sürecinde meydana gelen kayıplar minimum düzeyde olmalıdır.

4.3 ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA ENERJİ DEPOLAMA

Otomobil teknolojileri hususunda elektrik ile tahrik sistemleri ilk olarak ele alınan yapılardır. Ancak o tarihlerde petrolün günümüze kıyasla daha az maliyetli olması sebebiyle içten yanmalı motorların elektrikle tahrikli sistemlerden daha ön planda olmasına yol açmıştır. Günümüze baktığımızda da genel olarak fosil yakıtlar enerji tüketiminde büyük bir yere sahiptir ancak fosil yakıt kaynaklarının azalması ve bu sebeple yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen önemin artmasıyla beraber elektrikli araçlar konusunda da çalışmalar büyük bir hız ve önem kazanmıştır. Günümüzde birçok otomotiv üreticisi firma hala içten yanmalı motorlar ile ön plana çıkıyor olsa da hibrit ve elektrikli araçlarla ilgili girişimde bulunmuşlardır. Elektrikle tahrik

sistemlerinin kullanıldığı araçlarla ilgili en büyük problem ise batarya ile ilgilidir. Elektrikli araçlarda kullanılan bataryalarda en çok Li-iyon tercih edilmektedir [30],[45].

4.4 GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNDE ENERJİ DEPOLAMA

Yenilenebilir enerjinin, enerji üretimi ve tüketimindeki rolünün yıllar içerisinde değer kazanmasıyla beraber güneş enerjisi de gerekli ilgiyi üzerine çekmiştir. Güneş enerjisinin çevresel ve mevsimsel etmenlerden fazlasıyla etkilenen bir enerji kaynağı olması enerji depolamanın önemini arttırmaktadır. Özellikle lisanssız üretim yapan ve tüketimini bu üretimden karşılayan fabrikalar veya kullanıcılar için büyük öneme sahiptir. Güneş ışınımının fazla olduğu yaz aylarında, gündüz ve öğlen saatlerinde üretilen enerjinin akşam saatlerinde veya genel olarak ışınımın düşük olduğu zamanlarda kullanılabilmesi önemli bir konudur. Ülkemizin coğrafik konumu ele alındığında özellikle güney bölgelerde güneş ışınımının fazla olması ve gelişen güneş enerjisi teknolojileriyle beraber yatırım maliyetlerinin büyük ölçüde azalmasıyla depolama sistemlerinin uygulanabilirliği arttırmıştır [31],[35].

4.4.1 Balıkesir İlinde 1 MW Güneş Santrali ve Depolama Sistemi

4.4.1.1 Fizibilite Çalışması

Balıkesir İli Bandırma İlçesi Doğa Köyü'nde tasarladığımız güneş enerjisi santralinde Şekil 22 ve Şekil 23'te görüldüğü üzere birçok değerler girilmiş ve sonuçlar ortaya çıkmıştır. Buradaki amaç kurulacak santralin işlemlere başlamadan önce veriminin hesaplanması, olası verim artırıcı yöntemlerin bulunması ve proje başı ile sonu arasında bağlantıyı kurabilecek verileri oluşturmaktır.

Şekil 22'de proje kısmında seçilen arazinin enlem-boylamı ve rakımı yazmaktadır. Rakım yükseldikçe verim artışı olmaktadır. Bandırma'nın genel itibariyle rakımı düşük olduğu için seçilen arazide yüksek rakımlı yerler bulunamamıştır. Alt kısımda konstrüksiyon üzerine sabit olarak yerleşecek panellerin açısı 25 derece olarak seçilmiş olup 6 masa sayısı ve her bir masa arası 13,5 m olarak baz alınmıştır. Bu değer tüm mevsimlerde panellere gölge gelmemesi için program tarafından hesaplanıp uygun değerler listelenmektedir. Bizim projemizde en uygun uzaklık 13,5 metre olarak çıkmıştır. Güneş panelleri 400 W Monoperc olarak 3000 adet olacak şekilde seçilmiş, eviricilerde 1 MW kurulu gücü yakalamak adına 10 adet 100kW olarak seçilmiştir. Masa aralarını baz almadığımızda toplam modül alanı 5994 metrekare olarak çıkmıştır.

Santralin işletmeye geçmesi ile birlikte oluşabilecek kayıplar standart olarak alınmış, seçilen arazi ve çevresine özgü kayıplar ile birlikte oransal olarak ortaya çıkmıştır.

Şekil 23'te ise masa sırası 6 olarak yerleşim yapılmış, yerleşim alanına göre gölgelenme hesapları çıkarılmıştır. Güneşin her mevsim oluşturduğu açıya göre gölgelenme kayıpları gözükmemektedir. İzo gölgeleme diyagramında görüldüğü üzere seçmiş olduğumuz arazi de gölgelemeye dayalı kayıplar standartın altında çıkmıştır.



Şebekeye bağlı sistem: Simülasyon parametreleri					
Proje :	Bandırma 1				
Coğrafi konum	Doğa	Ülke	Turkey		
Konum	Enlem	40.17° N	Boylam	28.12° E	
Zaman tanımı	Yasal zaman	UT Saat dilimi+3	Rakım	154 m	
	Albedo	0.20			
Hava durumu verileri:	Doğa	Meteonorm 7.3 (2004-2010), Sat=% 100 - Sentetik			
Simülasyon varyantı : Yeni simülasyon varyantı					
	Simülasyon tarihi	23/09/20 17h13			
Simülasyon parametreleri	Sistem tipi	Yerde sistem			
Kolektör düzlem yönlendirmesi	Eğim	25°	Azimut	10°	
Masa ayarları	Masa sayısı	6	Kolektör eni	10.3 m	
	Masa aralığı	13.5 m	Arazi kullanım oranı (GCR)	% 76.2	
Gölgeleme açısı sınırı	Profil açısı sınırı	46.2°			
Kullanılan modeller	Transpozisyon	Perez	Difüz	Perez, Meteonorm	
			Circumsolar	ayrı	
Ufuk	Ufuk tanımlanmadı				
Yakın gölgelemeler	Lineer gölgelemeler				
Kullanıcı ihtiyaçları :	Sınırsız yükleme (şebeke)				
Kolektör alanının özellikleri					
PV modül	Si-mono	Model	CWT400 - 72PM - BC - V		
Orijinal PVsyst veritabanı		Üretici	CW Enerji		
PV modül sayısı		Seri	20 modül	Paralel	150 zincir
Toplam PV modül sayısı		modül sayısı	3000	birim gücü	400 Wp
Alan global gücü		Nominal (STC)	1200 kWp	İşletme şartlarında	1091 kWp (50°C)
Alan çalışma özellikleri (50°C)		U mpp	741 V	1 mpp	1472 A
Toplam yüzey		Modül yüzeyi	5994 m²	Hücre yüzeyi	5443 m²
İnvertör		Model	SUN2000-100KTL-M1-480Vac		
Orijinal PVsyst veritabanı		Üretici	Huawei Technologies		
Özellikler		birim gücü	100 kWac	Çalış. gerilimi	200-1000 V
		Maks güç (=>40°C)	110 kWac		
İnvertör paketi		Toplam güç	1000 kWac	Nom. güç oranı	1.20
		İnvertör sayısı	10 birim		
Toplam		Toplam güç	1000 kWac	Nom. güç oranı	1.20
PV alanı kayıp faktörleri					
Saha kirlenmesi			Kayıp oranı	3.0 %	
Termal kayıp faktörü	Uc (sabit)	29.0 W/m²K	Uv (rüzgar)	0.0 W/m²K / m/s	
Omik kablolama kaybı	Global saha direnci	8.3 mΩ	Kayıp oranı	1.5 STC'de%	
Seri diyot kaybı	Gerilim düşüşü	0.7 V	Kayıp oranı	0.1 STC'de%	
LID - "light Induced degradation"			Kayıp oranı	2.0 %	
Modül kalite kaybı			Kayıp oranı	-0.8 %	
Modül uyumsuzluk kaybı			Kayıp oranı	2.0 MPP'de%	
Dizi uyumsuzluk kaybı			Kayıp oranı	0.10 %	

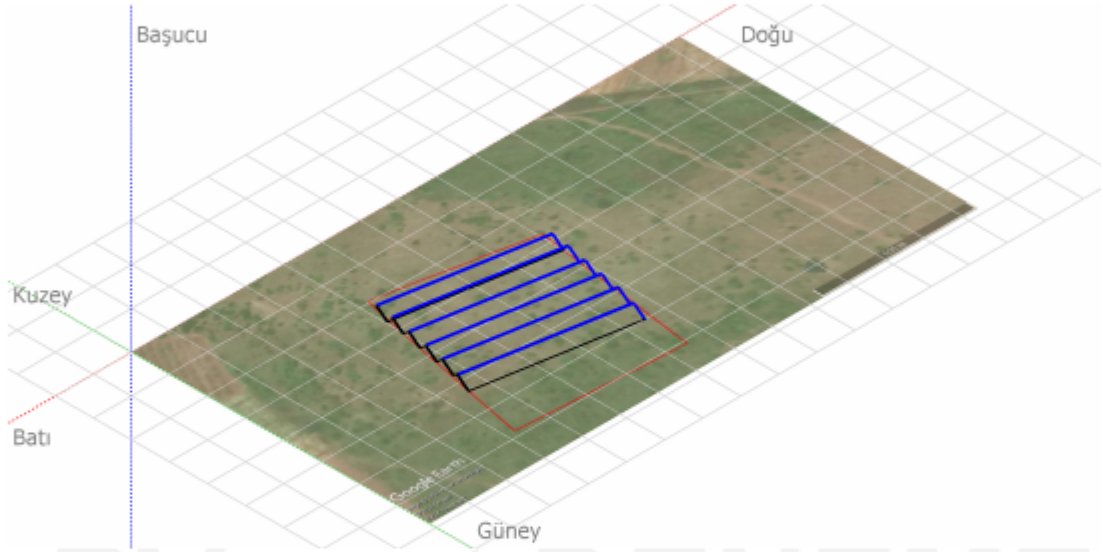
Şekil 20: Simülasyon parametreleri

Şebekeye bağlı sistem: Yakın gölgelemelerin tanımlanması

Proje : **Bandırma 1**
Simülasyon varyantı : **Yeni simülasyon varyantı**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	Yerde sistem
Yakın gölgelemeler	Lineer gölgelemeler	
Kolektör düzleminin yönlendirilmesi	eğim	25° azimut 10°
PV modül	Model	CWT400 - 72PM - BC - V Pnom 400 Wp
PV dizisi	Modül sayısı	3000 Toplam nom. güç 1200 kWp
İnvertör	Model	SUN2000-100KTL-M1-480Vac 100 kW ac
İnvertör paketi	Öge sayısı	10.0 Toplam nom. güç 1000 kW ac
Kullanıcı ihtiyaçları	Sınırsız yükleme (şebeke)	

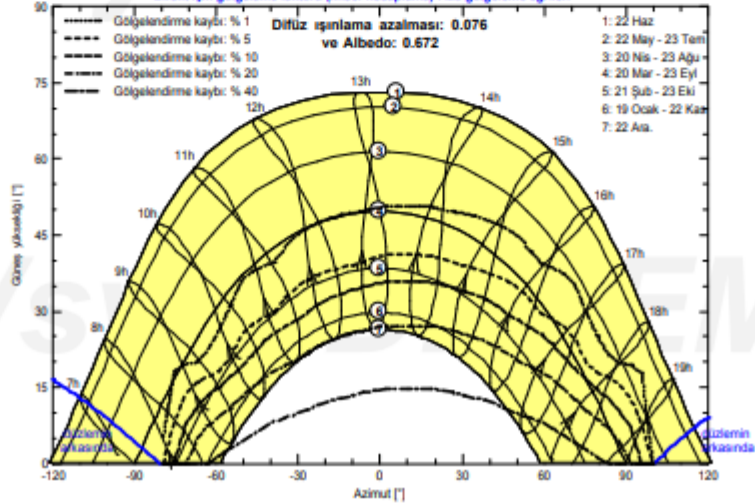
Yakın gölgeleme sahnesinin perspektifi



İzo gölgeleme diyagramı

Bandırma 1

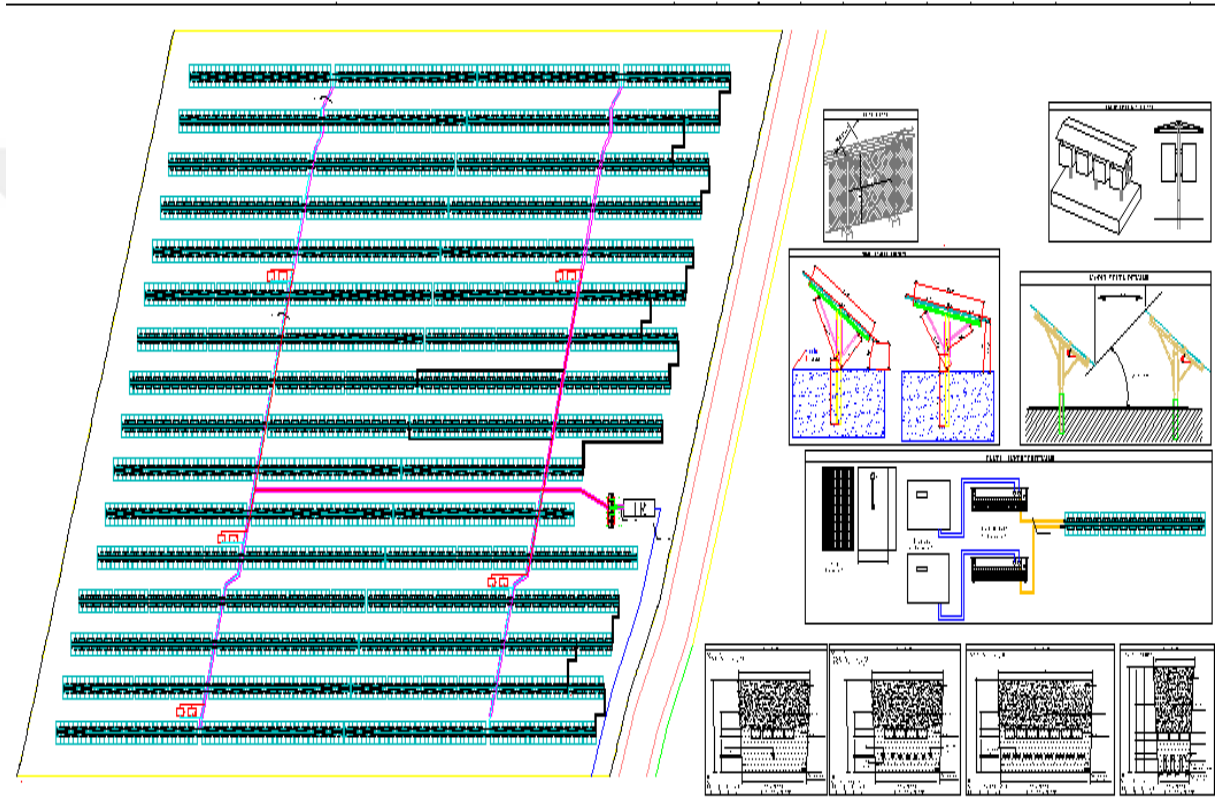
Direkt için gölgeleme faktörü (lineer hesaplama) : İzo gölgeleme eğrileri



Şekil 21: Gölgeleme tanımlamaları

4.4.1.2 Tasarım ve Çizim Çalışması

Şekil 24'te ki çalışmada AutoCAD ile çizilen projede, 16 sıra güneş panelleri yer almış olup 1,2 MW panel gücü 1 MW sistem kurulu gücü olarak tasarlanmıştır. Tasarımda düz bir arazi olarak düşünülmüş, kablo güzergâhı, panellerin arası, inverter ve trafo yerleşimi buna göre yapılmıştır. Şekil 24'te ise konstrüksiyon malzeme özelliği, inverter kabini, yer altı kablo bileşenleri ve panel açısı bilgisi yer almaktadır. Bandırma ilçesine ve araziye en uygun panel açısı olarak 25 derece seçilmiştir.



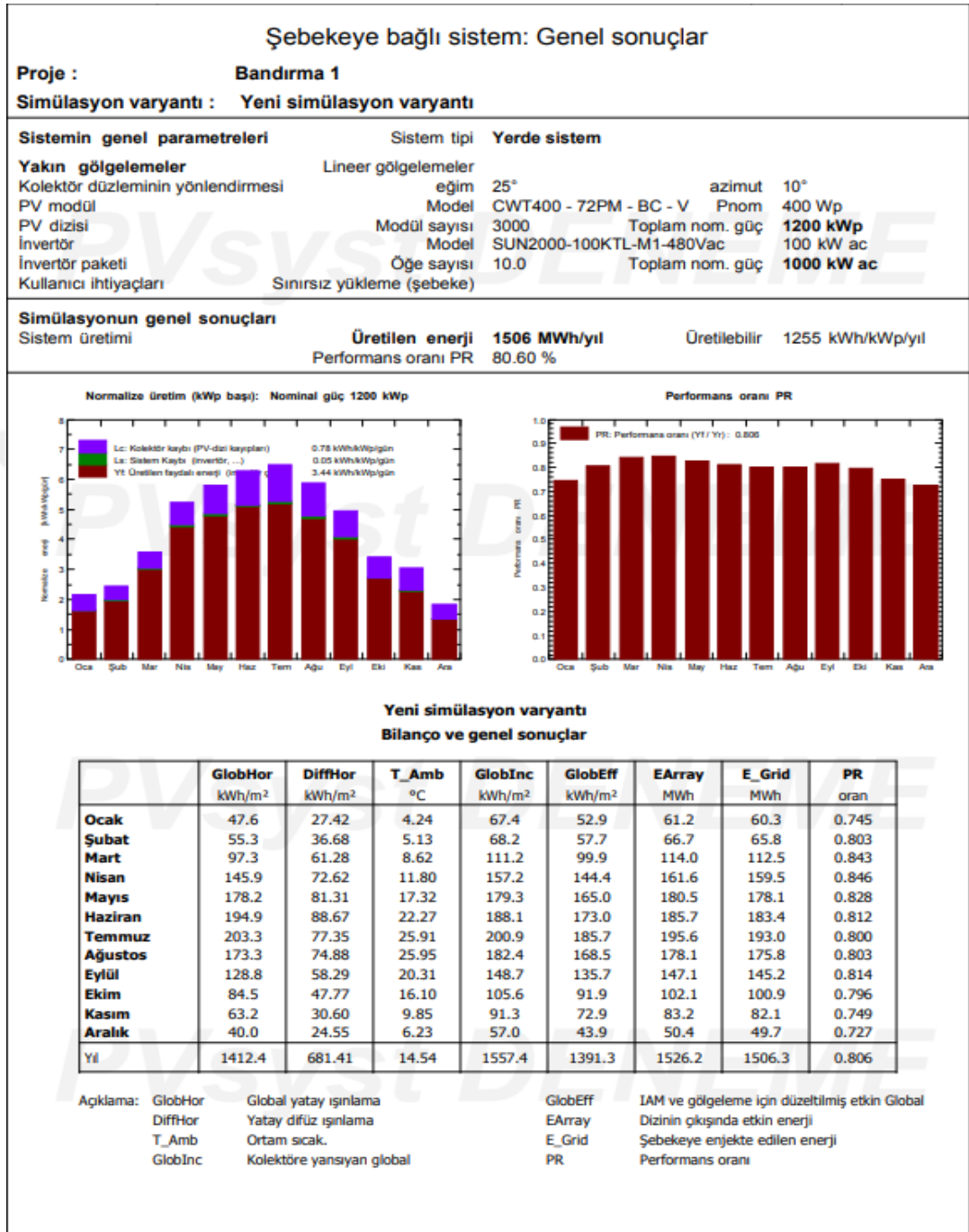
Şekil 22: Proje tasarımı

Şekil 25'teki tek hat şemasında görüldüğü üzere her sıra içi birbirine seri bağlı olup sonra 16 sıra birbirine paralel bağlanmıştır. Ayrıca her sıranın bağlı bulunduğu eviriciye kablolar gelmiş, güneş panelinin ürettiği doğru akım evirici sayesinde alternatif akıma çevrilip ana dağıtım panosuna gitmiştir. Dağıtım panosundan trafoya ve oradan da otoprodüktör hücreler vasıtasıyla şebekeye bağlanmıştır. Güneş enerjisi santralinde hem şebekeden alış hem de şebekeye veriş olarak otoprodüktör hücrelerin kullanılması gerekmektedir.

Tasarlanan projede 3000 adet 400W'lık paneller kullanılmıştır. Paneller 100kW'lık toplam 10 adet eviriciye bağlanmıştır. Tek ana dağıtım panosu, trafo ve hücreler vasıtasıyla şebeke ile bağlantısı sağlanmıştır.



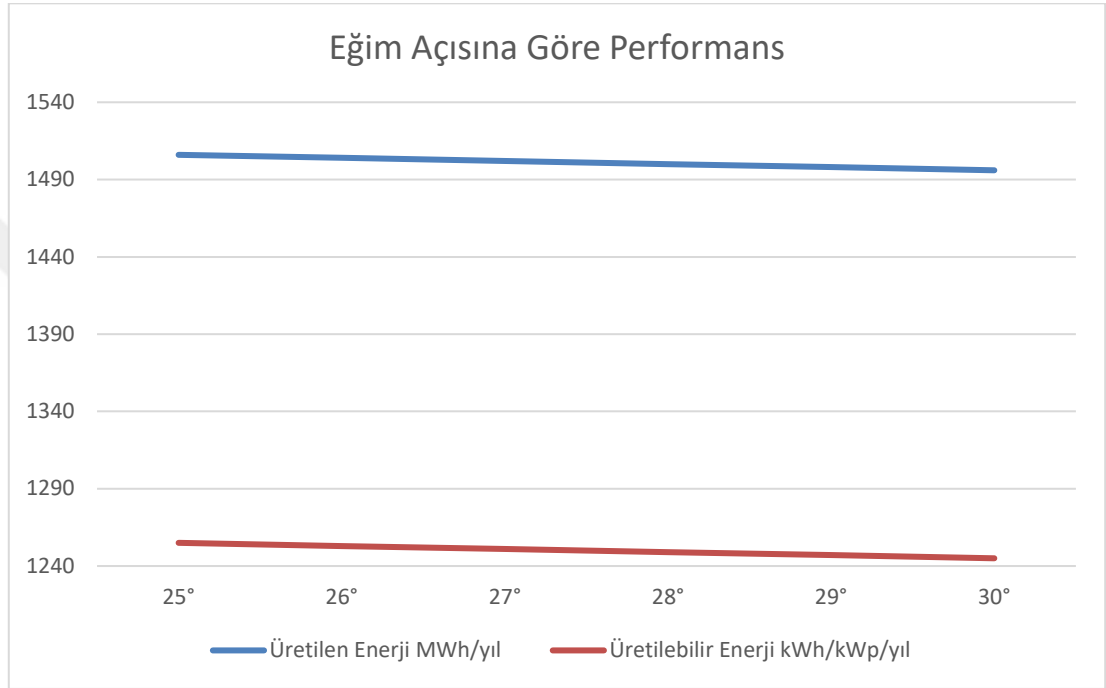
4.4.1.3 Raporlama Çalışması



Şekil 24: Genel sonuçlar

Bandırma’da bulunan Doğa Köyünde arazi üzerine 1,2 MW DC ve 1 MW AC gücünde PV-Syst raporunda görüldüğü üzere birçok açıdan veriler oluşmuştur. Bu veriler içerisinde uygun açı çok önemlidir. Güneş ışınının geliş açısına göre güneş panelinin veriminin maksimum

olabilmesi için ülkemizde 23 ila 33 derece arasında açıyla güneş panelleri yerleştirilmektedir. Bazı bölgelerde güneş ışınının geliş açısı kadar yağış yoğunluğu da önemlidir. Kar yağışı panel üzerinden akması istendiğinden dolayı 2-3 derece daha dik yapılabilir. Uygun açı hesabı yapılmadan projelendirilen güneş santrallerinin üretim kaybı %10'lara kadar çıkmaktadır. PV-Syst raporunda görüldüğü üzere Bandırma bölgesinde en uygun açı 25 derecedir. Tasarlanan sistem için en uygun olan eğim açısı PV-Syst programı üzerinde deneme yoluyla belirlenmiştir. Şekil 27'de farklı açı değerleri ve sonucunda üretilen enerji değerleri belirtilmiştir;



Şekil 25: Bandırma ilçesinde eğim açısına göre performans

Güneş enerjisi santralleri için önemli olan diğer kısım malzeme seçimi ve projelendirmedir. Ülkemizde özellikle 2018 öncesi yapılan santraller teşvikten faydalanabilmek için hızlı kurulabilmesi adına malzeme seçimi ve projelendirmelere dikkat edilmemiştir. Bundan dolayı çalışan santrallerin termal drone ile denetlenmesi sonucunda ortalama her santralin standartlara göre %5 verim kaybı oluşturduğu görülmektedir. Gerçekleştirilen simülasyon çalışmasında güneş paneli olarak dünya standartlarında kullanılan 400 W Monoperc kullanılmıştır. Güneş paneli toplam 3000 adettir. Inverter(Evirici) olarak ise 100kWgücünde toplam 10 adet kullanılmıştır. Güneş santrallerinde genel olarak AA-DA oranı 1,2 ila 1,5 arası olmaktadır. Bunun nedeni, güneşlenme radyasyonunda saat 11-14 arası en üst seviye görülürken güneş doğduğu vakitten 11 civarına kadar ve öğleden sonradan güneş batana kadar radyasyon düşüşü yaşanmasıdır. Güneş panellerinin gücünü kurulu güce göre yüksek yaparak bu radyasyon verimi yukarı çekilebilmektedir.

Bandırma İlçesi Doğa Köyü için yapılan simülasyon çalışmasından görüldüğü üzere yıllık spesifik olarak 1255 kWh/s enerji üretimi ortaya çıkmaktadır. Tasarlanan santralin panel gücü 1,2 katı olduğu için toplam santralin üretim değeri 1506 kWh/s'tir. Günümüz tüketim değerlerine göre yaklaşık 400 meskenin elektrik tüketimine denk gelmektedir. DA gücün 1,2 katı alınması Bandırma için en uygun katsayıdır. Çünkü özellikle kış aylarında Bandırma ilçesinde yoğun yağışların ve bulutlanmanın olmasından dolayı üretim değerini maksimumda tutmak amacıyla panel gücü kurulu güçten fazla olmalıdır. Bandırma'nın avantajlarından en önemlisi rüzgârlı bir havaya sahip olmasıdır. Bundan dolayı özellikle yaz aylarında sıcaklıktan dolayı inverter, panel gibi malzemelerin sıcağa dayalı verim kayıpları daha az olması beklenmektedir.

Tez çalışması kapsamında belirlenen arazinin Doğa Köyü'nde seçilmesinin nedeni, EPDK tarafından ilgili yönetmeliklerde belirtilen şartlara uygun olmasındandır. Bunlardan en önemlisi aynı dağıtım bölgesi içerisinde yer alması ve santralin bağlanacağı uygun hat olan 3/0 hattın yakınından geçmesidir. Bulduğumuz arazi merkezi Bursa'da olan Uludağ Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi'nin sınırları içerisinde yer almaktadır. Ayrıca İl Tarım Müdürlüğü'nden arazi üzerine yapılan güneş enerjisi projelerinde 'Marjinal Kuru Tip Tarım Arazisi' sınıflandırması şart olduğundan dolayı Balıkesir İl Tarım Müdürlüğü ile görüşmeler neticesinde Bandırma ilçesinde marjinal tarım arazilerinin en çok bulunduğu yerin Doğa Köyü olduğu belirtilmiş, arazi de bundan dolayı Doğa Köyündeki marjinal kuru tip tarım arazisi seçilmiştir.

Gerçekleştirilen simülasyon çalışmasında üretilen enerji lityum-iyon depolama sistemleri ile depolanıp gece de kullanılabilir şekilde tasarlanmıştır. Enerji ticareti amacıyla santral kuran yatırımcıların ise gündüz depolayıp akşam puantın yüksek olduğu saatlerde satış gerçekleştirmesi de mümkündür.

Tez çalışması kapsamında tasarımı yapılan projenin, arazi, proje geliştirme, kurulum ve işletme bakım maliyetleri göz önüne alındığında, ortalama 7 yılda amorti edeceği öngörülmektedir. Fiyat-fayda oranına göre bir güneş santrali ortalama 28 yıl çalıştığı için tasarlanan santral ilk çeyrekte kendini amorti edip diğer üç çeyrekte kara geçiren bir yatırım olacaktır.

5. ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİNDE VERİM ARTIRMA YÖNTEMLERİ

5.1 GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNDE VERİM ARTTIRMA

Güneş enerjisinde, diğer elektrik enerjisi ile çalışan sistemler gibi çevresel, tercih edilen materyaller ve sistem kaynaklı birçok sebepten verimlilik kaybı görülebilmektedir. Güneş enerji santrallerinde proje geliştirme aşamasında yapılacak çalışmanın kurulu gücünü baz alarak doğru panel seçimi ve yine buna bağlı olarak doğru güçteki inverter tercihi yapmak büyük önem taşımaktadır. Ancak zaman içerisinde çevresel faktörlerden ve kullanılan aksamaların deforme olmasına bağlı olarak üretilen enerjinin düştüğü görülmektedir. Çevresel faktörlerden en önemlileri sıcaklık, gölgeleme ve kir tortularıdır. Kurulan sistemlerin verimliliklerini takip etmek bu gibi faktörler düşünüldüğünde büyük önem taşımaktadır.

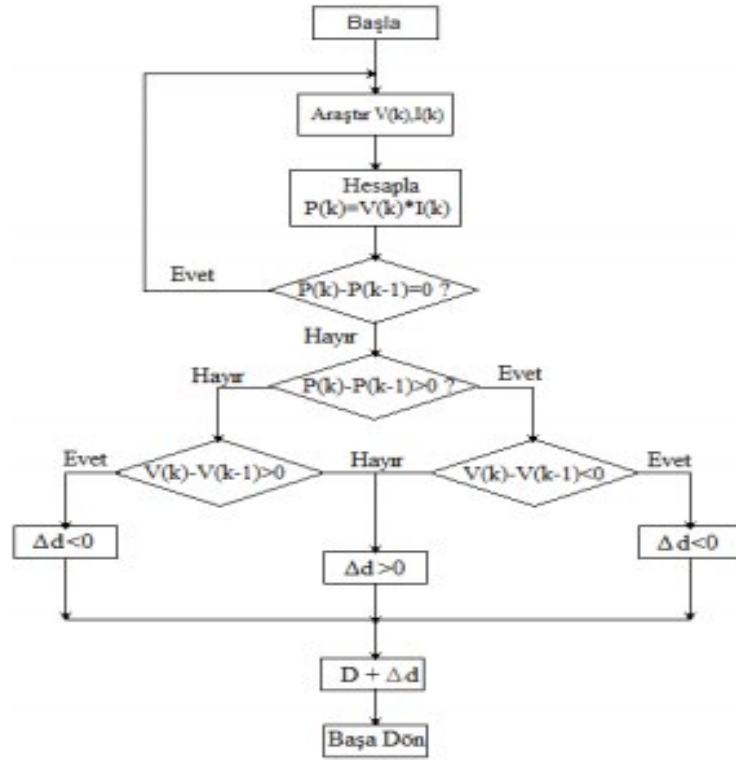
5.1.1 Maksimum Güç Noktası Takibi

Maksimum güç noktası takibi, fotovoltaik panel çıkış gücü dönüştürücüsünün kontrol yapısıdır. Mevcut sistemdeki güneş hücrelerinin kalitesine bağlı olarak oran %16 ile %24 değerleri arasında değişim göstermektedir. Ancak hücrelerin özelliklerine bağlı olarak akım-gerilim oranı dengesiz olduğu zaman bu oran düşecektir. Bunun için sınırlı enerjiyi verimli kullanarak yüke aktarmak sektör paydaşlarının ve Ar-Ge çalışmaları için önemli olmuştur. Maksimum güç noktası takibi ile kontrol, güneş panellerini daha verimli kullanılmasını sağlar. Bu yöntemle birlikte güneş panelinde elde edilen gücün en yüksek olduğu noktayı yakalamak mümkündür. Radyasyon, sıcaklık, fotovoltaik panel eğimi, fotovoltaik panel ömrü ve yapısı gibi çevresel koşullar bahsedilen en yüksek noktayı değiştirebilir [34].

5.1.1.1 Değiştir & Gözle Yöntemi

Bu yöntem, fotovoltaik panellerin çıkış gerilimlerinin artması ve azalmasına bağlı olarak belirli aralıklarla çalışmaktadır. Değiştir ve gözle yöntemi güneş enerji santrallerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde, sisteme aktarılan mevcut görev ile daha önce aktarılan görevlere ait güçler kıyaslamaktadır. Şekil 28'de görüldüğü üzere çalışma voltajı değişip elde edilen güç artarsa sistem yönünü bu aralığa göre değiştirir, aksi takdirde ise çalışma noktası ters

yönde olacak şekilde düzeltilir. Gelecekteki iş döngüsünde de algoritma güç artışının olduğu yönde hareket edecektir [23].



Şekil 26: Değiştir & Gözle akış diyagramı (23)

5.1.1.2 Artan İletkenlik Yöntemi

Artan iletkenlik yöntemi güneş panelinin iletkenliği ile artan iletkenliği değerlerinin mukayese edilerek panelde oluşan gerilimin artırılarak maksimum gücüne ulaşması amacıyla matematiksel algoritma oluşturulması işlemidir. Bu işlem için güneş panelinin çıkış kabloları çeviriciye bağlanır [23]. Fotovoltaik sistemler için çıkıştaki gücün gerilime göre türevini ele aldığımızda;

$$\frac{dP}{Dv} = \frac{d(IV)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} = I + V \frac{\Delta I}{\Delta V} \quad (5.1)$$

Denklem 5.1'e bakıldığında, maksimum güç noktasında sifira eşit olacağı, pozitif değerlerde maksimum güç noktasının solunda ve negatif değerlerde maksimum güç noktasının sağında olacağını söylemek mümkündür [23]. Şekil 29'da diyagramda açıkça görülmektedir.

Bu bilgiler ışığında maksimum güç noktasında:

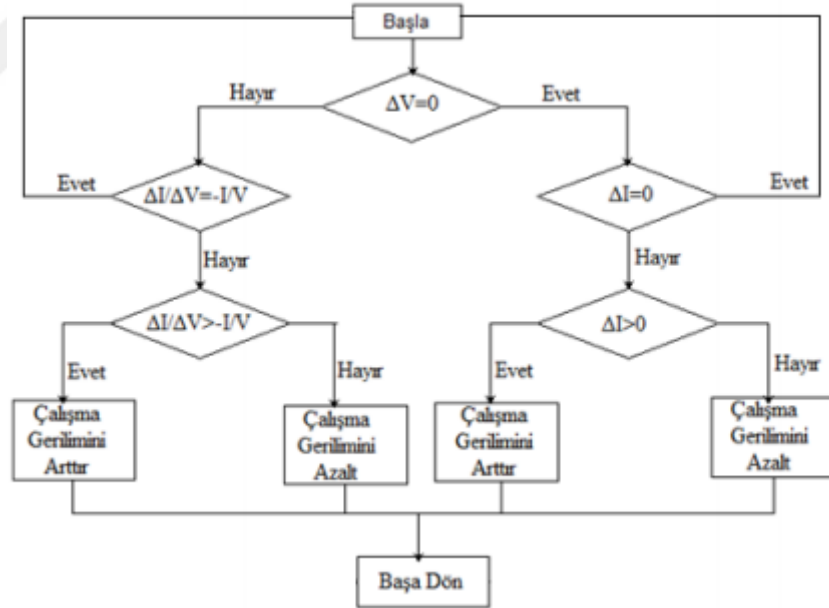
$$\frac{\Delta I}{\Delta V} = \frac{-I}{V} \quad (5.1.1)$$

Maksimum güç noktasının solunda:

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} > \frac{-I}{V} \quad (5.1.2)$$

Maksimum güç noktasının sağında:

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} < \frac{-I}{V} \quad (5.1.3)$$



Şekil 27: Artan iletkenlik diyagramı (23)

5.1.1.3 Akıllı Kontrol Yöntemleri

Akıllı kontrol yöntemi, kurulmuş olan güneş enerjisi santralinin bluetooth, SCADA, IP gibi sistemlerle uzaktan izlenmesi ve müdahale edebilme amacıyla kullanılmaktadır. Santrale ait panel, inverter, ana dağıtım panosu gibi araçlara eklenen kontrol sistemleri ile üretim, hata, analiz gibi

birçok etmenler ara yüze eklenebilmektedir. Bu sayede binlerce panelin, onlarca inverterin olduğu bir santralde verim düşüşü, arızalı ürün tespiti, ürün kıyaslaması gibi onlarca verilere ulaşılabilen ve yetki alanı dahilinde açma, kapama, sınırlama gibi müdahale edilebilmektedir. Ayrıca santral alanında bağımsız bir radyasyon ölçme sistemi de konularak kıyaslama yöntemi ile verim analizi yapılabilmektedir [28].

5.1.2 Güneş Takip Sistemleri

Güneşten yeryüzüne gelen ışınlar, mevsimlere ve gün içerisindeki saate göre farklı açılarla Dünyaya ulaşır. Bu sebeple fotovoltaik hücreden istenilen maksimum gücü elde etmek için güneş panellerinin bu ışınları takip edecek hale getirilmesi gerekmektedir. Güneşten gelen radyasyonu izleyerek güneş ışınımını maksimize etmeyi hedefleyen bu sistem takip sistemi olarak adlandırılır. Fotovoltaik güneş panelleri genellikle doğu-batı ve kuzey-güney eksenlerine bakacak şekilde konumlandırılır.

5.1.3 Sabit Eğim Açısıyla Panel Yerleşimi

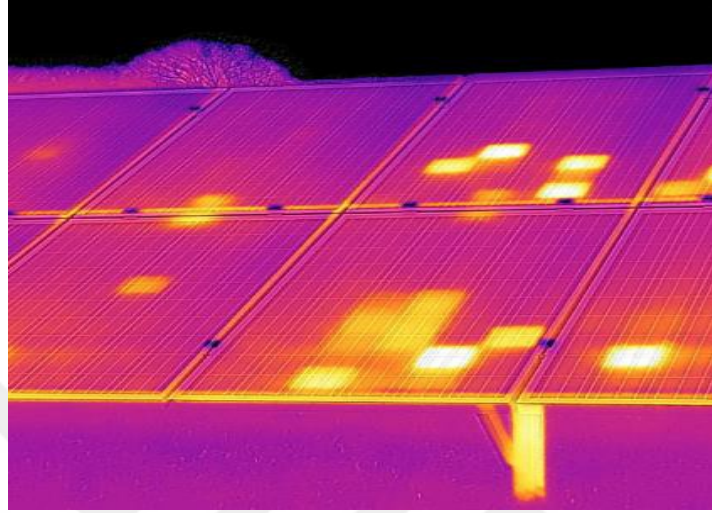
Sabit bir eğim açısıyla yerleştirilen güneş panellerindeki maksimum verim, kuzey yarımkürede bulunan santraller için güneye, güney yarımkürede bulunan santraller için ise kuzey yönüne bakacak şekilde yerleştirilmelidir. Sabit eğimli güneş panelleri, buldukları konumun enlemlerine göre farklı eğim açılarıyla yerleştirilerek güneş ışınımından en yüksek verimliliğin alınması sağlanır [49]. Türkiye’de kurulması planlanan ve sabit eğim açısının kullanılacağı santrallerde hangi değerinin kullanılmasının doğru olacağı Denklem 5.2 kullanılarak belirlenebilir;

$$\text{Sabit açılı panel eğimi} = 0,87 \times \text{enlem} + 3,1 \quad (5.2)$$

5.1.4 Güneş Enerji Santrallerinde Termal Test

Elektrik enerjisinin kullanıldığı her üründe yüksek sıcaklık değerleri olumsuz etkiler oluşturabilir. Güneş enerji santrallerinde de diğer enerji sistemlerinde de olduğu gibi elektrikli parçalar kullanılmaktadır. Bu parçaların sıcaklık seviyeleri sistem için en iyi olacak değerlerde tutulmalıdır. Bunun olmadığı durumlarda arızalar ve verim düşümleri görülmektedir. Buna bağlı olarak Güneş enerjisi santrallerinde, yaz aylarında daha yoğunlukla olmak üzere termal inceleme ve sistem verim analizi yapılmalıdır. Bu incelemeler fotovoltaik panellerde termal kameralı İnsansız Hava Aracı (İHA) vasıtasıyla trafo, pano, panel, inverter; diğer tüm bağlantı noktalarında

ise el termal kameraları ile yapılabilmektedir [12]. Şekil 30'da termal testi yapılan panel grubunda görüldüğü üzere bazı hücrelerde verim düşüşü olmuştur. Termal kameradaki sıcaklık ve görüntü işleme verilerini mukayese ederek ortaya çıkardığı bu arıza veya hatalar santrale verim kaybı yaşatmaktadır.



Şekil 28: Termal görüntü örneği (12)

Termal test ile panellerde tespit edilen hatalar;

- Gölgeleme problemleri
- Kirli noktalar, aşırı kirlenme ve kuş dışkısı
- Elektrik arızaları, arızalı kablolar, kablolarda kemirgen hasarı
- İnverter / string sorunları - örneğin, açık devre stringleri, kısa devre stringleri, düşük performans, vb.
- Arızalı paneller - örneğin, bypass diyotları, mikro çatlaklar, sıcak noktalar, potansiyel kaynaklı bozunma (PID), delaminasyon ve dahili korozyon, salyangoz izi kontaminasyonu vb.

Termal incelemelerde bir yenilik olarak yapay zeka kullanılmaya başlanmıştır. Yapay zekanın kullanılmadığı durumlarda, el termal kameraları veya İHA ile yapılan çekimler sonucunda ilgili verimlilik incelemelerini yapan mühendis veya mühendis ekipleri bu alanda çalışmaktadır. Elde edilen görüntülerin yorumlanması, bu yorumlamalar ışığında sistemdeki arızalar ve bu arızaların sisteme rakamsam olarak olumsuz etkilerinin yorumlanması işlemleri yapılmaktadır. Bu işlemlerin doğru bir şekilde gerçekleşmesi için hem uzun süreli zaman gerektirmektedir hem de kesin doğru olduğunu söylemek mümkün olamamaktadır. Yapay zekada ise, daha önceden yapılan

santral çekimlerinin ve verimlilik analizlerinin görüntü işleme yöntemiyle yapay zeka işlenmesiyle beraber zaman içerisinde %99 doğruluk sağlayan bir sistem kurulması sağlanmıştır.

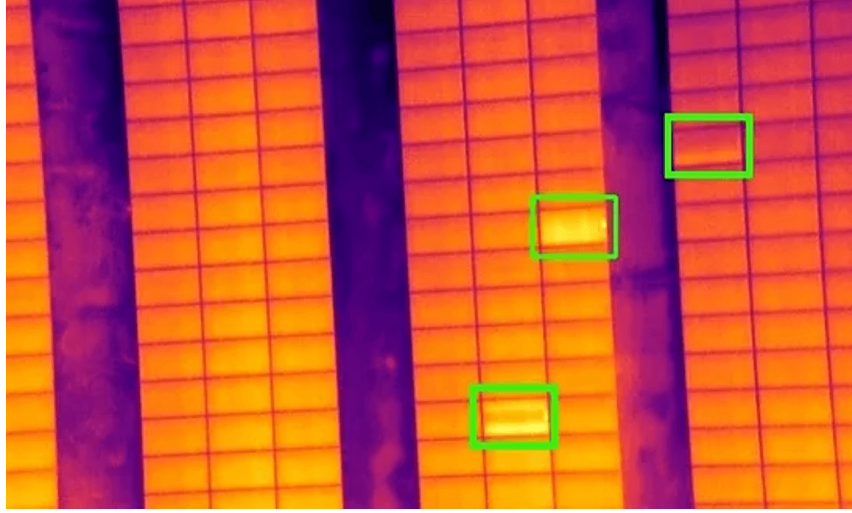
Kısaca termal incelemelerde yapay zeka kullanımının avantajları;

- İnsan gözüyle görünmeyecek hatalar ortaya çıkar.
- Termal görüntülerden alınan veriler sonucu raporlamalar çok hızlı bir şekilde gerçekleşir.
- Görüntü işlemede kullanılan yapay zeka (AI) yazılımı ile detaylı güneş enerji santralının verim hatalarını çıkaran bir raporlama gerçekleştirilmiş olur.
- Yapay zeka kullanıldığından hatalı raporlamaların önüne geçilmiş olunur.

Türkiye’de bulunan güneş enerjisi santrallerinde yapay zeka ile termal inceleme yapılması durumunda %3 ila %10 arasında verim artışı olacaktır. Referans değer %3 olarak ele aldığımızda günlük 450 MW daha fazla üretim yapacaktır. Bu gücün sağlanabilmesi için 80 MW kurulu gücünde santral kurulması gerekmektedir. Bu santralin maliyeti ise 50 Milyon USD civarında olacaktır.

5.1.4.1 Güneş Panellerinde Sıkça Görülen Hot-spot (Sıcak Nokta)

Güneş enerji santralindeki fotovoltaik panellerde kirlenme, çatlak, hasar, çizik ve çeşitli üretim hatası gibi sebeplerle meydana gelen sıcak noktalara ‘hot-spot’ denir. Hot-spot nedeni ile oluşan tersinir akım, hücre ve panellerde görülen hasarlar güneş enerjisi santralının ciddi verim kaybetmesine yol açmaktadır. Şekil 31’de tespit edilen panellerde hot-spot hatası vardır. Panellerde oluşan aşırı ısınma, bypass diyotlara da zarar vererek enerji kayıplarını yüksek seviyelere çıkarmaktadır [12].



Şekil 29: Hot-Spot örnekleri (12)

5.1.5 8 MW Burdur Güneş Enerji Santrali Termal Test Çalışması

Yapay zeka tabanlı sisteme bağlı olarak insansız hava aracı ile çekim yapılan lisanssız elektrik üretimi yönetmeliğine tabi 8 MW güce sahip Burdur GES'nde verim düşüşüne yönelik çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada çatlak hücre tespiti, kuş pisliği, sıcak noktalar, kısa devre, açık devre, bağlantı ekipmanlarının temassızlığı gibi onlarca veri ortaya çıkmıştır. Tablo 11'de çatlak hücre ve kısa devreli panel tespiti yer almaktadır. Bu örneğin amacı çatlak hücrede telafi edilebilecek bir durum varken kısa devreli panel tamamen devre dışı kalmış olduğunu göstermektedir. Burada inverter dizisine bağlı olan kısa devreli panel dizileri seri bağlı olduğu için kendisinin bağlı bulunduğu tüm panellerin gücünü 0 V'a düşürmüştür. Bir anlamda bir inverter sırasında 22 panel var ise ve bu panellerden sadece birinde bile verim kaybı olduğunda diğer panellerde aynı gerilime düşmektedir. İncelenen santralde sadece bu durumdan dolayı %7'lik verim düşüşü gözlemlenmiş olup hatalı panellerin yerine verimi yüksek paneller takılarak bu verim kaybı giderilmiştir. Ülkemizdeki yüzlerce güneş enerjisi santrali sadece bu sebepten dolayı %3 ile %10 arasında verim kaybı yaşamaktadır [12].

5.2 ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA VERİM ARTTIRMA

Elektrikli araçlar üzerine yapılan Ar-Ge çalışmaları ışığında elektrikli araçların içten yanmalı motorlara kıyasla daha az kullanılmasının nedenlerinin başında araçların tekrar şarj edilme sürelerinin uzun olması ve maksimum gidilebilecek mesafenin kısa olmasıdır. Değinilen bu kısıtlayıcı 2 sebep ve elektrikli araçların karmaşık denetim yapısı nedeniyle, verimliliği

arttırmak ve bu karmaşık yapıyı denetlemek için genellikle akıllı kontrol ve alternatif çözümler tercih edilmektedir [48].

5.2.1 Güneş Enerjisi Destekli Şarj İstasyonları

Özellikle son yıllarda elektrikli araçların sayısının artması, güneşten elektrik üretiminin maliyetinin düşmesi, güneş enerjisi teknolojisinin ve veriminin yükselmesi neticesinde bir anlamda hibrit denilen güneş enerjisi destekli şarj istasyonları yapılması gündemdedir. Yol kenarına şarj istasyonu koyulup çevresine de güneş enerjisi santrali kurularak şarj istasyonunda kullanılan elektriğin güneş enerjisi sistemi kullanılarak temin edilmesi, fazla üretilen elektriğin depolama sistemine eklenmesi, depolama kapasitesinin dolması durumunda ise fazla üretilen elektriğin enterkonnekte şebekeye verilerek ayrıca kazanç sağlanması amaçlanmaktadır. Özellikle fazla üretilen elektriğin şebekeye verilerek ayrı bir kazanç oluşturması çok önemlidir [27]. Ülkemizde elektrikli araçların azlığından dolayı şarj bataryası kurmak isteyen girişimciler için karlı bir yatırım olmamasına rağmen eğer fazla üretilen elektriğin şebekeye verilip satılması durumu ortaya çıkarsa sadece Batı Anadolu veya Marmara’da değil tüm bölgelerimizde güneş enerjisi destekli şarj istasyonları sayısı artacaktır. Bu yöntem ile ilgili T.C. Enerji Bakanlığı’nın mevzuat çalışmaları devam etmektedir [32].

5.2.2 Şarj İstasyonlarının Şebeke ile Etkileşimi

Çevresel ve ekonomik yönleri ele alındığında elektrikli araçların şebekeler açısından faydaları bulunmaktadır. Bataryaların güvenli bir şekilde şarj ve deşarj olması, batarya modellemelerine teknolojilerindeki gelişim ve elektrikli araç şarj istasyonlarının en iyi şekilde yerleştirilmesi şebekeyle ilgili olumsuz durumları azaltır ve bu da ülke ekonomisine katkı sağlar. Buna bağlı olarak batarya boyutlarının küçültülmesi ve ağırlıklarını azaltılması bataryanın en iyi şekilde kullanılması şebeke için önem taşımaktadır [36]. Bahsedilen konularda daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

5.2.3 Elektrikli Araçlarda Akıllı Yönetim Sistemi

Elektrikli araçlarda menzillerin henüz istenilen seviyede olmaması ve şarj istasyonlarının akaryakıt istasyonları gibi yaygın olmamasından dolayı akıllı yönetim sistemi önem arz etmektedir. Özellikle son yıllarda yerli- yabancı firmalar tarafından kendi ürününe özel olarak

geliştirilen bu sistemde araç sahibi anlaşmalı olduğu firmanın şarj istasyonda elektrik şarjını sağlamaktadır. Şarj bataryası sahibi firma tarafından mobil uygulama ile gideceği rotaya göre uygun şarj istasyonu belirlenmektedir [24]. Ayrıca hızlı şarj teknolojisine sahip olmayan araçlarda bu yöntem ile tam dolum sağlamadan da gideceği menzil yeterli ise sistem uyarı verip zaman kaybı önlemesi de yapılmaktadır.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yüzyılda sanayinin gelişmesi ile birlikte toplumların enerji ihtiyacı zorunluluk haline gelmiştir ve tüketimi çok artmıştır. Bunun sonucu olarak enerjinin üretilmesi ile birlikte bu enerjinin temin edilmesi de çok önemli hale gelmiştir. Bu nedenle tez çalışmamızda en önemli enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinin temini üzerine çalışılmıştır.

Enerji depolama yöntemleri hakkında yeni teknolojiler ile ilgili bilgi verilmesi sonrasında ise verim artırma yöntemleri incelenmiş, bunların içerisinde elektrikli araçlar ve güneş enerjisi santralleri ile ilgili içerisinde planlama, yapay zeka, otomasyon gibi etmenleri de içerisinde alarak yeni yöntemler ortaya çıkarılmıştır. Verim artırma yöntemlerinin önemine bir örnek olarak drone ile yapılan çekimlerle birlikte güneş enerji sektöründe bir yenilik olan yapay zeka yazılımı kullanarak güneş enerji santrallerinde verimlilik ile bakım-onarım işlemleri için kullanılan termal test raporunun bir bölümü sunulmuş ve raporun ortaya koyduğu değerler yorumlanmıştır. Güneş enerji santrallerinde termal test uygulaması ve yapay zeka kullanılmasıyla kurulu güce bakılmaksızın raporlama işlemi sadece 1 saatlik bir sürede gerçekleştirilmiştir. Ayrıca insan gözü ile hataların belirlenmesi hususunda kesin doğruluğun garantisi verilemezken yapay zeka ile oluşturulan raporlarda %99 doğruluk garantisi verilmiştir.

Bu tez çalışması ile akıllı ulaşım sistemleri ve yenilenebilir enerji arasındaki ilişkiler de incelenmiştir. Özellikle elektrikli araçlar ve elektrikli araçların kullandığı depolama sistemlerinin güneş enerji sistemleri ile desteklenmesinin etkileri sunulmuştur. Bunun yanında akıllı ulaşım sistemlerinin en önemli konularından verim artırma yöntemleri güneş enerjisi üretimi açısından incelenmiştir.

Güneş enerjisi temini için gereken prosedürler ele alınmıştır. Bu prosedürleri uygularken elektrik üretimi temel başlık olarak ele alınarak depolama sistemleri incelenmiştir.

Güneş enerjisi santrallerinde elektrik üretimi yapabilecek sistemlerin depolanması için kurulacak güneş enerjisi santralleri incelenmiştir. Güneş radyasyonu varken elektrik üretimi yapılabileceği için depolama sistemleri ile fazla enerjinin depolanması mümkündür.

Bu tez çalışmasında Türkiye’de ve Dünya’da güneş enerjisi santrallerinin kurulu güçleri incelenmiş, güneş enerjisi santrali bileşenleri hakkında bilgi verilmiş ve bu bilgiler ışığında güneş enerjisinin dünyadaki enerji üretim anlayışının değiştirilmesine önemli katkısı olduğu gösterilmiştir. Yıllar içerisinde güneş enerji sistemi teknolojilerinin oldukça hızlı gelişim göstermesi ve bu teknolojilerin geçmiş yıllara göre maliyetlerinin daha uygun hale gelmesiyle beraber güneş enerji santrallerine yatırımlarda bakış açısının olumlu anlamda değişim gösterdiği sonucuna varılmıştır. Bunun yanı sıra, tez çalışması kapsamında güneş enerji santrallerinde

kullanılan FV sistemlerin fiziksel yapısı ve özellikleri detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Özellikle, Türkiye örneği ele alınarak tercih edilecek ideal panel türü ve Türkiye'nin coğrafi konumu ve fiziki yapı düşünülerek kullanılması gereken FV panel eğim açısı değer aralıklarının etkileri incelenmiştir.

Güneş enerjisinden üretilen elektrik enerjisinin depolanması ve sistematik yapısı tez çalışmamızda sunulmuştur. Bu bilgiler ışığında sistemlerinin özellikleri, bu sistemlerin hangi sektörlerde ne gibi amaçlarla kullanıldığı açıklanmıştır.

Bu amaca yönelik olarak Bandırma İlçesinde örnek 1,2 MW DA ve 1 MW AA gücünde güneş enerjisi santrali için simülasyon çalışması yapıp sonuçları yorumlanmış, vaziyet planı ve tek hat şeması çizilmiştir. Çeşitli Devlet Kurumlarından edinilen bilgiler ışığında Bandırma İlçesinde en uygun bölgenin Doğa Köyü olduğu ortaya çıkmıştır. Bandırma İlçesi'nin rüzgarlı olması ve güneşin geliş açısı bakımından verimi Türkiye ortalaması üstünde olmasına rağmen yükseltisi fazla olmadığı için güneş elektriği üretiminin yüksek olması için yer seçiminin önemi artmıştır. Seçmiş olduğumuz arazinin ufuk çizgisi, gölgeleme, doğu-batı eğimi olmaması, enerji nakil hatlarına yakın olması gibi birçok verim arttırıcı kısıtlar ele alınmış, Bandırma İlçesi için en yüksek ışınımına sahip olunması için çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar ışığında teknik olarak seri üretimde olan verimi en yüksek olan panel teknolojisi kullanılmış, evirici, DC-AC kablo, şalt malzemeleri UEDAŞ enerji nakil hattı standartlarına en uygun olanları seçilmiştir. Tüm bu bilgilerle birlikte PV-SYST raporu oluşturulmuş, projemizin aylık üretimi, yıllık üretimi, muhtemel bölgesel ve teknik kısımların kayıpları, gölgelenme etkisi gibi veriler ortaya çıkarılmıştır. Projemizin teknik kısmıyla ilgili vaziyet planı oluşturulmuş, proje alanında gölgelenme olmaması adına boşluklar uygun aralıklarda seçilmiş, kayıpların az olması adına kabloların metrajının az olması sağlanmıştır. Sıcaklık ve akım taşıma kapasitesi etkisinden dolayı kablo kesitleri çıkan kapasitenin bir üst kademesi seçilmiştir.

Bundan sonra aynı konu üzerine çalışacak adaylara yapay zeka ile yenilenebilir enerji verimliliği, enerji verimliliği ile elektrikli araçların enerji sarfiyatının önlenmesi, enerji depolama sistemlerinin verim artışı ile birlikte elektrikli araçların yol menzilin arttırılması konularını önerebiliriz.

Ayrıca, ihtiyaç halinde şebekeye verilmesi sayesinde ülkemiz gibi enerji ithalatçısı olan ülkeler için çok önemli hale gelmiştir.

7. KAYNAKLAR

- [1] C. Cezim, “Fotovoltaik Sistemler ve Uygulamaları,” TMMOB Elektr. Mühendisleri Odası Eğitim ve Semin. Etkinlikleri, vol. 2013, pp. 21–23, 2013.
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power_by_country#/media/File:World_PVOUT_Solar-resource-map_GlobalSolarAtlas_World-Bank-Esmap-Solargis.png (2019)
- [3] <https://www.enerjiatlas.com/ulkelere-gore-gunes-enerjisi.html> (2018)
- [4] <https://www.enerjiatlas.com/gunes/> (2018)
- [5] <https://www.zenaenerji.com/Projelerimiz.html> (20.06.2015)
- [6] M. Karamanav, “Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri,” p. 90, 2007.
- [7] <https://sc04.alicdn.com/kf/H2f2df999428346f1a19b113508801365r.jpg> (2019)
- [8] E. Zengin, “Güneş Pillerinin Enerji Dönüşüm Kalitesini Etkileyen Önemli Faktörleri.”
- [9] <https://cw-enerji.com/urun/cwt-polikristal-72p-315-335-wp/> (2020)
- [10] https://sc01.alicdn.com/kf/HTB1UkXSPFXXXXccXXXXq6xXFXXXz.jpg_640x640.jpg (2019)
- [11] S. Duman, N. Yörükeren, and İ. H. Altaş, “FOTOVOLTAİK Enerji Sistemlerinin Modeling , Simulation and Application of Photovoltaic Energy Systems,” İleri Teknol. Bilim. Derg., vol. 3, no. 1, pp. 9–23, 2014.
- [12] <https://www.zenaenerji.com/Termal-Drone-ile-Panel-inceleme.html> (15.03.2021)
- [13] F. Öncin, “Çatı Tipi Güneş Enerji Santralleri ve Dağıtım Tesislerine Bağlantı Kriterleri,”
- [14] <https://www.enerjisistemlerimuhendisligi.com/sebekeden-bagimsiz-off-grid-solar-sistemler.html> (05.02.2021)
- [15] M. Boztepe, “Fotovoltaik sistemler,” pp. 1–31, 2009

- [16] <https://www.elektrikde.com/wp-content/uploads/2019/03/Güneş-enerji-elektrik-üretimi.jpg> (27.03.2019)
- [17] B. Şimşek and E. Bizkevelci, “Fotovoltaik güneş elektrik santrallerinin alçak gerilim şebekesine bağlantı esasları,” 2020.
- [18] <https://elektrikmen.com/wp-content/uploads/2018/08/kurşun-asit-akü.jpg> (05.08.2018)
- [19] http://www.solar-academy.com/menu_detay.asp?id=325 (08.2010)
- [20] R. Artaş, “Termik Enerji Depolama,” pp. 1–27.
- [21] Hüseyin Öztürk, “Güneş enerjisinin gizli ısı tekniği ile depolanması,” Tesisat Mühendisliği, vol. 100, pp. 16–31, 2007.
- [22] I. Ar, M. cengi. Taplamacıoğlu, and F. Ar, “Hidrojen Depolama Amacıyla Kimyasal Yöntemle Metal Hidrat Sentezi,” J. Chem. Inf. Model., vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [23] B. Ç. Yunus Emre KESKİN, Mustafa Engin BAŞOĞLU, İbrahim Gürsu TEKDEMİR, “Fotovoltaik Sistemlerde Değişir Gözle ve Artan İletkenlik Algoritmalarının Karşılaştırılması,” Elektr. – Elektron. – Bilgi. ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, pp. 91–95, 2014.
- [24] Ş. Kuşdoğan, “Akıllı Şebekelere Elektrikli Araçların Entegrasyonu ve Taşıttan Şebekeye V2G Uygulamaları,” Koceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektr. Mühendisliği Bölümü.
- [25] Amin SM, G. C. (2006). The North American power delivery system: balancing market restructuring and environmental economics with infrastructure security
- [26] D. A. Sbordone, L. M. (2016). Reactive Power Control for and Energy Storage System: A Real Implementation in a Micro-Grid. Journal of Network and Computer Applications, vol 59, p. 250 – 263.
- [27] Denholm P, E. E. (2010). The role of energy storage with renewable electricity generation. National Renewable Energy Laboratory (NREL).
- [28] M. Delfanti, D. F. (2014). Distributed Generation Integration in the Electric Grid: Energy Storage System for Frequency Control. Computational Science in Smart Grids and Energy Systems

- [29] Zhou, H., Bhattacharya, T., Tran, D., Siew, T.S.T., Khambadkone, A.M., “Composite Energy Storage System Involving Battery and Ultracapacitor With Dynamic Energy Management in Microgrid Applications”, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 26, 2011, p 923-930
- [30] Zhang, Y., Jiang, Z.H., Yu, X.W., “Control Strategies for Battery/Supercapacitor Hybrid Energy Storage Systems,” IEEE Energy 2030 Conference, 2008, p 273-278.
- [31] Damnjanovic, N., “Smart Grid Functionality of a PV- Energy Storage System”, (MSc Thesis), University of South Florida, Electrical Engineering, 2011.
- [32] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Stratejik Planı (2010-2014).
- [33] J. Li, J. K. Barillas, C. Guenther, and M. A. Danzer, “Sequential Monte Carlo filter for state estimation of LiFePO₄ batteries based on an online updated model,” J. Power Sour., vol. 247, pp. 156–162, Feb. 2014.
- [34] P. Malysz, J. Ye, R. Gu, H. Yang, and A. Emadi, “Battery state-of-power peak current calculation and verification using an asymmetric parameter equivalent circuit model,” IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 65, no. 6, pp. 4512–4522, Jun. 2016.
- [35] N. H. Kutkut and D. M. Divan, “Dynamic equalization techniques for series battery stacks,” in Proc. Int. Telecommun. Energy Conf. (INTELEC), Oct. 1996, pp. 514–521.
- [36] W. C. Lee, D. Drury, and P. Mellor, “Comparison of passive cell balancing and active cell balancing for automotive batteries,” in Proc. Vehicle Power Propuls. Conf. (VPPC), Sep. 2011, pp. 1–7.
- [37] C. Rosario, “Power and energy management of multiple energy storage systems in electric vehicles,” Ph.D. dissertation, Dept. Aerosp. Power Sensors, Cranfield Univ., Cranfield, U.K., 2008.
- [38] Hadjipaschalis, I., Poullickas, A. and Efthimiou, V., 2009. Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(6-7), 1512-1522.
- [39] İbrahim, H., Ilinca, A. and Perron, J., 2008. Energy storage systems-Characteristics and Comparisons. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12(5), 11221-1250.

- [40] Liu, H., Jiang, J., 2007. Flywheel energy storage-Anusswing technology for energy sustainability. *REnergy and Building*, 39(5), 599-604.
- [41] Kurzweil, P. 2009. Gaston Plante and his invention of the lead-acid battery- The genesis of the first practical rechargeable battery *J. Power Sources* , 195(14), 4424-4434 .
- [42] Burke, A., 2000. Ultracapacitor: why, how and where is the technology *J. Power Sources* , 91(1), 37-50.
- [43] Kötz, R. And Carlen M., 2000. Principles and applications of electrochemical capacitor *Electrochimica Acta* , 45(15-16), 2483-2498 .
- [44] Barbir, F. 2005. *PEM Fuel Cells: Theory and Practice*, Elsevier Academic Press, California, USA.
- [45] Schindall, J., 2007. The charge of the ultracapacitors Nanotechnology takes energy storage beyond batteries. *IEEE Spectrum* , Nov, 38-42 .
- [46] Hammerschlag, R., Schaber C.P., 2007. Chapter 15 Energy Storage Technologies, *Energy Conversion*, Taylor & Francis Group, LLC
- [47] M.Güvendiren, T.Öztürk , “Enerji Kaynağı Olarak Hidrojen ve Hidrojen Depolama”
- [48] H.Özbay, C.Közkurt, A.Dalcalı, M.Tektaş, “Geleceğin ulaşım tercihi : Elektrikli araçlar” Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Bandırma Onyedi Eylül University, Bandırma, Turkey.
- [49] A.Karafil, H.Özbay, M.Kesler, H.Parmaksız, “Calculation of optimum fixed tilt angle of PV panels depending on solar angles and comparison of the results with experimental study conducted in summer in Bilecik, Turkey ” Department of Electric and Energy, Vocational High School, Bilecik Seyh Edebali University, Bilecik, Turkey
- [50] A.Karafil, H.Özbay, “Investigation Of The Effect Of Partial Shadowing With Solar Array Simulator” Department of Energy, Vocational High School Bilecik Seyh Edebali University Bilecik, Turkey
- [51] Harun Kemal ÖZTÜRK, Atilla KARADAVUT. (2014) “Tam Hücreli Fotovoltaik Modüllerin Matematiksel Modellenmesi “