

T.C.
KİLİS 7 ARALIK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNEŞ ENERJİSİ ELEKTRİK SANTRALLERİNDE KULLANILAN
FOTOVOLTAİK PANELLERİN ENERJİ VERİMLİLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

Ali ÇINGİ

DANIŞMAN: Prof. Dr. Ömer Faruk FARSAKOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KİLİS, 2019

TEZ ONAYI

Prof. Dr. Ömer Faruk FARSAKOĞLU danışmanlığında Ali ÇINGI tarafından hazırlanan “**Güneş Enerjisi Elektrik Santrallerinde Kullanılan Fotovoltaik Panellerin Enerji Verimliliklerinin Belirlenmesi**” adlı tez çalışması 13.06.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik Elektronik Mühendisliği** Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Üyeler	Unvanı, Adı Soyadı (Kurumu)	İmza
Başkan	Prof. Dr. Ömer Faruk FARSAKOĞLU (Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği ABD)	
Üye	Prof. Dr. Ahmet Serdar YILMAZ (Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği ABD)	
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Mikail ÖZÇİLOĞLU (Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği ABD)	

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun/...../2019 tarih ve/..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Dr. Öğr. Üyesi. Hülya DEDE
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEŞ ENERJİSİ ELEKTRİK SANTRALLERİNDE KULLANILAN FOTOVOLTAİK PANELLERİN ENERJİ VERİMLİLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Ali ÇINGİ

Kilis 7 Aralık Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ömer Faruk FARSAKOĞLU

Yıl: 2019, Sayfa: 79

Fotovoltaik sistemlerin temelini fotovoltaik paneller oluşturmaktadır. Tek başına anılan fotovoltaik panel diğer sistem bileşenlerinin bir araya gelmesi ile de fotovoltaik sistemleri oluşturmaktadır. Güneş Enerjisi sistemleri dendiğinde akla ilk gelen sistemlerin başında olan fotovoltaik yapılarda panel ayrı bir önem arz etmektedir. Sistemin en önemli donanımını oluşturan panel; verim, çıkış gücü, boyutları ve yapılarına göre çeşitlilik kazanmaktadır. Fotovoltaik panelleri üreten üretici firmaların yapmış oldukları AR-GE çalışmaları ile birlikte fotovoltaik panellerin verimliliklerinde farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Yaptığımız bu tez çalışmasında da farklı üretici firmalarının ürettiği fotovoltaik panellerin verimlilikleri analiz edilmiştir. Bu alan da fotovoltaik panelin verimini artıran etmenler sıralanmış ve panelin verimliliğine etki oranları incelenmiştir. Yapılan çalışmada Panasonic firmasına ait VBHN294SJ45 tipi fotovoltaik panel incelenerek verim değerleri kurulu bir santral üzerinde araştırılmıştır. Bu araştırma sonucunda fotovoltaik panelin verim parametrelerinin panel üzerindeki etkileri sonuçlar halinde sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji kaynakları, güneş enerjisi, fotovoltaik panel, verimlilik, enerji kayıpları.

ABSTRACT

MSc. Thesis

DETERMINATION OF USED PHOTOVOLTAIC PANELS ENERGY EFFICIENCY OF SOLAR ENERGY POWER STATION

Ali ÇINGI

Kilis 7 Aralık University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical Electronic Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ömer Faruk FARSAKOĞLU

Year: 2019, Page: 79

Photovoltaic panels are the basis of photovoltaic systems. Also, a photovoltaic panel forms a photovoltaic system with a combination of other system components. Panels have an important place in photovoltaic structures, which are closely related to solar energy systems. The most important equipment of the system is the panel, and it varies depending on the yield, the output power, the size, and the structure. R & D studies of the manufacturers producing photovoltaic panels show that there are differences in the efficiency of photovoltaic panels. In this thesis, the efficiencies of photovoltaic panels produced by different manufacturers were analyzed. In this context, factors increasing the efficiency of photovoltaic panels were listed and the efficiencies of the panels were examined. On this way, VBHN294SJ45 type photovoltaic panel of Panasonic Company was investigated and the yield values were examined on a power plant. Effects of the cases to the efficiency parameters of photovoltaic panels were presented in the results.

Keywords: Renewable energy sources, solar energy, photovoltaic panels, efficiency, energy losses.

TEŐEKKÖR

Bu tez çalıŐması sűresince benden yardımlarını ve desteęini hiç esirgemeyen danıŐman hocam Prof. Dr. Ömer Faruk FARSAKOęLU'na, Kilis 7 Aralık Őniversitesi Elektrik-Elektronik Műhendislięi bűlűmű deęerli hocalarıma ve desteęini hiçbir zaman esirgemeyen deęerli aileme sonsuz teŐekkűrlerimi sunarım.

Ali ÇINGI

Kilis 2019



İÇİNDEKİLER	SAYFA
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
1.2. Literatür Taraması	1
1.2.1. Fosil Enerji Kaynakları	4
1.2.1.1. Petrol	4
1.2.1.2. Kömür.....	4
1.2.1.3. Doğalgaz.....	4
1.2.2. Dünyadaki Fosil Enerji Kaynakları Rezervi	5
1.2.3. Enerji Kaynaklarının Kullanım Oranları	5
1.2.4. Yenilenebilir Enerji ve Kaynakları.....	6
1.2.4.1. Hidrolik enerjisi.....	6
1.2.4.2. Rüzgâr enerjisi.....	7
1.2.4.3. Biyokütle enerjisi	7
1.2.4.4. Güneş enerjisi	7
1.2.4.5. Jeotermal ve okyanus akıntı enerjisi	8
1.2.5. Ülkemizin Yenilenebilir Enerji Profili	8
1.2.6. Güneş Enerjili Elektrik Santrallerine Giriş	14
1.2.7. Yarı İletken Teknolojisi Ve Fotovoltaik Sistemler	15
1.2.7.1. Yarı iletken	15
1.2.7.2. Foton Enerjisi ve Fotovoltaik Etki	18
1.2.7.3. p-n jonksiyonlu diyot karakteristiği	19
1.2.7.4. Fotovoltaik hücrenin yapısı ve çalışma prensibi	20
1.2.7.5. Fotovoltaik hücrenin modellenmesi	22
1.2.7.5.1. Fotovoltaik hücrelerin tek ve çift diyotlu eşdeğer devre modeli.....	22

1.2.7.5.2. Kısa devre akımı.....	23
1.2.7.5.3. Açık devre gerilimi.....	24
1.2.7.5.4. Maximum güç noktası	24
1.2.7.6. Fotovoltaik hücrelerden panelin elde edilmesi.....	25
1.2.7.7. Fotovoltaik panel çeşitleri	27
1.2.7.7.1. Kristal silikon yapıli fotovoltaik paneller.....	28
1.2.7.7.1.1. Monokristal yapıli fotovoltaik paneller	28
1.2.7.7.1.2. Polikristal yapıli fotovoltaik paneller	29
1.2.7.7.2. İnce Film yapıli fotovoltaik paneller	29
1.2.7.7.2.1. Kadmiyum tellür tipi fotovoltaik paneller	30
1.2.7.7.2.2. Amorf Silisyum tipi fotovoltaik paneller	30
1.2.7.7.2.3. Bakır İndiyum Diseleneid tipi fotovoltaik paneller.....	31
1.2.7.7.3. Galyum Arsenit yapıli fotovoltaik paneller.....	32
1.2.7.8. Fotovoltaik bir sistemin tasarım ekipmanları.....	32
1.2.7.8.1. Şarj regülatörü	32
1.2.7.8.2. İnverter	33
1.2.7.8.3. Akü	33
1.2.7.8.3.1. Jel aküler.....	33
1.2.7.8.3.2. Kuru aküler.....	34
1.2.7.8.3.3. Tüplü sabit tesis aküler.....	34
1.2.7.9. Fotovoltaik Sistemler	34
1.2.7.9.1. Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler	34
1.2.7.9.2. Şebeke bağlantısız fotovoltaik sistemler	35
1.2.8. Güneş Konum Hesabı Ve Geometrisi	36
1.2.8.1. Güneş geometrisi.....	36
1.2.8.1.1. Enlem açısı	36
1.2.8.1.2. Deklinasyon açısı	37
1.2.8.1.3. Saat açısı.....	38
1.2.8.1.4. Zenit açısı	39
1.2.8.1.5. Yükseklik açısı	39
1.2.8.1.6. Azimut açısı.....	40
1.2.8.1.6.1. Güneş azimut açısı.....	40

1.2.8.1.6.2. Yüzey azimut açısı	40
1.2.8.1.7. Güneş geliş açısı	41
1.2.8.2. Fotovoltaik bir modül katalogunda bulunması gereken değerler	43
1.2.9. Fotovoltaik Santrallerde Verimlilik Ve Kayıplar	46
1.2.9.1. Güneş enerjili fotovoltaik santrallerde verim	46
1.2.9.2. Fotovoltaik hücrelerde verim ölçüm işlemi	47
1.2.9.3. Fotovoltaik sistemlerde verimliliğin artırılmasına yönelik çalışmalar	47
1.2.9.3.1. Panel yüzeyinin sıcaklığını düşürerek verimi artırma	47
1.2.9.3.2. Farklı türden malzemeler ile verimliliğin artırılması	48
1.2.9.3.3. Foto açısal etkenler ile verimin artırılması	49
1.2.9.4. Fotovoltaik hücrenin verimliliğini sınırlayan etkenler	49
1.2.9.4.1. Foto açısal etken	50
1.2.9.4.2. Spektral etken	50
1.2.9.4.3. Sıcaklık etkisi	51
1.2.9.5. Güneş enerjili fotovoltaik santrallerde kayıplar	52
1.2.9.5.1. Elektriksel kayıplar	52
1.2.9.5.1.1. Direnç kayıpları	52
1.2.9.5.1.2. Akım kayıpları	53
1.2.9.5.1.3. Açık devre gerilim kayıpları	53
1.2.9.5.1.4. Doluluk faktörü kayıpları	53
1.2.9.5.1.5. Kablo kayıpları	54
1.2.9.5.2. Yarı iletken yüzeylerdeki kayıplar	54
1.2.9.5.3. Uyumsuzluk kayıpları	55
2. METARYAL VE METOT	56
2.1. Panasonic VBHN294SJ45 Tipi Fotovoltaik Panel ve Verimliliği	56
2.1.1. Metrekare Başına Üretilen Elektrik	56
2.1.2. Sıcaklık Katsayısı	57
2.1.3. Güç Toleransı	60
2.1.4. İlave Baypas Diyotu	60
2.1.5. Yaşlanma Faktörü	62
3. BULGULAR	64
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	71

5. KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	80



SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

I	Fotovoltaik Panel akımı
V	Fotovoltaik Panel çıkış gerilimi
I_{ph}	Fotovoltaik hücre akımı
I_{sc}	Kısa devre akımı
V_{oc}	Açık devre gerilimi
I_{mp}	Maximum güç noktasındaki akım
V_{mp}	Maximum güç noktasındaki gerilim
R_{sh}	Tek Diyot Modeli eşdeğer devresinde paralel direnç
$I_{ph,STC}$	Standart sıcaklık koşullarındaki fotovoltaik hücre akımı
I_0	Ters doyma akımı
I_{01}, I_{02}	Bir ve iki nolu diyot akımları
N_{ss}	N tane fotovoltaik hücrenin seri bağlanması
N_{pp}	N tane hücrenin paralel bağlanması
R_s	Seri Direnç
MPP	Maximum güç noktası
Φ	Enlem açısı
Δ	Sapma açısı
β	Eğim açısı
γ	Yüzey azimut açısı
ω	Saatlik açı
θ	Gelme açısı
θ_z	Zenit açısı
α_s	Solar yükseklik açısı
γ_s	Solar azimut açısı
I_T	Eğimli yüzeye gelen saatlik ışınım
H_o	Uzaydan gelen saatlik radyasyon
H_d	Günlük difüz radyasyon
H	Günlük ışınım
P_g	Yerin yansıtma katsayısı
K_T	Hava için açıklık indeksi

r_t	Saatlik toplam radyasyonun günlük toplam radyasyona oranı
r_d	Saatlik difüz radyasyonun günlük difüz radyasyona oranı
R_b	Eğimli yüzeye gelen radyasyonun yatay yüzeye gelene oranı
G_{SC}	Solar sabit
n	Gün
w_s	Güneşin doğuşu ve batışı saatlik açısı
$T_{C,NOCT}$	Nominal işletme sıcaklığı için pilin sıcaklığı
T_a	Ortam sıcaklığı
$G_{T,NOCT}$	Nominal işletme sıcaklığı için eğimli yüzeydeki radyasyon
$\eta_{mp,ref}$	Maksimum güç verimi
E	Fotonun enerjisi (joule)
h	Planck sabiti ($h= 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ j.s}$)
ν	Işığın frekansı (s^{-1})
λ	Işığın dalga boyu (m)
c	Işık hızı ($c= 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$)
I_d	İletim Yönündeki diyot akımı (A)
V_d	p-n diyotunun uçları arasındaki gerilim
I_0	Ters doyma akımı (A)
q	Elektron yükü
k	Boltzman sabiti
T	Sıcaklık (Kelvin)
I_{ph}	Fotovoltaik hücre akımı
I_{sc}	25 °C ve 1000 W/m ² deki kısa devre akımı
K_i	Kısa devre akımının sıcaklık katsayısı (0,0017 A/°C)
T_c	Fotovoltaik hücre sıcaklığı (Kelvin cinsinden sıcaklık)
T_r	Referans sıcaklık (25 °C için 298,15 °K)
G	W/m ² deki güneş ışınım miktarı
G_r	Referans güneş ışınım miktarı (1000 W/m ²)
STC	Standart sıcaklık koşulu
$T_{c,NOCT}$	Nominal çalışma sıcaklığı (°C)
$T_{a,NOCT}$	NOCT tanımlanan ortam sıcaklık değeri (20 °C)
$G_{T,NOCT}$	NOCT tanımlanan güneş ışınım değeri (0,8 kW / m ² 'lik)

$\eta_{mp,STC}$	Standart test koşullarındaki maximum verimlilik (%)
α_p	Sıcaklık katsayısı (% °C)
$T_{c,STC}$	Standart test koşullarındaki hücre sıcaklığı (25 °C)

Kısaltmalar

AC	Alternatif Akım
DC	Doğru Akım
PV	Photovoltaic Panel (Fotovoltaik Panel)
m-Si	Monokristal Güneş Hücresi
p-Si	Polikristal Güneş Hücresi
CIS	Bakır İndiyum Diselenid Güneş Hücresi
CdTe	Kadmiyum Tellür Güneş Hücresi
a-Si	Amorf Silisyum Güneş Hücresi
CSi	Karbon Silisyum
GaN	Galyum Nitrat
SiGaAs	Silisyum-Galyum-Arsenit
Ge	Germanyum
InP	İndiyum Fosfor
SiH	Silisyum Hidrojen

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Enerji kaynaklarını oranlarındaki değişim	6
Şekil 1.2. Fosil ve Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı.....	8
Şekil 1.3. Ülkemizin rüzgâr enerjisi potansiyel atlası	10
Şekil 1.4. Ülkemizde jeotermal alanlar ve sıcak su kaynaklarının bulunduğu yerler...	11
Şekil 1.5. Ülkemizde elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı.....	12
Şekil 1.6. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli atlası.....	13
Şekil 1.7. İletken, Yalıtkan ve Yarı iletken tipi malzemelerin enerji bant gösterimleri	16
Şekil 1.8. Silisyum atomlarına Fosfor ve Galyum eklenmesi	17
Şekil 1.9. p-n jonksiyonu birleşimi.....	17
Şekil 1.10. n tipi verici ile p tipi alıcı yarı iletkenlerin şematik gösterimleri	18
Şekil 1.11. Fotonun sahip olduğu enerji ve 1 elektronu uyarması.....	19
Şekil 1.12. p-n birleşimi ile oluşan diyot ve sembolü.....	20
Şekil 1.13. p-n diyotunda akım-gerilim karakteristiği.....	20
Şekil 1.14. p-n birleşimi ile oluşan fotovoltaik hücre.....	21
Şekil 1.15. Fotovoltaik bir hücre	21
Şekil 1.16. Fotovoltaik hücrenin tek diyotlu elektriksel eşdeğer devresi	22
Şekil 1.17. Fotovoltaik sistemlerde çift diyotlu eşdeğer devre modeli.....	23
Şekil 1.18. Fotovoltaik hücre kısa devre durumu	24
Şekil 1.19. Fotovoltaik hücreye ait açık devre gerilimi ve akım-gerilim grafiği	24
Şekil 1.20. Fotovoltaik hücreye ilişkin akım-gerilim grafiği	25
Şekil 1.21. Fotovoltaik sistemlerde hücre, modül ve panel	25
Şekil 1.22. Hücrelerin seri olarak bağlanması ile oluşan akım-gerilim grafiği.....	26
Şekil 1.23. Fotovoltaik hücrelerin paralel bağlanması ile oluşan akım-gerilim grafiği	26
Şekil 1.24. Farklı kombinasyonlar ile oluşturulan akım-gerilim grafikleri	27
Şekil 1.25. Monokristal yapılı hücre ve panel	28
Şekil 1.26. Polikristal yapılı hücre ve panel	29
Şekil 1.27. Kadmiyum Tellür tipi fotovoltaik panel.....	30
Şekil 1.28. Amorf Silisyum yapılı fotovoltaik panel.....	31
Şekil 1.29. Bakır İndiyum Diseleneid tipi fotovoltaik yapılı hücreler	31
Şekil 1.30. Galyum Arsenit yapılı fotovoltaik panel	32
Şekil 1.31. Şebeke bağlantılı evsel fotovoltaik sistem	35

Şekil 1.32. Şebeke bağlantısız fotovoltaik sistemler	35
Şekil 1.33. Enlem açısı Latitude	36
Şekil 1.34. Deklinasyon açısı.....	37
Şekil 1.35. Günün farklı saatlerindeki saat açısı.....	38
Şekil 1.36. Zenit açısı	39
Şekil 1.37. Güneş azimut açısı.....	40
Şekil 1.38. Solartürk 250W - 275W çıkış gücüne sahip fotovoltaik paneller.	45
Şekil 1.39. Fotovoltaik hücrelerde sıcaklığa bağlı gerilim değişimi	48
Şekil 1.40. Farklı türden elementlerin enerji batları ve verimlilikleri	49
Şekil 2.1. Panasonic VBHN294SJ45 tipi fotovoltaik panelin en, boy oranları	57
Şekil 2.2. Sıcaklığa bağlı olarak fotovoltaik panellerin verim değişimleri	60
Şekil 2.3. Fotovoltaik hücre ve baypas diyotu kullanımı	61
Şekil 2.4. Fotovoltaik hücrede yaşlanmaya bağlı olarak yaşanan tahribat	62
Şekil 2.5. Bir fotovoltaik panelde yaşlanmaya bağlı olarak yaşanan verim kaybı	63
Şekil 3.1. Sıcaklığa bağlı olarak fotovoltaik panellerdeki enerji verimliliği	64
Şekil 3.2. HIT teknolojisini kullanılması ile fotovoltaik paneldeki verim	68
Şekil 3.3. 3 ve 4 baypas diyotlu fotovoltaik panellerdeki verim farkı.....	69
Şekil 3.4. Panasonic VBHN294SJ45 tipi panelin yaşlanmaya bağlı verim kayıpları ..	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Fosil kaynaklarının tahmini rezerv miktarları ve bitiş yılları	5
Çizelge 1.2. Deklinasyon açısının aylara göre hesap edilmesi	38
Çizelge 1.3. Farklı yüzeyler için yansıtma katsayıları	43
Çizelge 3.1. Sıcaklık katsayısı yönüyle Panasonic VBHN294SJ45 tipi panel.....	65
Çizelge 3.2. Metrekare başına en fazla elektrik enerjisi üreten fotovoltaik panel.....	66
Çizelge 3.3. Güç toleransı yönünden fotovoltaik paneller	67



1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı

Fotovoltaik hücrenin yapısını oluşturan yarı iletken malzemenin cinsine göre fotovoltaik paneller çeşitlilik kazanmaktadır. Günümüzde fotovoltaik hücreler silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi elementlerin katkılanması ile oluşmaktadır [1]. Bu türden yapıların seçilmesinin sebebi son yörüngelerindeki değerlikli elektron sayıları ile açıklanabilmektedir. Farklı yapıların katkılanması ile birlikte fotovoltaik hücrelerde çeşitlilik kazanmaktadır. Yapısına göre çeşitlilik kazanan fotovoltaik hücreler International Electrotechnical Commission (IEC) Uluslararası Elektroteknik Komisyonu'nun IEC 60904-3 standart test koşullarına göre bazı fiziksel testlere tabi tutulmaktadır. Bu testlerde fotovoltaik hücrelere 1000 W/m^2 güneş radyasyonu, $25 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta ve 1,5 AM (Air Mass) değerlerinde test edilerek maximum güç değerleri belirlenmektedir [2]. Belirtilen bu test koşulları tüm uluslararası kuruluşlar tarafından kabul görmekte ve üretici firmalarda bu test koşullarına göre fotovoltaik panel imalatını gerçekleştirmektedirler.

Gerçek zamanlı çalışma koşulları ve standart test koşullarındaki altındaki çalışma koşulları çoğu zaman farklılık göstere bilmektedir. Bu durumu sürekli olarak üretici firma ile kullanıcı firma arasında problemlere neden olduğu bilinmektedir. Yapılan bu çalışmada da Ülkemizde faaliyet gösteren fotovoltaik panel yerli üretici firmaların kendi laboratuvarlarındaki test ettikleri fotovoltaik panellerin sahadaki güneş enerjisi santrallerindeki performansları arasındaki enerji verimlilikleri araştırılmaktadır. Farklı üretici firmalardan alınan fotovoltaik panellerin verimlilikleri incelenerek detaylı analizleri yapılmakta ve verim başta olmak üzere fotovoltaik paneller detaylıca incelenmektedir. Bunun için Gaziantep, Kayseri ve Ankara merkezli üretici firmalar ile görüşülerek bu firmaların ürettikleri fotovoltaik paneller incelenmiştir.

1.2. Literatür Taraması

Fotovoltaik paneller üzerine yapılan çalışmalar çok olarak görünse de bunları bir bütün halinde incelemesinin yapılmadığı görülmektedir. Ayrıca güneş enerjili santrallerin

bulunduğu sahalarda fotovoltaik panellerin göstermiş olduğu performans ile test koşulları altındaki performansını ayırıştırın nedenler ve ülkemizde üretimi yapılan fotovoltaik panellerin sahadaki gerçek zamanlı çalışmaları üzerine çalışma yapılmamaktadır. Yapılan literatür çalışmalarında fotovoltaik paneller üzerine yapılan ve öne çıkan çalışmalar fotovoltaik hücrenin yapısını oluşturan yarı iletken malzemenin katkılanması üzerine İsmail Kabaçelik (2015)'de Akdeniz Üniversitesinde yapmış olduğu “Fotovoltaik Uygulamalar İçin Germanyum Güneş Pillerinin ve Germanyum İnce Filmlerin Üretilmesi ve Karakterizasyonu” adlı doktora tezi çalışmasıdır. Bu çalışmada çoğu güneş pilinin yapısını oluşturan silisyumlu hücrelerin yerine germanyum katkılanmasını sağlayarak güneş pillerinden maximum verimin alması hedeflenmiştir. Farklı konsantrasyonlarda yapılan katkılanma ile fotovoltaik hücre parametreleri olan I_{sc} ve V_{oc} değerlerinde artışın olduğu gözlenmiştir [3].

Yine bir doktora tezi olan Gökay Bayrak (2013)'de yapmış olduğu “Şebeke Bağlantılı Bir Fotovoltaik Sistemin Tasarımı ve Farklı Şebeke Koşulları Altında Analizi”, adlı çalışmada fotovoltaik panellerinin oluşturduğu dizilerin önemi üzerinde durularak fotovoltaik sistemin şebeke ile olan çalışma dengesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmada 1 kWp bir güneş enerjisi santrali kurulumu gerçekleştirilerek yüksek güç kalitesini sağlamak için sistem-şebeke-yük arasındaki gerilimin, akım ve frekans değişimlerine karşı oluşturulan kontrol devresi ile devre parametrelerinin incelenmesi yapılmaktadır. Böylelikle gerçek zamanlı ve hızlı bir şekilde devrede oluşan anormal durumlar gözlemlene bilmektedir [4].

Fotovoltaik panellerin çalışma koşullarına yönelik olarak etki eden parametrelerin belirlenmesi için Yusuf İşiker, Bülent Yeşilata ve Hüsamettin Bulut (2006)'da yaptığı bir çalışmada panel yüzey sıcaklığı, panel eğim açısı, elektriksel yüke ait direnç değerlerinin fotovoltaik panelin çıkış gücüne olan etkileri deneysel olarak analiz edilmektedir. Yapılan ölçümlerde panel yüzeyinin farklı noktalarında sıcaklık farkının 7-8 °C çıktığı gözlemlenmiştir [5].

Fotovoltaik panellerin modellenmesine yönelik olarak yapılan bir çalışmada, fotovoltaik panellere yönelik olarak verilen açık devre gerilimi (V_{oc}), maksimum güç noktası akımı (V_s), kısa devre akımı (I_{sc}), maksimum güç noktası voltajı (V_m), gibi bazı

elektriksel değerler hariç fotovoltaik modüllerin maximum güçlerine (P_M), yönelik olarak detaylı açılama yapılmadığı belirtilmektedir. Shah Rahman, Rajiv K. Varma, Tim Vanderheide (2014)'de yaptığı çalışmada fotovoltaik hücrenin seri direnci (R_s), fotovoltaik hücrenin şönt direnci (R_{sh}) ve ideal diyot faktörü (n), detaylandırılarak açıklaması yapılmıştır. Böylelikle elde edilen elektriksel parametrelerin IEC 60904-3 verilen test koşullarına göre analiz edilmesinin kolaylaştığını ortaya koyarak standart dışı yapılan üretimlerin ortaya çıkarılmasını hedeflemektedirler [6].

Uluslararası dergide Yayınlanan Figen Balo ve Lütfü Şağbanşua (2016)'da yazmış olduğu AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) "AHP'yi Kullanarak Fotovoltaik Sistem Tasarımı İçin En İyi Güneş Paneli Seçimi" adlı bir makale çalışmasında güneş enerjisi santraline uygun çok yönlü bir değerlendirme yaparak, uygun panelin seçilmesi için yapılan; on beş elektrik kriterinin belirlendiği, üç mekanik, üç ekonomik, üç müşteri ve iki çevre etkeni göz önünde bulundurularak fotovoltaik panellerin seçildiğini belirtmişlerdir [7].

Fotovoltaik panellerin hücre verimliliğini artırmak için J. Praveen V. Vijaya Ramaraju (2017)'de yapmış olduğu "Fotovoltaik Panellerin Verimini İyileştirmek için Malzemeler" adlı makale çalışmasında Kadmiyum-Telluride (CdTe), Galyum nitrat (GaN), Silisyum-Galyum-Arsenit (SiGaAs), Germanyum (Ge), İndiyum Fosfor (InP), Silisyum Hidrojen (SiH), Karbon Silisyum (CSi) gibi farklı malzemelerin seçimi yapılarak bant aralığında değişimlere bağlı fotovoltaik hücrelerin verimliliğindeki değişimler gözlemlenmiştir. Farklı tip malzemelerin kullanılması ile birlikte güneş ışınımını daha iyi kullanan malzemelerin belirlenmesine çalışılmaktadır [8].

Sahada bulunun güneş enerjisi santrallerinde fotovoltaik panellerin sıcaklık etkeninin azaltılması için yapılan bir makale çalışmasında fotovoltaik paneller sığ su içerisine daldırılarak verimlilik testlerinin yapıldığı görülmektedir. Rosa-Clot, Rosa-Clot, G Tina, ve Scandura (2010)'da yapmış olduğu "Submerged Photovoltaic Solar Panel: SP2 (Batık Fotovoltaik Güneş Paneli)" adlı çalışmada analizlerinin yapıldığı ve verimlerinde artış olduğu tespit edildiği vurgulanmıştır [9].

1.2.1. Fosil Enerji Kaynakları

Yaşantımızın temelini oluşturan ve sanayi devriminin gerçekleşmesi ile birlikte her geçen gün artan enerji talebi, çok eski çağlarda yerin çeşitli derinliklerinde birikmiş olan ve fosil olarak adlandırılan maddelerin çeşitli aşamalardan geçirilmesi ile elde edilmektedir. 1900'lü yıllara kadar bu enerji kaynaklarının tüm insanlığın enerji talebini karşılayacağı ön görülse de dünya nüfusundaki artışlar ve sonraki yıllarda çıkan petrol krizleri bu durumun değişmesinde etken oluşturmuşlardır. Temel etken ise bu kaynakların gereğinden daha hızlı bir şekilde tüketilmesi ve fosil kaynaklarının kendisini yenileme sürelerinin çok uzun yıllar almasıdır. Temel enerji kaynağımızı oluşturan fosil kaynakları ise; Petrol, kömür ve doğalgaz olarak sıralanabilir [10].

1.2.1.1. Petrol

Milyonlarca yıl öncesinden yeryüzünde var olan bitki ve hayvan kalıntılarının deniz diplerinde birikmesi sonucunda meydana gelen ve zamanla üzerlerinin örtülmesi ile yer katmanları arasında sıkışıp kalmış olan atıklar petrol olarak nitelendirilebilir. Birleşiminde çeşitli gazları barındıran bu yakıt türü daha çok III. jeolojik zamanda oluşmuş olan arazilerde rastlamak mümkündür.

1.2.1.2. Kömür

I. jeolojik zamanda olduğu tahmin edilen kömür, fosil kaynaklarının taşlaşması sonucunda katı halde bulunan yakıt türüdür. İlk olarak Çinliler tarafından keşfedildiği düşünülen kömür, dünyanın birçok ülkesinde çıkarılmaktadır. Bu enerji kaynağının en büyük sorunu ise çevreyi çok yoğun olarak kirletmesidir.

1.2.1.3. Doğalgaz

Petrolün bir alternatifi olarak ortaya çıkan doğal gaz özellikle 1970'li yıllardaki petrol krizinden sonra oldukça sık kullanılmaya başlayan bir üründür. Sıkıştırılarak kullanılması ve petrolden farklı alanlarda da çıkıyor olması sanayide kullanımının önünü açmıştır. Çevreyi diğer fosil kaynaklarına göre daha az kirletmesi de tercih edilmesindeki bir diğer nedendir [11].

1.2.2. Dünyadaki Fosil Enerji Kaynakları Rezervi

Günümüzdeki enerji kaynaklarının temelini oluşturan fosil enerji kaynaklarının kaynağının sınırsız olmadığını ve bu kaynakların kendilerini yenilemelerinin ise uzun yıllar alacağı bir önceki sayfada belirtilmiştir. Uluslararası kuruluşlar tarafından uzun yıllar süren araştırmalar neticesinde fosil kaynaklarının rezerv miktarları ve tahmini biteceği yıllar çizelge 1.1’de verilmektedir.

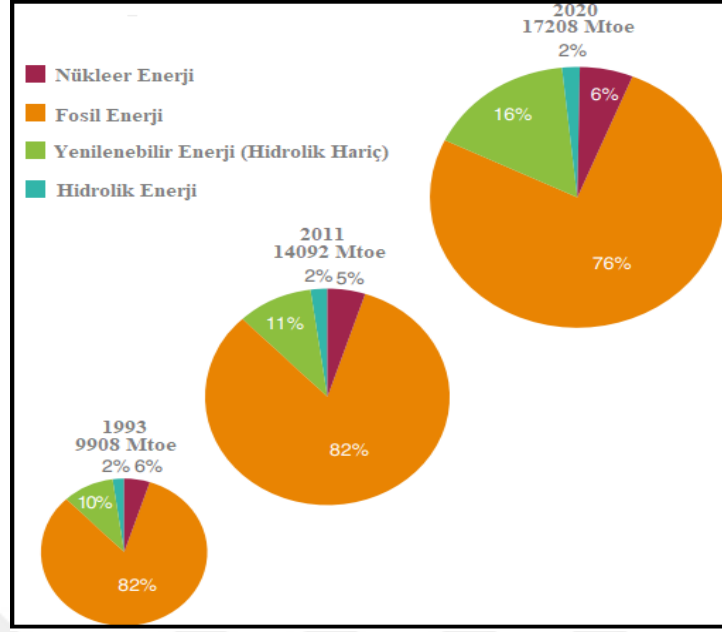
Çizelge 1.1. Fosil kaynaklarının tahmini rezerv miktarları ve bitiş yılları [12]

Kaynaklar	Rezerv Oranları	Tahmini Bitiş Yılları
Kömür	1139 milyar ton	2169
Doğal Gaz	187 trilyon m ³	2068
Ham Petrol	1707 milyar varil	2066

Çizelge 1.1’de görüldüğü gibi fosil kaynakları içerisinde kömürün rezerv oranının 1139 milyar/ton olduğu ve rezerv miktarının biteceği yılın 2169 yılı olacağı, doğal gaz rezerv miktarının 187 trilyon/m³ olduğu ve rezervlerinin biteceği yıl olarak 2068 olacağı ve ham petrolün de 1107 milyar varil rezervi olduğu ve 2066 yılında biteceği görülmektedir. Bu kaynakların sınırsız olmadığı ve yakın bir gelecekte tükeneceği açıkça görülmektedir.

1.2.3. Enerji Kaynaklarının Kullanım Oranları

Fosil kaynaklarının rezervlerindeki bu durum ve çevresel etkileri düşünüldüğünde enerji kaynaklarında bir değişimin yaşanması gereklilik haline gelmektedir. Gelişmiş ülkelerin uyguladıkları enerji politikaları ve fosil kaynaklarına karşı alternatif olarak düşünülen enerji kaynaklarına bakıldığında ise çözüm olarak yenilenebilir enerji kaynakları görülmektedir. Fosil kaynaklarının rezervlerine yönelik olarak uzun yıllar çalışmaların yapılmaması ve teknolojik gelişmeler, yenilenebilir enerjinin hızlı gelişmesine engel olmuştur. Bunun ile birlikte son yıllardaki gelişmelere bakıldığında bu enerji kaynaklarının kullanımına bağlı olarak ortaya çıkan değişim oranları World Energy Council (Dünya Enerji Konseyi) 2013 yılında yayınlamış olduğu raporda verilmektedir. Şekil 1.1’de Dünya Enerji Konseyinin enerji kaynaklarını kullanım oranlarındaki değişim verilmektedir.



Şekil 1.1. Enerji kaynaklarını oranlarındaki değişim [13].

Şekil 1.1’de görüldüğü gibi yenilenebilir enerji kaynakları 1993’de %10 seviyelerinde iken bu oranın 2020’de %16’ya çıkacağı ön görülmektedir. Fosil kaynaklarında ise 1993’de %82’lik bir paya sahip iken 2020’de %76’ya gerileyeceği ön görülmektedir. Nükleer Enerjinin %2 dolaylarında ve Hidrolik enerjisinin de %5 - %6 civarlarında kalacağı ön görülmektedir. Bunun ile birlikte bazı Avrupa ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarını bir ülke politikası haline getirmek için fosil tabanlı enerji kaynaklarını sınırlamanın yollarını aramaktadırlar [14].

1.2.4. Yenilenebilir Enerji ve Kaynakları

Yenilenebilir enerjiyi genel olarak; kendisini kısa sürede yenileyen, sürekli olarak yenilenen ve kaynağı tükenmeden kendisini yenileyen enerji kaynakları olarak tanımlanabilir. Bu enerji kaynakları fosil tabanlı enerji kaynaklarına göre çevreyi ve atmosferi daha az kirleten enerji kaynaklarıdır. Farklı türlerinin bir araya getirilmesi ile çeşitlense de temelde yenilenebilir enerji kaynakları hidrolik, rüzgâr, biyokütle, güneş, jeotermal ve okyanus akıntıları olarak sıralanabilir [15].

1.2.4.1. Hidrolik enerjisi

Bir kaynaktan çıkan suyun akış hızına bağlı olarak elde edilen enerji türüne hidrolik enerjisi denir. Diğer bir deyişle suyun potansiyel enerjisini elektrik enerjisine dönüştürme

olayıdır. Yüksek bir noktandan düşük bir noktaya borular vasıtasıyla suya gerekli hızı kazandırılması sonucunda sudaki potansiyelin pervaneler yardımı ile jeneratöre geçerek elektrik enerjisi elde edilmesi olayıdır. Dünya çapında en yaygın kullanılan yenilenebilir enerji kaynağıdır [13-16].

1.2.4.2. Rüzgâr enerjisi

Farklı sıcaklıklardaki hava kütlelerinin yer değiştirmesi sonucunda oluşan veya farklı hava basınçlarının yer değiştirmesi sonucunda açığa çıkan enerji türü rüzgâr enerjisi olarak adlandırılabilir. Farklı atmosferik şartlar ile coğrafi şartlar rüzgâr enerjisinin potansiyelini değiştirmektedir [17]. Rüzgârda enerjiyi oluşturan parametreler hız ve yön olarak söylenebilir. Kurulum maliyetinin yüksek olmasına karşı temiz ve çevreci olması büyük avantaj sağlamaktadır.

1.2.4.3. Biyokütle enerjisi

İnsan nüfusundaki hızlı artış ile birlikte gelişen sanayi çevre sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Doğa içerisinde oluşan bitkiler, yosunlar, otlar, algler, hayvan atıkları, gübre ve sanayi atıkları, evlerden atılan tüm organik çöpler biyokütle enerjisinin kaynağını oluşturmaktadır. Bu atıkların hem çevreden arındırılması hem de enerjiye dönüştürmesi biyokütle enerjisini meydana getirmiştir. Çevre kirliliğine karşı da büyük önem arz etmektedir [18].

1.2.4.4. Güneş enerjisi

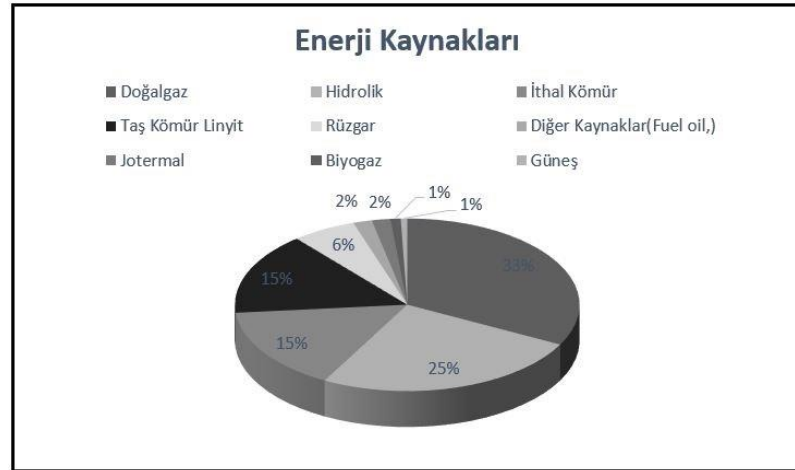
Güneş enerjisi, güneşte meydana gelen füzyon süreci sonucunda açığa çıkan enerji denilebilir. Güneş enerjisinin çok küçük bir şiddeti dahi insanlığın mevcut kullanmış olduğu enerji türünden kat kat fazla bir değere sahiptir. İnsanlığın var olmasından bu yana kullanılan güneş enerjisi teknolojik gelişmelerin de yaşanması ile elektrik enerjisine dönüştürülerek de kullanılmaktadır. Her gün kendisini yenilemesi ve çevreci bir enerji olması kullanımını cazip hale getirmektedir [19].

1.2.4.5. Jeotermal ve okyanus akıntı enerjisi

Jeotermal, yer kürenin farklı derinliklerinde birikmiş olan sıcak su, buhar ve gazların genel adıdır. Jeotermal enerji dediğimiz ise yerin farklı derinliklerinde birikmiş olan bu sıcak su, buhar ve gazların direk veya dolaylı yollarla kullanılmasıdır. Jeotermal enerjinin tercih edilmesindeki bir diğer neden ise yenilenebilir, ucuz, güvenilir, çevreci ve tükenmez bir enerji kaynağı olmasıdır [20]. Aynı şekilde okyanus akıntılarının da potansiyelinden faydalanılarak enerji elde edilmesi temiz ve güvenilir bir enerji kaynağı olarak görülmektedir.

1.2.5. Ülkemizin Yenilenebilir Enerji Profili

Fosil enerji kaynakları bakımından fakir olan ülkemiz, yenilenebilir enerji kaynakları bakımından ise oldukça zengin bir ülke konumundadır. Teknolojik gelişmelerin hızlanması ve farklı kaynaklardan elektrik enerjisi elde edilmesinin maliyetindeki düşüşler ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmaktadır. Bu bakımdan yenilenebilir enerji kaynakları noktasında zengin olan ülkemiz bu kaynakları etkin kullanmanın arayışına girmiştir. Fosil ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisine ait değerler Şekil 1.2.'de verilmektedir.



Şekil 1.2. Fosil ve Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı [21]

Hidrolik enerjisinde kullanılan su gücünü oluşturan su kaynakları ülkemizde önceleri tarım sulamasında kullanılmaktaydı. Dünyanın ortalama yükseltisinden daha yüksek olan ülkemiz su kaynaklarının etkin bir şekilde kullanmak için kurulan hidroelektrik

santrallerine yönelik olarak ilk çalışmaları 1902 yılında Mersin ilinin Tarsus ilçesinde 2 kW güce sahip bir hidroelektrik santrali kurarak başlatmıştır. Sonrasında İstanbul Silahtarağa 'da ikinci bir hidroelektrik santrali kurarak bu gelişimini sürdürmüştür.

Cumhuriyetin kurulduğu 1923 yılındaki toplam elektrik enerjisi gücümüz 33 MW değerinde idi. Bu bağlamda yıllık olarak ise 45 milyon kWh elektrik enerji üretimi gerçekleştirilmiştir. Sonraki yıllarda İller Bankası, Etibank ile birlikte elektrik enerjisi üretimini üstlenmişleridir. Sonrasında Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) ve Devlet su İşleri (DSİ)'nin kurulması ile birlikte hidrolik enerjisi üretimi ve dağıtımını belirli bir düzen çerçevesinde ilerlemiştir.

1950'li yıllara gelindiğinde ülkemizdeki toplam elektrik enerjisi üretimi 408 MW seviyesine ulaşmış hidrolik enerjisinin payı ise 18 MW olmuştur. Yüzdeler olarak ise üretimdeki payı % 4,4'de kalmıştır. Bu yıllarda kurulan Devlet Su İşleri (DSİ), üretilen toplam elektrik enerjisinin % 44'de sorumlu hale gelmiştir [22]. Sonraki yıllarda kurulan 1958 Aydın/Kemer Barajı ve hidroelektrik santrali, 1959 Kırşehir/Hirfanlı Barajı ve hidroelektrik santrali 1960 Manisa/ Demirköprü Barajı ve hidroelektrik santrali o yıllarda kurulan en büyük hidroelektrik enerji santrallerindedir. 1970 yılında kurulan Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) elektrik enerjisinin üretimi, iletimi dağıtımının yapıldığı kurum haline gelmiştir. TEK'in kurulmasından sonra 1972 yılında Eskişehir yakınlarındaki bulunan Gökçekaya barajı inşa edilmiştir [23]. Bundan sonraki yıllarda ise DSİ ve TEK birlikte hidroelektrik santrali yapmışlardır.

Serbest Piyasa ekonomisinin başladığı 2003 yılında yürürlüğe giren Su Kullanımı Yönetmeliği ve 2005 yılında yayımlanan 5356 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun (YEK) çıkarılmıştır. Böylelikle özel sektörde hidroelektrik santrali kurabilmesinin önü açılmıştır [20].

Bir diğer kaynak olan rüzgâr enerjisi ise ülkemizde tercih edilen yenilenebilir enerji kaynakları arasında ikinci sırada bulunmaktadır. İlk santralin kurulduğu 1998 yılından sonra bir süre durağan bir şekilde devam eden rüzgâr enerjisi piyasası 2005 yılında yayımlanan Yenilenebilir Enerji Kanunu ile birlikte rüzgâr enerjisinden gelişmelerin yaşanmasında etkili olmaktadır. Bu gelişmeler üzerine Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'nce 2006 sonunda 'Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası'nı

yürütülen bu çalışmalara yönelik kuruluşun ülkemizdeki jeotermal kaynakları gösteren haritası Şekil 1.4’de verilmektedir [26].



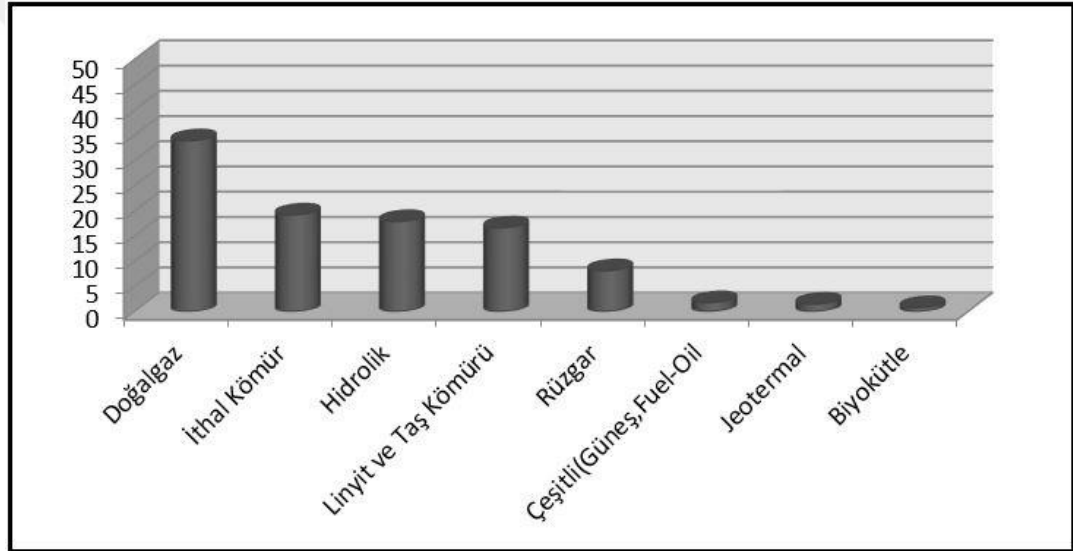
Şekil 1.4. Ülkemizde jeotermal ve sıcak su kaynaklarının bulunduğu yerler [27]

MTA tarafından hazırlanan haritada da görüldüğü gibi ülkemiz jeotermal enerji yönünden oldukça zengindir. 2005 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nca yürütülen çalışmalar neticesinde jeotermal enerji kullanımının artırılması sağlanmıştır. 1962 yılından 2005 yılına kadar olan dönemde 2730 MWT ısı kapasitesi olan jeotermal enerjide 2005 yılı ile 2010 yılı arasında bu değerler 3881 MWT ısı kapasitesine ulaşmıştır. 2015 yılına gelindiğinde ise 592 adet jeotermal enerji sahasında 5000 MWT’lık ısı kapasitesine ulaşılmıştır [27].

Ülkemizde jeotermal enerjiyi oluşturan bölgeler sırasıyla; %78 ile Batı Anadolu Bölgesi, %9 İç Anadolu Bölgesi, %7 Marmara Bölgesi, %5 Doğu Anadolu Bölgesi ve % 1 diğer bölgeler oluşturmaktadır. Ülkemizde çıkarılan jeotermal enerjinin büyük bir kısmı; termal kaplıca, ısıtma ve mineral üretimi için kullanılırken ancak %10’u kadarı elektrik enerjisine dönüştürülmektedir [27]. Bunun nedeni ise bu sahalarda elde edilen ısı gücünün 60 °C dolaylarında olmasıdır.

Biyokütle enerjisinin üretim yöntemlerine baktığımızda; hayvansal atıklar, bitkisel atıklar ve kentsel organik atıkları görmekteyiz. Ülkemizde bu atıkların bol miktarda bulunması bu alanda çalışmalar yapılmasında etkili olmuştur. Biyokütle enerjisine olan ilginin önceki yıllarda düşük olması ve yeterli araştırmaların yapılmaması, biyokütle enerjisinin

diğer yenilenebilir enerji kaynakları arasında kullanımının çok düşük olmasına neden olmuştur. 2011 yılının sonuna gelindiğinde toplam kurulu gücümüz 52.911 MW olurken bu oranın içinde biyokütle enerjisinin kurulu gücü 115 MW olarak ölçülmüştür. 2016 yılı Ekim ayına gelindiğinde ise 2.097 olan santrallerimizde sağlanan kurulu gücümüz 78.000 MW olurken bu oranın içerisinde biyokütle enerjisi üretmek için kurulmuş 72 santralde kurulu gücü 395 MW olarak gerçekleşmiştir. Ülkemizde elektrik enerji üretim kaynaklarına baktığımızda ise ilk sırada %33,91 ile büyük bir kısmını ithal ettiğimiz doğalgaz enerjisi bulunmaktadır. Biyokütle enerji %0,85 elektrik enerjisi üretimi oranı ile son sırada yer almaktadır. Şekil 1.5’de elektrik enerjisi üretiminde kaynakların kullanım oranı ve biyokütle enerjisinden elektrik enerjisi üretim oranı gösterilmiştir [21].

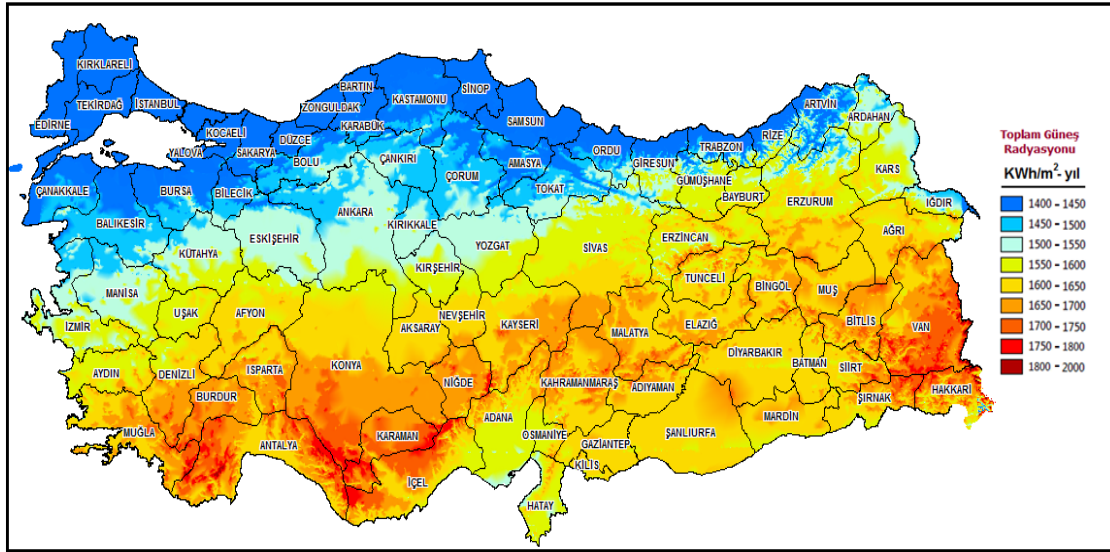


Şekil 1.5. Ülkemizde elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı [26]

Biyokütle enerjisinin illere göre dağılımına baktığımızda ise sanayi atıkları ve evsel atıkların çok olduğu illerde biyokütle enerjisinin daha çok üretildiği görülmektedir. Bu illerimiz sırasıyla; Ankara (63,67 MW), İstanbul (53 MW), Samsun (37 MW), Balıkesir (29,90 MW), Konya (22,30), Bursa (18,05 MW), Çanakkale (15 MW) üretim kapasitesi ile en büyük paya sahip olan illerimizdir [21].

Dünyamızın ısı ve ışık kaynağı olan güneş sahip olduğu enerji değeriyle dünyanın en fazla enerji sağlayan kaynağı konumundadır. Bu kaynağın kullanımında ise iki yol tercih edilmektedir. Bunlardan birincisi olan güneş kolektörleri sayesinde sıcak su elde etme,

ikincisi ise ışık gücünden faydalanılarak elektrik enerjisi elde edilmesi olayıdır. Fotovoltaik paneller adı verilen sistemler sayesinde güneş enerjisi aktif elektrik enerjisi haline gelebilmektedir. Teknolojik gelişmelere bağlı olarak gelişen güneş enerjisi sistemlerinde 2000’li yılların öncesinde ülkemizde bu alanda çok fazla çalışmanın yapılmadığı görülmektedir. 2000’li yılların sonrasında Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE), Enerji Kaynakları Etüt Dairesi Başkanlığı, Güneş Enerjisi Şubesi bünyesinde başlayan araştırma, geliştirme, bilgilendirme çalışmalar yürüten bu kurum 2 Kasım 2011’de yeni kurulan Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü’ne (YEGM) ile birlikte güneş enerjisi aktif kullanılması konusunda yoğun çalışmalara yapılmaya başlanmıştır. Kurum tarafında ülkemizdeki güneş enerjisi potansiyelini ortaya çıkarmak için yapılan faaliyet raporlarında ülkemizin coğrafi bölgelere göre ışınlam değerlerini gösteren güneş enerjisi potansiyeli atlası hazırlanmıştır. Böylelikle ülkemizdeki güneş enerjisinin etki alanları rahat bir şekilde gözlemlenebilmektedir. Hazırlanan Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası Şekil 1.6’de verilmektedir.



Şekil 1.6. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli atlası [24]

Bu araştırmalara göre ülkemizdeki toplam güneşlenme süresi 2737 saat olup günlük ortalama 7,5 saat değerindedir. Ülkemize gelen güneş enerjisi ise günlük 4,2 kWh/m² ve yıllık olarak da 1527 kWh/m² değerindedir [24]. Haziran 2016 yılındaki verilere göre ülkemizdeki toplam güneş enerjisi santrali sayısı ise 673 adet olarak gözükmektedir.

1.2.6. Güneş Enerjili Elektrik Santrallerine Giriş

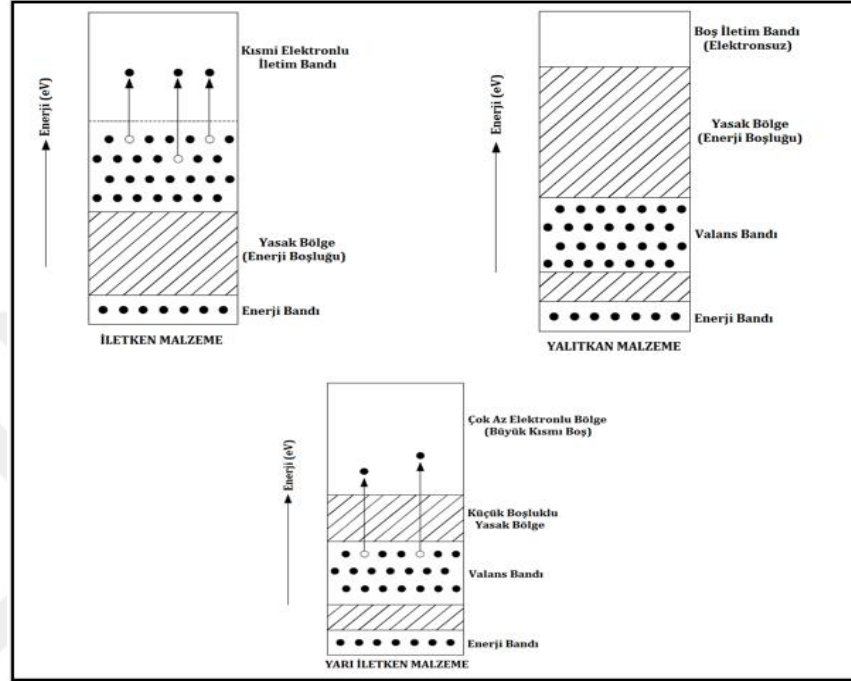
Güneş enerjili elektrik santralleri temelde güneşten almış oldukları ışınımı elektrik enerjisine çeviren sistemler olarak tanımlanabilir. Güneş enerjili elektrik sistemlerinin çalışabilmesi için sistemin en önemli ekipmanı olan fotovoltaik panellerin yapısı ve çalışma prensiplerinin bilinmesi gerekmektedir. Yapılan bu çalışmada da öncelikli olarak fotovoltaik panelin yapısını oluşturan fotovoltaik hücre irdelenerek yapısını oluşturan yarı iletken kavramı üzerinde durulmuştur. Yarı iletken kavramı ile birlikte güneşten gelen ışınların soğurulmasını sağlayan foton etkisi açıklanmıştır. Sonrasında fotovoltaik hücrenin çalışma prensibi üzerinde durularak, hücrenin modellenmesi yapılmaktadır. Tek diyotlu ve çift diyotlu eş değer devre modelleri verilerek kısa devre akımı, açık devre gerilimi ve maximum güç noktası açıklanmıştır. Fotovoltaik hücrenin içerisine katılan yarı iletkeninin maddenin yapısına göre farklı tipteki fotovoltaik panel çeşitleri verilmektedir. Güneş enerjili bir fotovoltaik santral için gerekli ekipmanlar ve bu ekipmanların görevleri verilerek, güneş enerjili elektrik santrallerindeki şebeke tipleri verilmektedir. Fotovoltaik sistemin çalışmasını sağlayan güneş ışınlarının en iyi şekilde fotovoltaik panele yansması için güneş konum hesabı detaylıca açıklanmıştır. Yapılan bu tez çalışmasının konusunu oluşturan verim kavramı ise birçok farklı yönden irdelenerek verimin artırılmasına yönelik olarak geniş açıklamalara yer verilmiştir. Öncelikli olarak güneş enerjili elektrik santrallerinde verim ölçüm kriterleri açıklanmış olup verimin artırılmasına yönelik olarak yapılabilecek işlemler verilmektedir. Farklı türden malzemelerin kullanılması, yüzey sıcaklık etkisi ve foto açsal etkenler ile verimin artırılması üzerinde durulmuştur. Bunun yanında güneş enerjili elektrik santrallerinde verim kaybına yol açan etmenler sıralanarak bunların oluşturduğu kayıplar verilmektedir. Örnek bir santral olarak çalışmamızın ana konusunu oluşturan Panasonic firmasına ait olan fotovoltaik panel saha da incelenerek yukarıda saydığımız verimin artırılmasına yönelik olarak yapılan çalışmalar sahadaki fotovoltaik panel üzerinde de incelenmiştir. Sonuç olarak yapılan gözlem ve elde edilen bulgulara verilerek güneş enerjili elektrik santrallerinde verim kavramı detaylıca açıklanmıştır.

1.2.7. Yarı İletken Teknolojisi Ve Fotovoltaik Sistemler

1.2.7.1. Yarı iletken

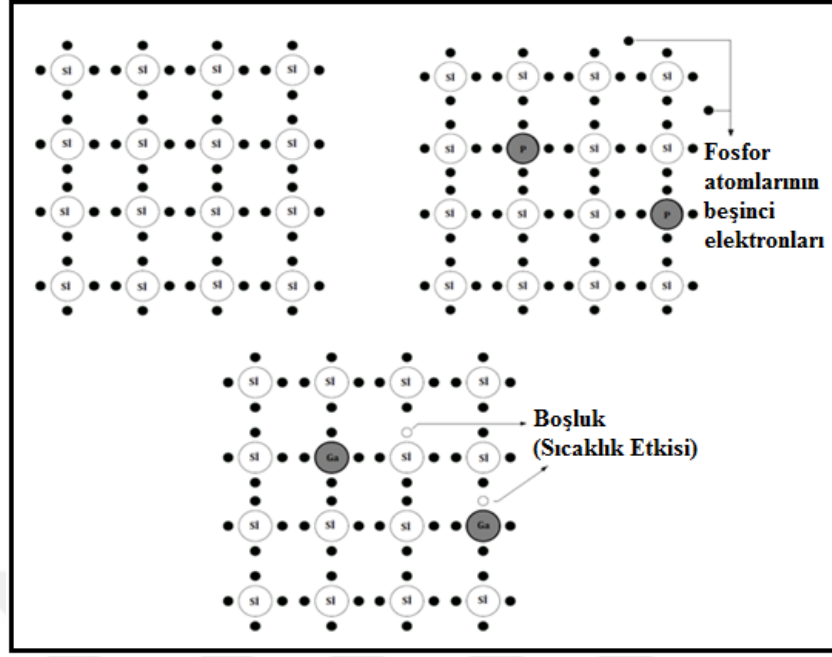
Maddenin yapı taşını oluşturan atom, içinde organize taneciklerin olduğu çekirdek ve çekirdeğin yörüngesinde devinen elektronlardan meydana gelmektedir. Bu çekirdek kimyasal olarak bir elementin bütün özelliklerini taşıyan ve içerisinde pozitif yüklü proton ve yüksüz olarak bulunan nötronlardan oluşmaktadır. Planck ve Borh tarafında geliştirilen Kuantum teorisine göre her bir elektron birbirinden farklı olan ayırık enerji seviyelerine sahiptirler. Bu enerji seviyeleri rasgele bir değerde olmazlar. Atomun çekirdeğinde bulunan pozitif (+) yüklü protonlar, atomun yörüngesinde belirli bir enerji seviyesinde bulunan eksi (-) yüklü elektronlara bir çekim kuvveti uygulamaktadır. Atomun çevresindeki bir enerji seviyesi çekirdeğe yakınlığı kadar enerji seviyesi düşük olmaktadır. Bu durumda o enerji seviyesindeki elektronlarda düşük enerji düzeylerine sahip olmaktadırlar. Çekirdeğe uzak olan elektronlar ise enerji seviyeleri de yüksek olmaktadır. Çekirdeğe yakın olan elektronlar çekirdek tarafından daha güçlü çekilirken, çekirdekten uzaklaştıkça elektronların çekilme kuvveti de azalmaktadır. Buna bağlı olarak elektronun yörünge çapı artıkça enerji seviyesi de artmaktadır. Elektronlar içerisinde enerji seviyeleri yakın olanlar belirli bir enerji bandında bir araya gelmektedirler ve bu durum kabuk olarak adlandırılmaktadır [28]. Farklı enerji seviyesindeki elektronların aynı kabuk seviyesinde bir araya gelmesi ile arada kalan boşluklar ise enerji boşluğu veya yasak bölge olarak adlandırılmaktadır. Bu bölgede elektron bulunmaz. En dış kısımda bulunan kabuk valans bandı olarak adlandırılır ve bu bant üzerindeki elektronlara valans elektronu denir. Her bir atom elektron sayısına bağlı olarak kabuk sayısı değişmekte ve bu kabuktaki elektron sayısı da değişiklik göstermektedir. Bir yörüngede bulunan kabuktaki elektron sayısı $2n^2$ formülüne göre hesaplanmaktadır. Kabuklar K($2e^-$), L($8e^-$), M($18e^-$), N($32e^-$), O($50e^-$), P($72e^-$), Q($98e^-$), olarak adlandırılmaktadır. Son valansdaki elektron sayısı $n_e < 4$ ise iletken özellikte, $n_e > 4$ ise yalıtkan özellikte ve $n_e = 4$ değerinde ise yarı iletken özelliğe sahiptirler. Dışarıdan bir enerji uygulandığında valans elektronları atomun çekim etkisinden çıkarak serbest elektron haline gelirler. Fakat valans bandında bulunan elektronun 8 elektronu var ise bu atom diğer atomlar ile elektron alış-verişi yapmaz [29]. Elektron hareketine bağlı olarak bir atom elektron alırsa negatif iyon haline, elektron verir ise pozitif iyon haline

geçmektedir. Pozitif iyondan dolayı oluşan serbest elektronlar çekirdeğin etkisi ile bir üst enerji seviyesi olan iletim bandına geçiş sağlar ve böylelikle dış etkiler olan elektrik enerjisi, ısı ve ışık enerjisinden etkilenirler. Şekil 1.7’de İletken, Yalıtkan ve Yarı iletken tipi malzemelerin enerji bant gösterimleri verilmektedir.



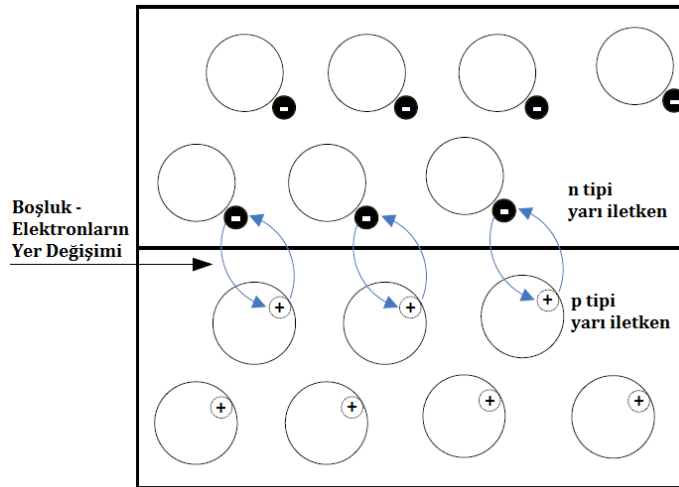
Şekil 1.7. İletken, Yalıtkan ve Yarı iletken tipi malzemelerin enerji bant gösterimleri

Oluşan bu yarı iletken malzemeler valans banlarında ilave elektronlar bulundurursa bu tip malzemeler n tipi yarı iletkenleri oluştururlar [30-32]. Örneğin; dış yörüngelerinde 4 elektron bulunduran Silisyum elementine valans elektron sayısı 5 olan fosfor, bizmut, antimon elementlerinden az miktarda eklenmesi ile n tipi malzemeleri oluştururlar. Yani Fosfor atomunun dış yörüngesinde bulunan 1 elektronu kristal yapıya vermesi sonucunda n tipi malzeme oluşur. Burada Fosfor verici tip malzemeyi oluşturmaktadır. Aynı şekilde Silisyum elementine valans elektron sayısı 3 olan Boron, İndiyum, Galyum ve Alüminyum gibi elementlerin az miktarda eklenmesi ile de p tipi malzemeler oluşmaktadır [33, 34]. Şekil 1.8’de n tipi ve p tipi malzemelerin oluşturdukları kovalent bağ yapıları verilmektedir.



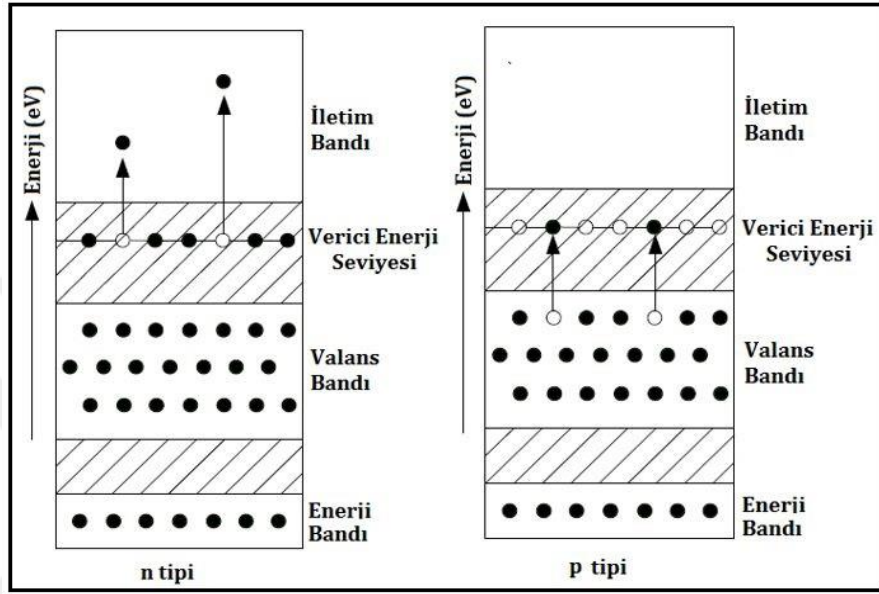
Şekil 1.8. Silisyum atomlarına Fosfor ve Galyum eklenmesi

Silisyum atomlarına katkılanması ile ortaya çıkan n tipi ve p tipi malzemelerin bir araya getirilmesi ile p-n jonksiyonu oluşmaktadır. Bu birleşim sonucunda n tarafında bulunan fazla elektronlar p tarafına doğru harekete geçmektedir. P tarafındaki delikler ise n tarafına doğru yayılmaktadır. Bu sayede n tarafı pozitif yüklerle yüklenirken p tarafı da negatif yükler ile yüklenmektedir. Negatif yükler ile yüklenen p tarafından n tarafına elektron akışı sınırlı olmakla birlikte n tarafından p tarafına doğru elektronların geçişi ise oldukça kolay olmaktadır. Bu durumda p-n joksiyonunun bir diyot gibi çalıştığı söylenebilir. Şekil 1.9’da p-n jonksiyonu birleşimi gösterilmektedir [35].



Şekil 1.9. p-n jonksiyonu birleşimi

N tipi yarı iletken içerisinde barındırdığı fazla elektronları çıkardığı için verici tip yarı iletken olarak adlandırılırken, p tipi yarı iletken ise elektron alıcı özelliğinden dolayı alıcı tip olarak adlandırılmaktadır. Bu iki tip iletkenin şematik gösterimi ise Şekil 1.10'da verilmektedir.



Şekil 1.10. n tipi verici ile p tipi alıcı yarı iletkenlerin şematik gösterimleri

1.2.7.2. Foton enerjisi ve fotovoltajik etki

Bir fotovoltajik etkinin oluşabilmesi için öncelikli olarak foton enerjisinin bilinmesi gerekmektedir. Foton, Einstein'ın açıklamasına göre ışık enerjisinin tanecikler halinde yayılması olayıdır. Kütleli olmadığı gibi ışık hızında hareket eden foton etkileşimlere parçacık halinde girip dalga halinde yayılım göstermektedir [36]. Fotonun sahip olduğu enerji ise Denklem 1.2.1'de verilmektedir.

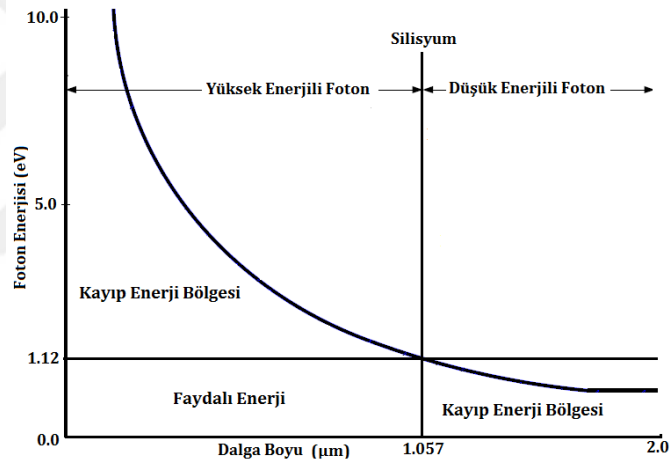
$$E = hv \rightarrow v = \frac{c}{\lambda} \rightarrow E = hv = h \frac{c}{\lambda} \quad (1.2.1)$$

Fotonun sahip olduğu enerji frekans ile doğru dalga boyu ile ters orantılıdır. Foton enerjisi de çok küçük değerlere sahip olmasından dolayı birim olarak joule yerine elektron volt (eV) kullanılmaktadır. Bu bilgiler çerçevesinde fotovoltajik etki, birbirinden farklı n tipi ve p tipi yarı iletkenlerinin bir araya geldiği nokta arasında foton enerjisinden dolayı oluşan elektriksel potansiyel olarak tanımlanabilir [37-38]. Foton enerjisinin etki ettiği

valans elektronları kendi enerjisini foton enerjisi sayesinde arttırarak iletim bandına geçiş yapar, böylelikle yeterli enerji düzeyine sahip fotonlar yarı iletken özelliğe sahip malzemelerde delik- elektron çifti oluştururlar. Bir örnek olarak Silisyum atomu için gerekli olan fotonun dalga boyunun hesabı Denklem 1.2.2’de verilmektedir.

$$\lambda \leq h \cdot \frac{c}{E} \rightarrow \lambda \leq 6,626 \times 10^{-34} \cdot \frac{3 \times 10^8}{1,12 \times 1,6 \times 10^{-19}} = 1,057 \text{ } \mu\text{m} \quad (1.2.2)$$

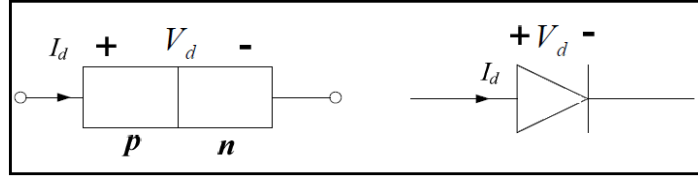
Bulunan bu dalga boyu olan 1,057 μm ’den küçük olan fotonların gereken enerji seviyelerinden daha yüksek enerji seviyelerin barındırmaları nedeniyle 1 elektronu uyarmak için gerekli enerji düzeylerine sahiptirler [39]. Ortaya çıkan fazla enerji ise ısı etkisi oluşturmaktadır. Bu durumu anlatan grafik Şekil 1.11’de verilmektedir.



Şekil 1.11. Fotonun sahip olduğu enerji ve 1 elektronu uyarması

1.2.7.3. p-n jonksiyonlu diyot karakteristiği

P ve n tipi yarı iletkenlerin bir araya gelmesi ile oluşan fotovoltaik sistemlerin temelinde p-n birleşiminin bir diyot gibi karakterize edilmesi vardır. P ve n tipi yarı iletkenlerin birleşmesi ile p tarafından n tarafına doğru bir akım akışı oluşmaktadır. Bu duruma ileri yönde kutuplaşma adı verilmektedir [40-41]. Şekil 1.12’de p-n birleşimli diyot ve sembolü gösterilmektedir.



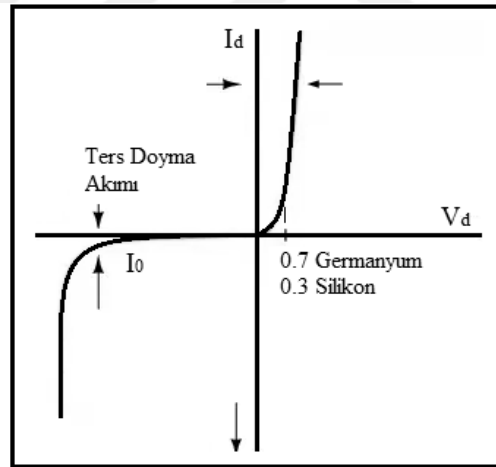
Şekil 1.12. p-n birleşimi ile oluşan diyot ve sembolü

P ve n tipi yarı iletkenlerin birleşimi ile oluşan akım-gerilim grafiğine ilişkin ilet yönündeki diyot akımının ifadesi Denklem 1.2.3 ve 1.2.4’de verilmektedir.

$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{V_d}{nV_t}} - 1 \right) \quad (1.2.3)$$

$$V_t = \frac{k.T}{q} \quad (1.2.4)$$

Matematiksel denklemin grafiği ise Şekil 1.13’de verilmektedir.

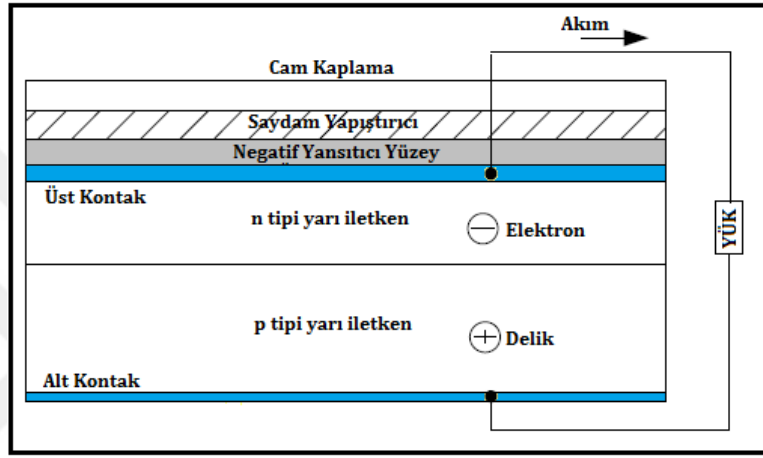


Şekil 1.13. p-n diyotunda akım-gerilim karakteristiği

1.2.7.4. Fotovoltaik hücrenin yapısı ve çalışma prensibi

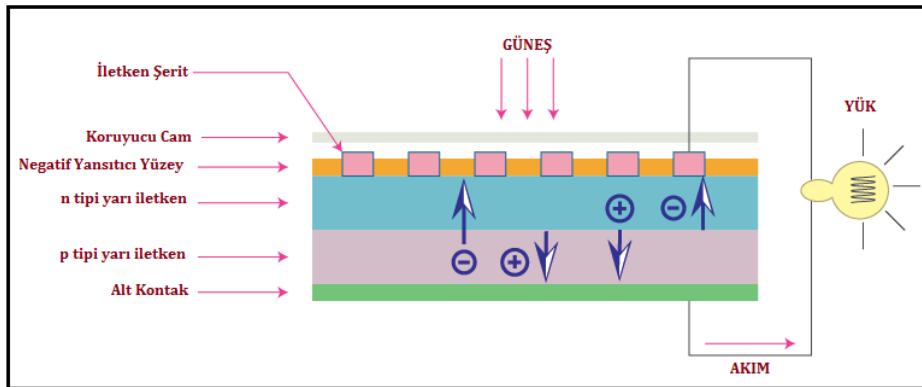
Fotovoltaik bir hücre yapısı temelde p-n birleşiminde oluşan bir diyotun yapısına ve çalışması da p-n jonksiyonlu bir diyotun çalışmasına benzemektedir. Jonksiyon bölgesine etki eden foton, yarı iletken malzeme tarafından soğrulmaktadır. Soğurulma olayında foton enerjisini valans bandındaki elektrona vererek bu elektronun iletim bandına geçmesine neden olmaktadır. Bu sayede elektron-delik çiftinin oluşumu sağlanmaktadır.

Meydana gelen bu olayda jonksiyon bölgesinde elektron-delik çifti bu bölgedeki elektrik alanın etkisi ile birbirinden ayrılarak elektronlar n bölgesine delikler ise p bölgesine geçmektedir. Birbirinden ayrılan elektron-delik çiftleri fotovoltaik hücrenin uçlarında yararlı bir güç oluştururlar. Bu süreç foton pil yüzeyine düştüğü müddetçe devam etmektedir. Fotondan gelen ve elektrik enerjisine dönüşmeyen fotonlar ise fotovoltaik hücrenin sıcaklığını artırmaktadır [42]. Şekil 1.14’de p-n birleşiminden oluşan fotovoltaik hücre gösterilmektedir.



Şekil 1.14. p-n birleşimi ile oluşan fotovoltaik hücre

Fotovoltaik bir hücrenin dış devresine bağlanan iletken şeritler ile hücredeki elektronlar bu iletken şeritler üzerinden -n’den -p’ye doğru devresinin tamamlaması sağlanmaktadır. Fotovoltaik hücrenin ön yüzeyinde ışığın daha fazla tutulması için negatif yansıtıcılar kullanılırken, dış etkilerden korumak için de en üst kısmı cam ile kaplanmaktadır [41]. Şekil 1.15’de fotovoltaik bir hücre gösterilmektedir.

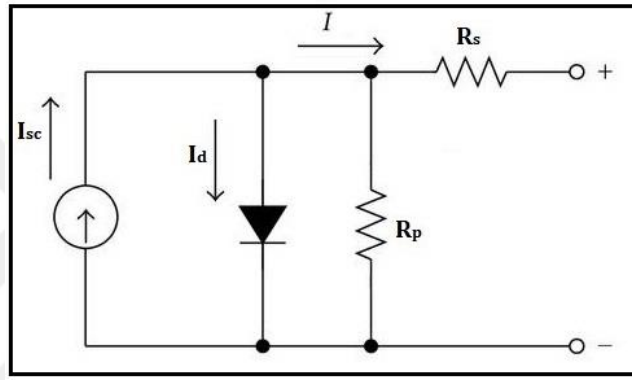


Şekil 1.15. Fotovoltaik bir hücre

1.2.7.5. Fotovoltaik hücrenin modellenmesi

1.2.7.5.1. Fotovoltaik hücrelerin tek ve çift diyotlu eşdeğer devre modeli

Fotovoltaik sistemlerdeki gelişimlerin giderek hız kazanması, bu sistemlerin yakın gelecekte en önemli enerji kaynağı haline geleceğini göstermektedir. Bu nedenle gün geçtikçe fotovoltaik sistemlere yönelik olarak yeni uygulamaların ortaya çıktığı görülmektedir. Fotovoltaik sistemlerin doğru ve basit bir modelinin oluşturulması da fotovoltaik sistemlerin çalışmasını anlamada yardımcı olmaktadır. Şekil 1.16'da fotovoltaik hücrenin tek diyotlu elektriksel eşdeğer devresi gösterilmektedir.



Şekil 1.16. Fotovoltaik hücrenin tek diyotlu elektriksel eşdeğer devresi

Tek diyotlu eşdeğer devre modelinde bir güneş hücresi (Akım Kaynağı) ve bu hücreye paralel bağlı bir diyottan meydana gelmektedir [43,44]. Denklem 1.2.5 ve 1.2.6'da kaynak akımının elde edilmesi ve denklem 1.2.7'de de paralel bağlı R_p direnci ve seri bağlı R_s dirençlerinin tek diyotlu eşdeğer devre modelinin matematiksel formu ifade edilmektedir.

$$I = I_{sc} - I_d \quad (1.2.5)$$

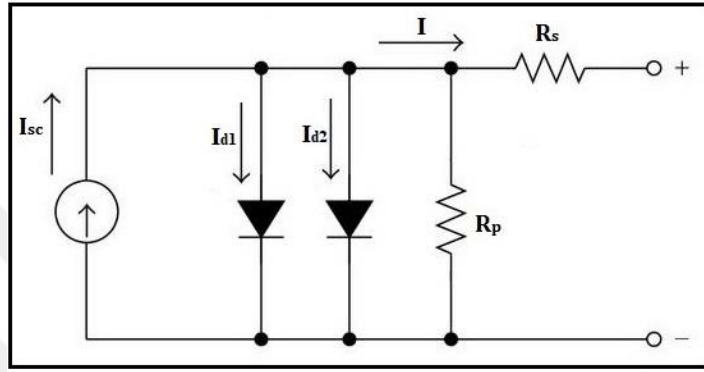
$$I = I_{sc} - I_0 \left(\exp\left(\frac{qV_d}{akT}\right) - 1 \right) \quad (1.2.6)$$

$$I = I_{sc} - I_0 \left(\exp\left(\frac{V+IR_s}{aV_t}\right) - 1 \right) - \frac{V+IR_s}{R_p} \quad (1.2.7)$$

p-n birleşimi sonucunda gerçekleşen delik-elektron akımı olan I_0 ters doyma akımı ise denklem 1.2.8'de verilmektedir.

$$I_0 = \frac{I_{sc,STC} + K_1 \Delta T}{\exp[(V_{oc,STC} + K_v \Delta T / a V_T)] - 1} \quad (1.2.8)$$

Fotovoltaik sistemlerin elektriksel eşdeğer devresinde gösterilen bir diğer şema ise çift diyotlu eş değer devre modelidir [45]. Çift diyotlu sistemler tek diyotlu sistemlere göre çok daha hassas akım gerilim eğrilerini gözlemlemek için uyum sağlamış bir sistemdir. Şekil 1.17’de çift diyotlu eş değer devre modeli gösterilmektedir.



Şekil 1.17. Fotovoltaik sistemlerde çift diyotlu eşdeğer devre modeli

Çift diyotlu eşdeğer devre modelinin tek diyotlu modellerinden farklı olarak paralel olarak bir tane daha diyotun bağlanmasıdır. Bu durumda toplam akım denklem 1.2.9’deki gibi olmaktadır [46].

$$I = I_{sc} - I_{01} \left[\exp\left(\frac{V + IR_s}{a_1 V_{t1}}\right) - 1 \right] - I_{02} \left[\exp\left(\frac{V + IR_s}{a_2 V_{t2}}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (1.2.9)$$

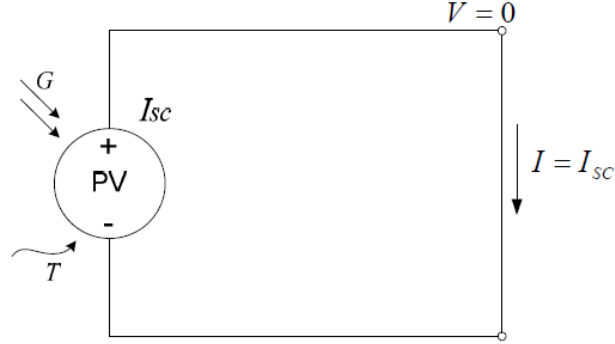
Diyot akımlarının I_0 ters doyma akımları paralel devre olduğundan akım değerleri birbirlerine eşittir. Bu durumda ters doyma akımları denklem 1.2.10’deki gibi olmaktadır.

$$I_{01} = I_{02} = I_0 = \frac{I_{sc,STC} + K_1 \Delta T}{\exp[(V_{oc,STC} + K_v \Delta T) / \{(a_1 + a_2) / p\} V_T] - 1} \quad (1.2.10)$$

1.2.7.5.2. Kısa devre akımı

Kısa devre akımı (I_{sc}), gerilimin sıfır olduğu yani fotovoltaik hücre kısa devrede iken oluşan akımdır. Hücrenin bir ucundan diğer ucuna kadar geçen akımdır. İdeal bir hücrenin kısa devre akımı güneşten gelen ışınların tamamını akıma dönüştürmesi olarak söylenebilmektedir. Kısa devre akımını etkileyen unsurlar şu şekilde sıralanabilir;

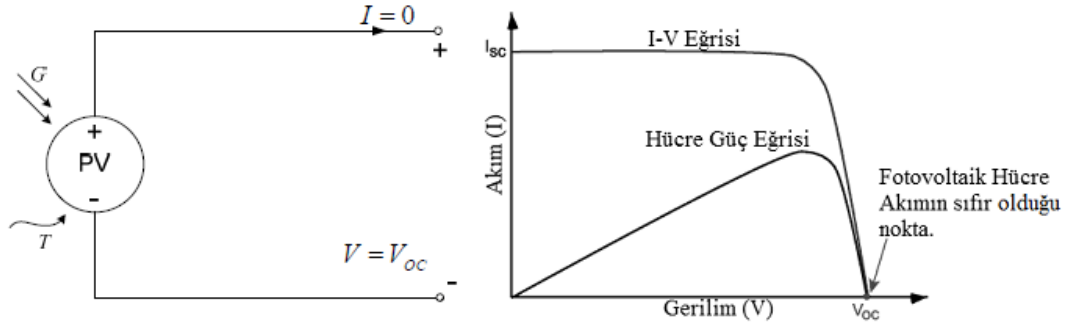
Fotovoltaik hücrenin yüzey alanı, güneşten gelen foton enerjisi, fotovoltaik hücrenin optik özellikleri (yansıma, emilim). Şekil 1.18’de fotovoltaik hücrenin kısa devre olma durumu verilmektedir [47].



Şekil 1.18. Fotovoltaik hücre kısa devre durumu

1.2.7.5.3. Açık devre gerilimi

Açık devre gerilimi (V_{oc}) bir fotovoltaik hücrede elde edilen maximum gerilim değeridir. Bu değer akım sıfır olduğu anda gerçekleşir. Şekil 1.19’da açık devre gerilimi ve akım-gerilim grafiği verilmektedir [47].



Şekil 1.19. Fotovoltaik hücreye ait açık devre gerilimi ve akım-gerilim grafiği

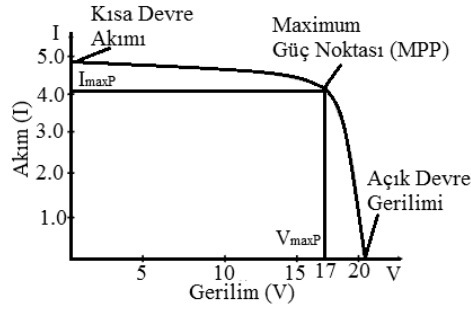
1.2.7.5.4. Maximum güç noktası

Fotovoltaik sistemlerde verimin en yüksek olduğu nokta akım ve gerilim değerlerinin alt kısımlarında kalan en büyük dikdörtgen şeklindeki alana aittir. Fotovoltaik hücredeki akım ve gerilim denklemleri ile birlikte, fotovoltaik sistemlerin ideal çalışma koşulu olan $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık da akım ve gerilim ilişkisi denklem 1.2.11 ve 1.2.12’deki gibi olmaktadır.

$$I = I_{sc} - I_0(e^{38,9V} - 1) \quad (1.2.11)$$

$$V_{oc} = 0,0257 \cdot nl \left(\frac{I_{sc}}{I_o} + 1 \right) \quad (1.2.12)$$

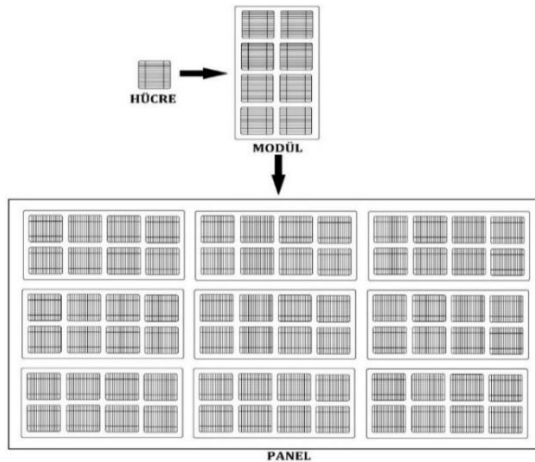
Akım ve gerilimin en yüksek olduğu noktada, fotovoltaik hücreye ait akım-gerilim grafiği ise Şekil 1.20'deki gibi olmaktadır [48].



Şekil 1.20. Fotovoltaik hücreye ilişkin akım-gerilim grafiği

1.2.7.6. Fotovoltaik hücrelerden panelin elde edilmesi

Standart olarak üretilen fotovoltaik hücreler genel olarak 25-30 cm² boyutlarındadır. Bu boyutlardaki bir hücre ise standart test koşullarında 1 Watt gibi bir çıkış gücü üretmektedir. Küçük bir fotovoltaik panelden çok büyük güçlü güneş enerjisi santrallerine kadar yüksek çıkış gücü elde etmek için ise hücrelerin bir araya gelerek modülleri, modüllerde bir araya gelerek fotovoltaik panelleri oluşturması ile mümkün olmaktadır. Farklı çıkış gücünü elde etmek için ise hücrelerin seri ve paralel kombinasyonlarının yapılması gerekmektedir [49]. Şekil 1.21'de fotovoltaik hücre, hücrelerin bir araya gelmesi ile oluşan modül ve modüllerin birleşimi ile oluşan fotovoltaik panel gösterilmektedir.



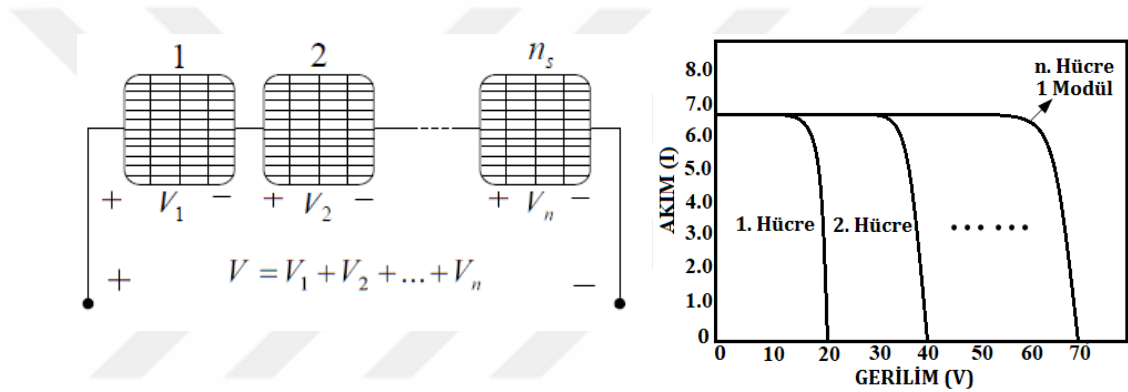
Şekil 1.21. Fotovoltaik sistemlerde hücre, modül ve panel

Kirşof'un gerilimler kanununa göre seri bağlı bir devrede toplam gerilim; o diziye bağlı elemanların üzerine düşen gerilimlerin toplamına eşittir. Bu noktadan hareketle fotovoltaik hücrelerin n tanesinin bir araya gelmesi ile oluşan gerilim Denklem 1.2.13 ve 1.2.14'de matematiksel olarak ifade edilmektedir.

$$V_{\text{modül}} = n \cdot V \quad (1.2.13)$$

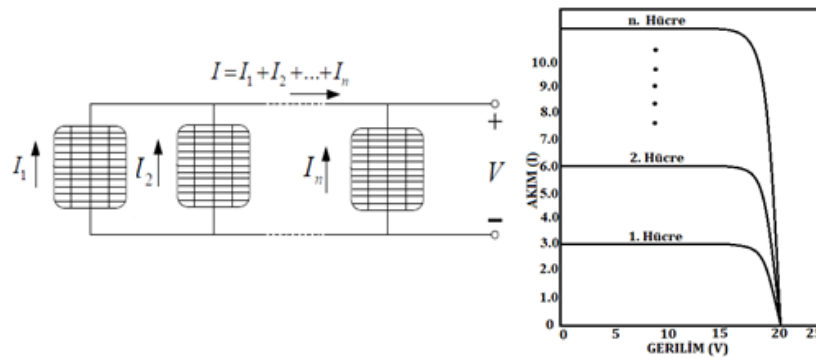
$$V_{\text{modül}} = n \cdot (V_d - I \cdot R_s) \quad (1.2.14)$$

Grafiksel olarak ifade edilirse de Şekil 1.22'de gibi hücrelerin birleşmesi ile oluşan gerilimlerinin oluşturduğu bir grafik ortaya çıkmaktadır.



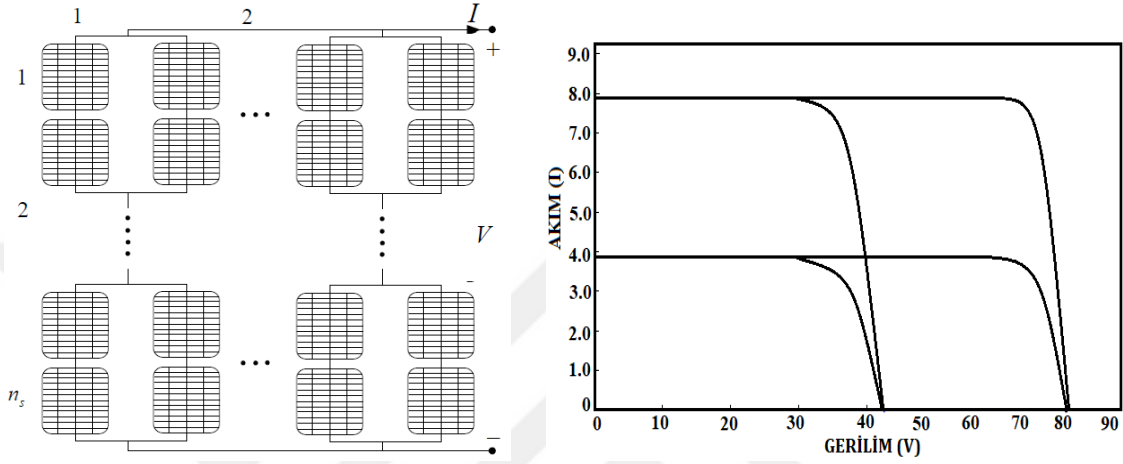
Şekil 1.22. Hücrelerin seri olarak bağlanması ile oluşan akım-gerilim grafiği

Yine Kirchoff'un akımlar kanunu fotovoltaik hücrelere uygulandığında, istenilen akım değerine ulaşabilmek için fotovoltaik hücreler birbirine paralel olarak bağlanması gerekmektedir. Bu sayede istenilen akım değerine ulaşılabilir [50]. Şekil 1.23'de fotovoltaik hücrelerin paralel bağlanması ile oluşan akım-gerilim grafiği verilmektedir.



Şekil 1.23. Fotovoltaik hücrelerin paralel bağlanması ile oluşan akım-gerilim grafiği

Yukarıda verilen değerler ışığında istenilen güç seviyesinde fotovoltaik panel elde edebilmek için fotovoltaik hücrelerin kombinasyonları ile istenilen çıkış gücü seviyesine ulaşılabilmektedir. Özel olarak istenilen bir çıkış gücü talep edildiğinde fotovoltaik hücreler seri olarak bağlandığında çıkış gerilimi, paralel olarak bağlandığında çıkış akımı artırılabilir [51,52]. Şekil 1.24’de farklı kombinasyonlar ile oluşturulan hücrelerin oluşturdukları akım-gerilim grafiği verilmektedir.



Şekil 1.24. Farklı kombinasyonlar ile oluşturulan akım-gerilim grafikleri

Modüllerin n tanesinin seri veya paralel olarak oluşturdukları dizilere bağlı olarak çıkış akımını veren ifadeler denklem 1.2.15 ve 1.2.16’da verilmektedir [52].

$$I = I_{ph}N_{ph} + I_0N_{pp} \left(\exp \left(\frac{V+IR_s \left(\frac{N_{ss}}{N_{pp}} \right)}{aV_t N_{ss}} \right) - 1 \right) - \frac{V+IR_s \left(\frac{N_{ss}}{N_{pp}} \right)}{R_p \left(\frac{N_{ss}}{N_{pp}} \right)} \quad (1.2.15)$$

$$I = I_{ph}N_{pp} + I_{01}N_{pp} \left[\exp \left(\frac{V+IR_s \left(\frac{N_{ss}}{N_{pp}} \right)}{a_1V_{T1}N_{ss}} \right) - 1 \right] - I_{02}N_{pp} \left[\exp \left(\frac{V+IR_s \left(\frac{N_{ss}}{N_{pp}} \right)}{a_2V_{T2}N_{ss}} \right) - 1 \right] - \frac{V+IR_s \left(\frac{N_{ss}}{N_{pp}} \right)}{R_p \left(\frac{N_{ss}}{N_{pp}} \right)} \quad (1.2.16)$$

1.2.7.7. Fotovoltaik panel çeşitleri

Fotovoltaik modüllerin bir araya gelmesi ile oluşan paneller, sahip oldukları kristal yapıları ve içerdikleri atomların cinsine göre çeşitli sınıflara ayrılmaktadır. Bu bakımdan fotovoltaik paneller Kristal Silikon yapıli paneller, İnce Film paneller ve Galyum Arsenit yapıli paneller olarak üçe ayrılmaktadır.

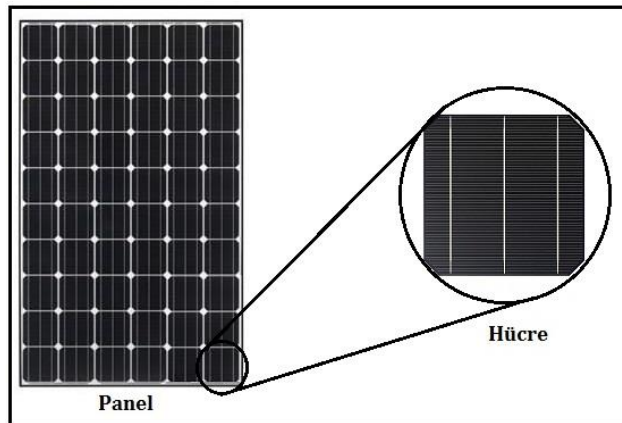
1.2.7.7.1. Kristal silikon yapılı fotovoltaik paneller

Fotovoltaik panellerin kristal yapıları olmalarını sağlayan en önemli etken silisyumdur. Silisyum atomunun atomik yapısı incelendiğinde, bu atomun elektriksel, optik ve yapısal özelliğinin fotovoltaik sistemler için uygun olduğu görülmektedir. Ayrıca silisyum yeryüzünde oksijen elementinden sonra yeryüzünde en fazla bulunan element olması kullanılabilirliğini artıran bir etmendir. Saf halde bulunmayan bu element çeşitli işlemlerden geçirilerek saf bir hale getirilmektedir [53]. Kristal yapıları fotovoltaik panellerde kendi içerisinde iki kısma ayrılmaktadırlar. Bunlar; monokristal yapıları ve Polikristal yapıları fotovoltaik panellerdir.

1.2.7.7.1.1. Monokristal yapıları fotovoltaik paneller

Monokristal yapıları fotovoltaik panellerin üretiminde yüksek teknoloji kullanıldığından bu panellerin üretimi uzun sürmektedir. Buna karşın verimliliklerin yüksek olması ve uzun ömürlü olmaları ise büyük avantaj sağlamaktadır. Üretimlerinde “Czochralski Metodu” adı verilen bir yöntem kullanılan monokristal yapıları panellerde küçük bir aşırı kristalini, kristal malzemenin içerisine batırılması ile birlikte yavaş yavaş soğuk bir alana çekerek tek ve büyük bir kristal silindiri elde edilmesine dayanmaktadır.

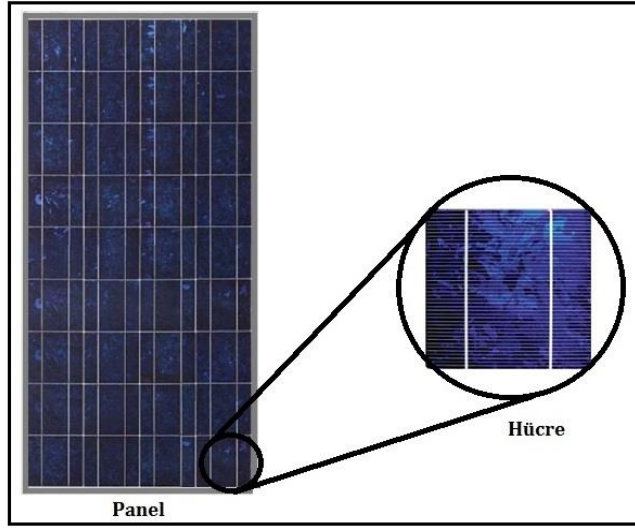
Mevcut üretilmiş fotovoltaik paneller içerisinde yüksek verimliliğe sahip olan bu panellerin verimlilikleri %13 ile %18 arasında değişiklik göstermektedir. Yapım aşamasının zor oluşu fiyatını diğer panellere göre artırmaktadır. Şekil 1.25’de monokristal yapıları hücre ve monokristal yapıları fotovoltaik panel gösterilmektedir [53].



Şekil 1.25. Monokristal yapıları hücre ve panel

1.2.7.7.1.2. Polikristal yapılı fotovoltaik paneller

Fotovoltaik panellerin kristal yapılarının bir diğeri de Polikristal yapılı panel tipidir. Monokristal yapılılara göre çok yüksek teknoloji gerektirmeyen Polikristal paneller monokristal yapılılara göre daha düşük maliyetlidir. Yapımları başta monokristal yapılı panellere benzemekle beraber eriyik halde bulunan silisyumun kaplarda soğutulmasından sonra belirli ebatlarda kare şeklinde kesilerek elde edilmektedir. Polikristal yapılı paneller monokristal yapılılara göre verimlilikleri de düşüktür. Günümüzde üretilen Polikristal yapılı panellerin verimlilikleri %13 civarındadır [53]. Şekil 1.26'da Polikristal yapılı hücre ve panel verilmektedir.



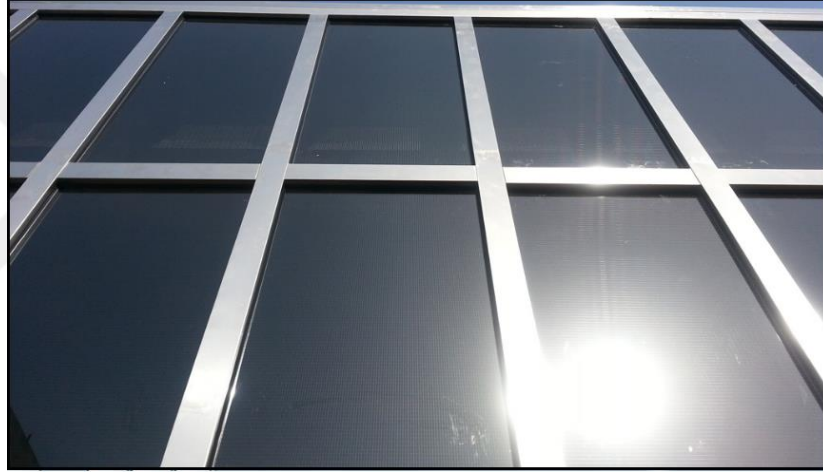
Şekil 1.26. Polikristal yapılı hücre ve panel

1.2.7.7.2. İnce Film yapılı fotovoltaik paneller

Fotovoltaik panellerin bir diğ türü olan ince film panellerde, yarı iletken malzemeler geniş yüzeylere yayılması ile elde edilmektedir. Bu durum farklı tipteki fotovoltaik panellerin üretimine olanak sağlamaktadır. Genellikle 1 veya 2 mikron kalınlıkta yarı iletken malzemeler kullanılarak yapılmaktadır. Farklı tipteki yarı iletkenlerin kullanımına olanak sağladığından maliyeti düşüktür. Elektriksel bağlantıları ise oldukça kolaydır. İnce yapılı film panellerde üçe ayrılmaktadırlar. Kadmiyum Tellür, Amorf Silisyum ve Bakır İndiyum Diseleneid'dir [54].

1.2.7.7.2.1 Kadmiyum tellür tipi fotovoltaik paneller

Emiciliği oldukça yüksek olan kadmiyum tellür fotovoltaik panellerde alaşımsız olarak kullanılabilen çinko ve cıva gibi elementler ile birlikte alaşımı yapılarak da kullanılabilir. Üretiminde farklı tip metotlar kullanılmakla beraber; süblimleşme ile elde edilebilir. Süblimleşmede sıcaklık farkı fazla olmayan kaynak ve filmin büyüdüğü yüzey birbirine yakın tutularak malzemenin süblimleşerek büyümesi sağlanmaktadır. Bunun haricinde elektro-çökeltme metodu ile de Kadmiyum-Tellür panelleri elde edilebilir. Bu metot da Kadmiyum-Tellür yarı iletkeninin katot üzerinde büyümesi sağlanmaktadır. Şekil 1.27'de Kadmiyum-Tellür tipi fotovoltaik panel gösterilmektedir [55].



Şekil 1.27. Kadmiyum Tellür tipi fotovoltaik panel

1.2.7.7.2.2. Amorf Silisyum tipi fotovoltaik paneller

Amorf ve silisyum kristallerinin birleşmesi ile meydana gelen birleşik bir yarı iletkenidir. Verimleri %5 ile %8 arasında olduğundan az güç gereksinimi olan yerlerde kullanılmaktadır. Amorf silisyumlu yapıları kristal silisyumlu yapılardan ayıran temel özellik silisyum atomlarının amorf yapılarının içerisinde gösterdiği özellikten kaynaklanmaktadır. Burada silisyum atomlarının komşu atomlar ile düzeni herhangi bir yapıya sahip olmayıp gelişmiş güzel bir dağılım göstermektedir. Bu sayede üretimleri kolay olup maliyet bakımından da ucuzdurlar.

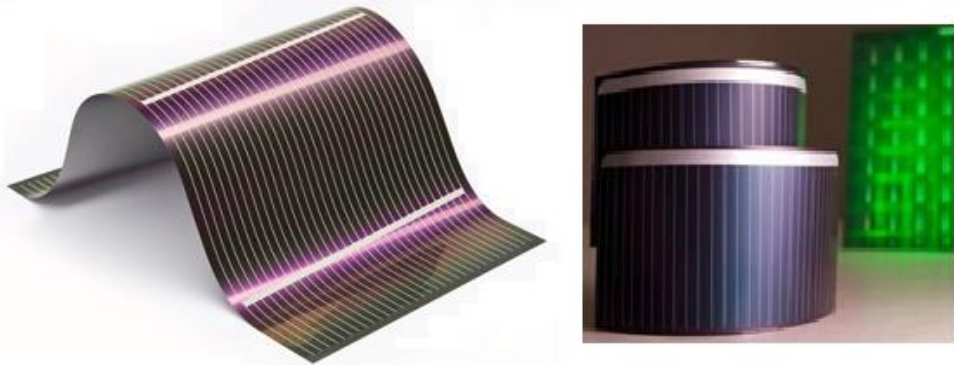
Üstünlüklerini sağlayan tek etmen ise güneşten gelen ışınları soğurma oranlarının oldukça yüksek olmasıdır [53]. Bunun yanında düşük sıcaklıkta da elektrik enerjisi üretebilir olmaları üstünlükleri olarak sıralanabilmektedir. Şekil 1.28’de Amorf Silisyum yapıli fotovoltaiik paneller gösterilmektedir.



Şekil 1.28. Amorf Silisyum yapıli fotovoltaiik panel

1.2.7.7.2.3. Bakır İndiyum Diseleneid tipi fotovoltaiik paneller

Bu tip paneller Bakır-İndiyum ve Selenyum bileşiklerinin oluşturduğu yarı iletken panellerdir. Bu tip panellerin en önemli özellikleri katmanlarının çok ince olmasına yanında (yaklaşık 1 μm civarında) güneşten gelen ışınları %99 oranında soğurmalarıdır. Verimlilikleri ise % 14 civarlarındadır. Ticari amaçlı üretilen tiplerinde verimlilik oranları kısmen düşük olsa da bu tip paneller ince film paneller içerisinde verimlilikleri en yüksek olanlardır. Bu tipte yapılan bir panele Galyum (Ga) elementinin eklenmesi ile verimlilikleri yüksek değerlere çıksa da maliyet açısından bakıldığında çok ekonomik görülmemekle birlikte yapısı da karmaşık hale gelmektedir [53]. Şekil 1.29’da Bakır İndiyum Diseleneid tipi fotovoltaiik yapıli hücreler verilmektedir.



Şekil 1.29. Bakır İndiyum Diseleneid tipi fotovoltaiik yapıli hücreler

1.2.7.7.3. Galyum Arsenit yapılı fotovoltaik paneller

Galyum ve Arsenit (GaAs) tipi yarı iletkenlerin bir araya gelmesi ile oluşan bu tip panellerde verimlilik oldukça yüksektir. Gelen güneş ışınlarının 1/3'ünü elektrik enerjisine çevire bilmektedirler. Bunun yanında yüksek maliyetli olması ve üretiminin oldukça güç olması kullanım oranını azaltmaktadır [54]. Şimdilik sadece uzay çalışmalarında kullanılmaktadır. Şekil 1.30'da Galyum Arsenit yapılı fotovoltaik paneller verilmektedir.



Şekil 1.30. Galyum Arsenit yapılı fotovoltaik panel

1.2.7.8. Fotovoltaik bir sistemin tasarım ekipmanları

Fotovoltaik sistemlerin gelişimi ile birlikte üretilen DC enerjinin depo edilmesinden başlayıp AC enerjiye dönüştürülmesine kadar geçen evredeki ekipmanlarda sürekli olarak bir yenilenme görülmektedir. Fotovoltaik bir sistemi oluşturan ekipmanlar ise; fotovoltaik panel, şarj regülatörü, inverter ve akü olarak sıralanabilir [56]. Önceki bölümlerde fotovoltaik paneller anlatıldığından bu bölümde fotovoltaik sistem tasarımının diğer ekipmanları verilmektedir.

1.2.7.8.1. Şarj regülatörü

Fotovoltaik sistemlerde panelden gelen elektrik akımının akülere iletilmesini sağlayan ekipmandır. Akülere iletilmek istenen çıkış gücünü sağlamaktadırlar. Akülerin aşırı kullanılmasını ve tam dolmasını engelleyerek aküyü korur. Bazı Regülatörlerde sıcaklık sensörü ve düşük gerilim anında uyarı veren güvenlik sistemleri de mevcuttur. Şarj regülatörleri çıkışlarında DC gerilim olduğu için doğru akım ile çalışan sistemlere direk gerilim verebilmektedir. Regülatör seçiminde dikkat edilmesi gereken noktaların başında

gerekli olan maximum akım değerine uygunluğu kontrol edilmelidir [57]. Farklı kapasitedeki sistemler için tasarlanan şarj regülatörleri gerilim değerlerine göre 12/24/48 volt veya akım değerlerine göre 10/20/40/60 Amper olarak tasarlanabilmektedir.

1.2.7.8.2. İnverter

Fotovoltaik sistemlerde panellerde elde edilen elektrik enerjisi DC gerilim değerine sahiptir. Fakat günlük yaşantımızda kullanmakta olduğumuz birçok cihaz AC gerilim ile çalışmaktadır. Dolayısıyla fotovoltaik güneş enerjisi santralinden elde edilen elektrik enerjisini AC enerjiye çevirebilmek için inverter kullanılması gerekmektedir. İnverterler akım ve gerilim denetimli olarak iki gruba ayrılabilir. Fotovoltaik panellerde üretilen elektrik akımı DC değerde olduğu için bu tip santrallerde gerilim denetimli inverterler kullanılmaktadır. Yapıları ise anahtarlama elemanı ve gerilim biçimlendiriciden oluşmaktadır [58]. Verimlilikleri oldukça yüksek olan aküler genel olarak %90 verimlilik ile çalışmaktadır.

1.2.7.8.3. Akü

Fotovoltaik sistemlerde paneller kadar önemli olan ekipmanların başında akülerde gelmektedir. Aküler Fotovoltaik panellerden üretilen DC enerjiyi depo ederek gerekli durumlarda kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Genellikle şebeke bağlantısız sistemlerde tercih edilmektedirler. Kapasiteleri amper-saat (Ah) olarak ifade edilmektedir. Akü grupları seri veya paralel olarak birbirine bağlanarak kapasitelerinin artırılması sağlanır. Fotovoltaik sistemlerde tercih edilen aküler Kurşun Asit tercih edildiğinden pahalı malzemelerdir. Çok yüksek maliyetleri olduğundan kullanım sürelerini arttırmak için kapasiteleri %50'nin altında düştüğünde şarj edilmelidirler. Maliyeti düşürmek açısından farklı tipte akülerde üretilmektedir [59,60]. Bu tür aküler ucuz olmasına karşı kullanım süreleri de kısa olmaktadır. Üretimlerine göre aküler Jel, Kuru ve Tüplü Sabit Tesis (OPzS) olarak üretilmektedir.

1.2.7.8.3.1. Jel aküler

Bu tip modeller soğuk ortam koşulların daha iyi performans sergileyen bu sayede uzun ömürlü olan silikon jel teknolojisine göre üretilen akülerdir. Bu tip aküler tam kapalı

olduklarından bakım gerektirmez. Yüksek güvenilirlik sağlayan bu tip akülerin maliyeti ise yüksektir.

1.2.7.8.3.2. Kuru aküler

Yüksek akım kapasiteli üretilen bu aküler maliyetinin uygun olması nedeniyle yaygın bir kullanıma sahiptir. Çalışma ısıları geniş olduğundan geniş bir ısı aralığında çalışabilmektedir. Uzun ömürlü olmaları, kapalı bir yapıya sahip olmaları ve uygun tasarım yapısına sahip olmaları geniş kullanım alanlarını sağlayan etkenlerdir. Yatay veya dikey konumlandırılarak çalışabilmektedir. Asit sızdırma gibi bir durumları yoktur.

1.2.7.8.3.3. Tüplü sabit tesis aküler

Tüplü Sabit Tesis (OPzS) aküler kesintisiz güç kaynaklarına bağlanmak için üretilmektedir. Bakımları az olup düşük enerji maliyetlidir. En önemli özelliği ise kendi kendine deşarjını azaltarak su kaybını en aza indirmektedir.

1.2.7.9. Fotovoltaik Sistemler

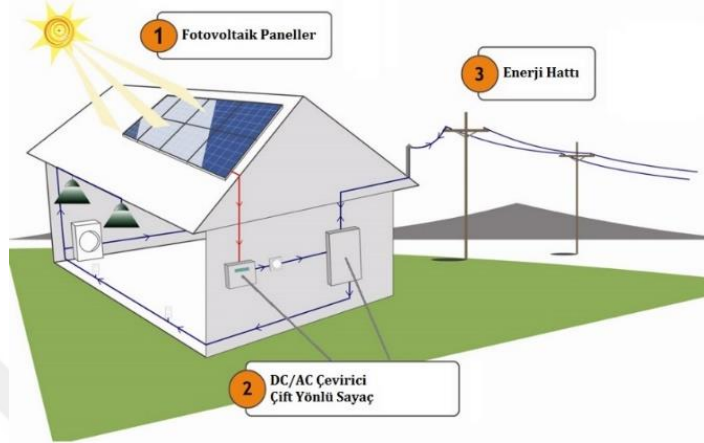
Fotovoltaik sistemin en önemli ekipmanını oluşturan fotovoltaik panellerden elde edilen elektrik enerjisinin kullanımı şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler ve şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler olmak üzere iki kısma ayrılmaktadırlar.

1.2.7.9.1. Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler

Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemleri kendi içerisinde iki gruba ayırmak gerekmektedir. Bunlardan birincisi; evsel olarak adlandırılan fotovoltaik sistemlerdir. Bu tip sistemlerde çok yüksek güç kullanılmamakla birlikte talep edilen elektrik enerjisinin fotovoltaik sistemlerden karşılandığı, fotovoltaik sistemlerde yeterli gücün olmadığı durumlarda şebekeden karşılandığı sistemlerdir. Şebeke ile fotovoltaik sistemin arasına yerleştirilen çift yönlü sayaç ile şebekeye aktarılan ve şebekeden alınan elektrik enerjisi gücü ortaya çıkmaktadır. Bu tip sistemlerde enerjinin sürekliliği ön plandadır. Günümüzde küçük güçlü fabrikalar, okullar ve binalarda bu sistemler ile karşılaşılmaktadır.

Bir diğer sistem ise çok yüksek güçlerin olduğu şebekeye bağlı sistemlerdir. Bu tip şebekelerde üretilen elektrik enerjisi anlık olarak şebekeye aktarılmaktadır. 1-10 MW'a

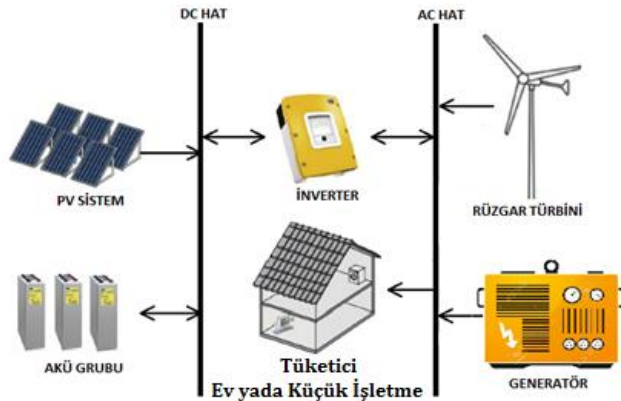
kadar tek bir sistem üzerinde işleyebilmektedir [61,62]. Mali kazancın ön planda tutulduğu bu tip şebekeler genellikle tarım arazisi vasfını yitirmiş alanlara kurulmaktadır. İlk kurulum maliyetleri ise yüksektir. Şekil 1.31’de Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler verilmektedir.



Şekil 1.31. Şebeke bağlantılı evsel fotovoltaik sistem

1.2.7.9.2. Şebeke bağlantısız fotovoltaik sistemler

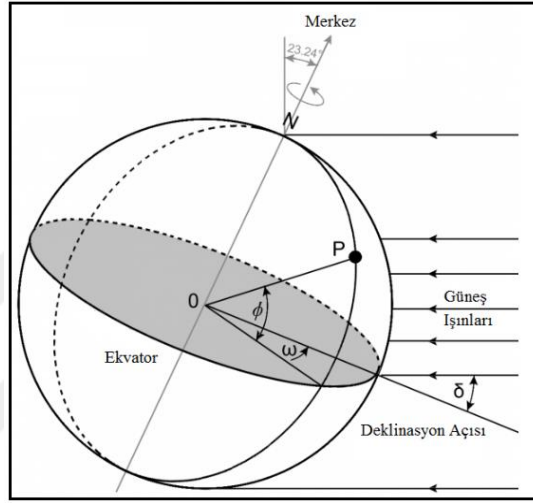
Şebeke bağlantısı olmayan sistemler genellikle şehir merkezi ve enerji nakil hattına uzak olan noktalarda kurulmaktadır. Bu tip sistemlerde akü grubu en önemli sistem ekipmanıdır. Akü grubunun dâhil edilmesi ise maliyeti yükseltmektedir. Bu tip sistemler enerji hatlarına uzak noktalarda bulunan elektrik enerjisinin sürekliliğinin arandığı yerlerde hibrit sistem ile birlikte kullanılmaktadır [61,62]. Çok yüksek güçte kurulmayıp 1W’den 100 kW arasında kurulmaktadır. Şekil 1.32’de Şebeke bağlantısı olmayan fotovoltaik sistem gösterilmektedir.



Şekil 1.32. Şebeke bağlantısız fotovoltaik sistemler

1.2.8.1.2. Deklinasyon açısı

Deklinasyon açısı bir diğer adı ile sapma açısı; Güneş ışınlarının yıl içerisindeki dünyaya geliş açılarındaki değişimlerine bağlı olarak güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açı olarak da tanımlanır. Deklinasyon açısı $-23,45^{\circ} \leq \delta \leq 23,45^{\circ}$ değerleri arasında yer almaktadır. Bu şekilde hesaplanmasının nedeni; dünyadaki ekvator düzlemi ile yörünge düzlemi arasındaki açının 21 Haziran'da $23,45^{\circ}$ değerine 21 Aralık'ta ise $-23,45^{\circ}$ açıl değerlerine sahip olmasındandır. Şekil 1.34'de Deklinasyon açısı verilmektedir.



Şekil 1.34. Deklinasyon açısı

Deklinasyon açısının yaklaşık değeri Cooper (1969) tarafında ortaya konan denklem 1.2.17 veya 1.2.18'de verilen değerler ile hesaplanmaktadır [64].

$$\delta = 23.45 \sin[(360/365) \times (284 + n)] \quad (1.2.17)$$

$$\delta = -23.45 \cos[(0.986) \times (n + 10.5)] \quad (1.2.18)$$

Burada n olarak ifade edilen değer Ocak ayındaki herhangi bir gün içindir. Denklem 1.2.17 ve 1.2.18'i diğer aylar için uygulanmak istendiğinde ise Çizelge 1.2'de dikkate alınarak hesap yapılmalıdır.

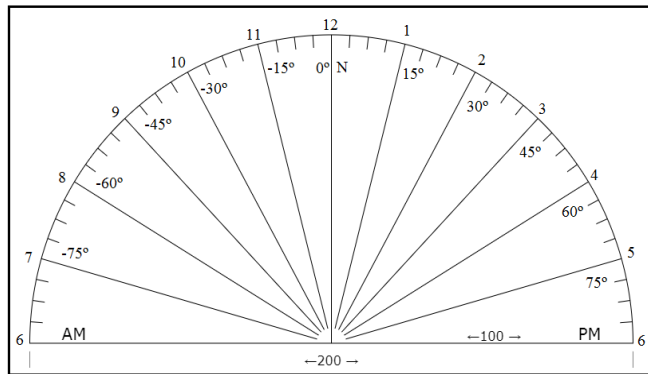
Çizelge 1.2. Deklinasyon açısının aylara göre hesap edilmesi

Aylar	Yılın Herhangi Bir Günü (i)
Ocak	i
Şubat	i + 31
Mart	i + 59
Nisan	i + 90
Mayıs	i + 120
Haziran	i + 151
Temmuz	i + 181
Ağustos	i + 212
Eylül	i + 243
Ekim	i + 273
Kasım	i + 304
Aralık	i + 334

Burada hesaplama yapabilmek için yılın herhangi bir gününü “i” değerinin yerine koyulması ile ortaya “n” değeri çıkmaktadır [65].

1.2.8.1.3. Saat açısı

Güneş ışınlarının bulunduğu boylam değeri ile konumu belirtilen boylamın arasındaki açı denmektedir. Saat tam 12’de $\omega=0^\circ$ kabul edilmektedir. Bir saatlik süre 15° eşittir. Aslında bu değer dünyanın güneş etrafında dönmesi ile bir tam turda yaptığı 360° ’nin 24 saat dilimine bölünmesi ile elde edilmektedir. Burada öğleden önceki değerler için (-), öğleden sonraki değerler için ise (+) değerleri kabul edilir. Şekil 1.35’de farklı saat dilimlerinde oluşan saat açısı gösterilmektedir.



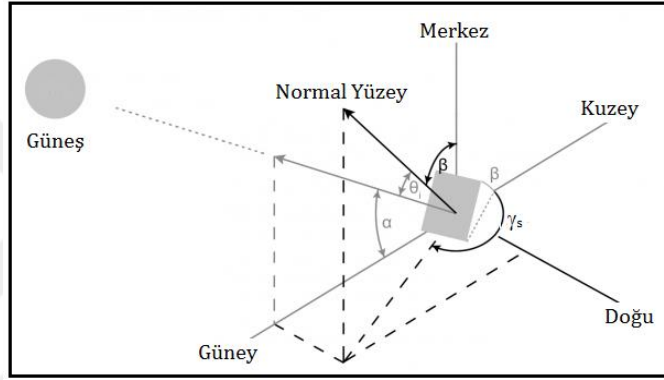
Şekil 1.35. Günün farklı saatlerindeki saat açısı

1.2.8.1.6. Azimut açısı

Azimut açısı kendi içerisinde ikiye ayrılmaktadır. Bunlar; güneş azimut açısı (γ_s) ve yüzey azimut (γ) açısıdır.

1.2.8.1.6.1. Güneş azimut açısı

Güneş ışınlarının kuzeye göre saat yönünde sapma değerini gösteren açı değeridir. γ_s ile ifade edilmektedir. Güneyden doğuya doğru (-) kabul edilirken batıya doğru ise (+) kabul edilmektedir. Şekil 1.37’de güneş azimut açısının konumu verilmektedir.



Şekil 1.37. Güneş azimut açısı

Güneş Azimut açısı ise denklem 1.2.22’de verilen değerlere göre hesaplanmaktadır.

$$\gamma_s = \cos^{-1} \left(\frac{[\sin(a_s) \cdot \sin(\varphi)] - \sin(\delta)}{\cos(a_s) \cdot \cos(\varphi)} \right) \quad (1.2.22)$$

1.2.8.1.6.2. Yüzey azimut açısı

Yüzeyin dikinin yerel boylama göre sapmasını gösteren açı değeridir. Bu açı değeri güney yönünde sıfır değerine eşittir. Doğuya doğru (-), batıya doğru ise (+) değerlerini almaktadır. Denklem 1.2.23’deki gibi de ifade edilebilir.

$$180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ \quad (1.2.23)$$

1.2.8.1.7. Güneş geliş açısı

Yüzeyin normali ile güneşin geliş arasındaki açı olarak ifade edilir. Güneş ışınları yüzeye dik geldiklerinde $\theta = 0^\circ$ olur. Eğer paralel gelirse $\theta = 90^\circ$ olur. Bu değerler güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında kullanılmaktadır. Güneş geliş açısı değeri de denklem 1.2.24'de verilen değerlere göre hesaplanmaktadır [65].

$$\theta = \cos^{-1}([\sin(\delta) \sin(\varphi) \cos(\beta)] - [\sin(\delta) \cos(\varphi) \sin(\beta) \cos(\gamma)] + [\cos(\delta) \cos(\varphi) \cos(\beta) \cos(\omega)] + [\cos(\delta) \sin(\varphi) \sin(\beta) \cos(\gamma) \cos(\omega)] + [\cos(\delta) \sin(\beta) \sin(\gamma) \sin(\omega)]) \quad (1.2.24)$$

Eğer kurulan sistem güneşe yönlendirilmiş bir sistem ise $\gamma=0$ alınır. İki eksenli sistemlerde ise $\theta=0$ olur. Bu iki eksenli sistemlerde β ise denklem 1.2.25 ve 1.2.26'daki gibi ifade edilmektedir.

$$0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ \quad (1.2.25)$$

$$\beta = 90 - a_s = \theta_z \quad (1.2.26)$$

Kurulmuş olan sistemin yatay yüzeyine gelen anlık ışınlama değeri ise H ; Denklem 1.2.27'deki formül ile hesaplanır.

$$H = 1353 * \left(1 + 0,33 * \cos\left(\frac{360*n}{365}\right)\right) * \cos\theta_z \quad (1.2.27)$$

Burada 1353 W/m^2 olarak ifade edilen değer güneş sabitidir [65,66]. Kurulmuş olan sistemde yatay yüzeyine gelen anlık ışınlama değeri (H) ile maximum güneş ışınlama arasında ise denklem 1.2.28'deki gibi bir bağıntı vardır.

$$H_n = \frac{H}{\cos(\theta_z)} \quad (1.2.28)$$

Kurulan sistem eğik bir yüzeye sahip ise denklem 1.2.29'da verilen ifadeye göre işlem yapılır. Eğik yüzeye dik direkt güneş ışınlama miktarı H_b ;

$$H_b = H_n \cos(\theta) \quad (1.2.29)$$

Değeri ile hesaplanabilmektedir. Fotovoltaik panelin üzerine gelen ışınımın yatay düzleme gelen ışınımına oranı R_b ise denklem 1.2.30'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$R_b = \frac{H_b}{H} = \frac{\cos(\theta)}{\cos(\theta_z)} \quad (1.2.30)$$

Böylelikle eğik bir yüzeye direk gelen ışınım miktarı H_b denklem 1.2.31'deki gibi hesaplanabilir.

$$H_b = H \cdot R_b \quad (1.2.31)$$

Eğimli bir yüzeydeki difüz ışınım miktarı ise $H_{d,p}$; denklem 1.2.32'deki verilen değerlere göre hesap edilmektedir.

$$H_{d,p} = H_d \frac{(1+\cos(\beta))}{2} \quad (1.2.32)$$

Yatay bir yüzeydeki difüz ışınım miktarı H_d denklem 1.2.33'deki gibi oluşmaktadır.

$$H_d = k_y H \quad (1.2.33)$$

Denklem 1.2.33'de ifade edilen k_y yayılı ışınım oranıdır ve denklem 1.2.34'deki gibi hesap edilmektedir.

$$K_T = 1,390 - 4,027K_T + 5,31K_T^2 - 3,108K_T^3 \quad (1.2.34)$$

Denklem 3.1.7.11'de verilen ifadelerin içindeki K_T bulutluluk faktörünü ifade etmekte olup anlık ışınım değeri H 'nin, maximum güneş ışınımı H_n arasındaki bağıntı denklem 1.2.35'deki gibi oluşmaktadır.

$$K_T = \frac{H}{H_n} \quad (1.2.35)$$

Yüzey eğiminden dolayı yansiyarak gelen ışınım değeri H_{gr} ise denklem 1.2.36'da verilenlere göre hesap edilmektedir [65,66].

$$H_{gr} = (H + H_d) \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) \rho_g \quad (1.2.36)$$

Denklem 3.1.7.13'de verilen ifadelerde bilinmeyen ρ_g değeri yüzey yansıtıcılığını ifade etmektedir [65]. Bilindiği gibi bütün yüzey alanlarının belirli bir yansıtma kat sayısı değeri vardır. Çizelge 1.3'de farklı yüzeyler için yansıtma katsayıları verilmektedir

Çizelge 1.3. Farklı yüzeyler için yansıtma katsayıları [65-67].

Yüzey	Ortalama yansıtma katsayısı
Kar (yeni yağmış veya buz kaplı)	0,75
Su yüzeyi	0,07
Yeşil çim	0,26
Beton kaplı alan	0,22
Topraklar (kil, balçık, vb)	0,14
Çam ormanları (kış mevsimi)	0,07
Sonbahardaki ormanlar	0,26

Böylelikle güneş geometrisinde verilen denklemler yardımı ile herhangi bir güne ait konumu belirtilen coğrafi bölgenin ışınım değerleri kolaylıkla hesaplanabilmektedir.

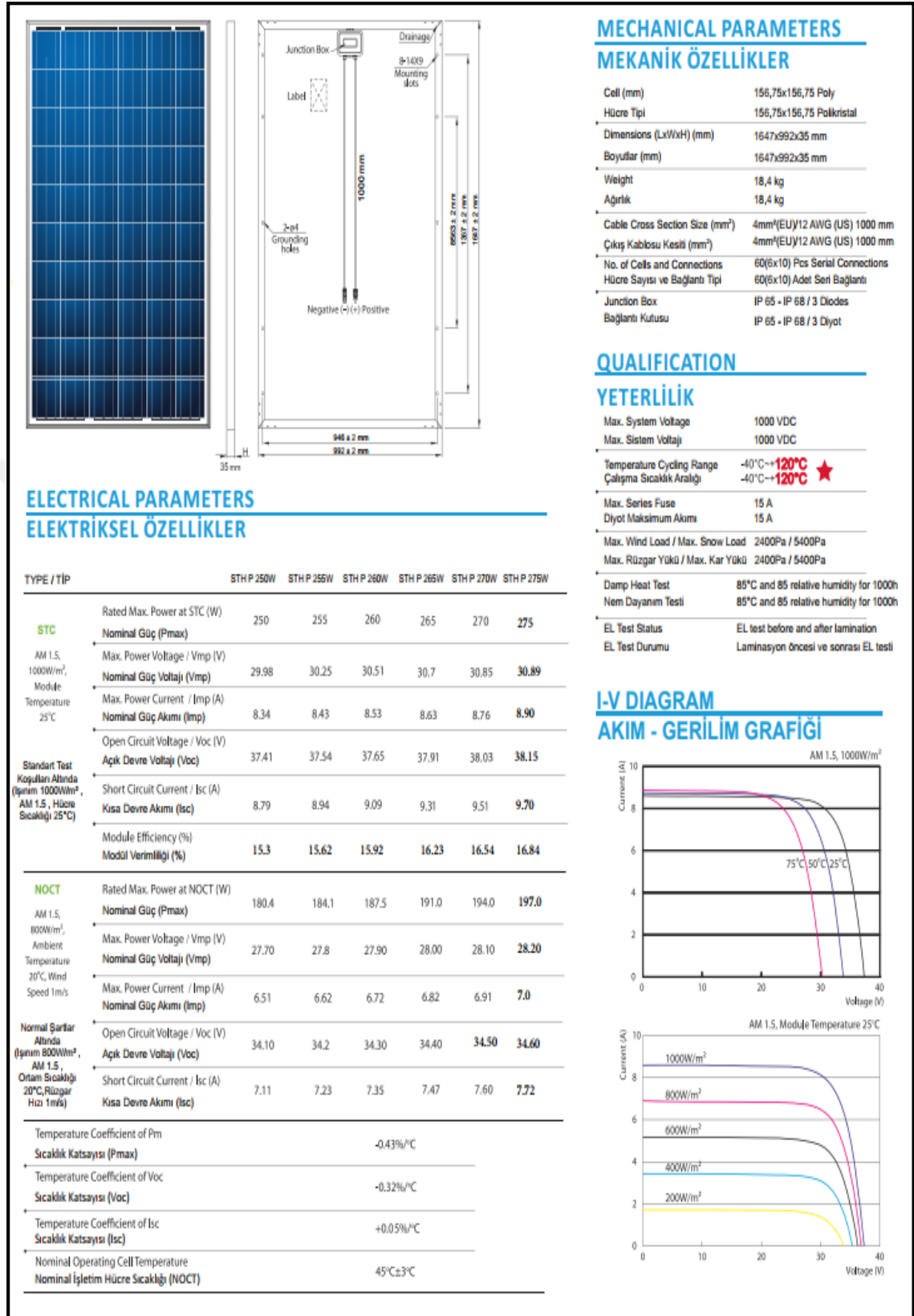
1.2.8.2. Fotovoltaik bir modül katalogunda bulunması gereken değerler

Fotovoltaik sistemin temelini oluşturan fotovoltaik paneller standart test koşullarında uygulanan testlerin bütünü üretici firma tarafından katalog halinde kullanıcı veya kurulumu yapacak olan firmalara vermesi gerekmektedir. Bu durum güneş enerjisi santralini kurmadan önce santralin üretim kapasitesinin ne kadar olacağı hakkında bilgi sahibi olmayı sağlamaktadır. Standart test koşulları yapılarak ortaya konan katalog ile gerçek saha uygulaması arasında farklılıklar oluşabilmektedir. Fakat katalogda ölçüm için alınan değerler ile saha koşullarındaki değerlerin aynı olması durumunda fotovoltaik panelin belirtilen değerlerde çıkış gücüne sahip olması gerekmektedir.

Uluslararası kuruluş olan International Electrotechnical Commission (IEC) tarafından belirtilen test koşullarında üretici firmaların testlerini yaparak bu testlerin sonuçlarını onaylatması gerekmektedir. International Electrotechnical Commission (IEC) kuruluşu güneş enerjili elektrik santrallerinde kullanılan fotovoltaik panellerin testlerine ilişkin olarak IEC 60904-3 maddesi altında test koşullarının nasıl yapılması gerektiğini

belirtmiştir. Buna göre fotovoltaik paneller 1000 W/m^2 güneş radyasyonu, 25°C sıcaklıkta ve 1,5 AM (Air Mass) değerlerinde ulaştıkları sonuçlar bu panellerin çıkış gücü olarak belirtilmektedir. Bu değer katalogda açıkça belirtilmektedir [2]. Bunun yanında fotovoltaik panellerin kataloglarında elektriksel karakteristikler, Akım-Gerilim karakteristiği, mekanik karakteristik değerler de verilmektedir. Şekil 1.38'de Solartürk firmasına ait ANATOLIA serisi 250W / 255W / 260W / 265W / 270W / 275W çıkış gücüne sahip fotovoltaik panellerin katalogu verilmektedir.





Şekil 1.38. Solartürk 250W - 275W çıkış gücüne sahip fotovoltaik paneller [68].

1.2.9. Fotovoltaik Santrallerde Verimlilik Ve Kayıplar

1.2.9.1. Güneş enerjili fotovoltaik santrallerde verim

Fotovoltaik bir panelden sağlanan maximum gücün, güneşten gelen ışınım değerinin oranına fotovoltaik bir panelin verimi denmektedir ve η ile gösterilmektedir. Farklı bir şekilde düşünülecek olursa panelin çıkış gücünün, giriş gücüne oranıdır da denebilir. Denklem 1.2.37’de panelin verimine ait matematiksel değerler verilmektedir.

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{giriş}} = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{A \cdot G} \quad (1.2.37)$$

Denklemde verilen A, metrekare cinsinden panelin yüzey alanını ifade etmektedir. G ise w/m^2 cinsinden panel yüzeyine gelen toplam ışınım miktarıdır.

Fotovoltaik bir panelde hücre göz önüne alındığında içyapılarındaki verimi etkileyen üç temel unsur karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan ikisi daha önce birinci bölümde bahsetmiş olduğumuz kısa devre akımı ve açık devre gerilimi değerleridir. Bunların yanında üçüncü bir etken ise Doluluk faktörüdür.

Doluluk Faktörü fotovoltaik hücrelerde açık devre gerilimi ve kısa devre akımına bağlı olarak ifade edilen bir parametredir. Fotovoltaik hücrelerin iç seri dirençlerine bağlı bir değerdir. Doluluk Faktörünün hesaplanması ise denklem 1.2.38’de verilen hücrenin maximum çıkışının açık devre gerilimi ve kısa devre akımının çarpımı oranına göre elde edilmektedir.

$$FF = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (1.2.38)$$

Fotovoltaik sistemlerde verimi artırmak için farklı metotlar ve yapıların uygulaması yapılarak verimi değiştirme oranları incelenmektedir [69].

1.2.9.2. Fotovoltaik hücrelerde verim ölçüm işlemi

Fotovoltaik hücrelerde verim ölçüm işlemlerinde referans hücre baz alınarak yapılan ölçümdür. Dış ortamdan izole edilmiş bir fotovoltaik hücre test edilecek olan hücre ile aynı malzemeden yapılmış olmalı ve aynı spektral etkiyi göstermesi gerekmektedir. IEC'nin belirlemiş olduğu standart test koşullarının sağlanması için hücre sıcaklığı 28 ± 2 °C ve hücre üzerindeki ışınım şiddetinin 100 W/m^2 olması gerekmektedir. Aynı şekilde ölçüm sonuçlarını analiz edecek olan cihazlarda $\pm 5\%$ 'den daha küçük hataları da görebilmelidir. Verim ölçümü için doğal güneş ışığı ya da denk sayılabilecek herhangi bir ışık kaynağı olabilir. Farklı ışın kaynakları için belirlenmiş olan kaynaklar ise şöyledir; kısa arklı Xenon lamba, uzun arklı Xenon Lamba, Dichroic, süzgeçli ELH tipi tungsten lambadır. Verilen bu kaynakların üçü de güneş ışınım değerine çok yakın kaynaklardır [70].

1.2.9.3. Fotovoltaik sistemlerde verimliliğin artırılmasına yönelik çalışmalar

Hücre verimliliklerine yönelik olarak yapılan bazı uygulamalar geliştirilmekle birlikte farklı yöntem ve metotlar denenerek fotovoltaik sistemin hücresinden paneline kadar farklı yöntemler ile verimliliğin artırılmaya çalışıldığı açıkça görülmektedir. Bunlara örnek olabilecek çalışmalar ise aşağıda verilmektedir.

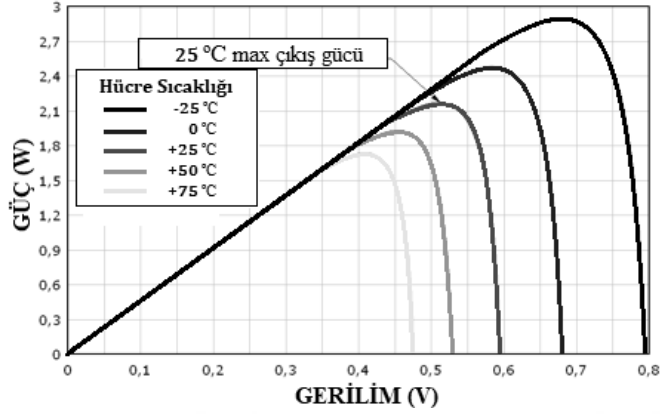
1.2.9.3.1. Panel yüzeyinin sıcaklığını düşürerek verimi artırma

Fotovoltaik panellerin çalışabilmesi için gereken güneş ışınım değeri çoğu zaman panelin uygun çalışma aralığından farklı değerlerde gelmektedir. Bu durumda panel verimini doğrudan etkilemektedir. İdeal panel verimliliklerinde hesaplanan 25°C sıcaklığın üzerindeki değerler panellerin aşırı ısınmasına buna bağlı olarak da verimin düşmesine neden olmaktadır. Fotovoltaik hücrelerde sıcaklık ile çıkış akımı arasındaki bağıntı denklem 1.2.39'da verilmektedir.

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_i \cdot T_c - T_r] \cdot \frac{G}{G_r} \quad (1.2.39)$$

Denklem 4.3.1.1'de görüldüğü gibi sıcaklığın artışı fotovoltaik hücrenin akımını olumsuz yönde etkilemektedir. Dolayısıyla bu durum çıkış gücüne de yansımaktadır. Işınım

değerinin sabit kalması ve sıcaklık etkeninin değişmesine bağlı olarak fotovoltaik hücrenin çıkış geriliminde yaşanan değişim Şekil 1.39’da verilmektedir.

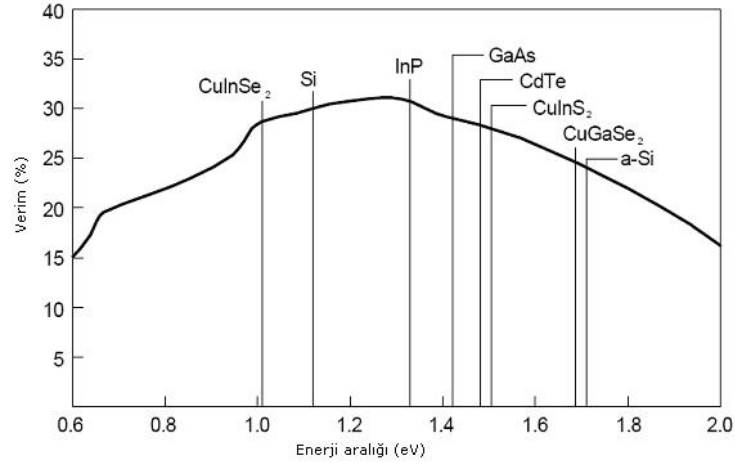


Şekil 1.39. Fotovoltaik hücrelerde sıcaklığa bağlı gerilim değişimi

Yapılan deneysel çalışmalarda da fotovoltaik hücrelerin aşırı ısınmalarını engellemek için su ile soğutma, fan ile soğutma yöntemlerin denenmiştir [42]. Deneysel sonuçlarda elde edilen bulgular neticesinde de görüldüğü gibi ısı faktörü oldukça önemli bir etken olduğu ortaya çıkmaktadır.

1.2.9.3.2. Farklı türden malzemeler ile verimliliğin artırılması

Fotovoltaik sistemin temelini oluşturan fotovoltaik panellerde birinci bölümde bahsedilen farklı tip panel yapılarında verimliliği etkileyen önemli unsurlardan birinin de hücre yapısını oluşturan yarı iletken malzemelerdir. Farklı bant genişliklerine sahip yarı iletken malzemeler ile birlikte fotovoltaik panellerde verimliliklerin değişimleri deneysel olarak ortaya konmaktadır. Bunların yanında hücredeki katmanların yapısına bağlı olarak da verimliliklerinin değişebileceğini ortaya koymaktadır. Ticari amaçlı olarak üretimi yapılan monokristal ve polikristal yapıları fotovoltaik panellerde elde edilen %15-%20 verimliliklerden sonra çok katmanlı yapılar deneysel olarak ortaya konan Bakır-İndiyum-Galyum-Selenit (CIGS) gibi yapılar ile verimlilikler %20'lerin üzerine çıkmaktadır[71]. Bu elementlerin içerisinde öne çıkan ise Galyum elementinin oluşturduğu çok katmanlı yapılarıdır. Deneysel çalışmalarda Galyum yapılarının ortaya koyduğu çok katmanlı yapılarda verimlilik %40'lara kadar çıkmaktadır. Bu yapıların oluşturduğu homojen dağılımlar oldukça etkili olmaktadır. Şekil 1.40'da elementlerin enerji bant geçişlerine göre verimlilikleri gösterilmektedir.



Şekil 1.40. Farklı türden elementlerin enerji batları ve verimlilikleri

1.2.9.3.3. Foto açısal etkenler ile verimin artırılması

Yarı iletken fotovoltaik panellerde verimi etkileyen bir diğer unsur ise hücre yüzeyine gelen ışınların yansıtıcı yüzeyler ile yansıtılarak tekrar soğurulmasını sağlamaktır. Fotovoltaik panellerde saha uygulamalarında da görülebileceği gibi bir yüzeye dik olarak gelen bir ışın yüzeyin durumuna göre farklı yollar izleyerek dağılmaktadır. Burada dik olarak yüzeye gelen bir ışın herhangi bir kırılmaya uğramadan dik olarak yüzeyi terk etmektedir. Farklı açısal değerlerden gelen ışınlar ise yüzeylerdeki yansıma açısına bağlı olarak birkaç farklı noktadan daha yansıtılarak yüzeyi terk etmektedir. Işının yapmış olduğu farklı yansımalara da bağlı olarak fotovoltaik paneller daha fazla ışınım maruz kaldıklarından dolayı verimlilikleri belirli oranlarda yükselmektedir. Açısal değerlerin değişmesine bağlı olarak ortamın kırıcılık indisi ve yansıtma katsayısı da verimlilik için önemlidir. Kırıcılık indisi ve yansıtma katsayısını artırmak için ise yansımayı önleyici cam yüzeyler kullanılmaktadır [73].

1.2.9.4. Fotovoltaik hücrenin verimliliğini sınırlayan etkenler

Fotovoltaik panelin iç yapısını oluşturan hücre verimini sınırlayan çeşitli etkenler bulunmaktadır. Bu etkenler hücrenin verimini sınırlandırarak verime olumsuz etki oluştururlar. Verimi sınırlayan başlıca etkenler ise; foto açısal etken, spektral etki ve sıcaklık etkisi olarak söylenebilir [74-76].

1.2.9.4.1. Foto açısal etken

Yansıma teorisinde olduğu gibi bir yüzeye gelen ışın iki şekilde yol izlemektedir. Bunlardan birincisi ışının çarparak yönünü ve doğrultusunu değiştirmesi, ikincisi ise ışının soğurulması olayıdır. Fotovoltaik hücrelerde de bu duruma benzer bir durum oluşmaktadır. Güneşten gelen fotonlar fotovoltaik hücre yüzeyine çarpınca bir kısmı soğurulur bir kısmı da yansıma yaparak hücreden çıkar. Fotovoltaik panelin konumuna göre gelen ışın yüzeyin normali ile bir açı yaptığında gelen ışının bir kısmı yüzey tarafından yansıtılır. Yansıma katsayısı, iki yüzey arasındaki ortamların kırıcılık indisleri ve yol olma katsayısını veren ifade denklem 1.2.40'daki gibi ifade edilmektedir.

$$R = \frac{((n_{k_2} - n_{k_1})^2 + k_{y_1}^2)}{((n_{k_2} - n_{k_1})^2 + k_{y_2}^2)} \quad (1.2.40)$$

Bu denklem yardımı ile foton enerjisi ile fotovoltaik hücreye giren fotonların arasındaki soğurulma katsayısını ifade eden değer denklem 1.2.41'de verilmektedir.

$$a = \left(\frac{q^2 (2m_h^* m_c^* / m_h^* + m_c^*)^{3/2}}{nch^2 m_c^*} \right) \quad (1.2.41)$$

Güneşten gelen fotonların bir kısmının yutulması, bir kısmının yansıtılmasından sonra fotovoltaik hücreden geçen fotonları ifade eden değer denklem 1.2.42'de verilmektedir.

$$T_g = \frac{(1-R)^2 e^{-ax}}{1-R^2 e^{-2a}} \quad (1.2.42)$$

1.2.9.4.2. Spektral etken

Yarı iletken yapı üzerine düşen monokromatik ışık yarı iletkende elektron hol çiftinin oluşmasına neden olmaktadır. Elektron hol çiftinin oluşum hızı ile yarı iletken yüzeyinden içine doğru olan değişim hızını ifade eden değer denklem 1.2.43'de verilmektedir.

$$G = (1 - R)aNe^{-ax} \quad (1.2.43)$$

Bu denkleme göre N foton akısı, R yansıtma katsayısı ve α soğurma katsayısını ifade etmektedir. Denkleme göre kısa dalga boylarındaki ışınım için α büyük bir değere sahip olduğundan gelen ışınım hemen soğurulmaktadır. Kısa dalga boyunda ışınımın hemen soğurulması iyi bir durum gibi görünse de kuantum verimliliğinin de düşük olmasına neden olmaktadır. Fotovoltaik hücre yüzeyine gelen ışınımın dalga boyu artık monokromatik güç başına düşen ışığın dalga boyu önce artar daha sonra ise azalır.

1.2.9.4.3. Sıcaklık etkisi

Fotovoltaik hücrelerde sıcaklık panelin yapısından başlayarak çevre koşullarına kadar birçok etken tarafından ortaya çıkan bir durumdur. Fotovoltaik hücrenin çalışma sıcaklığının gösterdiği etki, güneş enerjisi santralının kurulduğu coğrafyanın etkisi gibi birçok neden sıralanabilmektedir. Fotovoltaik hücrenin kısa devre akımı sıcaklık etkenine çok fazla bir bağımlılığı yoktur. Sıcaklığın artmasına bağlı olarak kısa devre akımı daha düşük bir değişim göstermektedir. Bunun sebebi ise sıcaklığın artmasına bağlı olarak yarı iletkenin yasak bant aralığının azalmasıdır. Fakat açık devre gerilimi ile Doluluk faktörü değerleri sıcaklıktan daha çok etkilenmektedir. Bu değerler sıcaklığın artması ile azalmaktadır. I_{kd} kısa devre akımını ile açık devre gerilimi arasındaki bağıntıdan yararlanılarak küçük olan negatif değerler ihmal edildiğinde kısa devre akımı denklem 1.2.44 ve 1.2.45'deki gibi olmaktadır.

$$I_{kd} = I_0(e^{qV_{ad}/kT} - 1) \quad (1.2.44)$$

$$I_{kd} = AY^\gamma e^{-E_{g0}/kT - qV_{ad}/kT} \quad (1.2.45)$$

Şekilde ifade edilebilmektedir. Burada A sıcaklıktan bağımsız bir sabiti, E_{g0} fotovoltaik hücrenin yapısındaki yarı iletkenin sıfır derece sıcaklıktaki yasak bant aralığını ifade etmektedir. γ , I_0 'ı sıcaklığa olan bağılıklarını ifade eder ve 1 ile 4 arasında değişmektedir.

Doluluk Faktörü $V_{ad}(kT/q)$ değerine bağlıdır. Sıcaklıktaki değişim kısa devre akımından daha çok açık devre gerilimini etkilediği için fotovoltaik hücrenin çıkış gücü ve verimi sıcaklığın artmasına bağlı olarak azalmaktadır. Silisyum yapıları bir fotovoltaik hücrenin

sıcaklığının 1°C artması hücre verimini %4- %5 civarında azaltmaktadır [77]. Bu etki geniş bant aralığına sahip yarı iletkenlerde daha azdır. Sıcaklığın düşük bir seviyede tutularak verimin artmasını sağlamak için çeşitli yöntem ve metotlar denenmektedir.

1.2.9.5. Güneş enerjili fotovoltaik santrallerde kayıplar

Fotovoltaik sistemlerde verim kadar önemli olan bir diğer etken ise kayıplardır. Kayıplar dikkate alınmadan kurulumu yapılan bir güneş enerjisi santralinde istenilen çıkış gücü elde edilemediği gibi verim kayıplarının artması da mümkündür [78,79]. Genel olarak kayıpları maddeler halinde sıralayacak olursak; Elektriksel kayıplar, Yarı iletken yüzeylerdeki kayıplar ve Uyumsuzluk kayıpları olarak sıralanabilir. Farklı programlarda hesaplanan bu kayıp değerlerini, matematiksel olarak da hesaplamak mümkündür.

1.2.9.5.1. Elektriksel kayıplar

Bu kayıplardan kasıt akım ve gerilime bağlı olarak yaşanan kayıplardır. Akım ve gerilimdeki kayıplar doğrudan çıkış gücünü etki etmektedir. Birbiri ile dizi oluşturan fotovoltaik panellerin toplam akım ve gerilim değerlerinin gerekli kalibrasyonlarının yapılamaması bu kayıpların en önemli nedenleridir. Seri ve paralel bağlı direnç kayıpları, zayıf diyot karakteristiği toplam akım ve gerilim değerini düşürmektedir.

1.2.9.5.1.1. Direnç kayıpları

Fotovoltaik hücrenin direnci; metal bağlantıların oluşturduğu direnç ve yarı iletkenler arasında oluşan direnç, fotovoltaik panellerde seri bir direnç oluşmasına neden olmaktadır. Gerek eklem bölgesinin saf olmayışı gerekse kristal yapılarıdaki bozukluklar fotovoltaik hücrede düşük şönt direncinin oluşmasına neden olmaktadır. Bunun yanında p-n birleşiminin kenar noktalarındaki kayıplarda dahil edildiğinde şönt direnç oluşmasına neden olmaktadır. Fotovoltaik hücrenin üzerinde bulunan iletken şeritle, hücre yüzeyindeki çatlaklar ve çiziklerde şönt direncin oluşmasında etkili olmaktadır. Birinci bölümde vermiş olduğumuz fotovoltaik hücreye ait seri ve şönt (paralel) dirençlerden seri direncin yüksek değerlerde olması ve şönt direncinde küçük değerlerde olması, Doluluk faktörünü azaltacağından verimin düşmesine neden olacaktır. Birbirine seri şekilde bağlanmış olan hücrelerin ve hücrelerin birbiri ile bağlantısı sonucunda oluşan modüllerin seri direnci artırmasından dolayı da yine verim kayıplarının yaşanmasına neden olacaktır.

Bu tür kayıpların önüne geçmek için ise bağlantı noktalarını olabildiğince kısa tutmak ve birbiri ile bağlantıyı sağlayan iletkenlerin saflığına ve kalitesine önemli ölçüde dikkat edilmelidir.

1.2.9.5.1.2. Akım kayıpları

Fotovoltaik bir hücredeki kayıplar hücre içerisindeki elektron delik çiftlerinin ayrılıp yeniden bir araya gelmesi sonucunda oluşan kayıplardır. P-n eklemli fotovoltaik bir hücrede güneş ışınlarının uyarılması sonucunda elektron delik çiftleri difüzyon mesafesi sonunda yeniden birleşerek yok olmaktadır. Bu durum ise hücrenin akımına katkı sağlamamaktadır. Bu noktada ortaya çıkan akım kayıplarını ise en aza indirmek için hücrenin ışınım ve elektriksel noktalarının birbirine uyum sağlaması ile mümkün olmaktadır.

Fotovoltaik hücrede akım kayıplarını azaltmak için fotonlar hücrenin p-n birleşimi noktasına olabildiğince yakın düşürülmesi ile mümkün olmaktadır. Her ne sebeple olursa olsun iyi tasarlanmış fotovoltaik bir hücrede dahi akım kayıpları belli oranlarda meydana gelmektedir.

1.2.9.5.1.3. Açık devre gerilim kayıpları

Homojen eklem bölgeleri ve heterojen eklem bölgeleri ile birlikte schottky diyotların açık devre gerilimleri hücre içerisindeki birleşme ömrü, yüzeyde yeniden birleşme hızları ile denetlenmektedir. Açık devre gerilimini kontrol eden diğer parametreler ise p-n eklemının her iki bölgesindeki katkılanma seviyeleri ve yasak bant genişliğidir. Bu sebeple açık devre gerilim kayıpları %4 ile %50 arasında değişmektedir.

1.2.9.5.1.4. Doluluk faktörü kayıpları

Daha öncede bahsettiğimiz gibi Doluluk faktörü fotovoltaik hücrenin maximum gücünün, kısa devre akımı ve açık devre gerilimine bölünmesi ile elde edildiğinden bahsetmiştik. Seri direncin büyük değerinde olması ve şönt direncin küçük değerinde olması Doluluk faktörünün azalmasına neden olacağından verimin düşmesine neden olacaktır. Yasak bant aralığının artması ile Doluluk faktörü ideal değer olan 1'e yaklaşmaktadır. Bu durumda yasak bant aralığının artması yarı iletken malzemenin verimini artıracaktır. Farklı bir

yönden ele alınırsa yasak bant aralığı artıkça fotovoltaik hücreler tarafından soğurulan foton sayısı da azalmaktadır. Foton sayısı da azaldığında hücreden elde edilen akım da azalacağından verim de azalmaktadır. Bu nedenle yasak bant aralığının ideal değere yakın olduğu değerlerde alınması gerekmektedir. Fotovoltaik bir hücrede en iyi verimin alınabilmesi için yarı iletkenin yasak bant aralığı 1,4 eV ile 1,6 eV değerleri arasında olması gerekmektedir.

1.2.9.5.1.5. Kablo kayıpları

Fotovoltaik panellerin birbiri ile bağlantısının sağlayan ve oluşan elektrik akımının iletiildiği aynı zamanda santrallerin en önemli unsurlarından birisi olan kablolar ve kabloların oluşturduğu kayıplar santral için önemlidir. İyi bir şekilde kurulumu sağlanmış ve uygun bir kablolama yapılmış santralde kayıpların %2'den daha düşük olması ve bu oranın zamanla artmaması gerekmektedir [80].

Fotovoltaik santralin kurulumundan sonra zamanla dış etkenlere de bağlı olarak kablolarda korozyon ve aşırı ısınmadan dolayı da kablo kayıpları meydana gelebilmektedir. Fotovoltaik santralde üretilen enerjisinin DC olması nedeniyle oluşan kayıpları denklemler 1.2.46 ve 1.2.47'de ifade edilmektedir.

$$P_{DA-kablo,kayıp}(t) = 2 \cdot I_{DA,kablo}^2(t) r_{DA} \quad (1.2.46)$$

$$P_{DA-kablo,kayıp}(t) = 2 \left(\frac{P_{DA,kablo}(t)}{V_{DA}} \right)^2 r_{DA} \quad (1.2.47)$$

Burada r_{DA} kablo direncini, V_{DA} kablo uçlarındaki gerilimi, P_{DA} kablo güç kaybını ifade etmektedir. Kablolardaki iç dirençte hesaba katıldığında, kablo direncinin artması da kablo kayıplarının artması ile doğru orantılıdır. Burada kablonun Doğru Akım direnci, kablo uçlarındaki Doğru Akım gerilimi, ise Doğru Akım kablo kayıp gücüdür.

1.2.9.5.2. Yarı iletken yüzeylerdeki kayıplar

Fotovoltaik panellerin veriminin artırılması konusunda ele aldığımız, yarı iletken malzeme farklılıklarının homojen bir dağılım oluşmaması sonucunda yaşanan

kayıplardır. P ve n tipi malzemelerin iki yanında bulunan malzemelerin sağladığı uyumsuzluk elektriksel kayıplara yol açmaktadır.

1.2.9.5.3. Uyumsuzluk kayıpları

Fotovoltaik santrallerde her bir panelin ürettiği elektrik enerjisi eşit olmamakla birlikte bu durumda ortaya çıkan sorunlardan biride uyumsuzluk kayıpları olarak adlandırılmaktadır. Panellerin konumu, kirlilik durumu, gölgelenme durumu veya açısındaki en küçük değişimler ile birlikte paneller farklı oranlarda elektrik enerjisi üretebilmekte ve bu durumda paneller arasındaki farklardan dolayı uyumsuzluk kayıpları ortaya çıkabilmektedir [81].



2. METARYAL VE METOT

Fotovoltaik sistemlerin temelini oluşturan fotovoltaik panellerde en önemli unsur verimliliğidir. Güneş enerjili elektrik santralleri kurulurken en önemli parametreyi oluşturan panel verimliliğine göre; maliyet, üretim ve amortisman süreleri ortaya çıkmaktadır. Fotovoltaik panellerde verim sadece panelin iç yapısına bağlı olmayıp, çevresel faktörlerin bütünü ile değerlendirilmelidir. Bu bakımdan bir fotovoltaik panelin verimliliğini sadece laboratuvar ortamlarında değil gerçek saha koşullarında da test edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada fotovoltaik paneller ile kurulu bir güneş enerjili elektrik santrali olan Karhan Enerji firmasına ait güneş enerjili elektrik santralinde, fotovoltaik panellerin enerji verimlilikleri incelenmiştir. Karhan Enerji firmasının yapmış olduğu enerji santralinde Panasonic firmasına ait olan HIT VBHN294SJ45 294 W gücüne sahip fotovoltaik panel incelenmiştir.

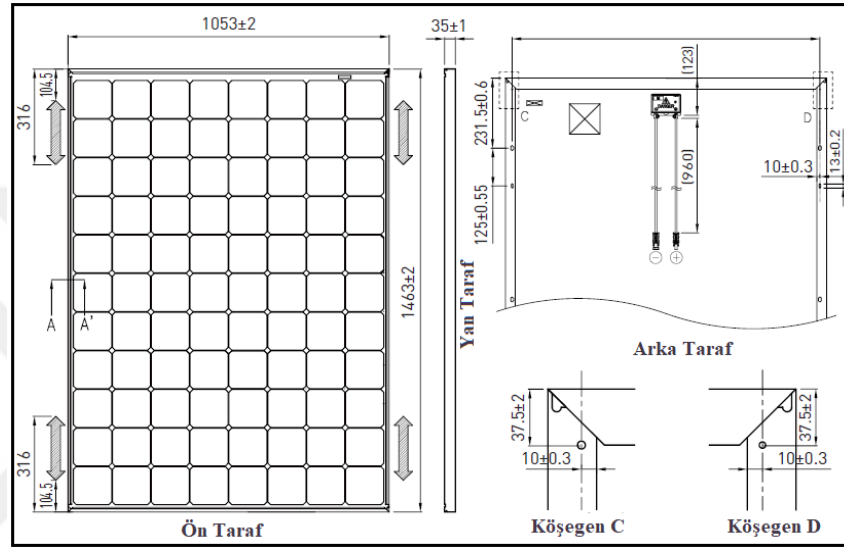
2.1. Panasonic VBHN294SJ45 Tipi Fotovoltaik Panel ve Verimliliği

Güneş enerjili elektrik santrallerinde kullanılan fotovoltaik panellerde verim değerlendirmesi birden fazla parametrenin değerlendirilmesi ile ortaya çıkmaktadır. Karhan Enerji tarafından kullanılan Panasonic VBHN294SJ45 tipi fotovoltaik panellerde verimlilik birden fazla parametreye bağlı olarak değerlendirilmektedir. Bu parametreler; metrekare başına üretilen elektrik, sıcaklık katsayısı, güç toleransı, ilave baypas diyotu, yaşlanma ve HIT teknolojisi olarak sıralanabilir [82].

2.1.1. Metrekare Başına Üretilen Elektrik

Fotovoltaik sistemlerde panel ölçüleri için belirli bir standart bulunmasa da genel olarak bir fotovoltaik panel boyu 160 cm, eni ise 100 cm boyutlarında olmaktadır. Farklı üretici firmalarda olsa genel olarak birbirine yakın ölçümler ortaya çıkmaktadır. Burada önemli olan nokta ise santralin kurulumunda toplam arazi ölçüsü içerisinde panellerin kaplayacağı alan olmaktadır. Amortisman süresi de dikkate alındığında arazinin genişlemesine bağlı olarak artan maliyet beraberinde amortisman süresinin uzamasına neden olmaktadır. Örnek olarak bir evin çatış üzerine kurulan güneş enerjisi santralinin alan sınırlı olduğundan dolayı panel boyutları önemli bir etken oluşturmaktadır. Aynı boyutlara sahip olan panellerde gücü yüksek olanın bu gibi yerlerde tercih edildiğini görmekteyiz. Fotovoltaik panelde gücü artıran etkenlerden biri ise panelin iç yapısını

oluşturan fotovoltaik hücrelerdir. Hücre sayısı arttıkça doğrusal olarak da panel gücü artmaktadır. Dolayısıyla fotovoltaik hücrenin fazla olması her zaman gücü artıran bir etken olmaktadır. Panel boyutlarının sabit kalmasına bağlı olarak panel içerisindeki hücrelerin sayısının artması panel verimini artıracaktır. İncelenen güneş enerjili elektrik santralinde ise Panasonic VBHN294SJ45 tipi fotovoltaik panelin en boy oranları Şekil 2.1'deki gibidir.



Şekil 2.1. Panasonic VBHN294SJ45 tipi fotovoltaik panelin en, boy oranları [82].

Gözlemlenen bu panelde en boy oranının birbirine yakın tutulması, çelik konstrüksiyonun maliyetinin düşmesine neden olmaktadır. Aynı zamanda daha fazla fotovoltaik hücre bir arada olduğu için bir panelden sağlanan verim artmaktadır.

2.1.2. Sıcaklık Katsayısı

Güneş enerjili fotovoltaik santrallerinde verimi etkileyen en önemli parametrelerin başında sıcaklık faktörü geldiği söylenebilir. International Electrotechnical Commission (IEC) Uluslararası Elektroteknik Komisyonu'nun IEC 60904-3 standart test koşulları olan fotovoltaik hücrelere 1000 W/m² güneş radyasyonu, 25°C sıcaklıkta ve 1,5 AM (Air Mass) değerlerinde test edilmesi ile ortaya çıkan verimlilik değerleri ile saha koşullarında yıl içerisinde atmosfer değerleri birbirinden farklı olmaktadır [2]. Bu durum fotovoltaik panelinde verimliliğinin değişebileceği anlamına gelmektedir. Fotovoltaik santralin kurulduğu coğrafi bölgeye bağlı olarak panel verimliliği değişmektedir. Bir fotovoltaik paneldeki sıcaklık hücrenin yüzey sıcaklığıdır. Gece boyunca 0°C seyretmesine karşın

güneşin doğuşu ile birlikte fotovoltaik hücrenin sıcaklığında artış meydana gelmektedir. Fotovoltaik hücreye geçen güneş radyasyonunun fotovoltaik panele etkisini Duffie ve Beckman'ın fotovoltaik sistemler için tanımladığı sıcaklık ifadesi denklem 2.1'de verilmektedir [83,84].

$$\tau\alpha G_T = \eta_c G_T + U_L(T_c + T_a) \quad (2.1)$$

Denklem 5.1.2.1'de ifade edilen değer fotovoltaik hücre tarafından emilen güneş ışınımı ve elektriksel çıkış neticesinde çevreyle olan ısı transferi arasında bir bağıntı olduğunu ifade etmektedir. Hücredeki sıcaklığa veren ifade ise denklem 2.2'de ifade edilmiştir.

$$T_c = T_a + G_T \left(\frac{\tau\alpha}{U_L} \right) \left(1 - \frac{\eta_c}{\tau\alpha} \right) \quad (2.2)$$

Fotovoltaik bir hücrede $(\tau\alpha/U_L)$ değerini doğrudan ölçmek çok zordur. Bunun yerine nominal hücre çalışma sıcaklığı (NOCT), 0,8 kW/m²'lik bir alana yayılan güneş ışınımı için ortam sıcaklığının 20°C olduğu ve fotovoltaik hücrenin yüksüz çalıştırıldığı $\eta_c = 0$ kabul edilirse denklem 2.3'de elde edilir.

$$\frac{\tau\alpha}{U_L} = \frac{T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}}{G_{T,NOCT}} \quad (2.3)$$

Denklem 2.1.2.3'de verilen $(\tau\alpha/U_L)$ değeri sabit kabul edilirse verilen değerler denklem 2.4'de yerine konduğunda;

$$T_c = T_a + G_T \left(\frac{T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}}{G_{T,NOCT}} \right) \left(1 - \frac{\eta_c}{\tau\alpha} \right) \quad (2.4)$$

Denklem 5.1.2.4'deki ifade ortaya çıkmaktadır. Duffie ve Beckman'ın önerdiği metot ile birlikte $\tau\alpha$ değeri 0,9 alındığında $\eta_c/\tau\alpha$ değeri çok küçük bir değer çıkacağından ihmal edilebilir. Hücre çalışmasının maximum noktada çalıştığı düşünüldüğünde verimliliğin maximum eşiti denklem 2.5'de verilmektedir.

$$\eta_c = \eta_{mp} \quad (2.5)$$

η_{mp} = fotovoltaik hücrenin maximum güç noktası verimliliği (%) eşit olduğu kabul edilirse η_c 'nin yerine η_{mp} yazılırsa denklem 2.6 elde edilir.

$$T_c = T_a + (T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}) \left(\frac{G_T}{G_{T,NOCT}} \right) \left(1 - \frac{\eta_{mp}}{\tau\alpha} \right) \quad (2.6)$$

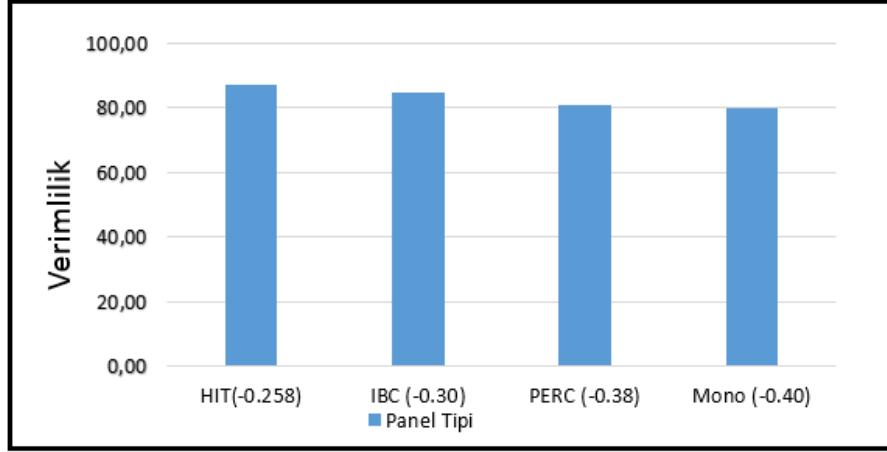
Burada η_{mp} hücre sıcaklığı T_c 'ye bağlıdır. Denklem 2.7'de verilen standart test koşullarındaki maximum güç verimliliği;

$$\eta_{mp} = \eta_{mp,STC} [1 + \alpha_P (T_c - T_{c,STC})] \quad (2.7)$$

Fotovoltaik hücredeki güç katsayısı normalde negatif bir değere sahiptir. Yani fotovoltaik hücrenin verimliliği sıcaklık artışı ile ters orantılıdır. Yukarıda ifade edilen denklemler ile birlikte bir hücrenin sıcaklığını veren ifade denklem 2.8'de ifade edilmiştir.

$$T_c = \frac{T_a + (T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}) \left(\frac{G_T}{G_{T,NOCT}} \right) \left[1 - \frac{\eta_{mp,STC} (1 - \alpha_P T_{c,STC})}{\tau\alpha} \right]}{1 - (T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}) \left(\frac{G_T}{G_{T,NOCT}} \right) \left(\frac{\alpha_P T_{c,STC}}{\tau\alpha} \right)} \quad (2.8)$$

Yukarıda verilen ifadeler ışığında saha incelemesini yapmış olduğumuz güneş enerjili fotovoltaik santralde de hücre sıcaklığındaki çok küçük bir değişim santralin verimine çok yüksek oranda verim kaybın neden olmaktadır. Fotovoltaik hücrelerin test koşullarındaki sıcaklık değeri olan 25°C de hücreler verimli bir şekilde çalışmasına rağmen santralin kurulduğu coğrafyanın iklimi ve hücrenin çalışma sıcaklığı ile birlikte hücre sıcaklığı çok yüksek değerlere çıkabilmektedir. Bu durumda yüksek sıcaklıkta da verimli çalışabilecek fotovoltaik panellerin seçilmesi sıcaklığa bağlı olarak yaşanan verim kayıplarının en az olmasını sağlayacaktır. Sahada incelen Panasonic VBHN294SJ45 sıcaklık katsayısı - % 0,29 değerindedir. Eğer sıcaklık katsayısı - % 0,5 olmuş olsaydı bu durumda 25°C üzerinde sıcaklığın 1°C artması verimin % 0,5 düşeceği anlamına gelmektedir. Bu durum yaz aylarında panelin verimini büyük oranda etkileyecektir. Sahada incelediğimiz Panasonic VBHN294SJ45 fotovoltaik panelde ise sıcaklık artışına bağlı olarak verimde yaşanan değişimler Şekil 2.2'de verilmektedir [82].



Şekil 2.2. Sıcaklığa bağlı olarak fotovoltaiik panellerin verim değışimleri

Şekil 2.2’de açıkça görüldüğü gibi yukarıda denklemler ile de anlaşılacağı üzere hücredeki sıcaklık artışı ile verim arasında ters orantı vardır. Bu nedenle fotovoltaiik paneller yaz aylarında sıcaklık değeri ve güneş ışınımının optimum seviyede olmasına rağmen verim olarak Mayıs-Haziran aylarında üretilen elektrik enerjisinin gerisinde kalırlar.

2.1.3. Güç Toleransı

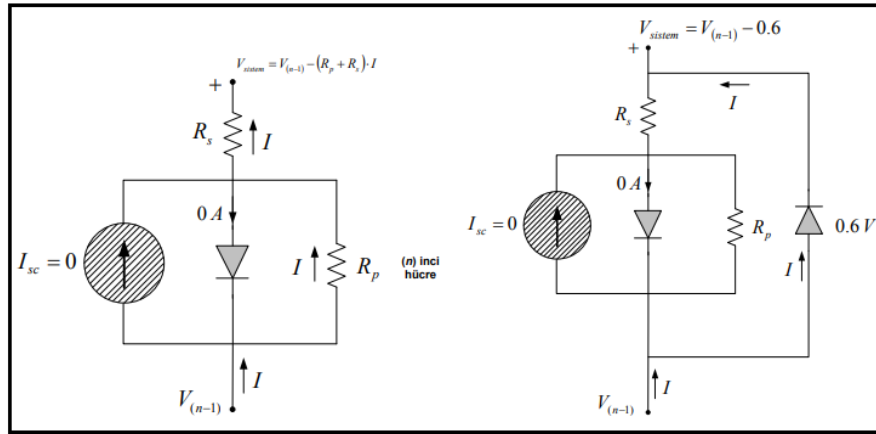
Fotovoltaiik panellerde verim için bakılması gereken değerlerden biriside güç toleransıdır. Güç toleransı olarak ifade edilen değer fotovoltaiik panelin düşük performans ve yüksek performans arasındaki farktır. Verimliliğini incelediğimiz Panasonic VBHN294SJ45 tipi fotovoltaiik panelde ise güç toleransı değışimi % -0/+10 arasında değışmektedir. En iyi verimin alınabilmesi için fotovoltaiik bir panelin güç toleransının negatif oranının küçük pozitif oranının ise büyük olanı seçilmelidir. Sahada bulunan Panasonic VBHN294SJ45 fotovoltaiik panelde ise negatif oran sıfır olması pozitif oranın % +10 olması bu panelin etkin çalıştığında en düşük 294 W_p en yüksek ise 324,4 W_p üreteceği anlamına gelmektedir.

2.1.4. İlave Baypas Diyotu

Bilindiği gibi fotovoltaiik panellerde hücreler üzerine gelen gölgelenme sonucunda hücre yeterli güneş ışınımı almadığından akım üretmez bunun sonucu olarak da hücrenin bağlı olduğu dizideki hücreler arasındaki bağlantı olmadığı varsayılarak panelin genelinde bir verim düşüşü yaşanır. Fotovoltaiik panellerde hücrelerden dolayı verim düşüşüne neden

olan olayların başında; tozlanma, kuş pislikleri ya da santral çevresinde bulunan cisimlerin oluşturduğu gölge etkileri gelmektedir. Bu olumsuzluklardan dolayı bir fotovoltaik panelde meydana gelen verim düşüklüğü panelin bağlı olduğu dizinin de verimini düşüreceğinden güneş enerjisi santrali için önemli bir sorun teşkil etmektedir. Bu durumu en aza indirmek için ise baypas diyotları fotovoltaik panellerin içerisine yerleştirilmiştir. Böylelikle fotovoltaik santralde gölgelenmeye bağlı olarak yaşanan verim kayıplarının önüne geçilmeye çalışılmaktadır.

Şekil 2.3’de tozlanma, kuş pislikleri ve santral çevresinde bulunan cisimlerin oluşturdukları gölgelenme durumu ele alınmaktadır. Birinci durumda akım kaynağı gibi görülen hücrede herhangi bir besleme (güneş ışınımı) gelmediğinde akım seri ve paralel direnç üzerinden geçen bir yol izler. Bu durumda hücrede enerji kaybı dolayısıyla ısınma meydana gelir. Bu istenmeyen durumdan kurtulmak için ise baypas diyotu kullanılmaktadır. Bu baypas diyotu hücreye paralel bağlanır. Böylece hücrenin güneş ışınımı almaması durumunda yanı gölgelenme olması durumunda sadece diyot gerilimi kadar enerji kaybı yaşanır. Şekil 2.3’de fotovoltaik hücrenin devresi ve baypas diyotu kullanımı gösterilmektedir.

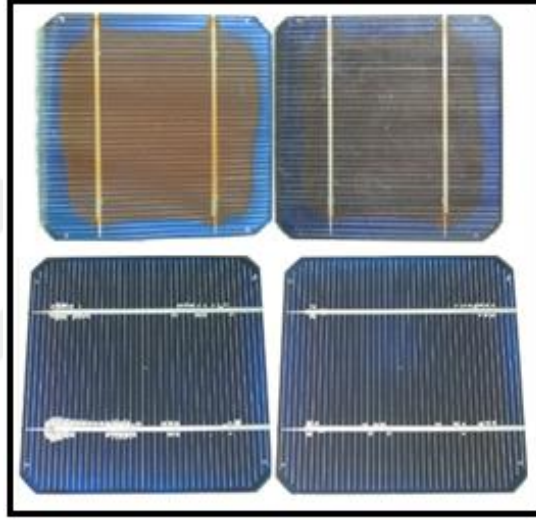


Şekil 2.3. Fotovoltaik hücre ve baypas diyotu kullanımı

Sahada incelemesini yapmış olduğumuz Panasonic VBHN294SJ45 tipi fotovoltaik panelde de normal standart panellere göre fotovoltaik panele ilave diyot eklenerek verim kayıpları en aza indirilmiştir [85].

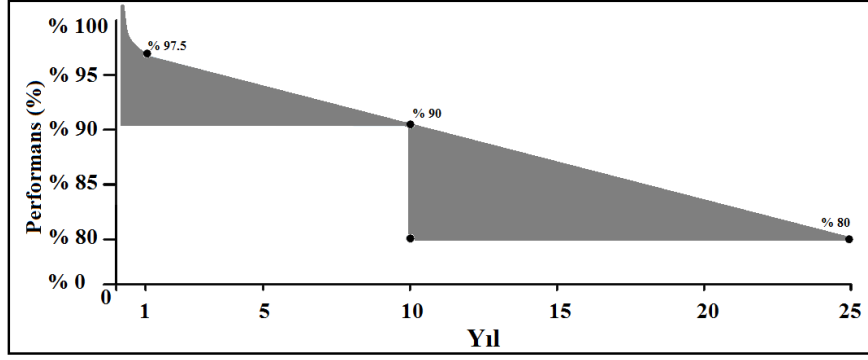
2.1.5. Yaşlanma Faktörü

Bilindiği gibi fotovoltaik paneller güneş ışınımına bağlı olarak çalışmaktadırlar. Fakat güneş ışınları mevsimlere bağlı olarak da sürekli olarak değişkenlik göstermektedir. Özellikle de yaz aylarında hücreler çok fazla güneş ışınımına maruz kaldıklarından güneş ışınlarının yakıcı etkilerinden dolayı fotovoltaik hücrelerde yıpranma zamanla da yaşlanmaya bağlı olarak verim kayıpları yaşanmasına neden olmaktadır [86,87]. Şekil 2.4’de bir fotovoltaik hücrenin zamanla kullanımından kaynaklı olarak hücrede meydana gelen tahribat verilmektedir.



Şekil 2.4. Fotovoltaik hücrede yaşlanmaya bağlı olarak yaşanan tahribat

Şekilde de görüldüğü gibi bu duruma gelmiş olan bir hücre yeterli güneş ışınımını almış olsa dahi yeterince verimli çalışamazlar. Bu durum santralin tamamında bir verim düşüşüne neden olacaktır. Üretici firmalar tarafından üretilen fotovoltaik panellerde bu durum gözetilerek her bir üretici üretmiş olduğu fotovoltaik panellere zamana bağlı olarak yaşanacak olan verim kayıplarını vermektedirler. Şekil 2.5’de standart bir fotovoltaik panelde yaşlanmaya bağlı olarak yaşanan verim kaybı verilmektedir.



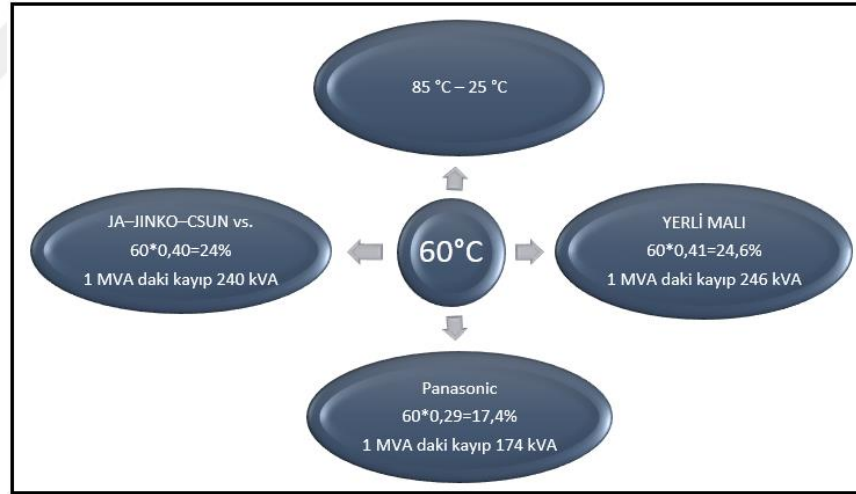
Şekil 2.5. Bir fotovoltaiik panelde yaşlanmaya bağı olarak yaşanan verim kaybı

Yaşanan bu verim kayıplarının önüne geçmek için ise firmalar kendilerine özgü yöntemler geliştirerek yaşlanmaya bağı verim kayıplarını önlemeye çalışmaktadırlar.

3. BULGULAR

Sahada incelemesini yapmış olduğumuz Karhan Enerji firmasına ait olan 4x500 kW kurulu gücüne sahip güneş enerjili fotovoltaik santralde panel verimliliğine ait parametrelerin santralin bütününde oluşturduğu etkiler ayrıntılı olarak ele alınmaktadır. Yapılan gözlemler neticesinde fotovoltaik panellerdeki enerji verimliliği fotovoltaik panelin sıcaklık değerine, güç toleransına, kullanılan baypas diyotuna ve yaşlanma faktörüne bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Bunlara ek olarak HIT teknolojisinin kullanılması da panel verimliliğine etki ederken Optimizer kullanılması da fotovoltaik panellerden meydana gelen ışınım kayıpları sonucunda diziye bağlı olan panellerdeki verim kayıplarının önüne geçilmeye çalışılmıştır.

Sıcaklığın panel üzerindeki etkileri ve buna bağlı olarak ortaya çıkan enerji verimliliğini daha iyi anlayabilmek için Şekil 3.1’de Panasonic VBHN294SJ45 panel ve diğer paneller arasındaki sıcaklığa bağlı verim kayıpları verilmektedir.



Şekil 3.1. Sıcaklığa bağlı olarak fotovoltaik panellerdeki enerji verimliliği

Farklı üretici firmalar ve yerli firmaların ürettikleri fotovoltaik paneller ile Panasonic VBHN294SJ45 tipi panelin 25°C ile 85°C sıcaklık değeri arasındaki gösterdikleri performans değerlerine bakıldığında sıcaklığa bağlı olarak yaşanan verim kaybının Panasonic firmasına ait olan panelde en az olduğu görülmektedir. Çizelge 3.1’de sıcaklık katsayısı yönüyle Panasonic VBHN294SJ45 tipi fotovoltaik panel ve diğer paneller.

Çizelge 3.1. Sıcaklık katsayısı yönüyle Panasonic VBHN294SJ45 tipi panel

Sıra	Üretici	Ülke	Gücü	Güç Toleransı (Wp)	Sıcaklık Katsayısı	Wp /m ²		
1	Panasonic	Japon	325	-0/+10%	32,5	357,5	-0,290%	194,11
2	Ja	Çin	295	-0/+5	5	300	-0,390%	180,41
3	Ja	Çin	235	-0/+5	5	240	-0,410%	179,10
4	Luxor	Almanya	285	-0/+6,49	6,49	291,49	-0,450%	175,18
5	Solarwatt	Almanya	295	-5/+5 %	14,75	309,75	-0,390%	168,50
6	Jinko	Çin	275	+0/+3%	8,25	283,25	-0,400%	168,01
7	Chint	Çin	275	+0/+3%	8,25	283,25	-0,470%	167,47
8	Csun	Çin	320	+0/+3%	9,6	329,6	-0,423%	165,25
9	Trina	Çin	270	+0/+3%	8,1	278,1	-0,410%	164,96
10	Chint	Çin	270	+0/+3%	8,1	278,1	-0,407%	164,42
11	Hanwa	Çin	270	+0/+3%	8,1	278,1	-0,410%	161,68
12	Solar Türk	Türkiye	260	-0/+5%	5	265	-0,430%	159,82
13	Solarwatt	Almanya	270	-5/+5%	13,5	283,5	-0,410%	154,22
14	Solar Frontie	Almanya	170	-10/+10%	17	187	-0,310%	124,58
15	Würt Solar	Almanya	150	-5/+10%	15	165	-0,310%	116,03

Fotovoltaik panellerdeki verime doğrudan etki etmese de santralin kurulduğu alan büyüklüğü göz önüne alındığında aynı boyutlardaki fotovoltaik panellerden verimi yüksek olanın seçilmesi amortisman süresinin kısalmasına ve böylece maliyetin düşmesine neden olduğundan önem arz etmektedir. İncelediğimiz fotovoltaik panel ve diğer panellerin metrekare başına ürettikleri enerji elektrik enerjisi dikkate alındığında çizelge 3.2’de verilen durum ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 3.2. metrekare başına en fazla elektrik enerjisi üreten fotovoltaik panel

Sıra	Üretici	Ülke	Gücü	Güç Toleransı (Wp)	Sıcaklık Katsayısı	Wp/m ²		
1	Panasonic	Japon	325	-0/+10%	32,5	357,5	-0,290%	194,11
2	Ja	Çin	295	-0/+5	5	300	-0,390%	180,41
3	Ja	Çin	235	-0/+5	5	240	-0,410%	179,10
4	Luxor	Almanya	285	-0/+6,49	6,49	291,49	-0,450%	175,18
5	Solarwatt	Almanya	295	-5/+5 %	14,7	309,75	-0,390%	168,50
6	Jinko	Çin	275	+0/+3%	8,25	283,25	-0,400%	168,01
7	Chint	Çin	275	+0/+3%	8,25	283,25	-0,470%	167,47
8	Csun	Çin	320	+0/+3%	9,6	329,6	-0,423%	165,25
9	Trina	Çin	270	+0/+3%	8,1	278,1	-0,410%	164,96
10	Chint	Çin	270	+0/+3%	8,1	278,1	-0,407%	164,42
11	Hanwa	Çin	270	+0/+3%	8,1	278,1	-0,410%	161,68
12	Solar Türk	Türkiye	260	-0/+5%	5	265	-0,430%	159,82
13	Solarwatt	Almanya	270	-5/+5%	13,5	283,5	-0,410%	154,22
14	Solar Frontie	Almanya	170	-10/+10%	17	187	-0,310%	124,58
15	Würt Solar	Almanya	150	-5/+10%	15	165	-0,310%	116,03

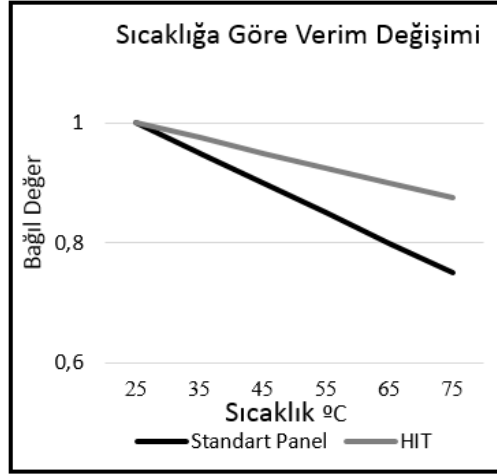
Çizelgede de açıkça görüldüğü gibi Panasonic firmasına ait olan fotovoltaik panellerin metrekare başına daha fazla elektrik enerjisi ürettiği görülmektedir. Bu durum metrekare başına alınacak olan verimin daha yüksek olacağı anlamına gelmektedir.

Güç toleransı yönüyle de sahada incelemiş olduğumuz fotovoltaik panel ile farklı üretici firmaların üretmiş oldukları fotovoltaik paneller arasında belirgin bir verim farkı ortaya çıkmaktadır. Bir önceki bölümde değinildiği gibi güç toleransı incelenen fotovoltaik panellerde (-) negatif değerde güç toleransına sahip fotovoltaik panellerin verimlerinin düşük olacağı için (-) negatif değerlikli fotovoltaik panellerin seçilmesi santralde verim kayıplarına yol açacaktır. Sahada incelediğimiz Panasonic firmasına ait olan fotovoltaik panel ile diğer fotovoltaik paneller güç toleransı yönünde incelendiğinde Çizelge 3.3'de verilen durum ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 3.3. Güç toleransı yönünden fotovoltaik paneller

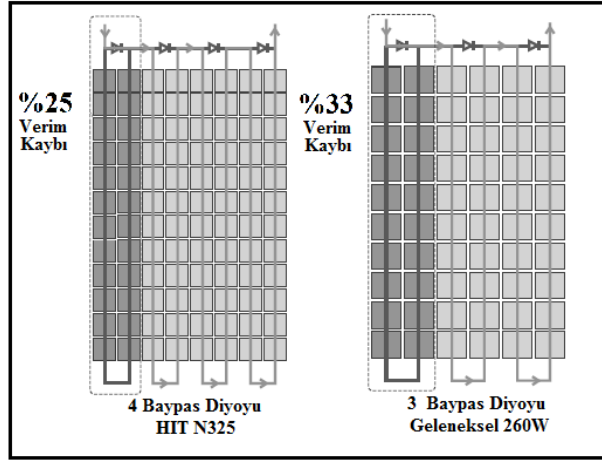
Sıra	Üretici	Ülke	Gücü	Güç Toleransı (Wp)	Sıcaklık Katsayısı	Wp/m ²		
1	Panasonic	Japon	325	-0/+10%	32,5	357,5	-0,290%	194,11
2	Ja	Çin	295	-0/+5	5	300	-0,390%	180,41
3	Ja	Çin	235	-0/+5	5	240	-0,410%	179,10
4	Luxor	Almanya	285	-0/+6,49	6,49	291,49	-0,450%	175,18
5	Solarwatt	Almanya	295	-5/+5 %	14,75	309,75	-0,390%	168,50
6	Jinko	Çin	275	+0/+3%	8,25	283,25	-0,400%	168,01
7	Chint	Çin	275	+0/+3%	8,25	283,25	-0,470%	167,47
8	Csun	Çin	320	+0/+3%	9,6	329,6	-0,423%	165,25
9	Trina	Çin	270	+0/+3%	8,1	278,1	-0,410%	164,96
10	Chint	Çin	270	+0/+3%	8,1	278,1	-0,407%	164,42
11	Hanwa	Çin	270	+0/+3%	8,1	278,1	-0,410%	161,68
12	Solar Türk	Türkiye	260	-0/+5%	5	265	-0,430%	159,82
13	Solarwatt	Almanya	270	-5/+5%	13,5	283,5	-0,410%	154,22
14	Solar Frontie	Almanya	170	-10/+10%	17	187	-0,310%	124,58
15	Würt Solar	Almanya	150	-5/+10%	15	165	-0,310%	116,03

Fotovoltaik panelin verimliliklerinin belirlenmesinde tüm bu değerlerin yanında incelemiş olduğumuz Panasonic VBHN294SJ45 tipi fotovoltaik panelde HIT teknolojisi kullanılmaktadır. Bu yöntem geleneksel olarak silikon yapıli fotovoltaik hücrenin yapısını oluşturan p tipi yapı ile n tipi yapı arasındaki ara yüzün birleşme noktasındaki kusurları en aza indirmek için geliştirilmiş olan Heterojunction adı verilen hücre yapısıdır. Silikon yapıli Heterojunction tipi fotovoltaik hücreler i-tipi amorf silikon ile n tipi yapının üzerine kaplanır. Bu durum elektriksel yük kaybını önlediği gibi yüksek dönüşüm verimliliği de sağlar. Bunun yanında hücre sıcaklığının artması durumunda çıkış gücünde yaşanan verim kaybının az olmasını da sağlar. Yani yaz sıcaklığında dahi yüksek verimlilik ile çalışmasını sağlar. Şekil 3.2’de HIT teknolojisinin kullanılması ile sıcaklığa bağıli olarak fotovoltaik paneldeki verim değerleri verilmektedir.



Şekil 3.2. HIT teknolojisini kullanılması ile fotovoltaik paneldeki verim

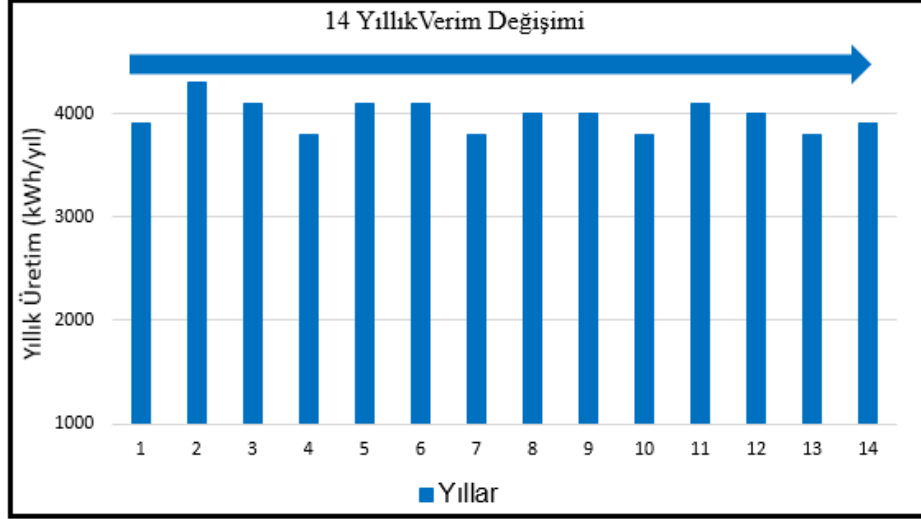
Fotovoltaik panellerde verim kaybını artıran bir diğer etken ise panellerin maruz kaldıkları gölge olayıdır. Güneş ışınımı yeterli olmasına rağmen fotovoltaik panel içerisinde bulunan hücrelerden birinin çeşitli nedenlerden dolayı gölgede kalması ya da elektron hareketinin olmaması nedeniyle hücre iletime geçmeyeceğinden enerji üretimi olmayacaktır. Bu durumdan kaynaklı verim kayıplarını en aza indirmek için ise baypas diyotları kullanılmaktadır. Geleneksel olarak üretilen fotovoltaik panellerde 3 adet baypas diyotu bulunmaktadır. Bu diyotlar 72 adet hücre bulunan bir fotovoltaik panel düşünüldüğünde bir baypas diyotu 24 hücreye bağlı olduğu anlamı çıkmaktadır. Bu durum fotovoltaik panel içerisinde 24 hücreden birinde bir sorun oluştuğunda 24 hücrenin de aynı durumda etkileneceği anlamına gelmektedir. Böylelikle yaşanan verim kaybı oranı artacağı anlamına gelmektedir. Aynı sayıda fotovoltaik hücrenin 3 yerine 4 adet baypas diyotuna bağlandığı varsayılırsa bir baypas diyotuna 18 adet hücre bağlanacağı anlamına gelmektedir. Dolayısıyla gölgelenme sonucunda verim kaybı yaşayan hücre sayısı ne kadar az olursa güneş enerjili fotovoltaik santralin tamamında a verim kaybı o kadar az olacaktır. Panasonic VBHN294SJ45 tipi fotovoltaik panelde de geleneksel panellerin aksine 4 adet baypas diyotu bağlanarak verim kayıplarının önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Şekil 3.3'de 3 ve 4 baypas diyotlu fotovoltaik panellerde verim farklılıkları verilmektedir.



Şekil 3.3. 3 ve 4 baypas diyotlu fotovoltaik panellerdeki verim farkı

Bu durumda geleneksel panellerde bir hücreden kaynaklı verim kaybı %33 iken 4 diyot kullanılan fotovoltaik panellerdeki verim kaybı %25'e düşmektedir.

Zaman içerisinde fotovoltaik panellerin sürekli olarak güneş ışınımına maruz kalmalarından dolayı fotovoltaik hücrelerde bozulmalar meydana gelmektedir. Bir fotovoltaik hücrenin zaman içerisinde veriminin düşmesi ya da bozulması fotovoltaik panelin çıkış gücünü etkileyeceğinden, santralin bütününde verim kaybına yol açacaktır. Üretici firmalar tarafında üretilen fotovoltaik panellerin yıllara bağlı olarak yaşanacak olan verim kaybını datasheet değerlerinde verilmektedir. Yıllara göre fotovoltaik panellerin sürekli aynı performansı sergilemesi verimi de olumlu yönde etkilemektedir. Saha da incelediğimiz Panasonic VBHN294SJ45 tipi fotovoltaik panelde yıllar içerisinde yaşlanmaya bağlı verim kaybı olmayacağını test ederek onaylamıştır. Şekil 3.4'de Panasonic VBHN294SJ45 tipi fotovoltaik panelin yıllar içerisindeki yaşlanmaya bağlı performans değerleri verilmektedir.



Şekil 3.4. Panasonic VBHN294SJ45 tipi panelin yaşlanmaya bağlı verim kayıpları

Bazı yıllarda fotovoltaik panelin verim kaybında düşüşlerin olması santralin bulunduğu yıldaki mevsimsel etkilerden kaynaklanmaktadır. Normal üretici firmaların ürettiği fotovoltaik panellerde ise verim yıllara göre bir azalış gösterdiği görülmektedir. Bunların yanında bir fotovoltaik paneldeki verim kaybının dizideki diğer panelleri ekilememesi için ise Optimizer kullanılmaktadır. Bu cihazın görevi bir panelde yaşanan verim kaybının diğer panelde verim kaybı yaşanmasına engel olmaktır. Böylelikle fotovoltaik panelin her birindeki çıkış gücü düşmemiş olur ve santral daha verimli bir şekilde çalışır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmasında güneş enerjili elektrik santrallerinin en önemli ekipmanını oluşturan fotovoltaik panellerdeki verimlilik incelenmiş olup santralin kurulum aşamasından başlanarak verim kriterleri detaylıca incelenmiştir. Çalışmamızda öncelikli olarak metrekaşe başına düşen ışınım miktarı ölçümü yapılmış olup standart panellere göre en boy oranı 1053x1463 seçilerek yer konusunda tasarruf edilmiştir. Ayrıca güneş enerjili elektrik santralının sınırlı bir alana kuruluyor olması alanın en verimli şekilde kullanılma gerekliliğini oluşturmuş olup metrekaşe başına daha fazla panel yerleştirilmesini sağlayarak santraldeki verimin artması sağlanmıştır. Bunun yanında fotovoltaik panellerin boyutlarına göre çelik konstrüksiyon seçilmesi ve panellerin daha az yer kaplaması çelik konstrüksiyon daha az kullanılmasını sağlamıştır. Böylelikle kısmen de olsa maliyetinde düşme olmuştur.

Verimlilik incelemesini yaptığımız fotovoltaik paneldeki bir diğer kriterimiz ise sıcaklık katsayısıdır. Bilindiği gibi her ne kadar fotovoltaik paneller güneş enerjisi ile çalışıyor olsa da aşırı ısınma verimi olumsuz etkilemektedir. Standart test koşullarında bir fotovoltaik panelin en verimli çalışma sıcaklığı 25 °C olmuş olup bu değer aralığı dışında fotovoltaik paneller istenilen çıkış gücünü elde edilememektedir. Sıcaklık katsayısı olarak ifade edilen bu durum fotovoltaik panellerin çıkış gücüne dolayısıyla verime doğrudan etki etmektedir. Sahada incelemesini yapmış olduğumuz Panasonic VBHN294SJ45 tipi fotovoltaik panelde ise sıcaklık katsayısı -% 0.29 değerindedir. Eğer incelemiş olduğumuz fotovoltaik panelin sıcaklık katsayısı -% 0.5 değerinde olmuş olsaydı 25 °C sıcaklığın üzerine çıkılan her 1 °C için verimliliğin % 0.5 düşmesine sebep olacaktı. Ayrıca sıcaklık değişimi fotovoltaik panellerin kullanım sürelerine de doğrudan etkisi bulunmaktadır.

Fotovoltaik paneldeki verimi etkileyen unsurlardan bir diğeri ise güç toleransıdır. Güç toleransını ifade edecek olursak düşük performans ve yüksek performans arasındaki fark olarak ifade edebiliriz. Sahada incelediğimiz Panasonic VBHN294SJ45 tipi fotovoltaik panelde güç toleransı % -0/+10 aralığındadır. Bir fotovoltaik santralde verimin yüksek değerde olması isteniyorsa negatif güç toleransının düşük pozitif güç toleransının ise

yüksek olması gerekmektedir. İncelediğimiz fotovoltaik panel en düşük $294 W_p$ en yüksek $324,4 W_p$ çıkış gücü üreteceği anlamına gelmektedir.

İlave baypas diyotu kullanılması da yine incelemiş olduğumuz güneş enerjili fotovoltaik sistemde verimi arttıran bir unsur olmuştur. Geleneksel olarak üretilen bir fotovoltaik panelde 3 ayrı baypas diyotu kullanılırken sahada incelemesini yapmış olduğumuz Panasonic VBHN294SJ45 tipi fotovoltaik panelde 4 adet baypas diyotu kullanılmıştır. Bunun anlamı ise 72 hücreden oluşan bir fotovoltaik panelde 3 adet diyot kullanıldığında her diyot için 24 hücre düşerken Panasonic VBHN294SJ45 tipi panelde her diyot için 18 hücre düşmektedir. Dolayısıyla gölgelenme ya da çeşitli etkenlerden dolayı bir hücrede meydana gelen verim kaybından daha az hücre etkilenecektir.

Panasonic VBHN294SJ45 tipi fotovoltaik panel de verim yönünden benzerleri arasında en yüksek seviyeye sahip fotovoltaik panellerden biri olup verimi %19,4 olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla diğer panellere kıyasla verimliliğinde belirgin bir artış vardır. Normal piyasada bulunan monokristal yapılı ve Polikristal yapılı fotovoltaik paneller %15-%18 verimlilikle çalışmaktadır.

Tüm bu verim kriterleri ile birlikte bir güneş enerjili fotovoltaik panel incelenirken verimini etkileyen etmenler tek tek incelenmelidir. Santralin kurulduğu coğrafya, kullanılan malzemenin kalitesi, seçilen fotovoltaik panellerin aynı üretici firmaya ait olup tek tip panel kullanılması, yukarıda ifade etmiş olduğumuz güç toleransı, sıcaklık katsayısı, metrekare başına düşen verim ve daha birçok değer hesaplanarak yapılarak uygun panelin seçilmesi gerekmektedir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Karamanav M., “Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [2] <https://webstore.iec.ch/publication/24526> (Erişim tarihi: Kasım 2017).
- [3] Kabaçelik İ., “Fotovoltaik Uygulamalar İçin Germanyum Güneş Pillerinin Ve Germanyum İnce Filmlerin Üretilmesi Ve Karakterizasyonu”, Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- [4] Bayrak G., “Şebeke Bağlantılı Bir Fotovoltaik Sistemin Tasarımı Ve Farklı Şebeke Koşulları Altında Analizi”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- [5] Işiker Y., Yeşilata B., Bulut H., "Fotovoltaik Panel Gücüne Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi" I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi Bildiriler Kitabı, 150-155, Eskişehir, 2006.
- [6] Rahman S. A., Varma R. K., Vanderheide T., 2014. Generalised model of a photovoltaic panel, IET Renewable Power Generation, 8, 217-229.
- [7] Balo F., Şağbanşua L., 2016. The selection of the best solar panel for the photovoltaic system design by using AHP, Energy Procedia, 100, 50-53.
- [8] Praveen J., Ramaraju V. V., 2017. Materials for optimizing efficiencies of solar photovoltaic panels, Materials Today: Proceedings, 4, 5233-5238.
- [9] Clot M. R., Clot P. R., Tina G.M., Scandura P.F., 2010. Submerged photovoltaic solar panel: SP2, Renewable Energy, 35, 1862-1865.
- [10] Sarıcı V., “Fosil Yakıtların Tüketiminden Kaynaklanan Karbondioksit Salımları İle Belirleyici Temel Etmenleri Arasındaki İlişkilerin Ekonometrik Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
- [11] Tazebay A. S., “Dogalgaz Yakıtlı Katı Oksitli Yakıt Pili Sisteminin Bilgisayar Benzeşimi”, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- [12] <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/primary-energy/economic-content.html> (Erişim tarihi: Aralık 2017).
- [13] https://www.worldenergy.org/wpcontent/uploads/2013/09/Complete_WER_2013_Survey.pdf (Erişim tarihi: Aralık 2017).
- [14] Ringela M., Knodt M., 2016. The governance of the European Energy Union: Efficiency, effectiveness and acceptance of the Winter Package 2016, Energy Policy, 112, 209-220.

- [15] Afonso T. L., Marques A. C., Fuinhas J. A., 2017. Strategies to make renewable energy sources compatible with economic growth, *Energy Strategy Reviews*, 18, 121-128.
- [16] Lin T., Chen Q., Ren H., Huang W., Chen Q., Fu S., 2017. Review of boom potential energy regeneration technology for hydraulic construction machinery, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 358-371.
- [17] Zanon A., Gennaro M.D., Kühnelt H., 2018. Wind energy harnessing of the NREL 5 MW reference wind turbine in icing conditions under different operational strategies, *Renewable Energy*, 115, 760-772.
- [18] Toklu E., 2017. Biomass energy potential and utilization in Turkey, *Renewable Energy*, 107, 235-244.
- [19] Sampaio P. G. V., González M. O. A., 2017. Photovoltaic solar energy: Conceptual framework, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 590-601.
- [20] Çıngı A., “Analysis And Evaluation of Our and Other Countries on Using of Geothermal Energy”, *International Congress of the New Approaches and Technologies for Sustainable Development*, 130-135, Turkey, September 2017.
- [21] <http://www.enerjiatlası.com/elektrik-uretimi/> (Erişim tarihi: Aralık 2017).
- [22] Çıngı A., Atik İ., Yılmaz Ş., Dinçer F., “The Analysis And Review Of Current Situation Of Our Country And Developed Countries In Generating Electrical Energy From Wind Energy”, *International Engineering, Science and Education Conference (INESEC 2016)*, 55-62, Turkey, December 2016.
- [23] Atılğan İ. 2000. Türkiye'nin Enerji Potansiyeline Bakış, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 15, 31-47.
- [24] <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir.aspx> (Erişim tarihi: Aralık 2017).
- [25] Kaplan Y. A., 2015. Overview of wind energy in the world and assessment of current wind energy policies in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 562-568.
- [26] Satman A., “Türkiye'nin Jeotermal Enerji Potansiyeli”, *12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 3-15, Türkiye, Nisan 2015.
- [27] <http://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari> (Erişim tarihi: Aralık 2017).
- [28] Borazan B., “Atomlararası Etkileşme Potansiyelleri Ve Materyal Fiziğindeki Uygulamaları”, *Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2013.

- [29] Sekh G. A., Saha A., Talukdar B., 2018. Shannon entropies and Fisher information of K-shell electrons of neutral atoms, *Physics Letters A*, 382, 315-320.
- [30] Pietruszka R., Luka G., Kopalko K., Zielony E., Bieganski P., Placzek-Popko E. Godlewski M., 2014. Photovoltaic and photoelectrical response of n-ZnO/p-Si heterostructures with ZnO films grown by an Atomic Layer Deposition method, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 25, 190-196.
- [31] Zhou, L., Guo Y., Zhao J., 2018. GeAs and SiAs monolayers: Novel 2D semiconductors with suitable band structures, *Physica E*, 95, 149-153.
- [32] He D., Wang Y., Silong Song S., Liu S., Luo Y., Deng Y., 2017. Polymer-based nanocomposites employing Bi₂S₃@SiO₂ nanorods for high dielectric performance: Understanding the role of interfacial polarization in semiconductor-insulator core-shell nanostructure, *Composites Science and Technology*, 151, 25-33.
- [33] Dang J., D., Bender T. P., 2013. Boron, aluminum, gallium, and indium complexes of 1,3-bis(2-pyridylimino)isoindoline (BPI), *Inorganic Chemistry Communications*, 30, 147-151.
- [34] Nærland T., U., Bernardini S., Stoddard N., Good E., Augusto A., Bertoni M., 2017. Comparison of iron-related recombination centers in boron, gallium, and indium doped silicon analyzed by defect parameter contour mapping, *Energy Procedia*, 124, 138-145.
- [35] Venkateswari P., Thirunavukkarasu P., Ramamurthy M., Balaji M., Chandrasekaran J., 2017. Optimization and characterization of CuO thin films for P-N junction diode application by JNSP technique, *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*, 140, 476-484.
- [36] Obaid M. G., "Electrical and Photoelectrical Characterization of Au/ZnO/N-Si MIS Contact", Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- [37] Yıldız A., Büyükkasap E., 2011. The Level of Understanding of the Photoelectric Phenomenon in Prospective Teachers and the Effects of "Writing with Learning" on their Success Rates, *Educational Sciences: Theory & Practice*, 11, 2259-2274.
- [38] Peren V., "Fotovoltaik Su Pompalama Sistemi Tasarımı Ve Modellenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.
- [39] <http://www.fencebilim.com/fizik/konular/fotoelektrik.pdf> (Erişim tarihi: Ocak 2018).

- [40] Somdatta P., Jenifar S., Anupam K., Sanatan C., 2017. Effect of prolonged growth on the chemical bath deposited ZnO nanowires and consequent photovoltaic performance of n-ZnO NWs/p-CuO heterojunction solar cells, *Materials Today: Proceedings*, 4, 12496-12499.
- [41] Peng M., Yuanzhi W., Hui L., Jizheng W., 2017. Junction diodes in organic solar cells, *Nano Energy*, 41, 717-730.
- [42] Bilgin M. “Fotovoltaik Panellerin Verimine Panel Yüzey Sıcaklığı Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- [43] Sangram B., Saini R. P., 2016. A mathematical modeling framework to evaluate the performance of single diode and double diode based SPV systems, *Energy Reports*, 2, 171-187.
- [44] Barth N., Jovanovic R., Ahzi S., Khaleel M. A., 2016. PV panel single and double diode models: Optimization of the parameters and temperature dependence, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 148, 87-98.
- [45] Çekirir S., “Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Modellenmesi Ve Benzetimi”, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
- [46] Xing W., Zhou J., Feng Z., 2014. Effects of mounting geometries on photovoltaic module performance using CFD and single-diode model, *Solar Energy*, 103, 541-549.
- [47] <http://www.pveducation.org/pvcdrom/short-circuit-current> (Erişim tarihi: Ocak 2018).
- [48] Tobnaghi D. M, Madatov R., Naderi D., 2013. The Effect of Temperature on Electrical Parameters of Solar Cells, *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 6404-6407, India, December 2013.
- [49] Yıldırım N., Tacer E., 2016. Identification of photovoltaic cell single diode discrete model parameters based on datasheet values, *Solar Energy*, 127, 175-183.
- [50] Sahoo M. K., Kale P. G. Solanki C. S., 2017. Investigation of Temperature Dependent Current-Voltage Characteristics of all-Si Quantum Dot Solar Cell, *Materials Today: Proceedings*, 4, 12554-12557.
- [51] Katsanevakis M., Stewart R. A., Lu J., 2017. Energy storage system utilisation to increase photovoltaic penetration in low voltage distribution feeders, *Journal of Energy Storage*, 14, 329-347.

- [52] Chen Y., Sun Y., Meng Z. 2018. An improved explicit double-diode model of solar cells: Fitness verification and parameter extraction, *Energy Conversion and Management*, 169, 345-358.
- [53] Yücel Y. “Güneş Enerjisinden Yararlanmak Amacı İle Fotovoltaik Sistemlerin Binalarda Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Arel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.
- [54] Korkmaz S., “Kristal silisyum, CIS tipi ince film ve organik boya esaslı ince film fotovoltaik modül performanslarının karşılaştırılması olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [55] Yavuz N., “Kadmiyum sülfür (CdS) ince filmlerin fotovoltaik hücre uygulamalarında kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
- [56] Zanlorenzi G., Szejka A. L., Junior O. C. 2018. Hybrid photovoltaic module for efficiency improvement through an automatic water cooling system: A prototype case study, *Journal of Cleaner Production*, 196, 535-546.
- [57] Eldahab Y. E. A., Saad N. H., Zekry A. 2016. Enhancing the design of battery charging controllers for photovoltaic systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 646-655.
- [58] Prabakaran N., Rini Ann Jerin, A., Palanisamy K., Umashankar S. 2017. Integration of Single Phase Reduced Switch Multilevel Inverter Topology for Grid Connected Photovoltaic System, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 1120-1141.
- [59] Marczinkowski H. M., Østergaard P. A., 2018. Residential versus communal combination of photovoltaic and battery in smart energy systems, *Energy*, 152, 466-475.
- [60] Üçtuğ F. G., Azapagic A. 2018. Environmental impacts of small-scale hybrid energy systems: Coupling solar photovoltaics and lithium-ion batteries, *Science of The Total Environment*, 643, 1579-1589.
- [61] Sahota L., Tiwari G.N. 2017. Review on series connected photovoltaic thermal (PVT) systems: Analytical and experimental studies, *Solar Energy*, 150, 96-127.
- [62] Ayadi O., Al-Assad R., Al Asfar J. 2018. Techno-economic assessment of a grid connected photovoltaic system for the University of Jordan, *Sustainable Cities and Society*, 39, 93-98.

- [63] Yenisey D., “İç Anadolu Bölgesi İçin Güneye Bakan Eğimli Yüze Gelen Günlük Global, Direkt Ve Difüz Radyasyonun Hesaplanması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- [64] http://akhisarmyo.cbu.edu.tr/db_images/file/gunes-enerjisi-1-1283TR.pdf (Erişim Tarihi: Şubat 2018).
- [65] <http://www.atmosedu.com/meteor/Labs/SolarZenith.pdf> (Erişim Tarihi: Şubat 2018).
- [66] Abass K. İ., Al-Zubaidi D. S. M., Al-Waeli A. A. K. 2017. Effect of pollution and dust on PV performance, International Journal of Civil, Mechanical and Energy Science, 3, 181-185.
- [67] Ajder A. “Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri İçin Optimum Eğim Açısının Hesaplanması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
- [68] http://unitedsolar.com.tr/Content/Dosyalar/files/8091_H-T-T%20SER-S-.pdf (Erişim Tarihi: Şubat 2018).
- [69] Luz C. M. A., Tofoli F. L., Vicente P. S., Vicente E. M., 2018. Assessment of the ideality factor on the performance of photovoltaic modules, Energy Conversion and Management, 167, 63-69.
- [70] Rummel S., Emery K. A., Moriarty T., Ottoson L., 1999. PV cell and module performance measurement capabilities at NREL, ResearchGate, 462, 10.1063/1.57923.
- [71] Wael Charfi Chaabane M., Mhiri H., Bournot P., 2018. Performance evaluation of a solar photovoltaic system, Energy Reports, 4, 400-406.
- [72] Nakir İ., “Fotovoltaik Güneş Panellerinde Gts Ve Mgts Kullanarak Verimliliğin Arttırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [73] Özkişi H., Topaloğlu M., 2017. Fotovoltaik Hücrenin Verimliliğinin Yapay Sınır Ağı ile Tahmini, Bilişim Teknolojileri Dergisi, 10, 247-253.
- [74] Köprü M. A., “Fotovoltaik Sistemlerde Kablo Kayıplarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.
- [75] Özen Y., “III-V Grubu Güneş Hücresi Geliştirilmesi ve Prototip Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik Modül Üretimi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.

- [76] Shiva B., Sudhakar K. K., 2015. Performance evaluation of 10 MW grid connected solar photovoltaic power plant in India, *Energy Reports*, 1, 184-192.
- [77] Sharma D.K., Purohit G., Fill Factor Based Maximum Power Point Tracking (MPPT) for Standalone Solar PV System, IVth International Conference on Advances in Energy Research Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai.
- [78] Picault D., Raison B., Bacha S., de la Casa J., Aguilera J., 2010. Forecasting photovoltaic array power production subject to mismatch losses, *Solar Energy*, 84, 1301-1309.
- [79] Malamaki K. N. D., Demoulias C. S., 2014. Analytical Calculation of the Electrical Energy Losses on Fixed-Mounted PV Plants, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 5, 1080-1089.
- [80] Ekici S. Kopru M.A., 2017. Investigation of PV System Cable Losses, *International Journal Of Renewable Energy Research*, 7, 808-815.
- [81] Koirala B. P., Sahan B., N. Henze., 2014. Study On Mpp Mismatch Losses In Photovoltaic Applications, Fraunhofer IWES, At Hamburg.
- [82] http://www.renugen.co.uk/content/Solar_Panel_Panasonic_VBHN294SJ45 (Erişim Tarihi: Şubat 2018).
- [83] https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.11/how_homer_calculates_the_pv_cell_temperature.html (Erişim Tarihi: Mart 2018).
- [84] Skoplaki E., Palyvos J. A., Operating temperature of photovoltaic modules: A survey of pertinent correlations, *Renewable Energy*, 34, 23-29.
- [85] Kekezoğlu B. Güneş Enerji Sistemleri, Güneş Enerji sistemleri Deneyi,
- [86] Cristaldi L., Faifer M., Rossi M., Toscani S., Catelani M., Ciani L., Lazzaroni M., 2014. Simplified method for evaluating the effects of dust and aging on photovoltaic panels, *Measurement*, 54, 207-214.
- [87] Jordan D. C., Sekulic B., Marion B., Kurtz S. R., 2015. Performance and Aging of a 20-Year-Old Silicon PV System, *IEEE Journal of Photovoltaics*, 5, 744-751.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ali ÇINGI

Doğum Yeri : ŞAHİNBEY

Doğum Tarihi : 18.04.1990

E posta : alicingi2727@gmail.com

Yabancı Dili : İNGİLİZCE

Lisans : SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ/ 2014/ Isparta

Yüksek Lisans : KİLİS 7 ARALIK ÜNİVERSİTESİ/2019/ Kilis

Yayın ve/veya Bildirileri:

- **Ali ÇINGI**, The Metamaterials Based Sensor Design and Simulation According to Dielectric Values of Corn Flour Dependent on the Temperature, International Advanced Researches & Engineering Congress-2017 Osmaniye/TURKEY 16-18 November 2017.
- **Ali ÇINGI** The Metamaterials Based Sensor Design According to Dielectric Values of Bovine Bone, International Advanced Researches & Engineering Congress-2017 Osmaniye/TURKEY 16-18 November 2017.
- **Ali ÇINGI**, Analysis And Evaluation of Our and Other Countries on Using of Geothermal Energy, International Congress of the New Approaches and Technologies for Sustainable Development September 21-24, 2017 Isparta / TURKEY.
- **Ali ÇINGI**, Effects on Aging and Panel Yield in Photovoltaic Panels, International Congress of the New Approaches and Technologies for Sustainable Development September 21-24, 2017 Isparta / TURKEY.
- Ömer Faruk FARSAKOĞLU, Habib Yusuf HASIRCI, **Ali ÇINGI** “9 KW Gücünde Güneş Enerjisi Simülasyon Programıyla Çatı Uygulaması, Maliyet Analizi Ve Çevresel Etkileri, Zeugma I. Uluslararası Multi Disipliner Çalışmalar Kongresi 13-16 Eylül/ Gaziantep.
- Ömer Faruk FARSAKOĞLU, Habib Yusuf HASIRCI, **Ali ÇINGI** “3x1.8 MW Rüzgâr Enerjisi Santralinin Simülasyon Programıyla Tasarımı Ve Çevresel Etkileri, Zeugma I. Uluslararası Multi Disipliner Çalışmalar Kongresi 13-16 Eylül/ Gaziantep.



- **ÇINGİ A**, 2018 Mikrodalga Uygulamaları İçin Mükemmel Metamalzeme Sinyal Emici Tasarımı, Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences, 7(1), (2018), 438-442.
- **ÇINGİ A**, 2018 Metamalzeme Tabanlı Mermer Sensör Tasarımı, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6(1), 223-230.

