



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNEŞ PANELİ ÜRETİM HATALARININ ENERJİ
VERİMLİLİĞİNE OLAN ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

Ahmet GÜZELBAY
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

ŞUBAT-2024
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ahmet GÜZELBAY tarafından hazırlanan “Güneş Paneli Üretim Hatalarının Enerji Verimliliğine Olan Etkilerinin Belirlenmesi.” adlı tez çalışması 7/02/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Mustafa Tahir AKKOYUNLU

.....

Danışman

Dr.Öğr.Üyesi Çetin PALTA

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Sadık ATA

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Şerife Yurdagül KUMCU
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Ahmet GÜZELBAY

Tarih:22.01.2024

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜNEŞ PANELİ ÜRETİM HATALARININ ENERJİ VERİMLİLİĞİNE OLAN ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Ahmet GÜZELBAY

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Çetin PALTA

Yıl, 2024 Sayfa 56

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Çetin PALTA

Doç. Dr. Mustafa Tahir AKKOYUNLU

Dr. Öğr. Üyesi Sadık ATA

Fotovoltaik paneller güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Günümüzde malzeme biliminin gelişmeleri fotovoltaik teknolojilerde de ilerleme sağlanmıştır. Buna rağmen diğer birçok enerji kaynağıyla mukayese edilmesine rağmen, fotovoltaik panellerin verimleri oldukça düşük. Araştırmalar, Fotovoltaik panellerin verimlerine etki eden birçok parametrenin bulunduğunu gösteriyor. Genel olarak özetlenecek olursa; Güneş ışınlarının şiddeti, gölgelenme, sıcaklık, panel eğim açısı, tozlanma ve kablo kayıpları en yaygın olanlardandır. Bu çalışmada başlangıçta güneş enerjisi hakkında bilgiler verilmiş daha sonra fotovoltaik panellerden bahsedilmiştir. Ayrıca çalışmanın ikinci bölümünde güneş panelleri ile ilgili bazı üretim süreçlerine ve fotovoltaik panellerde güç düşümüne neden olan PID ve LID etkisine değinilmiştir. Çalışma sonucunda panelin elektrik enerjisi üretiminde fotovoltaik panel sıcaklığının önemli etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Güneş paneli üretim hatalarının enerji verimliliğine olan etkileri nasıl ve ne oranda ölçülmüştür. Yapılan testlerde zayıf lehimin neden olduğu sıcak noktalar, güneş panellerinde hot-spot'a yol açtı. Panel sıcaklığı arttıkça, fotovoltaik sistemlerin enerji kazançları, azalmaktadır. Termal görüntülerde gözlemlenen bu olgular, zayıf lehimin elektrik üretiminde direnç artışına sebep olarak lokal ısıtmalara neden olduğunu doğruladı. Bu durum, güneş panelinin veriminde düşüşe ve potansiyel hasar riskine işaret ediyor. Bu sıcak nokta olguları, güneş enerjisi sistemlerindeki dayanıklılık ve performansı güçlendirecek önemli bir sorun olarak ortaya çıkıyor. Araştırma sonundaki verilere göre; on gün boyunca yapılan kayıtlarda, güneşli günlerde hatalı panellerde olan enerji kaybı, referans paneline göre daha fazla olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik, Panel, Hot-spot, Termal

ABSTRACT

MS THESIS

DETERMINING THE EFFECTS OF SOLAR PANEL MANUFACTURING ERRORS ON ENERGY EFFICIENCY

Ahmet GÜZELBAY

**The Graduate School of Natural and Applied Science of
Necmettin Erbakan University
The Degree of Master Energy Systems Engineering**

Advisor: Ass.Prof.Dr. Çetin PALTA

Year, 2024 Pages 58

Jury

Dr. Öğr. Üyesi Çetin PALTA

Doç. Dr. Mustafa Tahir AKKOYUNLU

Dr. Öğr. Üyesi Sadık ATA

Photovoltaic modules are systems that convert solar energy directly into electrical energy. Today, developments in material science have also made progress in photovoltaic technologies. However, compared to many other energy sources, the efficiency of photovoltaic modules is quite low. Research shows that there are many parameters that affect the efficiency of photovoltaic panels. To summarize in general terms; The most common ones are the intensity of sunlight, shading, temperature, module tilt angle, dust and cable losses. In this research, information about solar energy was given at the beginning, and then photovoltaic modules were mentioned. In addition, in the second part of the study, some production processes related to photovoltaic modules and the PID-LID effect that causes power reduction are mentioned. As a result of the study, it was determined that the module temperature has a significant effect on the electrical energy production of the module. How and to what extent the effects of photovoltaic modules production errors on energy efficiency were measured. In the tests, hot spots caused by poor solder caused significant temperature increases in the solar modules. As the module temperature increases, energy gains of photovoltaic systems decrease. These phenomena observed in thermal images confirmed that poor solder causes local heating by increasing resistance in electricity generation. This indicates a decrease in the efficiency of the module and potential risk of damage. These hot-spot phenomena emerge as an important challenge that will strengthen the durability and performance in solar energy systems. According to the data at the end of the research; In the recordings made for ten days, the energy loss in the faulty panels on sunny days was calculated to be greater than the reference panel.

Key Words: Photovoltaic, Module, Hot-spot, Thermal

ÖNSÖZ

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla bana yol gösteren, fikirlerini paylaşan ve olumlu tavrıyla beni her zaman cesaretlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Çetin PALTA'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmamın olgunlaşmasına katkıda bulunan, yardım ve desteklerini esirgemeyen iş arkadaşlarım Bakım Müdürü Ömer Ayhan Atiker'e, Vardiya Amiri Furkan Özçatal'a ve diğer Daxler Enerji çalışanlarına çok teşekkür ederim.

Ayrıca, çalışmamın gerçekleştirilmesi için bana maddi ve manevi destek sağlayan eşim Havva Güzelbay ve babam Kazım Güzelbay'a teşekkür ederim.

Ahmet GÜZELBAY
KONYA-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	ii
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
2.1. Güneş Enerjisi Ve Fotovoltaik (Güneş) Panelleri.....	5
2.1.1. Güneş enerjisi.....	5
2.2. Fotovoltaik Hücre Çalışma Prensibi ve Verimlerinin Gelişimi	6
2.2.1. Fotovoltaik Hücre Çalışma Prensibi	6
2.2.2. Güneş hücresi.....	8
2.2.3. Fotovoltaik (PV) sistemlerin tarihçesi	11
2.2.4. Fotovoltaik Hücre Parametreleri ve Karakteristikleri.....	12
2.2.5. Güneş hücrelerinin sınıflandırılması.....	14
2.2.5.1. Kristal Yapılı Silisyum Güneş Hücreleri	14
2.2.5.2. İnce Film (Thin Film) Güneş Hücresi.....	16
2.2.5.3. Nano Dokulu Güneş Hücreleri.....	16
2.3. Fotovoltaik Sistemi Etkileyen Parametreler	17
2.3.1. Sıcak nokta (hot spot)	17
2.3.2. Gölgeleme etkisi	17
2.4. Güneş Panellerinin Önemli Üretim Prosesleri Ve Etkisi	19
2.4.1. Hücre Kesme İşlemi.....	21
2.4.2. Electrolüminescence (EL).....	23
2.4.3. Laminasyon.....	24
2.4.4. Kenar kesme, görsel kontrol ve Junction Box	26
2.4.5. Çerçeveleme ve Kenar Zımparalama.....	28
2.3.6. Mikro çatlak etkisi	28
2.4.7. LID etkisi	31
2.3.8. CTM kayıpları.....	31
2.4.9. Elektrik Kutusu Problemleri	32
2.4.10. Potansiyel Kaynaklı Bozulma (PID Etkisi)	33
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	34
3.1. Fotovoltaik Panel Üretimi.....	34
3.2. Ölçüm Cihazları	38

4.BULGULAR.....	41
4.1. Termal Görüntü Sonuçları	41
4.1.1. Zayıf lehim hücrelere sahip fotovoltatik panel	41
4.1.2. Farklı verimlilikte hücrelere sahip fotovoltatik panel.....	41
4.1.3. Mikro kırıklı panel	42
4.1.4. Sorun olmayan referans paneli.....	42
4.2. Mikro İnverter Ölçüm Kayıtları.....	43
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	47
5.1. Sonuçlar	47
5.2 Öneriler	47
KAYNAKÇA.....	49



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simgeler

FF	dolgu faktörü (-)
W	Watt
Isc	kısa devre akımı (A)
Is	güneş ışıınım şiddeti (W/m ²)
Imp	maksimum güç noktasındaki akım (A)
T	sıcaklık (K)
Voc	açık devre gerilimi (V)
Vmp	maksimum güç noktasındaki gerilim (V)
AR	(Anti-Reflection Coating) Yansıma önleyici
PV	fotovoltaik

Kısaltmalar

FDM	Faz değıştiren madde
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
MPPT	Maksimum Güç Noktası Takibi
GES	Güneş Enerji Santrali
EVA	Etilen Vinil Asetat
PID	Potansiyel İndüklenmiş Bozulma
LID	Işınım kaynaklı bozulma
CTM	Hücreden modüle
EL	Electroluminescence
TPO	Thermoplastic polyolefin
SWCT	SmartWire Bağlantı teknolojisi
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Doğal kaynakların tükenme yılları (https://mahb.stanford.edu/ , 2019)	2
Şekil 2. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası (www.yegm.gov.tr , 2012)	3
Şekil 3. Türkiye'nin Güneş Enerji Haritası(http://yenilenebiliryasam.com , 2011).....	6
Şekil 4. Güneş hücresinin yapısı ve çalışma prensibi (Öztürk, 2008)	7
Şekil 5. Elektron-boşluk çiftlerinin oluşması (Öztürk, 2008)	8
Şekil 6. PV Panelin Yapısı (https://www.solarmagazam.com , 2018)	9
Şekil 7. Seri üç eş verimlilikte güneş hücrelerinin I-V eğrisi (Özen, 2015).....	10
Şekil 8. Paralel bağlı özdeş güneş hücrelerinin I-V karakteristiği (Özen, 2015)	11
Şekil 9. Bell Solar Battery Şirketinin 1956 yılındaki paneli (https://ae-solar.com/history-of-solar-module/)	12
Şekil 10. Bir güneş hücresinin akım ve gerilim karakteristiği (Özen, 2015).....	14
Şekil 11. Monokristal ve Polikristal Panel Görünümü (www.aydinlatmaportalı.org) ...	15
Şekil 12. İnce Film Panel Görünümü (www.aydinlatmaportalı.org)	16
Şekil 13. Kısmi gölgelenme altında fotovoltaiik panel (Ertürk, 2018).....	18
Şekil 14. Tam Hücre ve Yarım Hücreli PV (Duman ve Alçı, 2022).....	22
Şekil 15. Vakum-Membranlı Laminasyon Şematiği (Cattaneo ve ark., 2014)	25
Şekil 16. Cam-cam panelde laminasyon işleminde kenarlardaki sehim (Cattaneo ve ark., 2014)	25
Şekil 17. Dolgu silikonu yapılan bağlantı kutusu.....	27
Şekil 18. Mikro Kırık Çeşitleri (Paggi, 2013)	29
Şekil 19. 95° sıcaklık ve ışıınım etkisinde bulunan hücrenin başlangıç, 20 ve 30.dakikalarda EL görüntüsü	31
Şekil 20. Yanmış Bağlantı Kutusu Resmi	33
Şekil 21. Tam hücreli ve yarım hücreli panelin konfigürasyonu (Duman, S. Alçı M., 2022).....	35
Şekil 22. Hücrelerin Konumları.....	36
Şekil 23. Zayıf Lehimli Panel Elektrolüminesans Testi	37
Şekil 24. Zayıf Lehimli Panel Elektrolüminesans Testi	37
Şekil 25. Mikro Kırık Hücreleri	38
Şekil 26. Referans Paneli.....	38
Şekil 27. Mikro inverter.....	39
Şekil 28. Fluke Termal Kamera.....	39

Şekil 29. DC Yük Grubu	40
Şekil 30. Araştırma Seti Konstrüksiyon ve Paneller	40
Şekil 31. Zayıf Lehim Termal Görüntüsü	41
Şekil 32. Verimlilik Farkı Termal Görüntüsü	42
Şekil 33. Mikro Kırıklı Panel Termal Görüntüsü	42
Şekil 34. Referans Paneli Termal Görüntüsü	43
Şekil 35. İnvertörün Toplam Ürettiği Güç.....	43
Şekil 36. 13.12.2023-23.12.2023 Tarihlerinde Bulutluluk Seviyesi (Kaynak: MGM, 2023)	44



ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1. Yarım ve Tam Hücreye Sahip Panellerin Karşılaştırılması (Duman ve Alçı, 2022).....	23
Çizelge 2. Araştırmada Kullanılacak Paneller.....	34
Çizelge 3. Panellerin Teknik Özellikleri	35
Çizelge 4. Panellerin On Günlük Üretim Kayıtları	45
Çizelge 5. 15-17-21.12.2023 Tarihlerinde Panellerin Ürettiği Güçler	45
Çizelge 6. 18-19-20.12.2023 Tarihlerinde Panellerin Ürettiği Güçler	46



1. GİRİŞ

Nüfusun hızla artması ve teknolojiadaki büyük gelişmelerle beraber enerjiye olan talep gün geçtikçe artmış ve artmaya da devam etmektedir. Enerjiye olan ihtiyaç ve bu ihtiyacın karşılanması, enerjinin keşfinden beri insanoğlu için en öncelikli konulardan biridir. Günümüzde enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynağı olmak üzere iki şekilde sınıflandırılır. Kömür, petrol, doğalgaz başlıca fosil yakıtlar olup; nükleer yakıtlarda bunlarla beraber yenilenemeyen enerji kaynakları olarak tarif edilmektedir. Bunlar tekrar oluşumu çok uzun yıllar alabilecek tüketildikçe azalan ve doğada belirli miktarlarda bulunan, enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları olarak ise; güneş, hidrolik, rüzgar, jeotermal, biokütle, hidrojen, gelgit enerjisi ve dalga enerjilerini sayabiliriz. Bunlar tükenme hızından, çok daha hızlı bir sürede kendini yenileyebilen enerji kaynaklarıdır.

Enerji üretim kaynaklarına baktığımızda; sınırlı fosil enerji kaynakları dünyamızda enerji ihtiyacının önemli bir kısmını olan karşılamaktadır. Fosil enerji kaynaklarının sınırlı ve bir gün bitebileceği düşüncesi, fosil enerjinin küresel ısınmaya ve karbon salınımı dolayısıyla iklim değişikliğine yol açması bilim adamlarını farklı arayışlara itmiştir.

Sürdürülebilir, temiz yerli ve ihtiyaç duyulan her yerde kullanılabilen yenilenebilir enerji kaynakları güçlü bir alternatif olmuştur. Bunlar ilk yatırım maliyetleri fosil yakıtlara oranla yüksek, ancak üretim ve işletme maliyetleri çok ucuz ve daha da önemlisi, dışa bağımlı olmayan kaynaklardır (Yenisey, 2015).

Güneş enerjisi, yenilenebilir kaynaklardan miktar olarak en yüksek olduğu için, diğer enerji kaynaklarının da temeli olarak düşünülebilir. Güneşten enerjisinden elde edilecek sistemleri kurma ve depolama açısından bakıldığında ise maliyetler oldukça yüksektir. Bu yüzden öncelikle güneş enerjisi kurulumu tasarımlarında ve projelerin hayata geçirilmesinde doğru fizibilite yapılarak yatırımların verimliliği açısından çok önemlidir. Bu sebeple; üniversiteler, ilgili teknoloji şirketleri ve bilim insanları enerji depolama, kurulum gibi konularda araştırmalar yaparak, projelerin bulunduğu bölgelere özel parametreler geliştirerek verim artırmaya çalışmaktadırlar. (Dinçer, 2011).

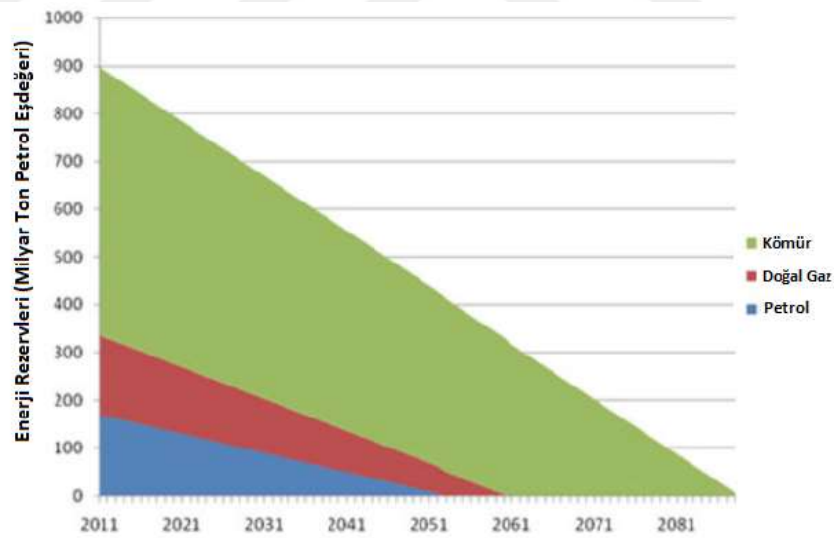
Diğer gelişmekte olan ülkelerle aynı olarak enerji ihtiyacımız günden güne artmaktadır. Maalesef fosil yakıt kaynaklarımız yeterli olmamasının yanında ülkemizde

enerji üretiminde en büyük pay ithal edilen fosil yakıtlardır. Bu duruma ekonomik açıdan bakıldığında, cari açığı en büyük pay enerji üretmede dış ülkelere bağımlı olmamızdır.

Bunun yanında ülkemiz, Kyoto protokolüne de dahil olmuştur. Bu protokole göre ülkemiz eğer karbon salınımının azalması ile ilgili önlemler almazsa yakın zamanda birtakım yaptırımlar görecektir. Gerek cari açık, gerekse karbon salınımının azalması ve çevreci yaklaşımlar sebebiyle ülkemizde enerji kaynağı araştırmalarına ağırlık verilmelidir (Doğan, 2012).

Şekil 1’de dünyada bulunan doğal enerji kaynaklarından kömür, doğal gaz ve petrolün günümüz hızıyla devam ederse tükenebileceği yıllar tahmin edilmektedir.

Dünyanın enerjiye ve fosil yakıtlara bağımlıyken bu yakıtların ne zaman biteceğini bilmekte çok önemlidir. Avusturalya’da yapılan bir araştırmada Petrol, doğal gaz ve kömür rezervlerinin 35, 107 ve 37 yıl sonra bitebileceğine değinilmiştir (Topal vd., 2009)



Şekil 1. Doğal kaynakların tükenme yılları (<https://mahb.stanford.edu/>, 2019)

(Yazar tarafından güncellenmiştir)

Fotovoltaik paneller, güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten en önemli unsurlardır. Fotovoltaik güneş hücreleri üzerlerine gelen ışınımına bağlı olarak doğru akım (DC) enerji üretmektedir. Bu doğru akım invertörlere kullanılarak alternatif akıma (AC) çevrilir. Ülkelerin güneş alma sürelerine baktığımızda ülkemiz oldukça zengindir

ve ülkemizin büyük bir bölümünde fotovoltaikten elektrik üretimi yapılabilmektedir. Ülkemizin güneş enerjisi potansiyel haritası Şekil 2’de verilmiştir. Güneş enerji santrallerinin (GES) ilk yatırım maliyetinin çok yüksek olması, GES yatırımı yapmak isteyen yatırımcılar için dezavantajdır. Fakat son yıllarda birçok yatırım teşvik programları ile yatırımcılara hibe veya kredi destekleri verilmektedir. Panellerin çeşitli yöntemlerle enerji kazancının artırılması, fotovoltaik panellerin kullanılması ve yatırımlarının artması için oldukça önemlidir. Bu yüzden dünyada ve ülkemizde çok sayıda araştırma yapılmaktadır.



Şekil 2. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası (www.yegm.gov.tr, 2012)

Dünya enerji ihtiyaçları gün geçtikçe artmakta olup enerji talebini karşılamak gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Yapılan araştırmalar büyük enerji kaynağı olan fosil yakıtların 40 yıl gibi bir süre içerisinde tükeneceğini göstermektedir. Günümüzde alternatif birçok enerji kaynağını kullanmaktadır. (rüzgâr, su, güneş, bil kaynaklar). Bu araştırmada alternatif bir enerji kaynağı olan güneş pilleri ile elde edilen güneş panelleri örneklenmektedir. Güneş pillerinin yapıları incelenerek, 6.43W ve 7.66W’lık hücreler üzerinde yarı iletken anahtarlamalı mosfet ile MPPT teknikleri uygulanmış ve genel özellikleri çıkarılmıştır. Çıkan değerler sonuçlara göre yorumlanmıştır. Enerji verimlerini belirli teknikler kullanarak daha verimli panellerin üretimini incelenmektedir. Kurulum maliyetlerinden sonra herhangi bir bakım gerektirmeyen güneş panellerin gün geçtikçe maliyetleri düşmekte olup tasarımları ve verimlilikleri artmaktadır. Güneş paneller dünyanın birçok ülkesinde tercih sebebi olup günümüzde yaygınlaşmaya başlamıştır. İlerleyen teknoloji ile insanlar enerji tasarruflu ürünleri

tercih etmekte ve bu sayede bilinçli, çevreye duyarlı, dengeli enerji kullanımını hedeflemeye çalışmaktadır.

Çalışmanın birinci bölümünde güneş enerjisi ve fotovoltaik (güneş) panelleri hakkında bilgiler verilmiş çeşitleri hususunda değerlendirmeler yapılmıştır. Bununla birlikte tablolar halinde çeşitleri kavramsallaştırılarak değerlendirilmiştir. Bölüm ikide güneş panellerinin bazı önemli üretim aşamaları ve etkileri değerlendirilmiştir. Ayrıca verimliliği etkileyen faktörler arasında yer alan mikro kırıklar, bağlantı sorunları, delaminasyon ve güç düşümleri anlatılmıştır. Fotovoltaik panellerde verime doğrudan etki eden gölgelenme etkisi sonuçları anlatılmıştır. Ayrıca fotovoltaik panellerde oluşan CTM kaybı ile PID ve LID etkileri açıklanmıştır. İkinci bölümün sonunda elektriksel bağlantı kutularının önemi ve hangi standartlarda olması gerektiğinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde ise bağlantı hataları kaynaklı, farklı verim hücrelerin kullanılması kaynaklı ve mikro kırık hücre içeren üç panelin EL test görüntüleri ile ölçümleri değerlendirilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Güneş Enerjisi ve Fotovoltaik (Güneş) Panelleri

2.1.1. Güneş enerjisi

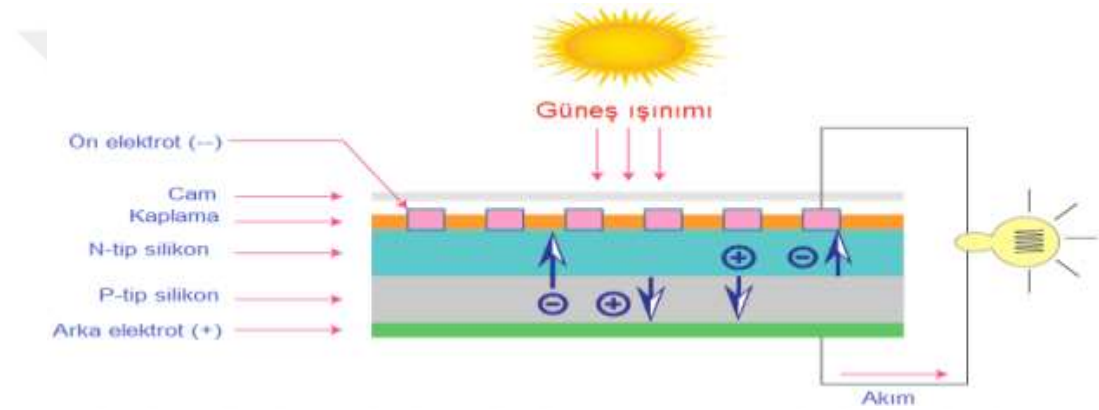
Yeryüzü de en büyük enerji kaynağı olan güneş gibi hidrojen ve helyum gazlarından oluşmaktadır. Güneşin yüzey sıcaklığı 6000K civarındadır. Güneşin çekirdek sıcaklığının ise 16 milyon Kelvin (K) derece civarındadır. Yeryüzü ile arasında 150 milyon km² mesafe bulunan güneşin çevresine ısı ve ışık şeklinde radyasyon yayar. Yeryüzünü koruma görevi gören atmosfer tabakasının dışından güneşin enerji şiddeti 1370 W/m² değerindedir. Gezegenimize ulaşan ışınlam enerjisinin %6'sı atmosferden geri yansır, %16'sı ise atmosferde sönmölenir. Dünya'ya erişen ışınlam miktarı genellikle 0 ila 1000 W/m² arasında değişmektedir. Bu ışınlam miktarı, dünya yüzeyinde mevcut enerji tüketiminin 20.000 katına eşittir. (Akçalı, 2001).

Enerji kaynağı güneşten gezegenimize ulaşan ışınlam enerjisiyle, dünyada canlıların yaşayabileceğı uygun yaşam şartlarını oluşturur. Güneş enerjisi, potansiyel büyüklüğü, çevreci kullanıma uygunluğu ve kullanımının kolay olması tartışmasız olarak en önemli enerji kaynağı olarak kendini ispatlamıştır. Meteorolojik olayların oluşumundan okyanus akıntılarına, bitkilerin fotosentez ile yaşam kaynağı olan oksijen ve şeker üretmesinden enerji üretime gibi birçok yaşamsal faaliyet güneş enerjisi sayesinde devam eder. Fotosentez ile bitkiler karbondioksit ve su tüketerek, canlılığın temel ihtiyacı olan oksijen ve şekeri üretirler. Özetle güneş enerjisi sadece teknolojik faydalarda değil aynı zamanda doğa olaylarını da düzenleyerek, yeryüzündeki canlı ve cansız varlıkların yaşam şartlarının oluşmasında etkilidir (Doğan, 2014).

Dünyada teknolojik gelişmeler enerji ihtiyacına olan talebi günden güne artırmaktadır. Bunun yanında mevcut fosil kaynakların azalması ve çevreci yaklaşımların devletlerce kabul bulması sonucu yenilenebilir enerji en uygun alternatif enerji kaynakları arasına girmiştir. Özellikle 1970'lerden sonra teknolojik faydalarla güneş enerjisinden elde edilen güçlerde verimler artarak maliyetler azalmıştır (Akçalı, 2001).

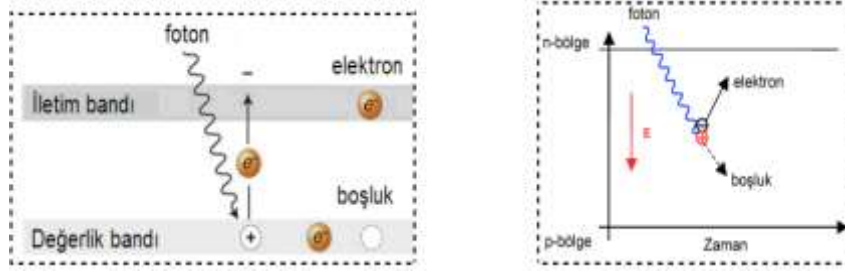
Ülkemizin matematiksel konumu 26o –45o doğu meridyenleri ve 36o -42o kuzey enlemleri arasında yer alır. Bu sayede yıllık ortalama 2623 saat güneşlenme süresine sahiptir. Yani günde 7 saat ve 110 günlük süresi demektir. Türkiye sıcaklık

yarı iletken maddeler ile katkılandırılır. Güneş hücrelerinin üst dış kısmı ise yansımayı engelleyerek ışığı absorbe etmek ve hücrenin zarar görmesini engellemek için koruyucu malzeme ile kaplanır. Alt kısım, P tip materyallerden oluşur. N tipi üst kısım ise elektrik yüklerinin birbirinden ayrılabilmesine izin verebilecek özellikte bir yarı iletken (Si, GaAs, Cdte gibi) olmalıdır. Bu şekilde üst kısma düşen fotonlar sayesinde, fotonun enerjisiyle enerjilenen elektronlar P bölgesine doğru hareket etmeye başlarlar. Yarı iletken malzemenin PV hücresi olarak çalışabilmesi için, birleşme bölgelerinde dönüşümün sağlanması gerekir. Bu dönüşüm iki aşamada gerçekleşir. İlki birleşme bölgesine foton gelerek elektron-boşluk çiftleri oluşur. İkincisi elektrik alan yardımıyla birbirlerinden ayrılırlar. (Öztürk, 2008)



Şekil 4. Güneş hücresinin yapısı ve çalışma prensibi (Öztürk, 2008)

Basitçe foton enerjisiyle hücreden kopartılan elektronlar birleşme bölgesindeki eklemde harekete geçer ve elektrik akımı oluşur. Sonuçta hücre kutupları arasında bir gerilim farkı oluşturulur. PV etkinin gerçekleşme süreci, p-n eklem diyodun p ve n bölgelerine gelen fotonlar soğrulduğunda, enerjisi daha yüksek olan fotonlar diğer taraftaki elektronları iletkenli bariyerine çıkararak elektron-boşluk çiftleri oluştururlar. Şekil 5. de görülmektedir. Bu çiftler birbirinden ayrılarak dış yük üzerinden bir akım akar. Sonuçta elektronlar devreyi çizilen yollardan tekrar N bölgesine doğru tamamlar ve bu sayede elektrik akımı üretilmiş olur.



Şekil 5. Elektron-boşluk çiftlerinin oluşması (Öztürk, 2008)

Güneş hücrelerinin fotovoltaiik etkisi, güneş ışığı fotonlarının silisyum vb. yarı-iletken malzemelerinin yüzeyine gelerek atomlardan elektronların serbest kalmalarıyla ortaya çıkar. Yarı-iletken malzemeye az miktarda bileşenler ile elektronların serbest kalması reaksiyonlarını kolaylaştırır ve daha hızlı doğru akım (DC) enerjisi elde edilir. (Akçalı, 2001).

1839 yılında Fransız fizikçi Becquerel, elektrolit yaparken elektrotlardan birinin üzerine ışınlam enerjisi geldiğinde gerilim farkı oluştuğunu gözlemlemiştir. Bu keşiften sonra diğer bilim adamları da aynı etkiyi farklı materyaller kullanarak gerilim farkı oluştuğunu gözlemlemiştir. 1950'li yıllarda Amerika ve Rusya'nın uzay yarışının sonucunda, uzaya iletişim amaçlı uydular göndererek güneş enerjisinin kullanımın faydalarını fark etmişlerdir. Kısacası güneş enerjisinin gelişimi uzay araştırma yarışını bir sonucudur. Fotovoltaiik hücrelerden elde edilen enerjinin akımı doğru (DC) akımdır. Güneş enerjisi ile elde edilen bu çeşit enerjinin herhangi bir zararı ve atık maddesi yoktur (Alkan, 2016).

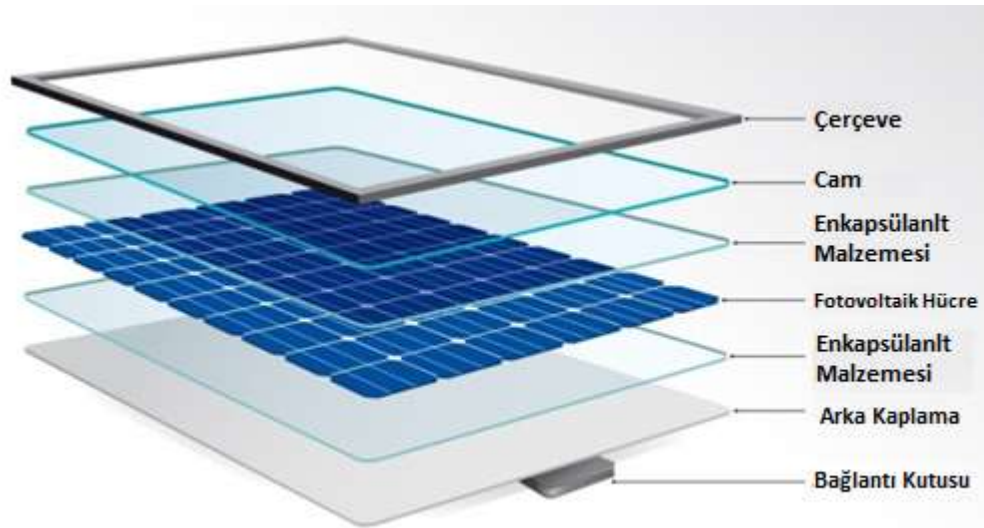
2.2.2. Güneş hücresi

Güneş hücrelerinin ham maddesi olan silisyum Dünya'da en bol bulunan elementler arasındadır. Silisyumdan yapılan hücrelerin çalışma süreleri ise en az 20 yıldır. Bu süre içerisinde verimlerinde azalma olsa da enerji üretmeleri devam eder. Çoğu fotovoltaiik güneş paneli üreticisi ürettikleri panellere bu sebeple en az 25 yıl %80-85 arasında verim garantisi verir.

Fosil yakıtların azalması ve doğaya verdiği zarar sonucu ortaya çıkan alternatif kaynakları arayış fikri fotovoltaiğe olan ilgiyi arttırmıştır. Sonsuz enerji olan güneş ışığından elektrik üretme, 1970'lerden sonra en uygun alternatif enerji kaynağı arasında yer almaya başlamıştır. (Doğan, 2012).

Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren güneş hücreleri, fotovoltaiik ilkeye dayalı olarak çalışan ve üzerlerine düşen ışııkla elektrik gerilimi üreten yarı iletken maddelerdir. Bu hücreler, genellikle kare, dikdörtgen veya daire şeklinde biçimlendirilmiş olup, alanları genellikle 100 cm² civarında ve kalınlıkları ise 0,1-0,4 mm arasındadır. Güneş hücrelerinin kaynağı, yüzeylerine gelen güneş enerjisidir. Güneş hücrelerinin yapısına bağılı olarak, bu enerji genellikle %5 ila %30 arasında bir verimle elektrik enerjisi elde edilebilir (Sarıoğlu, 2012).

Fotovoltaiik güneş panelleri piyasada çoğunlukla 60 veya 72 hücreli olarak satılır. Bu hücreler birbirlerine seri şekilde lehimlenerek diziler oluşturulur ve diziler uygun paralel bağlantı ile fotovoltaiik paneller oluşur. Hücrelin alt ve üst taraflarına EVA (Etilen Vinil Asetat) serilerek, hücre iki EVA'nın arasında kalarak lamine edilir. EVA hem hücreye bir koruma görevi hem de ışıık geçirgenliğı sağlar. Panelin arka kaplaması çoğunlukla tedlar folye olmak üzere bazı panellerde cam ile de yapılabilir. Panelin ön yüzeyine yansıma önleyici cam konularak yüksek geçirgenlik sağlanmış olur. Ön yüzeyden arka yüzeye doğru sırasıyla, Cam, Eva, Hücre, Eva ve arka kaplama yapılarak paneller yüksek sıcaklıkta lamine edilir. Lamine edilmiş panele elektrik bağlantı kutuları ve çevresine alüminyum çerçeve takılarak fotovoltaiik panel üretilmiş olur. (Karamanav, 2007). Fotovoltaiik panellerin yapısı Şekil 6'de verilmiştir.

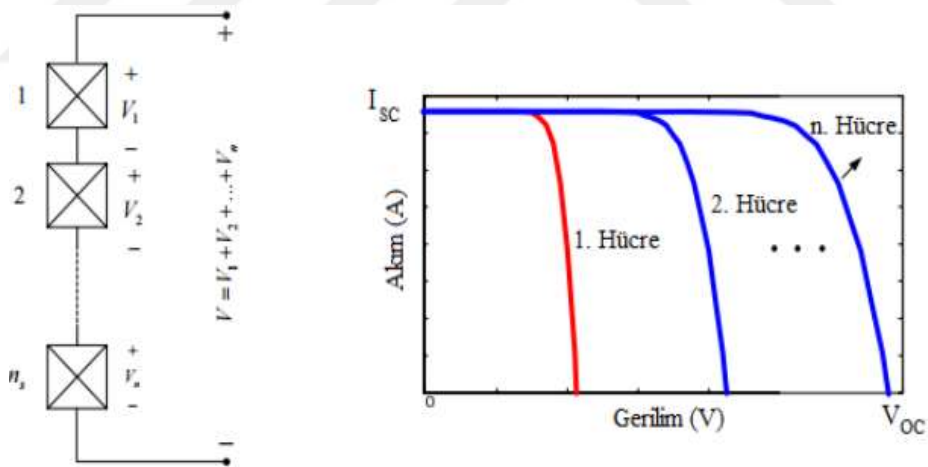


Şekil 6. PV Panelin Yapısı (<https://www.solarmagazam.com>, 2018)

Güneş enerji santralinde kullanılacak uygun paneller çok sayıda güneş hücresinin birbirine seri bağlantılı bağlanarak yapılmasıyla oluşur. Projeye göre kullanılacak paneller uygun verimlilikte hücreler kullanılarak imal edilir. İhtiyaç olan güce göre ise paneller seri ya da paralel olarak projelendirilir. (Doğan, 2012).

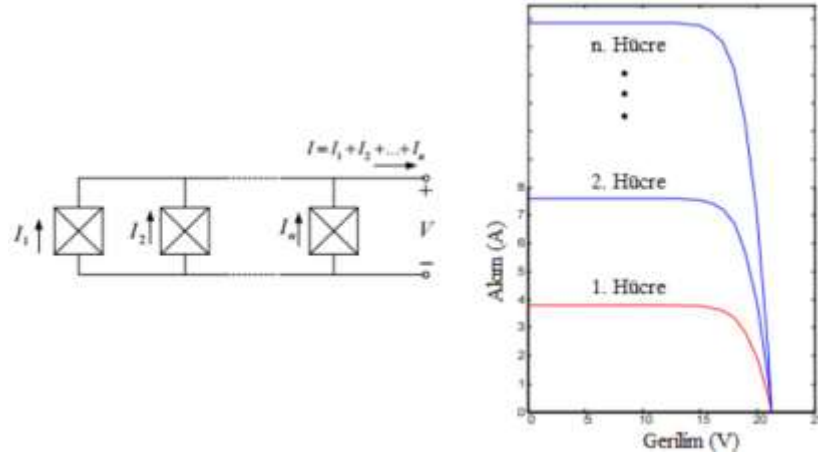
Her fotovoltaik hücrenin belirli bir verimliliği vardır. Bu verimlilikle hücrenin akım ve gerilimleri doğru orantılıdır. Hücre üreticilerin datasheetlerine bakılarak üretilmek istenilen panelin gücüne göre hücre kullanılır ve sonucunda istenilen güç ve akımda panel üretilir. Piyasa da paneller çoğunlukla 60 ya da 72 hücrelidir. GES projelendirmesi yapılırken ise panellerin datasheetleri incelenir ve istenilen güçte santraller kurulur.

Şekil 7’yi örnek olarak incelediğimizde her seri seri bağlı bir akım-gerilim kaynağı gibi davranır. Yani eş verimlilikte hücrelerin kullandığı için üzerlerinden geçen akım bir hücrenin toplan akımı kadardır. Üç hücrenin gerilimi ise hücrelerin açık devre gerilimleri toplamı kadardır. Akım ve gerilim çarpımı gücü vereceği için üç hücrenin toplam gücü devrenin gücüne eşittir. (Özen, 2015).



Şekil 7. Seri üç eş verimlilikte güneş hücrelerinin I-V eğrisi (Özen, 2015).

Fotovoltaik hücrelerin paralel bağlanması durumunda, sistemin toplam akım değeri arttırılabilir. Şekil 8’de gösterilen paralel bağlı üç hücrenin akım gerilim değerlerini incelersek, tek hücrenin gerilimi bütün devrenin gerilimine eşit olur. Akım değerleri ise paralel bağlı olduğunda üç hücrenin toplam akı değeri kadardır.



Şekil 8. Paralel bağlı özdeş güneş hücrelerinin I-V karakteristiği (Özen, 2015)

2.2.3. Fotovoltaik (PV) sistemlerin tarihçesi

Güneş pilleri, bilgisayar işlemcilerinde kullanılan malzemelere benzer şekilde yarı iletkenlerden yapılmıştır. Güneş pili, güneş ışınımı dışında herhangi bir işleme ihtiyaç duymadan, baraj ve rüzgar türbini gibi jeneratörler aracılığıyla doğrudan elektrik üreten bir sistemdir. Özetle fotonlar güneş pilindeki malzemeye çarparak bir elektrik akımı oluşturur ve malzemeye gevşek bir şekilde bağlı olan elektronların yörüngesinden çıkması sağlanır. Becquerel, 1839 yılında bir elektrolite daldırılan elektrotlar arasındaki voltajın, elektrolite düşen ışığa bağlı olduğunu gözlemleyerek fotovoltaikleri keşfetmiştir.

Katı cisimlerde ise benzer bir olay ilk olarak selenyum kristalleri üzerinde 1876 yılında G.W. Adams ve R.E. Day tarafında gösterilmiştir. 1914 yılında fotovoltaik gözelerin verimliliği %1, değerine ulaşmış ise de gerçek anlamda güneş enerjisini %6 verimlilikle elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik gözeler ilk kez 1954 yılında silikon kristali üzerine gerçekleştirilmiştir. Fotovoltaik güç sistemleri için dönüm noktası olarak kabul edilen bu tarihi takip eden yıllarda araştırmalar ve ilk tasarımlar, uzay araçlarında kullanılacak güç sistemleri için yapılmıştır (Boztepe, 2017).



Şekil 9. Bell Solar Battery Şirketinin 1956 yılındaki paneli (<https://ae-solar.com/history-of-solar-module/>)

Fotovoltaik güç sistemleri 1960'ların başından beri uzay çalışmalarının güvenilir kaynağı olmayı sürdürmektedir. Güneş pillerinin yeryüzünde de elektriksel güç sistemi olarak kullanılabilmesine yönelik çalışmalar 1954'ler de başlamıştır. Bir yandan uzay çalışmalarında kendini ispatlamış silikon kristaline dayalı güneş pillerinin verimliliğini artırma çabaları ve diğer yandan alternatif olmak üzere çok daha az yarı iletken malzemeye gerek duyulan ve bu neden ile daha ucuza üretilebilecek ince film güneş pilleri üzerindeki çalışmalara hız verilmiştir (Öztürk ve ark, 2013).

Güneş enerjisi üretiminin araştırılması ve geliştirilmesi üniversitelerin sorumluluğu haline gelmiştir. Ancak son yirmi yılda dünya çapında artan çevre bilinci nedeniyle, kamuoyu baskısı büyük çok uluslu şirketleri fosile dayalı olmayan yeni, yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde çalışmaya zorluyor. Fotovoltaik pil teknolojisinin büyük firmaların katılımıyla gelişmesi, güç sistemlerine olan talebin artması ve üretim kapasitesinin artması maliyetlerin hızlı bir şekilde düşmesine neden olmuştur. Yakın zamana kadar geleneksel elektrik üretim yöntemlerine göre çok pahalı sayılan fotovoltaik enerji sistemleri, artık yakın gelecekte enerji üretimine katkı sağlayacak sistemler olarak değerlendiriliyor. Fotovoltaik sistemler, özellikle "sosyal maliyetleri" hesaba katmadıkları ve elektrik üretiminin görünmez maliyetleri olarak kabul edilebildikleri için fosil sistemlere göre daha ekonomik sayılabilir. (Boztepe ve ark, 2008).

2.2.4. Fotovoltaik Hücre Parametreleri ve Karakteristikleri

Bir fotovoltaik hücrenin ve hücrelerinin birleşimiyle oluşturulan panellerin altı önemli parametresi vardır.

Açık Devre Gerilimi (Voc): Güneş panelinin, hiçbir elektriksel yük yokken, yani akım üretmiyorken sahip olduğu gerilim değeridir.

Kısa Devre Akımı (Isc): Güneş paneli üretim anında kısa devre olarak bağlandığında oluşan akımdır.

Maksimum Güç (Pmax): Güneş paneli tarafından üretilen maksimum güçtür. I-V eğrisinin en yüksek noktasındaki güç değeri olarak belirlenir.

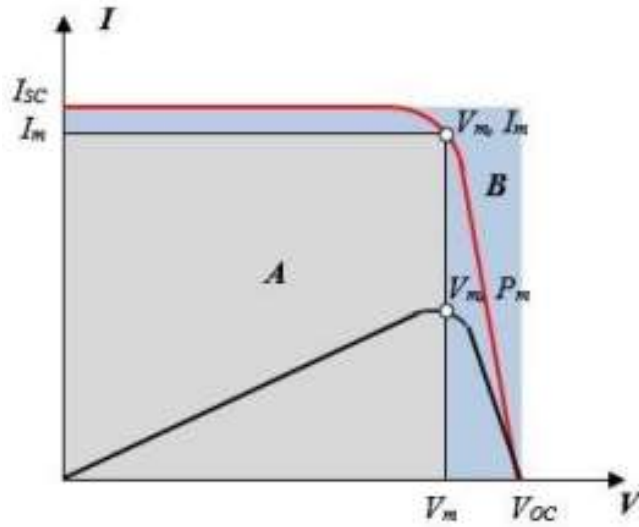
Maksimum Güç Noktası Gerilimi (Vmpp): Maksimum güç çıkışındaki gerilim değeridir.

Maksimum Güç Noktası Akımı (Impp): Maksimum güç çıkışındaki akım değeridir.

Dolum Faktörü (Fill Factor-FF): Bir paneldeki en yüksek gerilim açık devre gerilimidir. En yüksek akım ise kısa devre akımıdır. Bu değerlerden biri sıfır olurken diğeri en büyük olacak ama panelin ürettiği güç sıfır watt olacaktır. Dolum faktörü (FF) bir güneş hücresinden elde edilecek en yüksek verimi belirleyen parametredir. Bir güneş panelinin akım-gerilim (I-V) karakteristiğindeki dikdörtgenin altında kalan alanın, dikdörtgenin tüm alanına oranını ifade eder. Formülü şu şekildedir;

$$\text{Fill Factor(FF)} = \frac{P_{\max}}{(V_{oc} \times I_{sc})}$$

Şekil 10'da olarak dolum faktörü (FF) güneş hücresinin akım-gerilim (I-V) karakteristiğinin kare şekline ne kadar yaklaştığının bir ölçüsüdür ve I-V karakteristiği içinde kalan en büyük alandır. Piyasada bulunan paneller için FF oranı %70'den büyüktür.



Şekil 10. Bir güneş hücresinin akım ve gerilim karakteristiği (Özen, 2015)

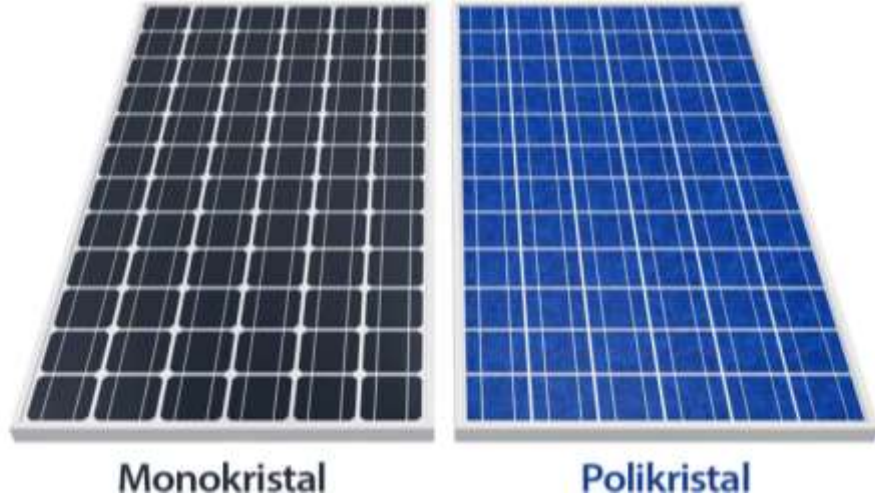
2.2.5. Güneş hücrelerinin sınıflandırılması

Hücrelerin sınıflandırılması birçok parametreye göre ayrı ayrı yapılmıştır. Bazı hücreler monokristal, polikristal ya da ince film olarak türlerine göre sınıflandırılabilir. Aynı zaman uygulama alanlarına, hücrelerin optik yapısına üretim teknolojiye, busbar sayısı gibi birçok başlık altında sınıflandırabiliriz. (Yılmaz, 2008).

2.2.5.1. Kristal Yapılı Silisyum Güneş Hücreleri

Fotovoltaik hücreler yapısal olarak iki çeşittir. Bu hücreler polikristal ve monokristal hücrelerdir. Polikristal güneş hücreleri, birçok küçük silikon kristal parçacığından oluşur. Bu kristallerin moleküler düzeni daha düzensizdir ve panel yüzeyinde çeşitli kristal yapıları bulunur. Polikristal hücreler genellikle daha düşük maliyetlidir ancak biraz daha düşük verimlilik sağlarlar. Monokristal güneş hücreleri ise tek bir büyük silikon kristalden üretilir. Bu kristallerin moleküler düzeni daha düzenlidir, daha homojen bir yapıya sahiptir ve genellikle daha yüksek bir verimlilik sağlarlar. Monokristal hücreler, daha yüksek üretim maliyetine sahip olabilirler ancak daha yüksek verimlilikleri nedeniyle tercih edilirler.

Fotovoltaik güneş panellerinin bulunduğu bölgeye özel açıyla yerleştirilir ve fotovoltaik hücrelerin tipi bulunduğu iklime göre seçilir. 2021 yılında Sinop ilinde yapılan bir çalışmada; Aynı açılarda, monokristal panelin polikristal panelden daha yüksek güç ürettiği ve saatlik ölçümlerden incelendiğinde monokristal panelin daha verimli olduğu görülmüştür (Karaagac, 2021).



Şekil 11. Monokristal ve Polikristal Panel Görünümü (www.aydinlatmaportalı.org)

Monokristal ve polikristal güneş panelleri, dayanıklı olduğu için silikondan yapılır. İki teknoloji arasındaki temel fark, kullanılan silikon güneş hücresinin türüdür. Monokristal güneş panelleri, tek bir silikon kristalinden yapılmış güneş hücrelerine sahiptir. Polikristal güneş panelleri ise birlikte eritilmiş birçok silikon parçasından yapılan güneş hücrelerine sahiptir (Öztürk ve ark, 2013).

Monokristal güneş panelinde güneş hücreleri yapmak için silikon, çubuklar halinde şekillendirilir ve dilimlere bölünür. Kullanılan silikon, tek bir kristal silikon olduğu için bu tür paneller monokristal olarak adlandırılır. Güneş hücresi, tek bir kristalden oluştuğu için elektronların hareket etmek için daha fazla alanı vardır. Bu da monokristal panellerin daha verimli olmasını sağlar (Öztürk ve ark, 2013).

Polikristal güneş panelleri de silikondan yapılır. Güneş hücrelerini oluşturmak için tek bir silikon kristali yerine birden çok silikon parçası birlikte eritilerek kullanılır. Silikon, birden çok kristalden oluştuğu için bu tür paneller polikristal olarak adlandırılmaktadır. Güneş hücresi, çok sayıda kristalden oluştuğu için elektronların hareket etme alanı daha azdır. Bu yüzden polikristal paneller, monokristal benzerlerine göre daha düşük verimlidir.

Son yıllarda hücreler daha çok verimliliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Örneğin 2010'lu yıllarda Perc tek yüzlü hücreler, 2020 li yıllarda ise iki-taraflı üretim yapabilen (bifacial) Perc ve Topcon tip hücreler kullanılmaya başlanmıştır. Sektörde üretim yapan hücre şirketleri HJT tip hücreler üzerinde çalışmalar yapmaktadırlar. HJT (Heterojunction with Intrinsic Thin layer), yani İntersik İnce Tabakalı Heteroyapı,

güneş hücresi teknolojisinde kullanılan bir tür hücre bağlantı metodudur. HJT hücreleri, bir tür monokristalin silikon güneş hücresi teknolojisidir. HJT hücreleri, iki farklı türde silikon kullanılarak oluşturulur: amorf silikon (a-Si) ve monokristalin silikon (c-Si). HJT hücrelerinde, her iki yarı iletken katman arasında ince bir tabaka (i-tipi) bulunur. Bu tabaka, hücrenin elektriksel özelliklerini iyileştirir ve verimliliğini artırır. HJT hücreler, diğer güneş hücresi teknolojilerine kıyasla yüksek verimlilik ve daha düşük işletme sıcaklıklarında daha iyi performans gösterme eğilimindedir. Bu nedenle, HJT bağlantı yöntemi, fotovoltaik endüstrisinde dikkate değer bir teknolojik ilerlemedir.

2.2.5.2. İnce Film (Thin Film) Güneş Hücresi

İnce film güneş hücreleri ilk olarak 1976 ile 1980 yılları arasında amorf silikon ve kadmiyum tellür gibi çeşitli malzemeler kullanılarak üretilmiştir. Bu hücre teknolojisinde, yarı iletkenler ve kontaklar, en yaygın olarak kullanılan katot buharı-manyetron püskürtme veya kimyasal buhar biriktirme yoluyla cam üzerinde ince bir şekilde biriktirilir. İnce film hücreler imalat aşamasında daha az enerji ve malzemeye ihtiyaç duyduğundan tasarımları ekonomiktir. Ancak üretimde kullanılan ekipmanların maliyeti yüksektir. Şekilleri belli standartlara uymasa da ince ve esnek olabiliyorlar. Işık emme seviyesi mono veya polikristalin silikon hücrelere göre daha yüksek olmasına rağmen çıkış akımı daha düşüktür. Verimlilik açısından verimlilikleri nispeten düşüktür; %8 ile %14 arasında değişmektedir.



Şekil 12. İnce Film Panel Görünümü (www.aydinlatmaportalı.org)

2.2.5.3. Nano Dokulu Güneş Hücreleri

Bu, fotovoltaik hücre teknolojisindeki en son buluştur. Araştırma ve geliştirme aşamasında olup günlük veya ticari kullanımı yoktur. Organik ve inorganik malzemelerin ayrı ayrı veya birlikte kullanılması teknolojisi üzerinde çalışıyoruz.

Günümüzde bu teknoloji 3 temel üzerinde gelişmektedir. Bunlar; Nano Dokulu CIS Hücreler, Organik FV Hücreler ve Plastik Güneş Enerjisi Hücreleridir.

2.3. Fotovoltaik Sistemi Etkileyen Parametreler

Fotovoltaik sistemlerin üretim güçleri birçok parametreye bağlıdır. Örneğin fotovoltaik sistemlerin oluştuğu hücre çeşitleri ve verimlilikleri, kullanılan EVA ve busbar özelliği güçleri etkileyen en büyük değişkenlerdir. Kısaca en büyük parametre ham maddelerdir. Bunun yanında kurulan santralin coğrafi konumu, santralin çevresindeki yapılar, kullanılan fotovoltaik panelin alanı, panellerin periyodik temizlikleri, rüzgar hızı, eğim açısı ve panel yüzeylerindeki ışıınım değerleri bu sistemleri etkileyen diğer parametrelerdir.

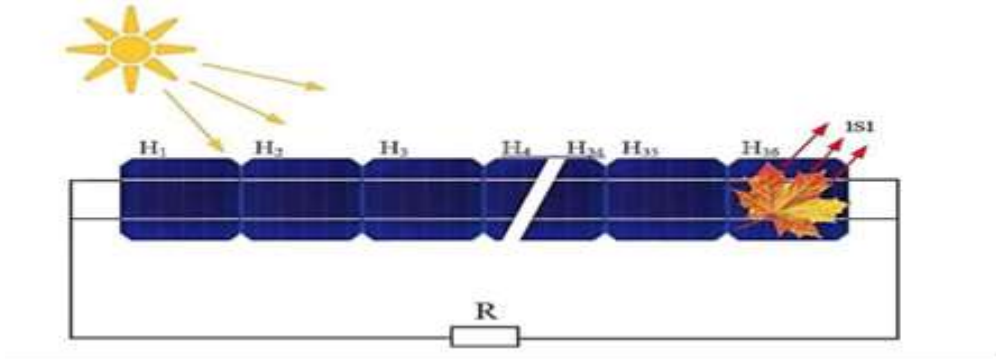
2.3.1. Sıcak nokta (hot spot)

Sıcak nokta; güneş panelinin belirli bir hücresinde meydana gelen anormal ısınmayı ifade eder. Bu etkinin en büyük neden gölgelenme ya da homojen alınamayan ışıktır. Panel üzerindeki kirlilikte bu kategoride değerlendirilebilir. Zayıf hücre bağlantıları ve hücrelerin kendisi de bu olguya sebep olabilir. Ayrıca panelin elektrik bara bağlantıları veya devrelerindeki sorunlarda aşırı ısınmaya sebep olabilir.

Panelin bir bölgesinde herhangi bir nedenle oluşan yoğun ısı birikimi, o bölgedeki hücrelerin zarar görmesine ve dolayısıyla panelinde verimin düşmesine sebep olur. Daha ileri durumlarda yangınlara da neden olabilir.

2.3.2. Gölgeleme etkisi

Gölgeleme, panellerin üzerine düşen güneş ışığının kısmen veya tamamen engellenmesi anlamına gelir. Gölgeleme, ağaçlar, binalar, yapılar veya diğer nesneler tarafından oluşturulan gölgelerle meydana gelebilir. Gölgeleme, güneş panellerinin verimliliğini olumsuz etkileyebilir çünkü gölge altında kalan bölgelerde üretilen elektrik miktarı azalır veya tamamen durabilir.



Şekil 13. Kısmi gölgelenme altında fotovoltaiik panel (Ertürk, 2018)

Şekil 13’de 36 tane seri bağlantılı bir panel vardır. 35 adet hücre normal güneş alırken, son hücreye ise gölge denk gelmektedir. Gölgelenen hücreye gelen güç sızıntı akımlarına ve uyumsuzluk etkisine bağlı olarak değişir. Bu hücrede sıcaklık artar ve panelin çıkış gücü bu hücreye bağlı olarak değişir. (Ertürk, 2018).

Etkileri şu şekildedir:

Üretim Kaybı: Gölgelenen bir güneş paneli, gölge altında kalan bölgede normalden daha az güneş enerjisi üretir veya hiç enerji üretmez. Bu, toplam enerji üretimini azaltır ve sistem verimliliğini düşürür.

Hot Spot Riski: Gölgelenen bir panel üzerinde düşen güneş ışığı, panelin gölge altında kalan bölgelerinde ısınmaya neden olabilir. Bu durum "hot spot" olarak adlandırılır ve panelde hasara veya performans kaybına yol açabilir.

String Dengesi: Bazı güneş paneli sistemleri, birden çok panelin bir dize olarak bağlandığı dize dizisi (string) konfigürasyonuna sahiptir. Eğer bir panel gölgelenirse, tüm dize üzerindeki diğer panellerin verimliliğini etkileyebilir. Bu nedenle, bir paneldeki gölgelenme, string genelinde verimlilik kaybına neden olabilir.

Fotovoltaiik panel üzerinde hücrelerin üzerine herhangi bir sebeple gölge düşerse, o alanda üretilen enerji güneş gelen bölgelere çok az olacaktır. Bu nedenle gölgeli hücrelerdeki akım daha düşük olur ve o bölge yük konumuna geçer ve direnç gibi davranır. Bu durum o ısınmaya neden olur. Bu duruma Hot Spot Etkisi denilmektedir. Bu sıcaklık artışı hücrenin enerji çevrimi olumsuz yönde etkileyerek, yanmasına bile neden olabilir. Bu nedenle Hot spot oluşumunu önlemek için güneş panellerinin bağlantıları ve proje tasarımı dikkatlice yapılmalı ve gölgeleme problemleri

önlenmelidir. Kirli bölgelerde paneller periyodik temizlenmelidir. Özellikle sanayi bölgelerinde baca kaynaklı kirlenmeleri önlemek için bacalara filtreler takılmalıdır.

Dağlık bölgelerde ve arazilerde kar, sanayi bölgelerinde ise toz ve kirlenme en büyük gölgelenme etmenleridir. Fotovoltaik panellerin açısının 12° ve daha üzerinde olması bu kirlilikleri yağmur suları ile temizlemesine olanak sağlamaktadır. Bu tip bir projelendirme ile kirlilik önemli ölçüde azalabilir. Fakat santralin bulunduğu coğrafi konum kirliliği dolaylı etkileyen en büyük etmendir. (Ertürk, 2018)

Gölgelenme problemlerini en aza indirmek veya etkilerini hafifletmek için bazı önlemler alınabilir. Örneğin: Panellerin doğru konumlandırılması: Panellerin gölge alma olasılığını en aza indirmek için uygun bir konumda monte edilmeleri önemlidir. Gölgeleme riski olan nesnelerden (ağaçlar, binalar vb.) uzakta olmaları tercih edilir. Mikroinvertör veya Power Optimizer kullanımı: Mikroinvertörler veya Power Optimizer gibi cihazlar, gölgelenen panellerin verimliliğini artırmak için kullanılabilir. Bu cihazlar, her panelin bağımsız olarak çalışmasını sağlar ve gölge altında kalan panellerin verimliliğini optimize eder. Güneş enerjisi sistemlerinde dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Projelerin tasarımında ve montajında gölgelenme analizleri yapmak ve uygun önlemleri almak, sistemlerin performansını optimize etmek için önemlidir.

Gölgelenme kaynaklı güç kayıplarını azaltmak için seri bağlı hücrelerle oluşan diziler birbirlerine bypass diyotları ile paralel bağlanır. Bypass diyotları, güneş panelinin hücrelerinin paralel bağlantılarında bulunur. Gölgelenen bir hücre veya birkaç hücre durumunda, bypass diyotu devreye girer ve akımın normal bir şekilde diğer hücrelere akmasını sağlar. Bu sayede, gölgelenme nedeniyle etkilenen hücrelerin akımı diğer hücrelere akar ve bu hücrelerin performansı düşmez. Gölgelenme durumunda bile güneş panelinin en yüksek performansı sağlamak için bypass diyotları kritik bir rol alır.

2.4. Güneş Panellerinin Önemli Üretim Prosesleri Ve Etkisi

İnorganik güneş pillerinin hammaddesi olan silisyumun doğada bol miktarda bulunmaktadır. Yapısının sert kristal halde olması ve toksik özellikte bir madde değildir. Bu pozitif özellikleri ile inorganik güneş pillerinin üretimi daha çok tercih edilmektedir. Ayrıca silisyumun kristal örgüsünün kolay bozulmaması, optik özelliklerinin uzun süre stabil olması uzun süreli kullanım için avantaj sağlamaktadır.

(Michael, 2008). İnorganik fotovoltaiik pillerin verimi ortalama %12-23 değerlerinde olup maliyetini karşılama süresi yaklaşık 2-6 yıldır ve 20 yıllık sürede %7-14'lük verim kaybı meydana gelmektedir (Robert, 2007).

Organik fotovoltaiik piller için kullanılan yarı iletken organik moleküller ışık ve su buharına maruz kaldıklarında kararlı halleri bozulduğu için ömürleri inorganik güneş pillerine göre daha kısa olup verimleri düşüktür. Verimliliğin düşük seviyelerde olmasının temel sebebi inorganik pillere nazaran gerekli yük ayrımının zor olmasıdır. Zira bu ayrışımara sadece katmanların ara yüzeylerinde 16 meydana gelmektedir. 1980'lerin sonunda ilk üretilen organik fotovoltaiik pillerin verimleri yaklaşık %1-2 civarındayken günümüzde bu değer %7-8' lere çıktığı bilinmektedir (Liang ve Xu, 2010). Bu nedenle polimerlerdeki verim artışını sağlamak için çalışmalar mevcuttur. Bu yöndeki araştırmaların artması polimer üretim tekniklerinin gelişmesine de katkı sağlamaktadır.

Günümüz güneş panelleri üç bypass'lı diyotlarından oluşmaktadır ve bu paneller seri olarak bağlanmış hücre şeritleri şeklinde aktif katmanlarında hem yarı kalıp kaplama hem de serigrafi baskı kullanılarak hazırlanmaktadır. Baralar (finger) denilen şerit genişlikleri ve baraların (finger) sayıları değiştirilerek performansları analiz edilmektedir. Daha geniş şeritler, daha yüksek geometrik doldurma faktörlerine ve daha düşük açıklık kaybına erişim sağlamaktadır. Bununla birlikte daha büyük levha hücrelere daha çok direnç kayıpları sunmaktadır (Frederik, 2010).

Sırasıyla %50 %67 ve %75 nominal geometrik doldurma faktörleri (baralar hariç) ile 9, 13 ve 18 mm genişliğe sahip seri olarak bağlanmış şeritlerin hazırlanmasıyla optimum hücre yapısı ve tasarım bulunmuştur. Güneş fotovoltaiik panelleri iş geliştirme sürecinin bir sonucu olarak yarım hücre yöntemi ortaya çıkmaktadır. İlk başta üretim maliyetlerini düşürmeye hizmet ederken, nihayetinde teknoloji, ürün geliştirme sürecinde gerekli hareketliliği ve esnekliği sağlayacak şekilde gelişmiştir. Artık hücre kesimi, form, güç ve fiyat açısından müşteri ihtiyaçlarına göre bir güneş enerjisi ürünü yapmanın en verimli yollarından biri olarak görülmektedir. Geri temaslı, mono kristal veya polikristal hücreler, 2, 3, 4 veya 5 baralı yeni nesil 10 ve üzeri hücreler, farklı renkteki hücreler hemen hemen her şekilde nano saniye lazer kullanılarak kesilebilmektedir. Kesilen bu hücreler sadece güneş panellerinde kullanılmakla kalmayıp günümüzde aydınlatma ekipmanları cctv, kameralar, wifi ve

sinyalleme şarj üniteleri gibi birçok alanda enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılabilmektedir.

Uzay araçlarında da optimum güç ve maliyet etkinliğini elde etmek çeşitli tipte güneş pilleri kullanıldı bunlar galyum arsenit (GaAs) ve kristal silikondan (c-SI) kesilmiş hücreler bunların kombinasyonu şeklindedir. Güneş pili kesme teknolojisi güneş pillerini son kullanıcı odaklı bir hale getirmiş olup maliyetleri düşürmenin yanı sıra birçok sektörde (aydınlatma, mobilya, 23 denizcilik) yaygın olarak kullanılmaktadır. Güneş pillerinin kesilmesi genellikle istenen güneş paneli voltaj seçeneklerini elde etmek için gereklidir. Bu alandaki hassasiyet ve deneyim, aydınlatmadan enerji kaynağı sağlamaya ve küçük güneş enerjisi ürünlerine kadar çeşitli güneş uygulamaları için çok özelleştirilmiş panel güç özellikleri sağlamasına olanak tanır. Yarım kesilmiş hücreler, geleneksel güneş pillerine göre çeşitli avantajlar sağlar. Bir tam boyutlu güneş pilleri ve bir yarım hücre paneli kullanan referans paneli simüle edilerek yarım hücre panelleri üretilir. Hem simülasyon hem de deney sonuçları büyük ölçüde fikir vermektedir ve buda yarı hücreli panellerin daha iyi performansını ve daha verimli optiklik sayesinde daha yüksek çıkış gücü verebileceğini göstermektedir. Hücre konektörlerinde kazanç ve daha az elektrik kaybı, panelin kısa devre akımı nedeniyle yaklaşık% 4'e kadar yükselir. Hücre aralığı ve panel doldurma faktörü panel dizaynlarına göre % 1,48'e kadar yükseltilebilir. (H. Hanifi, ve ark, 2015) Yarım hücre panelin performansı önemli ölçüde etkileyebilir. Standart bir panelde seri olarak bağlanan tam hücreler 8w'a kadar direnç kayıpları oluşturabilmektedir. Bu hücreler iki eşit parçaya bölünüp seri şekilde bağlanırsa bu direnç kaybı hücre başına 2w' a kadar düşürülebilir ve 6w kazanılmış olmaktadır. Yarım üretilen hücre ile akım ikiye bölünür.

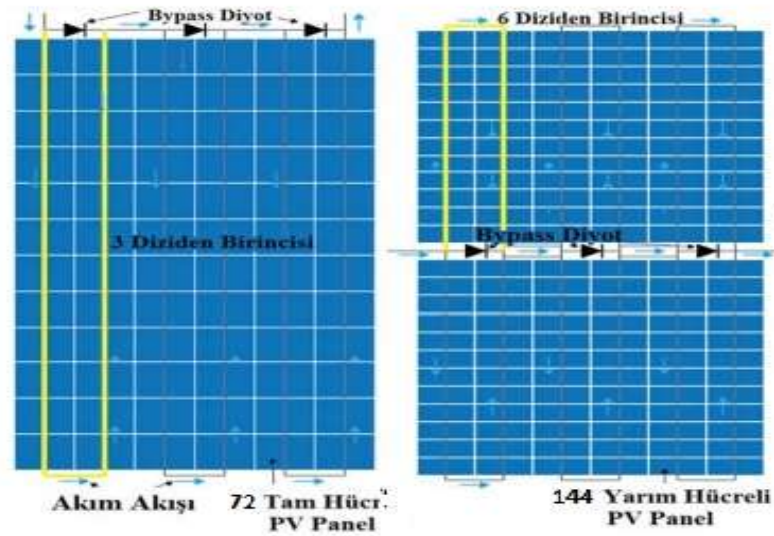
2.4.1. Hücre Kesme İşlemi

Yarı kesilmiş güneş pilleri gelişmiş performans ve dayanıklılık sunar. Performans açısından yarı kesilmiş hücreler, panel verimliliğini önemli ölçüde artırabilir. Daha fazla güç çıktısına ek olarak, yarı kesilmiş hücreler geleneksel emsallerine göre fiziksel olarak daha dayanıklıdır; boyut olarak daha küçük oldukları için çatlamaya karşı daha dirençlidirler. Bu avantajları nedeniyle, yarı kesilmiş güneş pilleri ile inşa edilen güneş panelleri, güneş enerjisi sistemleri için daha hızlı güneş geri ödeme süreleri sağlama potansiyeline sahiptir. Özellikle gölgelendirmenin ve sınırlı

alanın kısıtlayıcı faktörler olduğu kurulumlarda, yarı kesilmiş hücreli bir güneş paneli kurulumunun peşin maliyeti daha da değerli hale getirebilir. Parçalanma oranı: $\leq 0,1$ olup yüksek çözünürlüklü optik konumlandırma sistemine sahiptir. Hücreler kesime girmeden önce infrared ışık altında kırık ve çeltik hataları olup olmadığı makinenin kendi üzerinde bulunan görüntü işleme yazılımı tarafından kontrol edilmektedir. Güneş paneli standartlarında çeltik oranı 0.3 mm' den büyük olmamak şartıyla belirlenmiştir.

Hücre kesim teknolojisi kullanılmadan tam hücreli paneller de üretilmektedir. Bazı şirketler tam hücreli panellerde üretmektedir. Yarım-kesim hücre ve tam hücre ile oluşturulmuş 72 hücreli panel şematiği Şekil 14'deki gibidir.

Yarım kesim hücreli bir panelin tam hücre kullanarak üretilen bir panele göre hücre akımı, gölgelenme etkisi, sıcak nokta etkisi, güç ve panel verimliliği açısından birçok avantaj sağlamaktadır. (Duman ve Alçı, 2022)



Şekil 14. Tam Hücre ve Yarım Hücreli PV (Duman ve Alçı, 2022)

(Kaynak yazar tarafından düzenlenmiştir)

Almanya'da Franhafer Enstitüsünde yapılan bir çalışma da yarım ve tam Pv hücreleri üretilen iki panel karşılaştırılmış ve yarım hücreli panellerde CTM oranı %100,7 iken tam hücreli panellerde %98,7 olarak ölçülmüştür. Buna göre yarım-kesim hücreli modüller güçte 8,3W, verimlilikte %0,48 ve CTM gücünde ise %2,6 puanlık bir fayda sağlamaktadır. Güç, verimlilik ve ctm güçleri tablo da verilmiştir (Duman ve Alçı, 2022)

Çizelge 1. Yarım ve Tam Hücreye Sahip Panellerin Karşılaştırılması (Duman ve Alçı, 2022)

	Tam PV Hücreli	Yarım PV Hücreli
Güç (W)	305	313
CTM güç (%)	98,1	100,7
Verimlilik (%)	18,25	18,73

2.4.2. Elektrolüminescence (EL)

Elektrolüminescans (EL) görüntüleme, güneş pillerini ve güneş panellerini analiz etmek için kullanılan bir ölçüm tekniğidir. Hücreye / panele harici bir gerilim uygulanır. Bu gerilim, genellikle cihazın nominal çalışma gerilimi ile aynıdır veya biraz daha yüksektir. Uygulanan bu gerilim, cihazın içindeki yarı iletken malzeme yapılarındaki elektronları ve boşlukları hareketlendirir. Elektronlar, yarı iletken malzeme içindeki boşluklara düşerken, bu sırada fotonlar yayılır. Bu olaya elektrolüminescans denir. Bu esnada, güneş pilinin 1100 nm civarında görünmeyen aralıkta ışık yaymasına neden olur. Bu ışık, özel bir tür kamera kullanılarak yakalanabilir. Bu kameralar genellikle bir dizi dalga boyundaki ışığa duyarlı olduğundan, kameralar genellikle filtrelendir ve ölçümler genellikle karanlıkta veya neredeyse karanlık koşullarda gerçekleştirilir. EL testini düşünmenin basit bir yolu, ters yönde çalışan güneş piline benzemesidir. Hücreden bir akım geçirilir ve bir tür ışık yayar, oysa normal çalışmada hücre üzerindeki ışık bir akım oluşturmaya neden olur.

Elektrolüminescans tekniğine dayalı testler yapmak için bir karanlık odaya ihtiyaç duymaktadır. Karanlık bir ortamın gerekliliği, ışığın Test edilen fotovoltaiik hücrelerin emisyonu, görülür spektrumda ancak düşük yoğunlukta gerçekleşir. Yonga plakası kalitesindeki, yonga plakasındaki kirlilikler ve kırıklar, mikro çatlaklar, ön ızgara parmak kırılmaları, zayıf lehim bağlantıları ve şöntlü hücrelerdeki varyasyonları belirlemek için kullanışlıdır. Bu nedenle, test sonuçlarını uygun şekilde gözlemlemek ve değerlendirmek için karanlık bir ortama ihtiyaç vardır. Test karanlık odada bir ucunda bir kamera ve diğer ucunda fotovoltaiik panel olmak üzere gerçekleşir. Toplam 3 adımda olmak üzere her iki dizi fotoğraflamak üzere toplam 6 satır fotoğrafı çekilir. Kullanılan kamera 1/5 sn. çekim süresine sahip bir Canon EOS Rebel T2 olup; diyafram f / 2.8; 1600 ISO hassasiyeti; 70 mm odak uzaklığı ve USB arayüzü ile bilgisayara bağlanır. Harici güç kaynağından standartlar dahilinde 60 volt 0,5amper ile belirlenen parametreler dahilinde voltaj uygulama süresi ve kamera algılama süresi belirlenerek

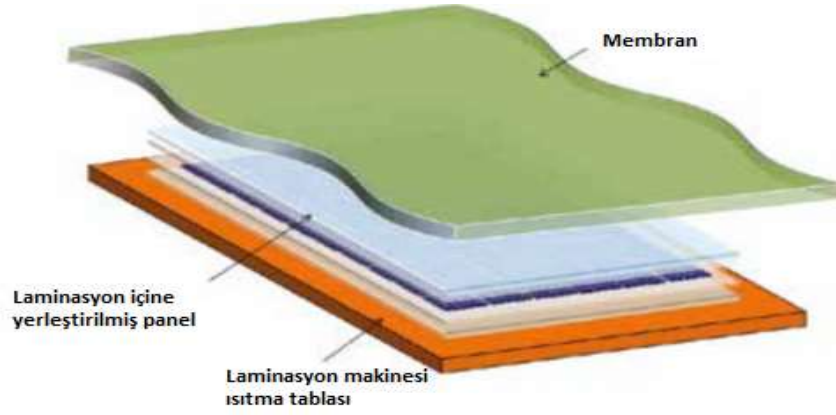
kameralardan uygun görüntüler alınır. Tasarlana program ile panel EL resimleri alınarak belirlenen operatör tarafından yargılama yapılır.

2.4.3. Laminasyon

Güneş (PV) panelleri, güneş ışığını makul bir maliyetle elektriğe dönüştürmek için her türlü iklim koşulunda uzun süre (25 yıl veya daha fazla) dış mekân maruziyetinin zorluklarına dayanmalıdır. Panel uzun ömürlülüğünün anahtarlarından biri, ön ve arka koruyucu tabakaları takarken güneş hücrelerini kapsülleyen laminasyon işlemidir. Etilen vinil asetat (EVA) bazlı tabaka malzemeleri, zaman içinde bu malzemelerde önemli gelişmeler olmasına rağmen, 1980'lerden beri endüstri standardı enkapsülantlar olmuştur. Baz EVA, stabilizatörleri, antioksidanlar ve cam yapıştırma için astarlar dahil olmak üzere tabaka ekstrüzyon işleminde bir dizi katkı maddesi ile birleştirilir. Katkı maddeleri, nihai malzemenin çok küçük bir yüzdelik dilimini oluşturur. Isıya maruz kalma altında EVA sararmasıyla ilgili erken sorunlar, orijinal kürlleme maddesinin daha kararlı bir alternatif ile değiştirilmesiyle çözülürken, işlem döngü sürelerini azaltmak ve laminasyon ekipmanının üretim kapasitesini artırmak için daha hızlı reaksiyona giren (fast cure) kürlleme maddeleri geliştirilmiştir.

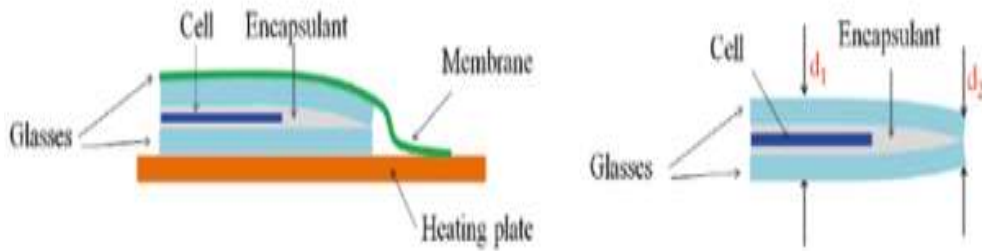
Bu malzemeler (fast cure) kürlleme gerektirmezken, erime noktaları ve viskoziteleri EVA'dan daha yüksektir, bu nedenle laminasyon işlem süreleri genellikle EVA'ya benzer. Enkapsülantlar tabaka biçiminde olduğundan, bir panel laminatı, bir vakumlu laminatörde işlenmek üzere katmanlar halinde kolayca birleştirilebilir. Vakumlamaya yardımcı olmak ve EVA laminasyon sırasında eriyip akarken hücre hareketini önlemek için hücrelerin bantlama işlemi uygulanabilir. Laminasyon işlemi, bir vakum odasında panel katmanlarından havanın pompalanmasını, enkapsülantın eritilmesi için katmanların ısıtılmasını ve hücreleri enkapsülan içine yerleştirmek ve ön ve arka tabakalara yapıştırmak için katmanları esnek bir membranla birlikte presleme işlemidir.

Almanya'da Franhauser Enstitüsünde yapılan bir çalışma da yarım ve tam Pv hücreleri üretilen iki panel karşılaştırılmış ve yarım hücreleri panellerde CTM oranı %100,7 iken tam hücreli panellerde %98,7 olarak ölçülmüştür. Buna göre yarım-kesim hücreli modüller güçte 8,3W, verimlilikte %0,48 ve CTM gücünde ise %2,6 puanlık bir fayda sağlamaktadır. Güç, verimlilik ve ctm güçleri tablo da verilmiştir (Duman, S., Alcı, M., 2022).



Şekil 15. Vakum-Membranlı Laminasyon Şematığı (Cattaneo ve ark., 2014)

Literatürde cam-cam üretim olarak bilenen modüllerde ise arka kaplama olarak yine cam tercih edilmektedir. Cam-backsheet panellere göre mekanik olarak daha sağlamdır. Fakat bu tip paneller üretilirken kullanılan enkapsülant malzemesi ve lamine işleminde bazı farklılıklar vardır. Enkapsülant malzemesi olarak EVA kullanımı içerisindeki asetik asit nedeniyle potansiyel indüklenmiş bozunmaya (PID) yol açabilir. İsviçre’de yapılan bir araştırmada; cam-cam üretimlerinde EVA yerine TPO (thermoplastic polyolefin) kullanılarak bir üretim yapılmış ve hücresel bağlantı olarak SWCT(SmartWire Connection Technology) teknolojsi ile iki taraflı HJT hücreleri kullanılarak araştırma panelleri üretilmiştir. Üretilen paneller IEC standartlarına göre test edilmiş ve sonuçlara göre eva yerine başka bir polimer ailesi tpo kullanımının laminasyon süresinin kısılması, baloncuk çıkmaması ve panellerin uzun ömürlü olması sonucu ortaya çıkmıştır. Ayrıca lamine işleminin şekil 16’deki gibi olmasından dolayı panel kenarlarının sıkışması ve streslenmeyle camın daha kolay kırılmasına neden olabilir. Bu yüzden laminasyondan önce cam çevresine bir bant kullanımını ya da laminasyon prosesi öncesi cam kalınlığında bir çerçeve kullanmak olumsuz etkiyi azaltmaya yardımcı olur. (Cattaneo ve ark., 2014)



Şekil 16. Cam-cam panelde laminasyon işleminde kenarlardaki sehim (Cattaneo ve ark., 2014)

Laminasyon işleminde EVA tedarikçisinin sağladığı datasheet değerlerine göre laminasyon parametreleri ayarlanır. EVA jelleşmesi ve istenilen seviye backsheet ve cama yapışması gerekir. Lamine işleminde baloncuk kalması durumunda panellerin üretici firmanın standartlarına göre kalite sınıflandırması yapılır. Baloncuklar, güneş hücrelerini çevreleyen arka yüzey malzemesinde veya ön camın altında görülebilir. Bu durum, hücrelerin güneş ışığını emme yeteneklerini etkileyebilir ve panelin genel performansını düşürebilir. University of Neuchâtel’de yapılan bir çalışmada baloncuğa sebep olan etmenler araştırılmıştır. CO₂, 2-etil heksanol ve tert-bütanol gibi uçucu bileşenlerin lamine işlemi esnasında baloncuğa sebep olduğunu ve baloncukları gidermenin, lamine süresinin ve basıncının ayarlanması gerektiğini belirttiler. (L.E. Perret, ve ark, 2009)

Laminasyon odaları belirlenen parametrelerde ve sıcaklıklarda ayarlanır. Bu paneller için ayarlanan sıcaklıklar iki odacık içinde farklı olup laminatörün ilk kısmı için 147 santigrat derece olup ve laminatör iki için 151 derece olarak ayarlanmıştır. Uzun vadeli panel güvenilirliği için minimum% 80 kürlenme seviyesi elde etmek için EVA bir sıcaklık / zaman profiline tabi tutulmalıdır. Laminasyon işlemi sırasında boşluklar, kabarcıklar, arka tabaka kırışıklıkları ve diğer kusurlar oluşabileceği için bir sonraki süreç olan görsel incelemeler 45 yapılarak paneller sınıflandırılır. Laminasyon aşaması sonrasında yapıştırıcı malzemenin jel içeriği mukavemet ve yapışma gücü testlerine tabi tutulur. Başarılı bir şekilde lamine olamayan paneller içerisine nem alır. Bunun sonucunda paneller çalışırken backsheet tarafında sararmalar meydana gelir. (Ferrara, C.,ve ark 2012).

2.4.4. Kenar kesme, görsel kontrol ve Junction Box

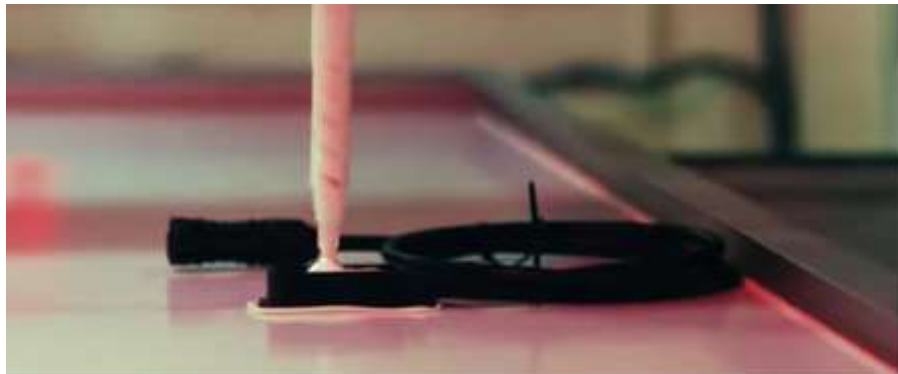
Kenar kesme makinesi tarafından kesime alınan panel montaj hattı konveyörleri sayesinde belirlenen zaman ve konum parametrelerinde zamanlamaları ayarlanarak ortalı bir şekilde makineye yerleştirilir. Makinede işleme alınan panel belirlenen parametreler ve panel büyüklüğüne malzemenin cinsine göre ayarlanan bıçaklar ile Kenar kesme işlemi başlar. Kesme makinesinde vakum bölümü devreye girip panelin sabit kalacak şekilde kesme işlemi esnasında zarar görmemesi ve hasar almaması için vakumlanır. Vakumlanan panel servo uçlarına bağlanmış kesme bıçakları ile kesime başlanır. Kesim sonrasında bıçaklar ve panel görsel kontrolde incelenmek üzere montaj hattında ilerler. Burada dizi arası mesafeler, ribbon hızasızlıkları, yabancı madde, vakum

hatasından dolayı oluşabilecek baloncuk sorunu, kenar kesme hataları ve panel pozisyon hataları olarak belirtilebilir

Kenar bantlamadaki asıl amaç bu panellerin standartlarda belirlenen 25 yıl ve üstü dayanabilecek şekilde tasarlanmaktadır ve kenar bantlama işleminde çerçevelerin daha sıkı ve sızdırmaz bir şekilde kapanmasına olanak sağlamaktadır. Bantlama sonrasında J-box' lar tasarıma göre 3' lü grup ya da tek olacak şekilde manuel olarak yerleştirilerek operatörler veya makine tarafından lehimlenir. Jbox belirlenen gereksinimleri;

- Anma gerilimi, kutu: 1500 V dc
- Anma darbe gerilimi, kutu: 16 kV
- Nominal Panel çalışma voltajı

Junction boxların bağlantısı bir fotovoltaik üretiminde en önemli proseslerden biridir. İyi lehimlenmeyen bağlantı kutuları çalışma esnasında ısınarak yanmalara sebep olabilir. Lehimlenen junction boxlar sonrasında silikonlayarak içleri silikon yalıtım malzemesi doldurulur. Bağlantısı yapılmış J-box aktarım elemanları ile birlikte panel çerçevelenmek üzere bir sonraki istasyon olan çerçevelemeye doğru ilerler. İçleri silikon dolgu ile doldurulmayan ya da yeterli miktarda silikon dolgusu olmayan bağlantı noktalarında nemlenmeden dolayı korozyon oluşabilir. Gaston Berger Üniversitesinden Gabriel Jean ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, silikon dolgusu yapılmayan junction kutusunda zaman içerisinde oluşan korozyon ve sonuçlarını göstermişlerdir. (Gabriel ve ark, 2018) Şekil 17'de bağlantı kutusu içerisine silikon dolgusu yapılırken görülmektedir.



Şekil 17. Dolgu silikonu yapılan bağlantı kutusu (kaynak yazar tarafından oluşturulmuştur)

2.4.5. Çerçeveleme ve Kenar Zımparalama

Çerçeveleme güneş panellerinin dayanaklılığı ve panelin konstrüksiyonu açısından önem arz etmektedir. Kullanılan genel çerçeve malzemeleri ağırlığı ve elektrik direnci göz önüne alınarak alüminyum malzemeden üretilmiştir ve panel tasarımı ve boyutlarına göre değişiklik gösterebilir. Malzeme olarak 6000 serisi Alüminyum kullanılmaktadır ve genel ölçüleri 30x45mm, 40x45mm, 40x35mm, 38x28mm veya çizimlere göre değişiklik gösterebilirler. Kenarları tipine göre değişip 90 ve 45 derece olarak üretilmektedir. Kullanılan çerçeveler tüm standartları karşılamalı ve topraklama noktaları bulundurmalıdır. Çerçeveleme ve kenar zımparalama çerçeveleme güneş panellerinin dayanaklılığı ve panelin konstrüksiyonu açısından önem arz etmektedir.

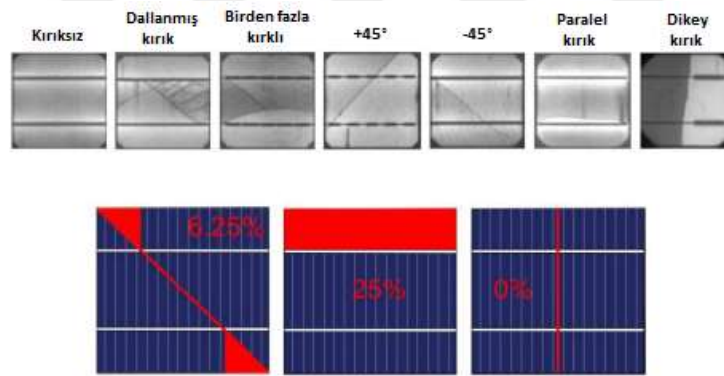
Kullanılan genel çerçeve malzemeleri ağırlığı ve elektrik direnci göz önüne alınarak alüminyum malzemeden üretilmiştir ve panel tasarımı ve boyutlarına göre değişiklik gösterebilir. Malzeme olarak 6000 serisi Alüminyum kullanılmaktadır ve genel ölçüleri 30x45mm, 40x45mm, 40x35mm, 38x28mm veya çizimlere göre değişiklik gösterebilirler. Kenarları tipine göre değişip 90 ve 45 derece olarak üretilmektedir. Kullanılan çerçeveler tüm standartları karşılamalı ve topraklama noktaları bulundurmalıdır. Güneş standartlara uymayan çerçevelenmiş paneller kalite kriterleri açısından uygun görülmemektedir. Çerçeveleme sonrası panel köşe zımparalama makinesine doğru ilerlemektedir. Köşe zımparalamadaki amaç çerçeveleme sonrası oluşan 45° er derecelik açıların birbirini kapatma sonucu köşelerin keskin bir hal alması ve iş güvenliği açısından kesme ve yaralamaya sebep verebileceği için tehlike olarak görülmektedir. Köşe zımparalama sonrası keskin köşeler düz bir hale getirilip kesici olan tarafları tamamen iş güvenliği açısından uygun bir vaziyet almaktadır.

2.3.6. Mikro çatlak etkisi

Bir güneş panelinin yüzeyindeki hücresel mikro çatlakla zararlı etkiye sahip olabilir. Mikro çatlaklar ayrıca, etkilenen güneş pillerinin paneldeki diğer hücrelerden daha düşük bir seviyede çalışmasına neden olarak güneş panelinin verimliliğini azaltabilir. Bir güneş panelinin güneş ışığını enerjiye dönüştürme kapasitesi, bir çatlak nedeniyle engellenebilir ve bu da verimliliğin düşmesine neden olabilir. Çatlağın boyutu ve konumu, verimliliğin ne kadar azaltılacağını belirleyecektir. Bir kopukluk olması

durumunda panelin içine nem girerek kısa devrelere ve korozyona neden olabilir. Ek olarak, panelin hücrelerinin hizasının dışına çıkmasına neden olabilir ve bu da enerji çıkışını azaltabilir. (Kunze, 2010)

Bir panelin güç çıkışı mikro çatlaklar nedeniyle azalırsa, panelin verimi de düşer. Verimlilik kaybının miktarı, çatlağın ciddiyetine ve etkilenen güneş pillerinin/hücrelerinin elektriksel bağlantısına bağlıdır. Herhangi bir standart panel neredeyse teorik güç sağlayabilir, ancak bazı panellerde bazı sorunlarla birlikte güç kaybı olabilir. Bu güç ve verim kaybı genellikle mikro çatlaklı panele bağlıdır. Paggi'nin yaptığı bir araştırma da mikro çatlakların çeşidine bağlı olarak %16 ya varan verim kayıpları vardır. Verim kayıplarının olması hücre üzerindeki kırıkların şekline göre ve potansiyel izole alan oluşturma derecesine göre değişmektedir. Şekil 18'de gösterilen kırık çeşitlerinden hücre baralarına paralel olan mikro kırıklar verimi en çok etkileyen kırıklardır. İki baralı bir hücre de oluşan mikro kırık %25 verim kaybı potansiyeline sahiptir (Paggi, 2013).



Şekil 18. Mikro Kırık Çeşitleri (Paggi, 2013)

Mikro çatlaklar, güneş panelinin performansının zaman içinde daha fazla düşmesine neden olabilir ve bu da ömrünü kısaltabilir. Mikro çatlaklar üretim anında fark edilmese de ileride daha büyük bozulmalara ve güç kayıplarına neden olduğu görülmektedir. Üretim aşamasında el test analizlerinde gözle görülmeyen ve nokta şeklinde olan bazı mikroların basınç ve sıcaklığın etkisiyle ilerleyerek daha büyük kırılmalara yol açması mümkündür. Mikro çatlaklar, güneş pilleri tarafından absorbe edilebilecek ışık miktarını azaltarak güneş panelinin çıkış gücünün düşmesine neden olabilir. Mikro çatlağın bir diğer etkisi de Pmax değerindeki aşırı düşüşler olarak gözlenir. (J. Käsewiter, 2014)

Mikro kırık verimi düşüren bir olgudur. Bunun nedeni ise kırılan hücrenin direnci ile ışın soğurma yüzeyinin bölünmesi sonucunda istenilen gerilim değerini üretmez ve daha düşük çıkış gücü ortaya çıkar. Güneş pili mikro çatlakları farklı kategorilerde sınıflandırılabilir. Taşıma, kurulum ve nakliye gibi dış kuvvetlerin neden olduğu mikro çatlaklar bir güneş pilinin yüzeyinde görünebilir. Sıcaklık değişimleri, dolu fırtınaları ve diğer meteorolojik koşulların getirdiği termal gerilmeler de dış mikro çatlaklara neden olabilir.

Bir güneş pilinde dahili olarak oluşan mikro çatlaklar, kristal yapıdaki kusurlar veya büyüme sürecinden kaynaklanan stres gibi üretim kusurlarının bir sonucudur. Termal basınçlar, zamanla gelişebilen ve yayılabilen dahili mikro çatlaklara da neden olabilir. Bu tür mikro çatlaklar, elektronların güneş pili içinden akışını engelleyerek verimliliğin düşmesine neden olabilir. (Spataru, 2015)

Solar üretim tesislerinde Elektrolüminesans makinesi ile birkaç çeşit mikro çatlakları görebiliriz. Bir maddeden geçen bir elektrik akımı, elektrolüminesans olarak bilinen bir süreç olan ışığı yaratmasına neden olur. Genellikle EL test cihazı veya EL ölçüm sistemi olarak adlandırılan bir elektrolüminesans makinesi, bir malzemenin elektrolüminans (EL) özelliklerini ölçmek ve analiz etmek için kullanılan bir araçtır (Khatri R, 2011).

Bir EL cihazı tipik olarak bir güç kaynağı, bir voltaj/akım kaynağı ve malzemenin yaydığı ışığı kaydedebilen bir dedektör veya kamera içerir. İki elektrot arasına sıkıştırılan numune malzemesine bir elektrik alanı oluşturan bir voltaj uygulanır. Işık, malzemeler içinden geçerken pozitif yüklü elektronların yeniden birleşmesi sonucu üretilir. Hızlı sıcaklık değişikliklerinden kaçınmak, güneş panellerin mikro çatlaklarının genişlemesini önleyebilir. (Eitner, 2011)

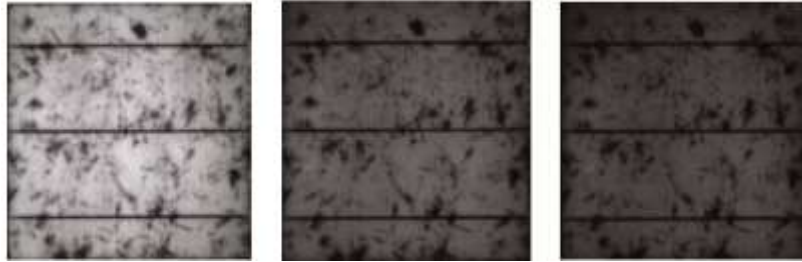
Güneş pili içindeki termal stresin getirdiği ve lehimleme sırasındaki mekanik stresin bir sonucu olarak mikro çatlaklar ortaya çıkabilir. Bu küçük kusurlar, güneş pilinin güç çıkışının düşmesine ve hücrenin katmanlarının ayrılmasına neden olabilir. Termal stres ayrıca bir güneş pilinin elektriksel özelliklerini değiştirebilir ve bu da pilin verimini düşürebilir. Örneğin, yüksek sıcaklıklar, güneş pili içindeki yük taşıyıcıların daha sık yeniden birleşmesine neden olarak hücrenin toplam verimliliğini azaltabilir. Güneş enerjisi endüstrisinde panel lehimlemesinin kızılötesi lambalarla yapıldığı

bilinmektedir. Bu ısıtıcı lambaların yüzdelik güçlerine göre sıcaklık verdiklerini ve bu sıcaklığın üretilen ürünlere etkisini görebiliriz.

2.4.7. LID etkisi

Güneş panellerinde kurulumundan sonra birkaç güç içinde görülen ışınlm kaynaklı bozulmalardır. Kristalin-silikon (monokristal, polikristal) yapıll güneş hücrelerinden üretilen panellerde çoğunlukla LID etkisi gözlemlenir. LID etkisinin temel nedenlerinden biri, güneş hücresinde bulunan yarı iletken malzemenin oksijen ve ışık etkileşimine bağılı olarak ortaya çıkan kimyasal ve fiziksel değışikliklerdir. Özellikle hücrenin üretim ve panel oluşturma süreçlerinde oksijene maruz kalma bu etkiyi artırabilir. Bu kayıpların GES sahalarında ilk aylarda %3'e kadar ulaşabilir.

Mc-PERC tip hücrelerle yapılan bir araştırmada; mc-perc hücresine ışık verilmiş ve aynı anda hücre 95° de bekletilmiştir. Bu deneyde 20 ve 30'uncu dakikalarda hücre EL testleri çekilmiş ve güçleri ölçülmüştür. Şekil 19'da başlangıç, 20. dakika ve 30. dakikadaki EL testleri mevcuttur. Araştırmada yapılan ölçüme göre hücrede kayıp %10'a ulaşmıştır (Luka ve ark, 2016).



Şekil 19. 95° sıcaklık ve ışınlm etkisinde bulunan hücrenin başlangıç, 20 ve 30.dakikalarda EL görüntüsü

Güneş panelleri testleri IEC standartlarına göre yapılır. LID etkisinden dolayı Testler yapılmadan önce paneller solar simulatorde toplam 20kWh/m² ışınlmda bekletilerek güç stabilizasyonu yapılır. Bu test ayrıca IEC 61215 güneş paneli standardına göre de zorunludur.

2.3.8. CTM kayıpları

Cell-to-Module (CTM), fotovoltaiik panel geliştirme süreçlerinde kullanılan bir ölçüdüdür. Bu oran, panel verimliliğinin, panelin içerisindeki hücrelerin toplam verimliliğı ile karşılaştırılmasını ifade eder. Yani, CTM oranı, panelin tüm bileşenleri sonucu elde edilen sonuç ile kullanılan hücrelerin toplam güçlerinin oranıdır.

Fotovoltaik endüstrisinde, panel üreticileri genellikle laboratuvar koşullarında belirli bir güçte ölçülen ve sertifikalandırılan güneş hücrelerini kullanmayı tercih eder. Ancak, panel üretimi sırasında çeşitli etkenlerden dolayı güç kayıpları yaşanabilir. Bu kayıplar, kullanılan EVA, Backsheet, Cam, Bağlantı Kutusu ve ribbon telleri gibi ana ham maddelerdir. Panel üreticileri CTM değerlerini Sun-simulasyon testleri ile elde edebilirler. CTM oranının yüksek olması, panelin güneş hücrelerinden maksimum verimi elde ettiği anlamına gelirken, düşük bir CTM oranı, panel entegrasyonu sırasında güç kayıpları olduğunu gösterebilir. Bu nedenle, CTM analizi, panel geliştirme süreçlerinde performansı artırmak ve maliyetleri düşürmek için önemlidir.

Almanya’ da Fraunhofer ISE araştırmacıları çalışmada, güneş panellerindeki optimizasyonu yakalayarak ctm kayıplarını azaltmak için SmartCalc.CTM yazılımının geliştirmişlerdir. Bu yazılımı kullanarak, panelde beş aşamalı bir optimizasyon ile 287 Wp'lik güneş panelini 308.2 Wp'ye çıkarmışlardır. İlk adımda, 3 busbar'lı hücreler yerine 5 busbar kullanılmıştır. İkinci aşamada, farklı bir EVA kullanılarak panel gücünde 3.7 Watt artmıştır. Üçüncü adımda, ribbon kesiti 1.9 Wp'lik bir artış oluşturmuşlardır. Dördüncü adımda ise tam hücreler yerine hücreler lazer kesim makinesinde kesilerek yarım-kesim teknolojisi ile panel üretilerek güç 303.3Wp'e kadar artmıştır. Son aşamada, hücre ve dizi aralıklarının artırılarak modül gücünü 308.2 Watt'ı ölçmüşlerdir. Çalışmayı yürüten Max Mittag ve Matthieu Ebert SmartCalc.CTM yazılımı ile 21.2 Wp'lik bir artış sağlamıştır. (Mittag, M., Ebert, M., 2017)

2.4.9. Elektrik Kutusu Problemleri

Bağlantı kutusu, lamine edilmiş ve çerçevelenmiş güneş panelinin elektriksel bağlantılarını ve güvenliğini sağlayan önemli bir bileşendir. Panel içerisinden çıkan busbar tellerinin ark yapacak boşluğa sebep olmayacak şekilde kusursuz lehimlenmesi gerekmektedir. Bağlantı kutusunun içerisinde ki diyotların ve bağlantı noktalarının çevresel etkilerden çok iyi korunması gerekmektedir. Bunun için kaliteli conta olan elektrik kutuları seçilmelidir. Günümüzde güneş paneli üreticilerinin çoğu bağlantı kutusunun içine dolgu silikonu koyarak, su, nem ve toz gibi çevresel faktörlerden bağlantı noktalarını korumaktadırlar. Kutu içerisindeki diyotlu devreye zarar gelmemesi için IP68 standardında bağlantı kutusu kullanılması gerekmektedir.



Şekil 20. Yanmış Bağlantı Kutusu Resmi

2012 yılında yapılan bir çalışmada, ticari bir ürün olan 72 adet seri bağlı güneş gözesinden oluşan 95Wp gücünde çok kristalli silisyum bir fotovoltaiik (PV) panelin baypas diyot kullanıldığı ve kullanılmadığı durumda gölgelenme etkisi altındaki güç değişimi akım gerilim eğrilerinden yola çıkılarak incelenmiştir. Verim, dolum çarpanı, maksimum güç gibi bazı panel parametreleri her iki durum için de hesaplanmıştır. Panel üzerinde %2,7'lik bir gölgelenme ile baypas diyot yokken %77,88 olarak hesaplanan güç kaybının baypas diyot kullanıldığında %45,35 değerine kadar düştüğü gözlenmiştir (Sarıoğlu, 2 2012).

2.4.10. Potansiyel Kaynaklı Bozulma (PID Etkisi)

Potansiyel İndüklenmiş Bozulma (PID), fotovoltaiik (PV) sistemlerde güneş panellerinin performansını etkileyen bir bozulmadır. Bu bozulma genellikle yüksek voltaj, nemli ortamlar ve sıcaklık değişimleri gibi faktörlere bağlı olarak ortaya çıkar. Bu etki, fotovoltaiik panelin içerisindeki hücre ve iletken ribbon telleri ile çerçeve cam gibi panel birleşenleri arasında oluşan gerilim farkı dolayısıyla oluşabilir. Yüksek voltaj, paneller arasındaki potansiyel farkın artmasına yol açarak panel yüzeyindeki izolasyon malzemelerinin zarar görmesine neden olabilir. Ayrıca, yüksek nem seviyeleri ve sıcaklık değişimleri, PID oluşumunu hızlandırabilir; bu durumda, panellerin içindeki malzemelerin iletkenliği artar ve izolasyon yetenekleri azalır. Bu koşullar altında, PID, güneş panellerinin çıkış gücünde azalmaya ve dolayısıyla PV sistemlerinin enerji verimliliğinde kayıplara neden olabilir.

Transformatörsüz bir evirici kullanarak kurulan santrallerde PID kaynaklı bozulmaların %30'a kadar ulaşır. Bu yüzden Trafosuz evirici kullanılan sistemlerde, sertifika kuruluşlarından PID testi onayı almış paneller kullanılmalıdır. (Boztepe, 2017).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Fotovoltaik panellerin üretimi esnasında hücre üzerinde meydana gelen bazı hatalar üretici firma kalite standartlarına göre panelin kalite sınıfını belirler. Fotovoltaik panelin hücrelerle ilgili kalitesine etki eden ve en çok karşılaşılan sorunlar, mikro kırık, kırık hücre, hücre bağlantı ve lehimleme sorunları, ribon eksen kayması, kısa devre, string birleşmesi, hücre üzerindeki lekelenmeler, eş verimlilikte olamayan hücreler gibi sorunlardır. Araştırmada en çok karşılan sorunlarda üç tanesi incelenecektir.

Çizelge 2. Araştırmada Kullanılacak Paneller

NO	Araştırma İçin Kullanılan PV Panellerinin Özelliği
1	Zayıf Lehim Hatalı
2	Farklı Verimlilikte Hücelere Sahip Panel
3	Mikro Kırık Hücelere Sahip
4	Referans paneli

Bu araştırma için özel üretilen paneller fabrika bahçesine yaptırılan demir konstrüksiyona yerleştirilmiştir. Fotovoltaik panellerde hücresel hatalar termal kamera ile çekilerek incelenmiştir. Panellerin günlük elektrik üretim takibi için wifi bağlantılı mikro inverter kullanılmıştır.

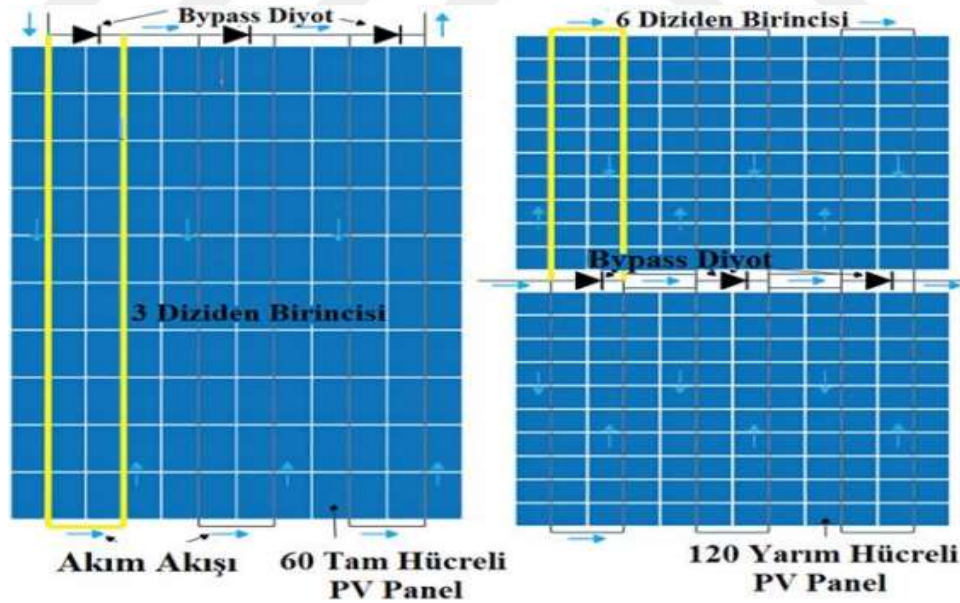
3.1. Fotovoltaik Panel Üretimi

Araştırmada üretilen paneller eş verimlilikte hücrelerden oluşmaktadır. On baralı hücreler kullanılmıştır. Sadece kullanılan ikinci panelde daha düşük verimlilikte dokuz adet yarım kesim hücre kullanılmıştır. Üretilen panellerde hücre ile birlikte kullanılacak diğer ham maddelerde aynı marka ve modeldir. Panellerin dördünde de AR kaplamalı cam kullanılmıştır ve üretim hattındaki, hücre kesiminden EL teste kadar bütün prosesleri tamamlayarak üretilmiştir. Üretilen panellerin teknik özellikleri şu şekildedir;

Çizelge 3. Panellerin Teknik Özellikleri

Araştırmada	Kullanılan Panellerin Etiket Değerleri	
Güç	550	W
Hücre Sayısı	72	Adet
Kısa Devre Akımı	13,64	Isc
Açık Devre Gerilimi	49,96	Voc
Maksimum Akım	13,04	Imp
Maksimum Gerilim	42,19	Vmp
Boyut	2279x1134x35	Mm

Panel üretimini yarı-kesim(half-cut) teknolojisi ile yapılmıştır. Tam hücre yerine yarı-kesim hücre kullanarak panel üretimin amacı daha verimli fotovoltaik paneller elde etmektir. Bu şekilde üretilen panellerde bypass diyotları panelin tam ortasında yer almaktadır. Şekil 21’de Tam hücreli ve yarım hücreli panelin konfigürasyonu görülmektedir. Yarım kesim şeklinde üretilen panellerde gölgelenme, panellerde kirlilik, ctm ve hücresel hatalardan kaynaklı bir çok sorunda tam hücreli panele göre avantajlıdır. Aynı zamanda hücre akımlarının bir $\frac{1}{2}$ si kadar aktığı ve bypass diyotlarının bulunduğu daha kalın barada toplandığı için daha avantajlıdır ve panel verimliliği artar (Alçı ve ark, 2022).



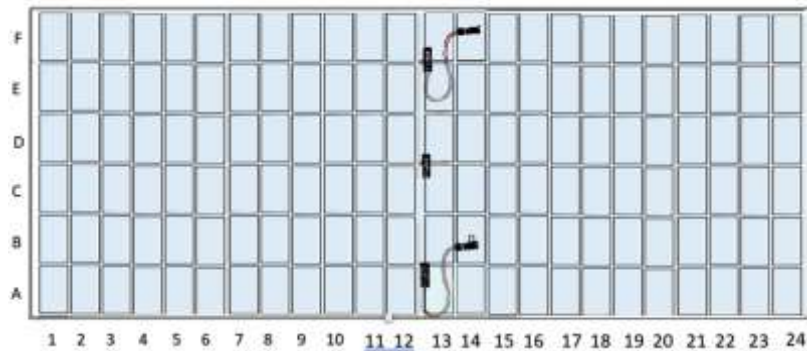
Şekil 21. Tam hücreli ve yarım hücreli panelin konfigürasyonu (Duman, S., Alçı M., 2022)

Hücreler lazer kesim makineleri kullanılarak kesilmektedir. Lazer kesiminde sonra stringer makinelerinde 12 hücre lehimlenerek stringler üretilir. String seviyesinde

yapılan testler yardımıyla lehimle ve lazer kesim esnasında oluşan mikro kırık ve çeltikler tespit edilebilir. String üretiminde önemli bir başka husus ise hücre baralarına ribbon tellerin lehimlenmesidir. Ribbon teller, güneş panelinin hücrelerini birleştiren ve panelden elde edilen elektriği toplayan bağlantıları oluşturmak için kullanılır. Tek bir hücreyi diğerine bağlamak veya hücreleri birbirine bağlamak için düz, geniş bir yüzey sağlarlar. Ribbon telleri dikdörtgensel, üçgen ya da yuvarlak yapıda da olabilirler.

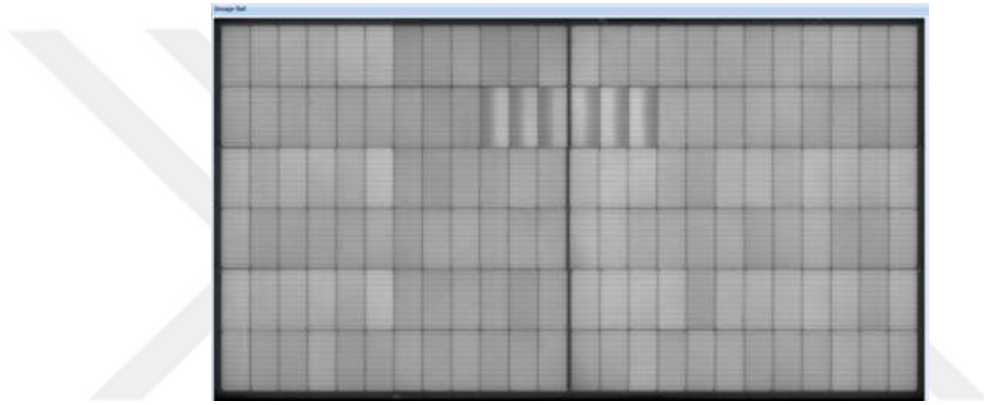
Yapılan bir çalışmada hücreleri dizi yapmak için kullanılan ribbon tellerinin fiziksel şeklinin de panel verimliliğinde etkisi olduğu gösterilmiştir. Dairesel, dikdörtgensel ve üçgensel ribbon telleri ile üretilen panellerin verimliliği araştırılmış, üçgensel ve dairesel ribbon tellerinin kullanımının verimi arttırdığı kanıtlanmıştır. Üçgensel ribbonlar hücrelere en az gölge oluşturduğu ve dolayısıyla güneş ışınlarının güneş hücrelerine maksimum gelerek verimin arttığı gözlemlenmiştir. (Mittag ve ark, 2016)

Uygun lehimlenmeyen hücrelerde ribbon eksen kayması hatası olabilir. Bu hata solar fotovoltaik panelin kalite sınıflandırılması için bir sebeptir ancak her üretici kendi standartlarına sahip olabilir. Eğer bir panelde eksen kayması varsa, bu genellikle panelin kalitesini düşüren bir faktör olarak kabul edilir. Hücreler birleştirilerek stringleri, stringler birleştirilerek panelleri oluşturur. Üretim prosesinde on iki string kutuplarına göre yan yana dizilerek busbar lehimleme işlemi yapılır. 144 yarım hücreli bir panelde stringler 12 yarım hücrelidir. Hücrelerin konumu belirlemede stringler A'dan F'ye kadar isimlendirilir. 12 ile 13'üncü hücre arasında bypass diyotları ve elektrik bağlantı kutusu bulunmaktadır. Şekil 22'de panellde string ve hücre konumları görülmektedir.



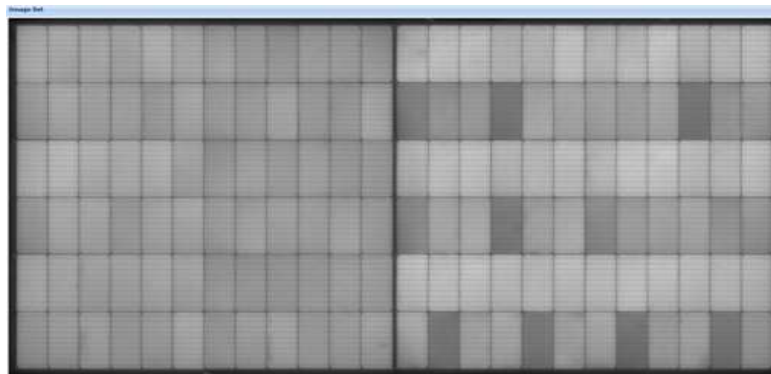
Şekil 22. Hücrelerin Konumları

Her hücre belirli bir voltaj üretir, bu nedenle bu hücrelerin seri bağlanması, toplam voltajı artırır. Ancak, seri bağlantıda bir hücrede meydana gelen bir problem (örneğin, gölgeleme veya zayıf lehim) diğer hücreleri de etkileyebilir, bu da genel panel performansını olumsuz etkileyebilir. Bu araştırma için üç panel bilinçli olarak hatalı üretilmiştir. Birinci panel, E stringinde 10, 11, 12, 13, 14, 15 nolu hücrelerde kullanılan bağlantı telleri zayıf lehime sebep olacak şekilde lehimlenmiştir. EL testinde zayıf lehim görülmektedir. Zayıf lehim bağlantılarından kaynaklanan direnç artışı, güç kaybına yol açabilir ve paneller arasında eşitsiz voltaj dağılımına neden olabilir. Bu, güneş paneli dizisinin genel çıkış gücünü düşürebilir. Şekil 23’de araştırmada kullanılacak zayıf lehimli panelin elektrolüminesans test görüntüsü vardır.



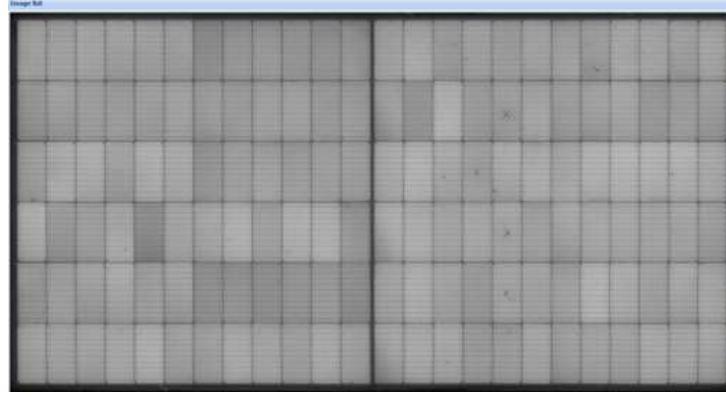
Şekil 23. Zayıf Lehimli Panel Elektrolüminesans Testi

İkinci fotovoltaik panelin 12-24 arasında A, C ve E stringlerinde farklı verimlilikte hücreler kullanılmıştır. EL testinde A stringi A14, A17, A20, A23 nolu hücrelerde, C stringi C13, C16, C19 nolu hücrelerde E stringi E16, E22 nolu hücrelerde daha koyu renkte görüntülenmiştir. Şekilde 24’de araştırmada kullanılacak farklı verimlilikte hücreli fotovoltaik panelin EL testi vardır.



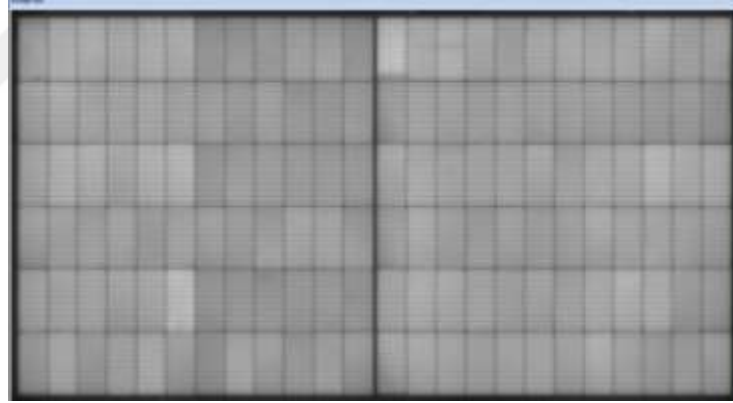
Şekil 24. Zayıf Lehimli Panel Elektrolüminesans Testi

Üçüncü panelde B17, C17 D16, E16 nolu hücrelerde mikro kırıklar görülmektedir. Bu kırıklar mikron seviyede gözle görülemeyen kırıklardır.



Şekil 25. Mikro Kırık Hücreleri

Şekil 26'da EL testinde herhangi bir sorun olmayan fotovoltaiik güneş paneli görülmektedir. İçerisinde herhangi bir mikro kırık, çizik, kısa devre, zayıf lehim, yabancı madde gibi modül kalitesini etkileyebilecek türde hatalar bulunmamaktadır.



Şekil 26. Referans Paneli

3.2. Ölçüm Cihazları

Mikro inverter ve Termal kamera: Mikro inverterler, fotovoltaiik güneş enerjisi sistemlerinde geleneksel merkezi invertör sistemlerine alternatif olarak kullanılan, her bir güneş paneline bağımsız bir şekilde entegre edilen küçük ölçekli güç dönüştürücüleridir. Şebeke bağlantılı On-Grid olarak çalışmaktadır. Dört adet güneş paneli bu mikro invertere bağlanmıştır. Bu bağlantı, sistem verimliliği, enerji üretimi ve güç dengesi açısından bir analize tabi tutulacak. Şekil 27'de ve 28'de araştırmada kullanılan termal ve inverter bulunmaktadır.



Şekil 27. Mikro inverter

- Termal Ölçüm

Panellerde oluşan hot-spot noktalarını izleyebilmek için Fluke Tİ480 marka Termal kamera kullanılmıştır.

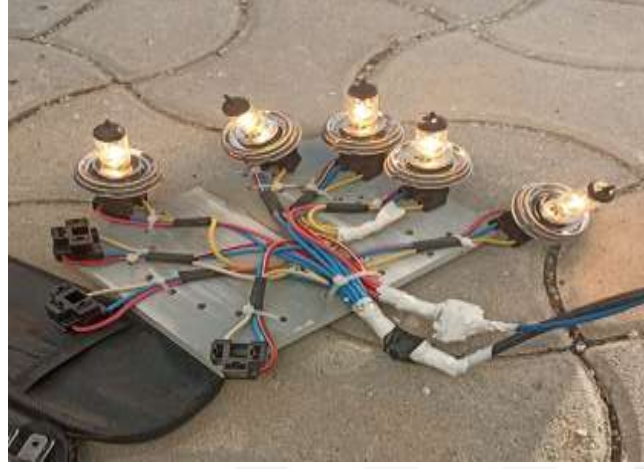


Şekil 28. Fluke Termal Kamera

- Yük Grubu

Fotovoltaik güneş panellerinden maksimum akımı alabilmek bir yük grubu oluşturulmuştur. Bu yük grubuna maximum 8 adet DC voltajla çalışabilen ampuller takılabilir ve paralel bağlantılır. Yük grubunun kablosuna MC4 male/female konnektör takılarak fotovoltaik panele takılmaya hazır hale getirilmiştir. Termal ölçümler sırasında her bir panele bu yük grubu takılacak ve panellerin maximum çalışması sağlanarak,

panellerin gerçek dünya koşullarında nasıl performans gösterdiğini anlamamıza yardımcı olacak.



şekil 29. DC Yük Grubu

- Diğerk Birleřenler

4 adet paneli montajlamak için demir konstrüksiyon ve bağlantı kabloları kullanılmıştır.



şekil 30. Araştırma Seti Konstrüksiyon ve Paneller

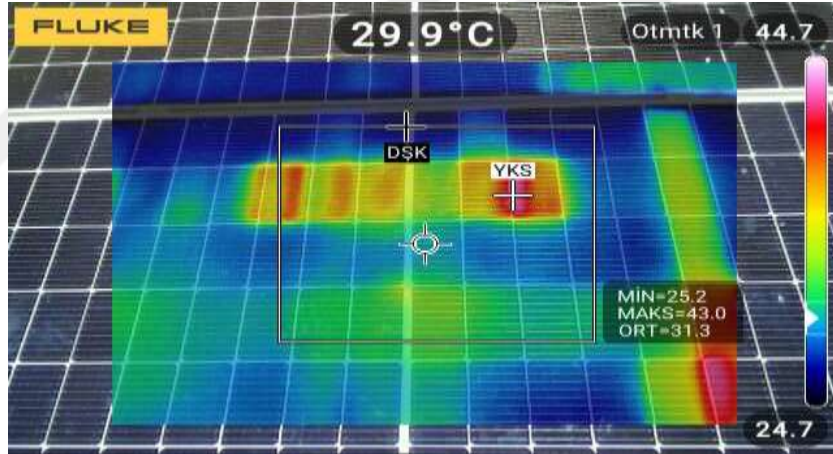
4.BULGULAR

4.1. Termal Görüntü Sonuçları

Termal görüntüsünü çekeceğimiz fotovoltaik panellere önceden ampullerle hazırlanan DC yük grubu bağlanarak panellerden maksimum seviyede akım çekilmiştir. Her dört panelde ayrı ayrı bağlanarak termal görüntüler çekilmiştir. Buradaki DC yük grubu sayesinde hücrelerin güneş altında maksimum çalışması sağlanmıştır.

4.1.1. Zayıf lehim hücrelere sahip fotovoltaik panel

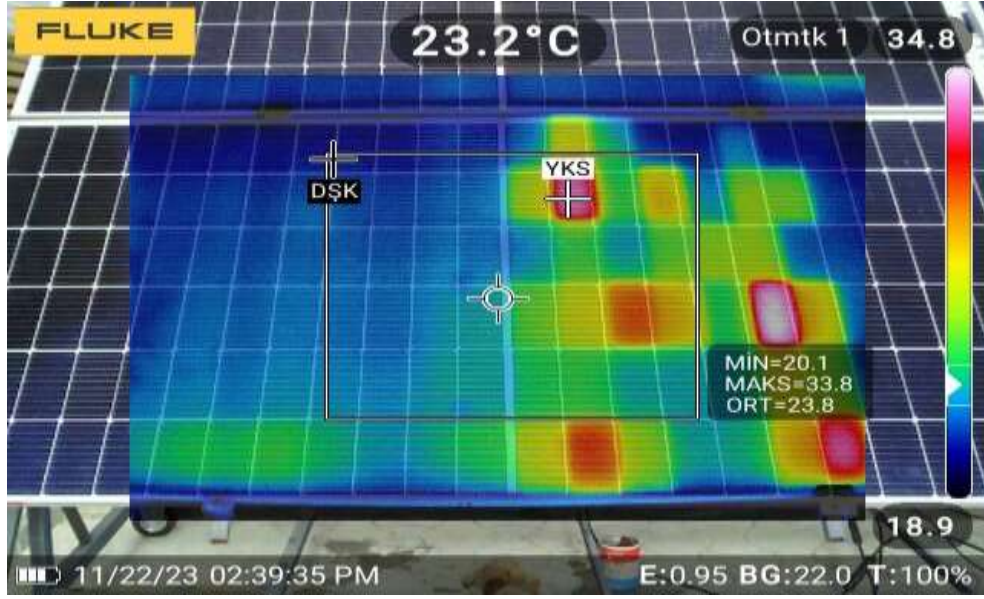
Fotovoltaik panel incelenirken sisteme yük grubu bağlanmış ve maksimum akım 13A geçmesi sağlanmıştır. Araştırılacak olan E10,E11,E12,E13,E14,E15 no'lu hücrelerin olduğu bölgelere termal kamera ile bakılmış ve görüntü kaydedilmiştir. Üzerinden akım geçtiğinde bu hücrelerde yeterli bağlantı olmadığı için hücreler yük konumuna geçerek ısınmaktadır. Bu bölge üretim hattında EL testinde zayıf lehim olarak görülmektedir. Şekil 31'de termal görüntü de görülmektedir.



Şekil 31. Zayıf Lehim Termal Görüntüsü

4.1.2. Farklı verimlilikte hücrelere sahip fotovoltaik panel

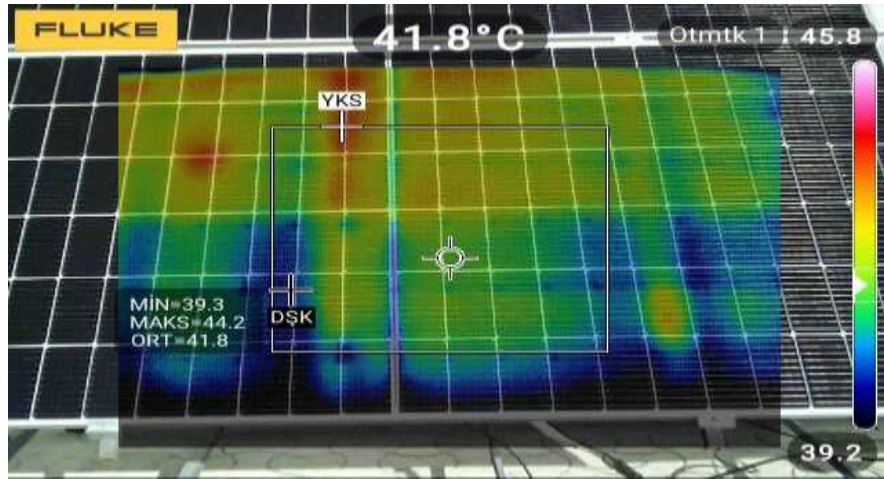
Farklı verimlilikte hücre içeren fotovoltaik güneş paneli Elektroluminescence testinde A stringi A14, A17, A20, A23 nolu hücrelerde, C stringi C13, C16, C19 nolu hücrelerde E stringi E16, E22 nolu hücrelerde daha koyu renkte görüntülenmiştir. Termal görüntülemeye Şekil 32'de ise A stringi 13, 14, 15 nolu hücrelerinde 14 nolu hücrede daha fazla olmak üzere hot-spot gözlemlenmiştir. C stringi 13, 14, 15, 16, 18, 19 nolu hücrelerde sıcak-nokta etkisi görülmektedir. E stringinde E13, E14, E15, 16, 18, 19 nolu hücrelerde en belirgin 14 nolu olmak üzere görüntülenmiştir.



Şekil 32. Verimlilik Farkı Termal Görüntüsü

4.1.3. Mikro kırıklı panel

EL testinde kırık olan noktalarda B17, C17 D16, E16 herhangi bir ısınma gözlemlenmemiştir. Bununla birlikte, ısınma olmaması, panelin tamamen sorunsuz olduğu anlamına gelmeyebilir, bu yüzden panelin performansını düzenli olarak izlemeye devam etmek önemlidir.

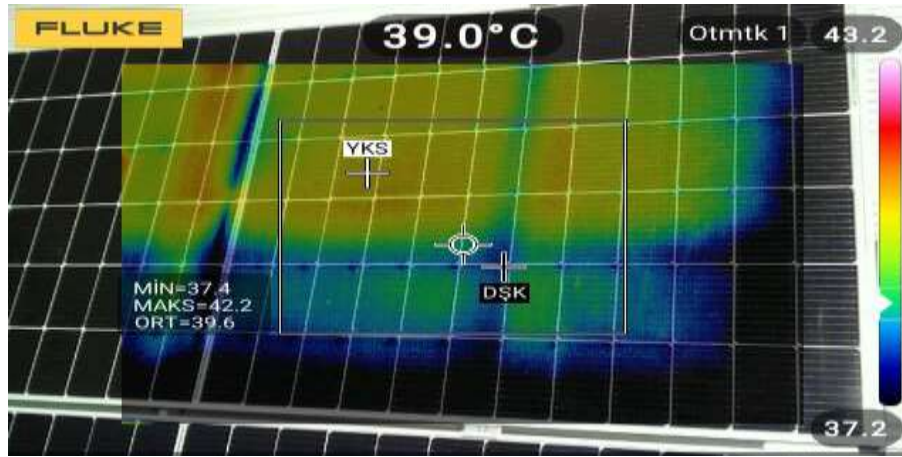


Şekil 33. Mikro Kırıklı Panel Termal Görüntüsü

4.1.4. Sorun olmayan referans paneli

Hatasız referans fotovoltaik panelin termal görüntüsünü incelediğimizde ısının herhangi bir hücre ya da bölgede toplanmadığını görülmüştür. Isının homojen bir şekilde dağıldığı bu görüntü, panelin hücrelerinde veya bölgelerinde potansiyel sorunlar

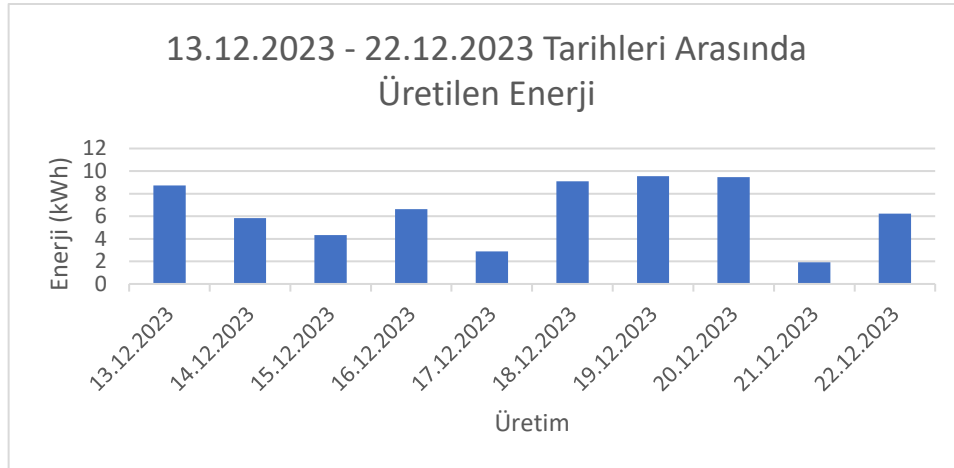
olmadığını göstermektedir, bu da panelin dayanıklılığını ve uzun vadeli performansını doğrulamaktadır.



Şekil 34. Referans Paneli Termal Görüntüsü

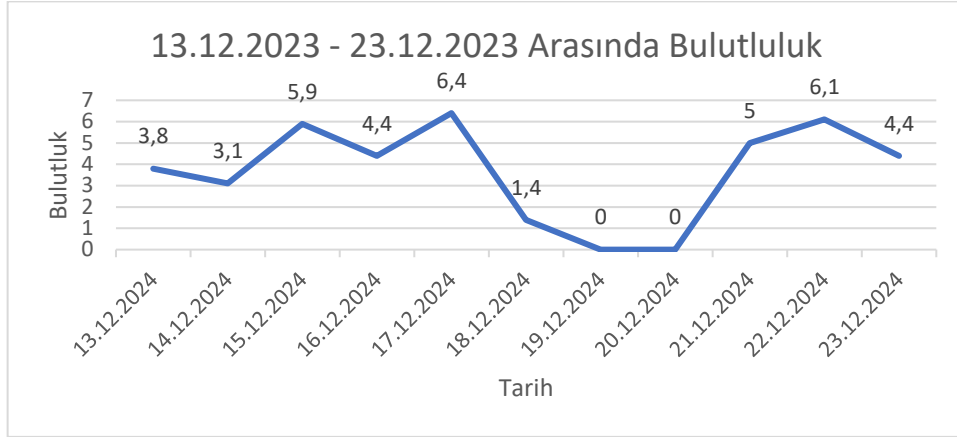
4.2. Mikro İnverter Ölçüm Kayıtları

13-23 /12/2023 tarihinde konstrüksiyon da bulunan fotovoltaik panellerin mikro inverter data kayıtları incelenmiştir. Araştırmamız için invertöre bağlanan dört panelin toplam ürettiği güçler kayıt edilmiştir. Şekil 35’de invertörün toplam ürettiği güçler gün gün grafikte gösterilmektedir.



Şekil 35. İnvertörün Toplam Ürettiği Güç

Araştırmanın yapıldığı günlerdeki MGM’den alınan verilere göre bulutluluk seviyesi şekil 36’da gösterilmektedir. Panellerin en çok güç ürettiği 18.12.2023, 19.12.2023 ve 20.12.2023 tarihlerinde bulutluluk seviyesinin en az olduğu görülmektedir.



Şekil 36. 13.12.2023-23.12.2023 Tarihlerinde Bulutluluk Seviyesi (Kaynak: MGM, 2023)

Bu on günlük süreçte toplam üretilen güç 64,77kWh olarak ölçülmüştür. Havanın bulutlu ve daha serin olduğu tarihlerde 15.12.2023, 17.12.2023 ve 21.12.2023’de üretilen güç azdır. 15.12.2023 tarihinde 4,35kWh, 17.12.2023 tarihinde 2,88kWh ve 21.12.2023 tarihinde 1,94kWh elektrik üretilmiştir. Havanın diğer günlere göre daha açık ve sıcak olduğu 18.12.2023, 19.12.2023, 20.12.2023 tarihlerinde on günlük zaman diliminde en yüksek sonuçlar kayıt edilmiştir. 18.12.2023 tarihinde 9,10kWh, 19.12.2023 tarihinde 9,56kWh ve 20.12.2023 tarihinde ise 9,47kWh invertörde güç ölçülmüştür.

Ayrıca bu on günlük süreçte mikro invertöre fotovoltaik panellerin ayrı ayrı sonuçları kayıt edilmiştir. Farklı verimlilikte hücreye sahip panel, Zayıf lehim hücreye sahip panel, mikro kırık hücrelere sahip fotovoltaik panele ait üretim sonuçları Çizelge 4.’de görülmektedir. Sonuçları karşılaştırılacak olan referans panelinin sonuçları da şekilde görülmektedir. 13.12.2023 ve 22.12.2023 tarihleri arasında yapılan kayıtlara göre; Farlı Verimlilikte Hücreye Sahip panel 15,92 kWh, zayıf lehim hücreye sahip panel 15,82 kWh, mikro kırıklara sahip olan panelde 16,39 kWh ve referans paneli ise 16,59 kWh elektrik üretmiştir.

Referans fotovoltaik panelinin üretimi baz alınarak yapılan hesaplamada farklı verimlilikte hücreye sahip fotovoltaik panel %4,0 zayıf lehime sahip fotovoltaik panel ise %4,6 daha az üretim gerçekleştirmiştir. Mikro kırık hücreye sahip fotovoltaik panel ise %1,2 daha az üretim yapmıştır.

Çizelge 4. Panellerin On Günlük Üretim Kayıtları

Tarih	Farklı Verimlilikte Hücreye Sahip Üretilen Enerji (kWh)	Zayıf Lehim Hücre Sahip Panel (kWh)	Mikro Kırık Hücreye Sahip Panel (kWh)	Referans Paneli (kWh)
13.12.2023	2,09	2,16	2,25	2,24
14.12.2023	1,44	1,45	1,47	1,47
15.12.2023	1,08	1,06	1,10	1,10
16.12.2023	1,65	1,66	1,67	1,67
17.12.2023	0,75	0,71	0,68	0,74
18.12.2023	2,23	2,17	2,31	2,38
19.12.2023	2,35	2,32	2,44	2,45
20.12.2023	2,3	2,24	2,45	2,48
21.12.2023	0,504	0,471	0,46	0,49
22.12.2023	1,53	1,58	1,56	1,57
TOPLAM	15,92	15,82	16,39	16,59

Çizelge 5 havanın serin ve az güneşli olduğu günlerdeki fotovoltaik panellerin güçlerini göstermektedir. Havanın serin ve az güneşli olduğu günlerde üretilen güçleri incelediğimizde; Farklı verimlilikte hücreye sahip panel 2,33kWh enerji üretmiştir ve referans paneline göre neredeyse eşit seviyede enerji üretmiştir. Zayıf lehim hücreye sahip fotovoltaik panel 2,24kWh enerji üreterek referans paneline göre %3,9 az enerji üretmiştir. Mikro kırıklı panel ise 2,24kWh enerji üreterek referans panele göre %3,9 daha az üretmiştir.

Çizelge 5. 15-17-21.12.2023 Tarihlerinde Panellerin Ürettiği Güçler

Tarih	Farklı Verimlilikte Hücreye Sahip Üretilen Enerji (kWh)	Zayıf Lehim Hücre Sahip Panel (kWh)	Mikro Kırık Hücreye Sahip Panel (kWh)	Referans Paneli (kWh)
15.12.2023	1,08	1,06	1,10	1,10
17.12.2023	0,75	0,71	0,68	0,74
21.12.2023	0,50	0,47	0,46	0,49
TOPLAM	2,33	2,24	2,24	2,33

Fotovoltaik panellerin en yüksek güç değerlerine ulaştığı günler havanın güneşli olduğu günlerdir. Çizelge 6'da görüldüğü gibi bugünlerde farklı verimlilikte hücreye sahip panel 6,88kWh, zayıf lehim hücreye sahip panel 6,73 kWh, mikro kırık hücreye sahip panel 7,2 kWh, referans paneli 7,31 kWh enerji üretmiştir. Bu verilere göre farklı verimlilikte hücreye sahip panel %5,88 zayıf lehim özellikli panel %7,8 mikro kırık özellikli panel %1,5 daha az üretmiştir.

Çizelge 6. 18-19-20.12.2023 Tarihlerinde Panellerin Ürettiği Güçler

Tarih	Farklı Verimlilikte Sahip Üretilen Enerji (kWh)	Zayıf Lehim Hücre Mikro Kırık Referans Paneli	Sahip Panel (kWh)	Sahip Panel (kWh)	Sahip Panel (kWh)	Sahip Panel (kWh)	Sahip Panel (kWh)
18.12.2023	2,33	2,17	2,31	2,38			
19.12.2023	2,35	2,32	2,44	2,45			
20.12.2023	2,30	2,24	2,45	2,48			
TOPLAM	6,88	6,73	7,20	7,31			

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Yapılan testlerde zayıf lehimin neden olduğu hot-spotlar, güneş panellerinde belirgin sıcaklık artışlarına yol açtı. Termal görüntülerde gözlemlenen bu olgular, zayıf lehimin elektrik akışında direnç artışına sebep olarak lokal ısınmalara neden olduğunu doğruladı. Bu durum, güneş panelinin verimliliğinde düşüşe ve potansiyel hasar riskine işaret ediyor. Zayıf lehimle ilgili bu hot-spot olguları, güneş enerjisi sistemlerindeki güvenilirliği ve performansı etkileyebilecek önemli bir sorun olarak ortaya çıkıyor. Tablo ya göre on gün boyunca yapılan kayıtlara göre güneşli ve panelin iyi üretim yaptığı günlerde referans paneline göre olan enerji kaybı %7,8, on günlük ortalama baz alındığında ise %4,6 daha az güç üretmiştir. Daha serin ve bulutlu günlerde oluşan üretim referans paneline göre %3,9 daha az olarak hesaplanmıştır.

Güneş panelinde düşük verimlilikteki hücre kullanıldığında, termal görüntülerde bazı hücrelerin veya bitişindeki hücrelerin ısındığı gözlemlendi. Farklı verimlilikteki hücreler arasındaki elektrik direnci farkları, stringten geçen elektrik akımını etkilemektedir. Düşük verimlilikteki hücreler arasındaki direnç farklılıklarının ve akım geçişinin neden olduğu hot-spot oluşumunu işaret ediyor. Bu bulgular, güneş panellerinde homojen hücre kullanımının ve elektriksel eşleştirmenin önemini vurgulamaktadır. Düşük verimlilikteki hücrelerin o string üzerinde hot-spot oluşumuna neden olduğu ve panelin genel verimliliğini olumsuz etkilediği görülmüştür. Tablo 3.4'e göre on gün boyunca yapılan kayıtlara göre 16,59 kWh enerji üretirken referans paneli ise 15,92 kWh enerji üretmiştir. Referans paneli ile karşılaştırdığımızda % 3,9 enerji kaybı olmuştur. Referans paneline göre sıcak günlerde olan enerji üretimi %5,8 az olmasına rağmen bulutlu havalarda % 0,4 daha az olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, panelin enerjisi ve ısı arttıkça hot-spot'un oluşturduğu etkininde arttığını kanıtlamaktadır.

Mikro Kırıklı panelde ise havanın bulutlu ve iyi üretimin olmadığı günlerde referans paneline göre %3,9, on günlük ortalamada %1,2, üretimin yüksek olduğu günlerde ise %1,5 referans paneline göre az üretim olmuştur.

5.2 Öneriler

Mikro çatlaklar, güneş hücresinin yüzeyinde meydana gelen fiziksel hasarlar olabilir. Mikro çatlaklar, paneller üzerinde oluşan ve gözle görülmesi zor çatlaklardır.

Mikro çatlaklar, panelin; üretim, taşınma ve kurulum aşamalarında meydana gelebilir. Bu çatlaklar, ilk kurulum ve elektrik üretimi zamanlarında etkisini göstermeyebilir. Zaman içerisinde mikro çatlağın ilerleyip verime etkisinin olma ihtimali vardır. Bu sonuçlar ışığında, fotovoltaik panelden elde edilen çıkış gücünün, artan hücre sıcaklığıyla gün geçtikçe azaldığı görülmektedir. Bununla birlikte, ısınma olmaması, panelin tamamen sorunsuz olduğu anlamına gelmeyebilir, bu yüzden panelin performansını düzenli olarak izlemeye devam etmek önemlidir.

Panelin sıcaklığının arttıkça veriminde artacağı gibi yanlış bir algı vardır. Belirli bir sıcaklıktan sonra güneş panelinde verim düşer. (Saidura, Boroumandjazi, Mekhlif, ve Jameel, 2012). Bunun üzerine birde panelin sıcaklığını artıracak gölgelenme, hot-spot gibi etmenlerde eklendikçe panellerin verimi daha da düşebilir.

Panellerde kullanılan hücrelerin eş verimlilikte olması ve lehimlemesi sorunlarının olmasından dolayı, hot-spota neden olabilir. Sıcak havalarda ve panelin ürettiği elektrik akımı arttıkça düşük verimlilikteki hücreler ısınacak ve hot-spot etkisi verime etki edecektir. Satın alınan panelin özellikle on-grid sistemlerde kullanılacaksa iyi kalite sınıfında olması gerekmektedir.

Güneş panelleri, hot-spot oluşumu, gölgelenme gibi nedenlerden dolayı verim kaybına uğrayabilir. Hatta hot-spot etkisi yaz aylarında yüksek sıcaklıkla panellerde yangına bile sebep olabilir. Bu riskler, düşük kaliteli paneller veya uygun olmayan kurulumlar nedeniyle ortaya çıkabilir. Ayrıca, düşük kaliteli paneller veya kötü montaj, yangın riskini artırabilir.

Güneş paneli seçerken ve kurulum yaparken panel kalitesine dikkat etmek önemlidir. Yüksek kaliteli paneller, daha iyi performans, daha uzun ömür ve daha güvenli bir kullanım sağlayabilir. Ayrıca, uzman kişiler tarafından doğru şekilde kurulmuş ve bakımı yapılmış paneller, mikro kırık gibi olası riskleri en aza indirebilir.

PV santrallerinde toz ve kuş pislikleri gibi atık maddelerde hot-spot sebebi olabilir. Bu yüzden santraller bulundukları iklim bölgelerine göre periyodik olarak temizlenmelidir. Endüstriyel alanlarda kurulan santrallerde ise temizlik daha önemlidir. Endüstriyel atıklarla panel yüzeylerinde oluşan kirlilikler ve temizlenmesi sürecinde cam yüzeyine zarar verilmemelidir.

KAYNAKÇA

- Akçalı, İ., (2001). Güneş enerjisi sistemleri, İstanbul Ticaret Odası.
- Akman, E., Akın, S., Karanfil , G., Sönmezoğlu, S., (2013) Organik güneş pilleri, *Trakya Univ J Sci*, 14(1), 1-30.
- Akyuz, E., Coşkun ,C, Oktay, Z., Dincer I., (2012). A novel approach for estimation of photovoltaic exergy efficiency, *Energy*, 44,1059-1066.
- Akyüz, E., Coşkun, C, Oktay, Z., (2012). Kınalı keklik yetiştirme tesisine rüzgâr ve güneş birleşik güç sisteminin uygulanması, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 626, 56-65.
- Alkan, A., (2016). Yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi, *YL Tezi*, K.Ü. FBE, Kocaeli.
- Alsaid, B.A., Alsadi, S.Y., Jallad, J.S., Dradi M.H., (2013) Partial shading of PV system simulation with experimental results, *Smart Grid and Renewable Energy*, 4, 429-435.
- Arora, N.D., Hauser, J.R., 1982. Temperature Dependence of Silicon Solar Cell Characteristics. *Sol. Energy Mater.*, 6, 151–158.
- Bagher M., Vahid M., Mohsen M., 2015. Types of Solar Cells and Application. *American Journal of Optics and Photonics Iran* (94-113)
- Bai, J., Cao, Y., Hao, Y., Zhang, Z., Liu, S., Cao, F., (2015). Characteristic output of PV systems under partial shading or mismatch condition, *Solar Energy*, 112, 41-54.
- Bayrak, F., (2017). Fotovoltaik panellere bütünleştirilmiş farklı pasif yöntemlerin sistem verimliliğine etkisinin sayısal ve deneysel analizi, *Doktora Tezi*, FÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Bayrak, F., Ertürk, G., Öztıp H.F., (2017). Effects of Partial Shading on Energy And Exergy Efficiencies for Photovoltaic Panels, *Journal of Cleaner Production*, 164, 58-69.
- Belhachat, F., Larbes, C, (2015). Modeling, Analysis and Comparison of Solar Photovoltaic Array Configurations Under Partial Shading Conditions, *Solar Energy*, 120, 399-418.
- Biwole, P., Eclache, P., Kuznik, F., (2011). Improving the performance of solar panels by the use of phase-change materials, *World Renewable Energy Congress-Sweden*.
- Boztepe, M., (2017) Fotovoltaik güç sistemlerinde verimliliği etkileyen Parametreler

- Boztepe, M., 2017. Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Verimliliği Etkileyen Parametreler. EMO İzmir Şubesi Aylık Bülteni, 321:13-17
- Boztepe, M. Cetin, E. Deniz E. ve Colak M., (2008).Evaluation of Sun Tracking in Photovoltaic Arrays Using Shading Analysis,» %1 içinde 5th International Symposium on Electrical and Computer Systems, Lefke, Turkish Republic of North Cyprus, November 27-28,
- Browne, M.C., Norton, B., Mc Cormack, S.J. (2016) Heat retention of a photovoltaic/thermal collector with PCM, *Solar Energy*, 133, 533-548.
- Browne, M.C., Norton, B., McCormack, S.J. (2015). Phase change materials for photovoltaic thermal management, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 762-782.
- Castaner L., Silvestre S., 2002. Modelling Photovoltaic Systems Using PSpice, John Wiley Sons Ltd., 339, Spain.
- Cattaneo G., Faes A., Li H., Galliano F., Gragert M., Yao y., Grischke R., Söderström T., Despeisse M., Ballif C., Perret L., Aebi E., (2015) Lamination process and encapsulation materials for glass--glass PV module design. Photovolt. Int. 2015, 27, 1–8. [Google Scholar]
- Cellura, M., Ciulla, G., Lo Brano, V., Marvuglia, A., Orioli, A. (2008) A Photovoltaic panel coupled with a phase changing material heat storage system in hot climates, 25th Conference on *Passive and Low Energy Architecture*, Dublin 22nd to 24th October.
- Deline, C, Dobos, A., Janzou, S., Meydbray, J., Donovan, M., (2013) A simplified model of uniform shading in large photovoltaic arrays, *Solar Ener.*, 96, 274-282.
- Demir O, 2002. Güneş Pilleri, Seminer, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Díaz-Dorado E., Cidrás J., Carrillo C, (2014). Discrete I-V model for partially shaded PV-arrays, *Solar Energy*, 103, 96-107.
- Dincer, İ., (2002) The role of exergy in energy policy making, *Energy Policy*, 30,137-149
- Dinçer, F. (2011). Çevresel faktörlerin güneş paneline etkisinin matlab/simulink programında modellenmesi ve simülasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Y.Y.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Dinçer, F., (2011). Türkiye’de güneş enerjisinden elektrik üretimi potansiyeli ekonomik analizi ve AB ülkeleri ile karşılaştırmalı değerlendirme, *KSU Mühendislik Dergisi*, 14 (1).

- Doğan, A.R., (2012). Güneş enerjisi destekli alternatif ısıtma sistemlerinin enerji ve ekonomi yönünden karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Doğan, H., (2014). Fotovoltaik güneş pilleri, *Yüksek Lisans Tezi*, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Duman, S. Alçı M., (2022) Yarım ve tam fotovoltaik hücreleri ile tasarlanan güneş enerjisi panellerinin toplam verimliliğini etkileyen parametrelerinin incelenmesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi, 11(3), 592-600.
- Ertürk, G. (2018). Enerji depolamalı fotovoltaik güneş panellerinde gölgelendirmenin enerji ve ekserji verimliliği üzerine etkisinin araştırılması/Effects of partial shading on energy and exergy efficiencies for photovoltaic panels with energy storage.
- Total E., Shafiee S., (2009) When will fossil fuel reserves be diminished? School of Engineering and CRC Mining, The University of Queensland, St. Lucia Qld. 4072, Australia
- Frederik C. Krebs, Thomas Tromholt and Mikkel Jørgensen, (2010). Upscaling of polymer solar cell fabrication using full roll-to-roll processing. *Nanoscale*, 2,873-886.
- Gül G., 2008 Güneş Gözelerinin Üretilmesinde Son Gelişmelerin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- Ferrara, C., Philipp, D., 2012 Why Do PV Modules Fail?
- Hanifi H. , Schneider J. , Bagdahn J., 2015. Reduced shading effect on half-cell modules – measurement and simulation. 31st European Photovoltaic solar Energy Conference and Exhibition, 14-18 September 2015, Hamburg, Germany, 2529-2533.
- Jean G., Emilienne M., Sene M., Faye I., 2018 Solar Photovoltaic Panels Failures Causing Power Losses, 2018, Saint-Louis, Senegal.
- Hasan, A., McCormack S. J., Huang, M. J., Norton, B., 2014 Energy and cost saving of a photovoltaic-phase change materials (PV-PCM) system through temperature regulation and performance enhancement of photovoltaics, *Energies*,!, 1318-1331.
- http://yenilenebiliryasam.com/2011/01/turkiyenin-yllk-gunes-enerjisi_19.html E. Tarihi 4,01,2023

- <https://ae-solar.com/history-of-solar-module/> E. Tarihi:4,01,2023
- https://www.solarmagazam.com/index.php?route=simple_blog/article/view&simple_blog_article_id=13, E. Tarihi: 9,08,2023
- <https://solaravm.com/gunes-panelleri-hakkinda-6-ilginc-bilgi-3>, E. Tarihi:05,02,2021
- <https://www.aydinlatma.org/monokristal-ve-polikristal-gunes-panelleri-arasindaki-fark-nedir.html>, E. Tarihi 09.09,2023
- http://www.emo.org.tr/ekler/6498f1f48b54a20_ek.pdf, E. Tarihi: 14,07, 2022
- http://www.emo.org.tr/genel/bizden_tay.php?kod=88369&skskskbzrsihmpvh, E. Tarihi: 14,07, 2022
- <http://www.eneriibes.com/piranometre-nedir-ne-ise-varar/>, E. Tarihi: 14,07, 2022
- <http://www.enerjiatlası.com/gunes-enerjisi-haritasi/turkiye>, E. Tarihi: 14,07, 2022
- <http://www.enerjiibes.com/gunes-panelleri-ve-hot-spot-etkisi>, E. Tarihi: 14,07, 2022
- <http://www.reoo.net/index.aspx?menuid=13&type=articleinfo&lanmuid=57&inoid=156&language=en> E. Tarihi: 14,07, 2022
- <https://www.perovskite-info.com/perovskite-solar>, E. Tarihi: 14,07, 2022
- Huang, M.J., Eames, P.C., Norton, B., (2006). Phase change materials for limiting temperature rise in building integrated photovoltaics, *Solar Energy*, 80, 1121-1130.
- Joshi, A.S., Dincer, İ., Reddy, B.V., (2009). Thermodynamic assessment of photovoltaic systems, *Solar Energy*, 83, 1139-1149.
- Kapluhan, E., (2014). Enerji coğrafyası açısından bir inceleme: güneş enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye'deki kullanım durumu, *Coğrafya dergisi*, 29, 70-98.
- Karakuzu, E., Coşkun, M.B., (2015). Faz değıştiren maddelerle sera ısıtma olanakları, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 12,15-25.
- Karaagac, M.O., Ogul, H., Bulut F., (2021) Evaluation of Monocrystalline and Polycrystalline Photovoltaic Panels in Sinop Province Conditions
- Karamanav, M., 2007. Güneş enerjisi ve güneş pilleri, *Yüksek Lisans Tezi*, S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Käsewiter, J., Haase, F., Larrodé, M. H., & Köntges, M. (2014). Cracks in solar cell metallization leading to module power loss under mechanical loads. *Energy Procedia*, 55, 469-477.
- Khaing, H.H., Liang, Y.J., Htay, N.N.M., Fan, J., (2014). Characteristics of Different Solar PV Modules under Partial Shading, *International Scholarly and Scientific Research & Innovation* 8 (9).

- Khalaf, Y., Ibrahee, O., Adi, M., Mohamme, S., Qasim, M., Waleed, K., (2014). Maximum power point evaluation of photovoltaic modules under shading effect, *European Scientific Journal*, 10.
- Khatri, R., Agarwal, S., Saha, I., Singh, S. K., & Kumar, B. (2011). Study on long term reliability of photo-voltaic modules and analysis of power degradation using accelerated aging tests and electroluminescence technique. *Energy Procedia*, 8, 396-401.
- Kozak, M., Kozak, İ., (2012). Enerji depolama yöntemleri, *SDU International Technologic Science*, 4, 17-29.
- Kurt, S., (2012). *Yeni nesil bina malzemeleri için faz değiştiren madde geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ç.Ü. Fen bilimleri Enstitüsü, Adana.*
- Luka, T., Hagendorf, C., & Turek, M. (2016). Multicrystalline PERC solar cells: Is light-induced degradation challenging the efficiency gain of rear passivation. *Photovoltaics International*, 32, 37-44.
- Machniewicz, A., Knera, D., Heim, D., (2015). Effect of transition temperature on efficiency of PV/PCM panels, *Energy Procedia*, 78, 1684-1689.
- Markvart T., Augustin McEvoy, Luis Castaer, 2012. Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications. Elsevier, 1263p, USA
- Martfnez-Moreno, F., Munoz, J., Lorenzo, E., (2010). Experimental model to estimate shading losses on PV arrays, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 94, 2298-2303.
- Matsuo H., Kurokawa F., 1984. New Solar Cell Power Supply System Using a Boost Type Bidirectional DC-DC Converter, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 1, pp.51- 55.
- Mittag M., Beinert A., Rendler C., Ebert M., Eitner U., (2016) Triangular Ribbons for improved Module Efficiency, *Münih*.
- Mittag M., Ebert M., Rendler C., (2017) Systematic PV-module optimization with the cell-to-module (CTM) analysis software, *Freiburg*.
- Michael D, 2008. Photovoltaic Measurements in Single-Nanowire Silicon Solar Cells. *Nano Lett.*, 714, USA.
- Ooshaksaraei, P., Sopian, K., Zulkifli, R., 2013. Characterization of a Bifacial Photovoltaic Panel Integrated with External Diffuse and Semi mirror Type Reflectors. *Hindawi Publishing Corporation*, 7.
- Özen, Y., (2015). III-V grubu güneş hücresi geliştirilmesi ve prototip yoğunlaştırıcı fotovoltaiik panel üretimi, *Doktora Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*.

- Öztürk, M., Özek, N., Batur, H., Koç, M., (2011). Fotovoltaik sistemlerin (pv) fotovoltaik-thermal kolektörlerin termodinamik değerlendirilmesi, Mühendis ve Makine, 619, 50-62.
- ÖZTÜRK, H. H., (2008) GÜNEŞ ENERJİSİNDEN FOTOVOLTAİK YÖNTEMLE ELEKTRİK ÜRETİMİNDE GÜÇ DÖNÜŞÜM VERİMİ VE ETKİLİ ETMENLER.
- Öztürk, H., Kaya. D., 2013. Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi: Fotovoltaik Teknoloji. Umuttepe Yayınları, Kocaeli, 417
- Paggi, M., Corrado, M., & Rodriguez, M. A. (2013). A multi-physics and multi-scale numerical approach to microcracking and power-loss in photovoltaic modules. *Composite Structures*, 95, 630-638.
- Peng Z., H. M., 2017. Cooled Solar PV panels for output energy efficiency optimisation. *Energy Conversion and Management*. (U. o. Bedfordshire, Ed.) UK, Hertfordshire.
- Pandey , A.K, Pant , P.C., Sastry, O.S., Kumar ,A., Tyagi S. K, (2015). Energy and exergy performance evaluation of a typical solar photovoltaic panele, *Thermal Science*, 19, 625-636.
- Perret L.E., Theron G., Roeder., Luo Y., Turlings T., Lange M., Ballif C., (2009), Insights on Eva Lamination Process: Where Do The Bubbles Come From
- 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.
- Ramabadran, R., Mathur, B., (2009). Effect of shading on series and paralel connected solar pv modules, *Modern Applied Science*, 3.
- Rathod, M.K., Banerjee, J., (2013). Thermal stability of phase change materials used in latent heat energy storage systems: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18,246-258.
- Saidura, R., Boroumandjazi, G., Mekhlif, S., Jameel, M., (2012). Exergy analysis of solar energy applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 350- 356.
- Sarı, A., (2011). Faz değişimi yoluyla ısı enerjisinin depolanması ve bu alanda yapılan çalışmalar, Kimya lisans öğrencileri (kimyagerlik, kimya öğretmenliği ve kimya mühendisliği) araştırma projesi eğitimi çalıştayı, Çanakkale.

- Sarioğlu, G., (2012). Güneş gözelerinde gölgelenme etkisi, *Yüksek lisans tezi*, MÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla
- Sathyanarayana, P., Rajkiran B., Lakshmi Sağar P. S., Girish K., (2015) Effect of shading on the performance of solar PV panel, *Energy and Power*, 5(1A), 1-4.
- Schill, C, Brachmann, S., Koehl, M., (2015). Impact of soiling on IV-curves and efficiency of PV-modules, *Solar Energy*, 112, 259-262.
- Shaiek, Y., Smida, M.B., Sakly, A., Mimouni, M.F., (2013). Comparison between conventional methods and GA approach for maximum power point tracking of shaded solar PV generators, *Solar Energy*, 90, 107-122
- Smith, C. J., Forster, P. M., Crooka, R, (2014). Global analysis of photovoltaic energy output enhanced by phase change material cooling, *Applied Energy*, 126, 21-28.
- Spataru, S., Hacke, P., Sera, D., Glick, S., Kerekes, T., & Teodorescu, R. (2015, June). Quantifying solar cell cracks in photovoltaic modules by electroluminescence imaging. In 2015 IEEE 42nd Photovoltaic Specialist Conference (PVSC) (pp. 1-6). IEEE.
- Stropanik, R., Stritih, U., (2016). Increasing the efficiency of PV panel with the use of PCM, *Renewable Energy*, 97, 671-679.
- Sudhakar, K., Srivastava, T., (2014). Energy and exergy analysis of 36 W solar photovoltaic panele, *International Journal of Ambient Energy*, 35, 51-57.
- Şahin, A.D., Dincer, L, Rosen, M.A., (2007). Thermodynamic analysis of solar photovoltaic celi system, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 91, 153-159.
- T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, (2013). Sehpa üzerine panellerin montajı, *Yenilenebilir Enerji Teknolojileri*, Ankara.
- Taha, M.Q., Salih, M.S., (2012). Performance analysis of photovoltaic modules undershading effect. *Global Advanced Research Journal of Engineering*, 1(9),228-235.
- Tekel, E., (2006). Termik santrallerin enerji ve ekserji analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, P.Ü. Fen Bilimleri Ens. Denizli.
- Tian, H., Mancilla-David, F., Ellis, K., Muljadi, E., Jenkins, P., (2013) Determination of the optimal configuration for a photovoltaic array depending on the shading condition, *Solar Energy*, 95, 1-12.
- Vijayalekshmy, S., Bindu, G.R, Rama Iyer, S., (2016) A novel Zig-Zag scheme for power enhancement of partially shaded solar arrays, *Solar Energy*,135,92- 102.

- Visa, L., Burduhos, B., Neagoe, M., Moldovan, M., Duta, A., (2016) Comparative analysis of the infield response of five types of photovoltaic modules, *Renewable Energy*, 95, 178-190.
- Visa, L., Burduhos, B., Neagoe, M., Moldovan, M., Duta, A., (2016) Comparative analysis of the infield response of five types of photovoltaic modules, *Renewable Energy*, 95, 178-190.
- Werner, J.H., Glunz, S.W., Haase, F., Preu, R., 2006. Effect of Cracks on the Performance of Multicrystalline Solar Cells, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 14(3), 265-272.
- Witteck, R., Hinken D., Malte R., Müller J., 2016. Optimized Interconnection of Passivated Emitter and Rear Cells by Experimentally Verified Modeling., 6 (2), 432 - 439.
- Yenisey, D., (2015). İç Anadolu bölgesi için güneye bakan eğimli yüzeye gelen günlük global, direkt ve difüz radyasyonun hesaplanması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yerli B., Kaymak M. K., İzgi E., Öztopal A., Şahin A. D., (2010). Atmosferik değişkenlerin İstanbul iklim şartlarında fotovoltaik elektrik üretimine etkisi, 8. *Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, Aralık 1-5, Bursa, Türkiye.
- Yerli, B., (2011). İstanbul iklim şartlarında meteorolojik parametrelerin PV (fotovoltaik pil) elektrik üretimi üzerindeki etkilerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yılmaz, M.Ö., (2005). Yeraltı termal enerji depolamada kullanılan farklı dolgu maddelerinin termal özelliklerinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Ç.Ü. Fen bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Yılmaz, S., (2008). Soğutma uygulamaları için faz değiştiren maddelerde termal enerji depolama, *Yüksek Lisans Tezi*, Ç.Ü. Fen bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Zhang, X., Wei, J., Huang, H., Yan, B., 2018. Modified Shockley-Queisser Efficiency Limit for Solar Cells with a Single or Multiple Microcracks," *Journal of Applied Physics*, 123(19), 194503-1-194503-8.
- Zhang, H., Zhuang, H., Gou, X., Huang, Q., Jiang, L., Chen, Z., 2017. Study On The Benefit Of Half-Cut Cells Towards Higher Cell-To-Module Power Ratio, *Power and Electrical Engineering*, ISBN: 978-1-60595-514-8, 192-194.