



**T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE OLUŞAN ARIZALAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Emre ÖZEL

BURDUR, 2023

**T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE OLUŞAN ARIZALAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Emre ÖZEL

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim KIRBAŞ

BURDUR, 2023

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum **“Fotovoltaik Sistemlerde Oluşan Arızalar ve Çözüm Önerileri”** başlıklı bu tezin;

- Kendi çalışmam olduğunu,
- Sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi,
- Bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi,
- Kullandığım verilerde değişiklik yapmadığımı,
- Tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı,
- Bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı,

bildirir, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

23/01/2023

(İmza)

Emre ÖZEL

ÖNSÖZ

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi İbrahim KIRBAŞ'a teşekkürlerimi sunarım. MAKÜ Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulunda görev yapan Öğr. Gör. Emre ALP'e tez yazım aşamasında vermiş olduğu katkılardan dolayı teşekkür ederim. Eser İfinity Enerji çalışanı Ramazan CERİT beye aktarmış olduğu tecrübelerinden dolayı teşekkür ederim.

Eğitim hayatımın her aşamasında beni her anlamda destekleyen aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Ocak, 2023

Emre ÖZEL

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL DİZİNİ	iv
ÇİZELGE DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Enerji Kaynakları	1
1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	2
1.3. Literatür taraması	4
2. GENEL BİLGİLER	10
2.1. Fotovoltaik Sistemler	10
2.2. Sistem Bileşenleri	10
2.2.1. Güneş Pillerinin Çeşitleri	11
2.2.2. Akü Grubu	12
2.2.3. Akü Şarj Regülatörü (Şarj Kontrol Cihazı)	13
2.2.4. Yük (Elektrik Tüketen)	14
2.2.5. İnverter (Evirici)	14
2.2.6. Çift Yönlü Sayaç	17
2.2.7. Bağlantı Konnektörleri-MC4	17
2.2.8. DC Bağlantı Kabloları	18
2.2.9. AC Kablolar	18
2.2.10. AC ve DC Parafudrlar	19
2.2.11. AC ve DC Koruma Elemanları	19
2.2.12. Trafolar	20
2.2.13. Topraklama Sistemi	20
2.2.14. Bağlantı Elemanları	21
2.2.15. Uzaktan İzleme ve Haberleşme	22
2.3. Fotovoltaik Sistem Çeşitleri	22
2.3.1. Şebekeye Bağlı (On Grid) Sistemler	22
2.3.2. Şebekeden Bağımsız (Off Grid) Sistemler	23
2.3.3. Sulama Sistemleri	24
3. MATERYAL VE YÖNTEM	26
3.1. Fotovoltaik Sistemlere ve Sistem Elemanlarına Yapılan Testler	26
3.2. Hücre testleri ve standartları	26
3.2.1. Camın eğilme mukavemetinin belirlenmesi	26
3.2.2. Silindir soyma testi	27
3.2.3. IEC Tip Onay Testleri	27
3.2.4. Akım – Gerilim – Güç Özellik Testleri	28
3.2.5. Verimin Test Edilmesi	31
3.2.6. Sıcaklık ve Nemin PV Sistemler Üzerindeki Etkisi	37
3.2.7. Rüzgâr Yönü ve Hızı	39
3.3. Saha Testleri	39
3.3.1. Kategori-1 Testler	40
3.3.2. Kategori-2 Testler	43

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	48
4.1. Fotovoltaik Sistemlerde Oluşan Arızalar ve Kayıplar	48
4.2. Işınım Kayıpları.....	49
4.2.1. Modül düzlem açısı	49
4.2.2. Tozlanma ve Karlanma Kayıpları	50
4.2.3. Gölgeleme Kayıpları.....	53
4.2.4. Sıcaklık Kayıpları.....	54
4.2.5. Hotspot Kayıpları	54
4.3. Sistem Kayıpları	55
4.3.1. Kablo ve Diğer Bağlantı Kayıpları.....	55
4.3.2. Uyumsuzluk Kayıpları.....	59
4.3.3. Sistem Kurulum/Montaj/Konstrüksiyon Hataları.....	60
4.3.4. Modül Teknik Özelliklerindeki Sapmalar	63
4.4. DC/AC ve AC/AC Dönüşüm Kayıpları	63
4.4.1. İnverter Kayıpları	63
4.4.2. Kısa Devre Kayıpları	67
4.4.3. Bara Kayıpları.....	68
5. SONUÇ.....	70
KAYNAKLAR.....	72

ŞEKİL DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Enerji kaynakları	2
Şekil 1.2. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası	3
Şekil 2.1. Fotovoltaik sistem yapısı	11
Şekil 2.2. Fotovoltaik hücre çeşitleri	11
Şekil 2.3. Akü grupları	13
Şekil 2.4. PV sistemleri için regülatör örnekleri	14
Şekil 2.5. İnverter örnekleri	14
Şekil 2.6. Off Grid tip inverterler	15
Şekil 2.7. Dizi Tipi İnverter	16
Şekil 2.8. Merkezi tip inverterler	16
Şekil 2.9. Hibrit tip inverterler	17
Şekil 2.10. Şebekeye bağlantılı sistemler için çift yönlü sayaç	17
Şekil 2.11. Dişi ve erkek konnektörler	17
Şekil 2.12. Kırmızı ve siyah DC kablolar	18
Şekil 2.13. Kablo taşıma tavaşı ve yeraltı boruları	18
Şekil 2.14. AC ve DC parafudrlar	19
Şekil 2.15. AC ve DC Sigortalar	19
Şekil 2.16. 0,4-34kV trafo	20
Şekil 2.17. Örnek topraklama ve yıldırımdan korunma şeması	21
Şekil 2.18. Bağlantı elemanları	21
Şekil 2.19. Uzaktan izleme sistemi	22
Şekil 2.20. Şebekeye bağlı (On Grid) PV sistemi	23
Şekil 2.21. Şebekeden bağımsız (Off Grid) PV sistemi	24
Şekil 2.22. Güneş enerjili sulama sistemleri	25
Şekil 3.1. Güneş Hücresinin Test Edilmesi	26
Şekil 3.2. Tasarım onayı (dayanıklılık testi)	28
Şekil 3.3. Bir PV hücrenin akım-gerilim eğrisi	29
Şekil 3.4. PV hücrenin akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) özellikleri	31
Şekil 3.5. Hücresel bazda gölgelenme durum	34
Şekil 3.6. Gölge etkisini gösteren modelin I-V eğrisi	35
Şekil 3.7. Gölge etkisindeki geçiş diyotlu modelin I-V eğrisi	35
Şekil 3.8. Gölge etkisindeki geçiş diyotlu modelin P-V eğrisi	36
Şekil 3.9. KC200GT panelinin farklı sıcaklık için I-V eğrisi	38
Şekil 3.10. Sıcaklığın kristal silikon hücreli PV modüllerin I-V eğrisine olan etkisi	38
Şekil 3.11. Santral kontrol testleri	40
Şekil 3.12. Santral kontrolü yardımcı cihazlar	41
Şekil 3.13. İnverter kontrolü	41
Şekil 3.14. Test kontrol parametreleri	43
Şekil 3.15. Panel termal görüntüleme	44
Şekil 3.16. Santral termal görüntüleme	44
Şekil 3.17. I-V testleri	45
Şekil 3.18. Santral ön incelemeleri	46
Şekil 3.19. Simülasyon göstergeleri	47
Şekil 4.1. Tozlanmış fotovoltaik paneller	50
Şekil 4.2. Kar yağışı sonrası fotovoltaik paneller	51
Şekil 4.3. Aşırı kar yağışı sonrasında zarar gören paneller	51

Şekil 4.4. Tozlanmanın drone ile temizlenmesi	52
Şekil 4.5. Tozlanmanın mekanik bir aparatla temizlenmesi	52
Şekil 4.6. Tozlanmanın manuel yıkama ile temizlenmesi	52
Şekil 4.7. Gölgeleme kayıpları	53
Şekil 4.8. Gölgelemenin olmaması için parçalı yerleşim	54
Şekil 4.9. Hotspot kayıpları	55
Şekil 4.10. Kablolama hatası	57
Şekil 4.11. Kablolama hatası sonucu oluşan yanmalar	57
Şekil 4.12. Topraklama kablosu bağlantı hatası	58
Şekil 4.13. Trafo bağlantı hatası	58
Şekil 4.14. Özensiz toprak altı kablo döşemesi	59
Şekil 4.15. Kablodaki enerji ölçümleri	60
Şekil 4.16. Konstrüksiyon hataları	61
Şekil 4.17. Dış etkenlerden dolayı kırılmış paneller	61
Şekil 4.18. Dış etkenlerden dolayı kırılmış paneller	62
Şekil 4.19. Canlı hayvanların pano içerisine girmesi sonucu oluşan kısa devre	62
Şekil 4.20. Kablo ucu pabuçlarında oluşan kirlenme sonucu oluşan iletim hatası	63
Şekil 4.21. İnverter kablo bağlantılarından kaynaklı yanmalar	65
Şekil 4.22. İnverter kondansatörlerinin patlaması	65
Şekil 4.23. İnverter fanı tozlanması	66
Şekil 4.24. Sistem üzerindeki inverter	66
Şekil 4.25. Kısa devre sonucu yanmış kablolar	67
Şekil 4.26. Bakır kablo parçacıklarının neden olduğu kısa devre	67
Şekil 4.27. Doğru yapılmış bara bağlantısı	68
Şekil 4.28. Yanlış bara bağlantısı	69

ÇİZELGE DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1.1. Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli.....	3
Tablo 1.2. Güneş ışıınım kullanım alanları.....	4
Tablo 1.3. Güneş ısı uygulamaları	4
Tablo 3.1. Değişik tip PV hücrelerin karakteristik değerleri	30
Tablo 3.2. Değişik tip PV hücre ve modül verimlerinin karşılaştırılması	32
Tablo 3.3. Kategori testleri	40
Tablo 3.4. Test kontrol parametreleri	42



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Amper
AC	: Alternatif Akım
DC	: Doğru Akım
DIN	: Alman Standartlar Enstitüsü
EL	: Elektrolüminesans
EN	: Avrupa Standartları
FF	: Dolgu Faktörü
I_{ph}	: Işık Akımı
I_{sc}	: Kısa Devre Akımı
ISO	: Uluslararası Standart Organizasyonu
I - V	: Akım – Gerilim
kV	: Kilovolt
kW	: KiloWatt
kWh	: KiloWatt saat
LID	: Işık kaynaklı (indüklenmiş) Bozulma
MPPT	: Maksimum Güç Noktası İzleme
PID	: Potansiyel Kaynaklı (indüklenmiş) Bozulma
P_m	: Maksimum Güç Değeri
PV	: Fotovoltaik
TPD	: Yüksek Akım Kapasitesi
V	: Volt
V_{oc}	: Açık Devre Gerilimi
YG	: Yüksek Gerilim
η	: Verim

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Fotovoltaik Sistemlerde Oluşan Arızalar ve Çözüm Önerileri

Emre ÖZEL

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İbrahim KIRBAŞ

Ocak, 2023

Bugüne kadar insanlık enerji ihtiyacının büyük bir kısmını fosil yakıtlardan karşılamıştır. Fosil kökenli kaynakların çevreye olan zararları nedeniyle yenilenebilir enerji, kaynaklarına olan ilgi artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları doğada sürekli bir şekilde var olan başta güneş olmak üzere rüzgâr, jeotermal, hidrolik, gelgit, dalga, biokütle, biyoyakıt ve hidrojen enerjileridir. Türkiye coğrafi konumu itibarıyla birçok dünya ülkesine göre yenilenebilir enerji kaynakları bakımından iyi bir potansiyele sahiptir. Güneş enerjisi birçok alanda kullanılmakla birlikte güneş enerjisinden elektrik üretimi son yıllarda yoğun bir şekilde önem kazanmıştır.

Bu çalışmada güneş enerjisinde elektrik üretiminde kullanılan fotovoltaik paneller ve fotovoltaik sistemlerde oluşan arızalar ve bu arızaların giderilmesi için çözüm önerileri ile alınacak önlemler hakkında bilgiler verilmiştir. Sistemlerde oluşan arızalar ya da bozulmalar hücre, modül ve dizilerde görülmektedir. Fotovoltaik sistemlerde oluşan arızalar veya kayıplar; ısınım kayıpları, sistem kayıpları, dönüşüm kayıpları olarak sınıflandırılmıştır. Bu kayıpların en aza indirilmesi için sistem kurulum aşamasında yapılacak olan tasarımların optimizasyonu, sistem kurulum sonrası çalışmasının kontrolü ve bakımının düzenli yapılması önemlidir. Kurulum sonrasında sistemlerin çalışması ve enerji üretiminin kontrolü uzaktan takip sistemleriyle de yapılabilmesi ayrıca bir avantajdır.

Anahtar Kelimeler: enerji, fotovoltaik, sistem, arıza

SUMMARY

M. Sc. Thesis

Malfunctions in Photovoltaic Systems and Solution Suggestions

Emre ÖZEL

**Burdur Mehmet Akif Ersoy University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Energy Systems Engineering**

Supervisor: Assistant Professor İbrahim KIRBAŞ

January, 2023

Humanity has met most of its energy needs from fossil until now. The interest in renewable energy sources has increased due to the damage of fossil-based sources to the environment. Renewable energy sources are especially solar, wind, geothermal, hydraulic, tidal, wave, biomass, biofuel and hydrogen energies, which are constantly, exist in nature. Due to its geographical location, Turkey has a good potential in terms of renewable energy resources compared to many countries in the world. The production of electricity from solar energy has been of great importance in recent years.

In this study, information about the malfunctions in photovoltaic systems and the solutions and precautions to be taken to eliminate these malfunctions is given. Malfunction or deteriorations in systems are seen in cells, modules and arrays. Malfunction or losses in photovoltaic systems are classified as; radiation losses, system losses, conversion losses. In order to minimize these losses, it is important to control the designs to be made during the system installation phase, the operation and maintenance of the system after installation. After installation, the control of production is provided by remote measurement tracking systems.

Keywords: energy, photovoltaic, system, malfunction

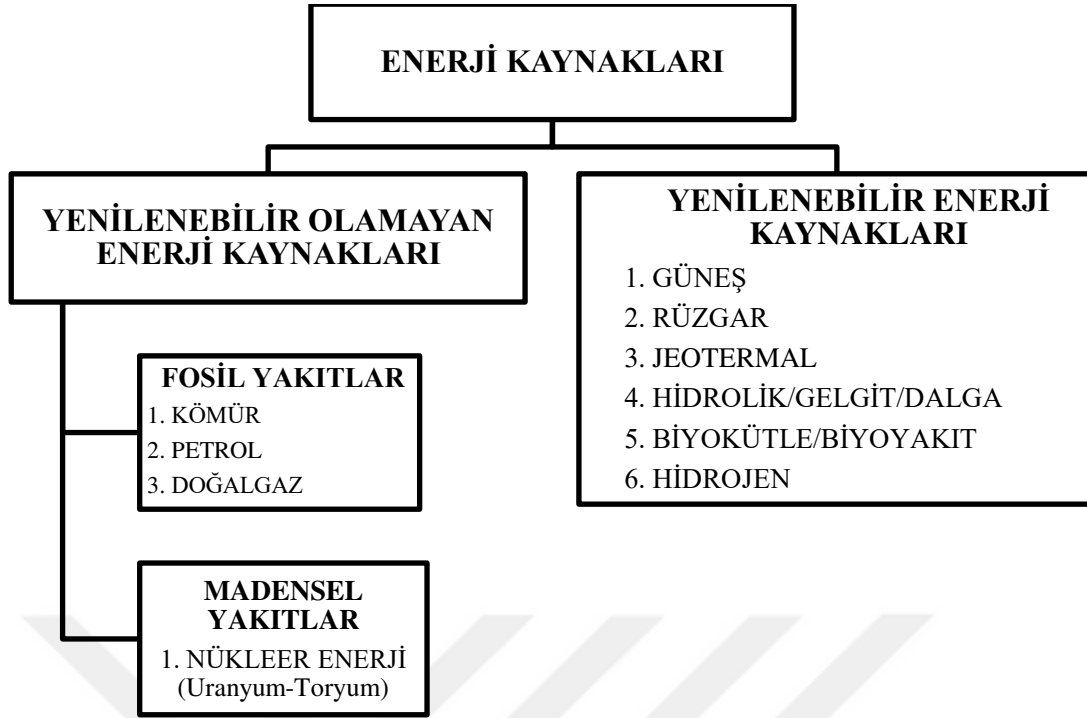
1. GİRİŞ

Enerji, maddenin iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanır. İnsan hayatındaki her türlü faaliyetin gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır. Teknolojik gelişmeler, sanayi alanındaki gelişmeler ve nüfus artışı ile enerjiye olan gereksinim de artmaktadır. Ülkelerin gelişmişlik düzeyini göstermesi için enerjiyi temiz, verimli ve ekonomik olarak kullanmış olması önemli bir gösterge olarak literatürde yer almaktadır. Son yıllarda kadar insanlık enerji ihtiyacının büyük bir kısmını fosil yakıtlardan karşılamıştır. Fosil yakıtların ömrünün sınırlı olması ve maliyet artışı gibi dezavantajları tüm dünya tarafından kabul görmüş bir gerçektir. Fakat en önemli dezavantajı çevre kirliliği, sera etkisi, küresel ısınma ve bunların sonucunda iklim değişikliğine neden olmasıdır (Onurbaşı Avcıoğlu ve Dayıoğlu, 2016).

Bunun gibi dezavantajları gidermek ve farklı enerji kaynakları kullanmak fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak daha çevre dostu enerji kaynaklarının kullanımını arttırmak önem kazanmıştır.

1.1. Enerji Kaynakları

Günümüzdeki enerji kaynakları meydana gelme sürecine göre birincil ve ikinci olarak iki sınıfta incelenebilir. Birincil kaynaklar, doğada bulunan ve herhangi bir değişime uğramayan kaynaklar olarak belirlenir. İkincil kaynaklar, birincil kaynaklara uygulanan etkiyle ortaya çıkan enerji kaynağı olarak sınıflandırılmaktadır. Birincil kaynaklar yenilenmeyen ve yenilenebilir olarak iki şekilde sınıflandırılır. Yenilenmeyen enerji kaynakları kömür, petrol ve doğal gaz olarak sıralanabilir. Yenilenebilir olarak güneş, rüzgâr, jeotermal, biokütle, biyogaz şeklinde sıralanmaktadır (Özçelik, 2018). Enerji kaynaklarının genel olarak sınıflandırılması Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Enerji kaynakları

1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Oluşum süreçleri ve süreç boyunca geçirdikleri aşamalar sonucunda tükendikten sonra kısa sürede kendisini yenileyen enerji kaynakları, “yenilenebilir enerji kaynakları” olarak tanımlanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları doğada sürekli bir şekilde var olan başta güneş olmak üzere rüzgâr, jeotermal, hidrolik, gelgit, dalga, biyokütle, biyoyakıt ve hidrojen enerjileridir. Fosil kökenli enerjiler ve nükleer enerji gibi kaynakların genel özellikleri olarak bilinen yenilenme sürecinin uzun olmaması ve kendilerini kısa bir zaman diliminde yenilenebildikleri için yenilenebilir enerji kaynakları olarak isimlendirilmektedir.

Türkiye, coğrafi konumu itibarıyla birçok dünya ülkesine göre yenilenebilir enerji kaynakları bakımından iyi bir potansiyele sahiptir. Tablo 1.1’de bu kaynaklarının dağılımı görülmektedir (Atçı, 2012).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının içerisinde en büyük ve en önemli olanı güneştir. Tablo 1.1’den de anlaşılacağı gibi Türkiye bu konuda oldukça önemli bir potansiyele sahiptir.

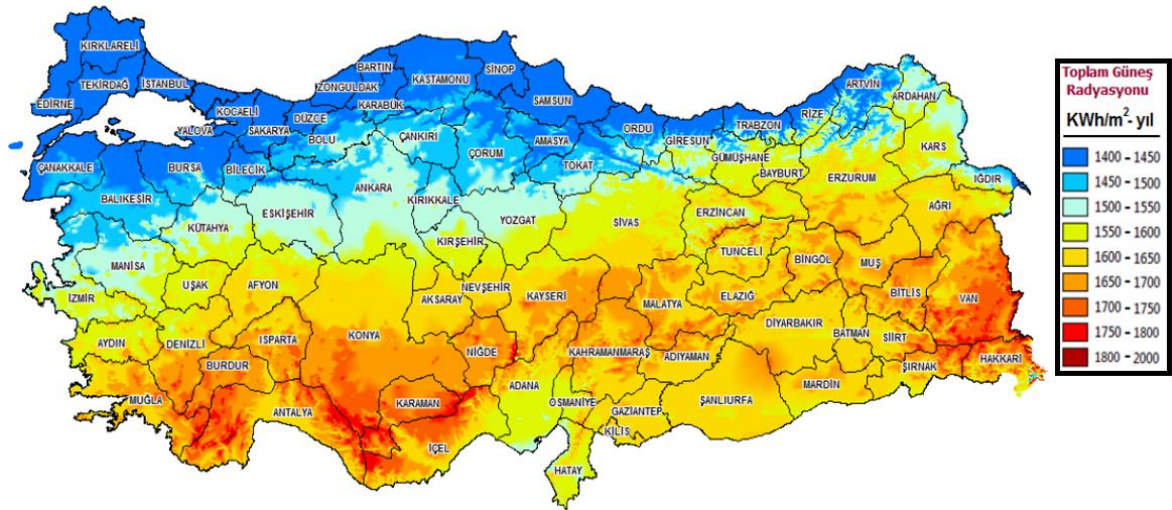
Güneş enerjisi, çevre dostu enerji kaynağı olarak fosil yakıtlara karşı alternatif olarak görünmektedir. Fosil yakıtlardan meydana gelen kirlilik durumları havadaki oksijen miktarını düşürür. Kömürle çalışan termik santrallerde, soğutma yapmak için kullanılan suyun ısınması sonucunda deşarj yapmak için tahliye edilen su sonucunda doğadaki canlılar

zarar görmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları ise bir döngü etrafında kendilerini yenilemektedir. Fotovoltaik sistemlerde hareketli parça sistemi olmadığı için kolay arızalı parçaları olmamaktadır (Adak vd., 2019).

Tablo 1.1. Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli (Atçı, 2012)

Yenilenebilir Enerji Kaynağı	Potansiyel TWh/yıl
Güneş	500
Rüzgâr	400
Jeotermal	16
Hidrolik	450
Biokütle	1,58
Dalga	10

Ülkemiz coğrafi konumu nedeniyle güneş enerjisi potansiyeli açısından iyi durumdadır. Ülkemizin yıllık güneşlenme süresi ortalaması 2741,07 saat toplam ışınlam şiddeti ortalama olarak 1527,46 kWh/m²-yıl olarak hesap edilmiştir. Güneşlenme süresi olarak bölgesel dağılımlar konusunda Güneydoğu Anadolu Bölgesi ilk sırada, Akdeniz Bölgesi ikinci sırada yer almıştır. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli Şekil 1.2'de görülmektedir (URL-1, 2022).



Şekil 1.2. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası (URL-1, 2022)

Güneş, dünya için temel bir enerji kaynağı olarak tanımlanmaktadır. Çevredeki kaynakların büyük çoğunluğu güneş kökenlidir. Güneş enerjisinin, düşük, orta ve yüksek sıcaklık uygulamaları bulunmaktadır. Sıcaklığa göre kullanım alanlarında ise, kullanım suyu elde etme gibi düşük ısı uygulamaları, buhar jeneratörü veya vakumlu güneş kolektörlerinde orta ısı uygulamaları, elektrik üretimi veya güneş enerjisi santrallerinde de yüksek ısı

uygulamaları olarak değerlendirilmektedir. Güneş ışınımının kullanım alanları Tablo 1.2’de, güneş enerjisi ısı uygulamaları ise Tablo 1.3’te verilmiştir (Koçbulut, 2017).

Tablo 1.2. Güneş ışınım kullanım alanları

Doğal Kullanım	Isıl Kullanım	Elektrik Üretiminde Kullanım	Diğer Kullanım
• Fotosentez • Fosil Yakıt Oluşumu • Güneş Mimarisi	• Çatı Uygulamaları • Kalorifer Suyu Isıtma • Kazan Ön Isıtma	• Fotovoltaik Piller	• Yemek Pişirimi • Tuz Eldesi

Tablo 1.3. Güneş ısı uygulamaları

Düşük Isı Uygulamaları (20 – 100°C)	Orta Isı Uygulamaları (100 – 300°C)	Yüksek Isı Uygulamaları (>300°C)
• Kullanım Suyu Eldesi (Düzlemsel Güneş Kolektörleri) • Tarım Ürünleri Kurutulması • Deniz Suyu Arıtılması • Tuz Üretimi • Güneş Ocakları • Güneş Havuzları	• Su Pompaları • Küçük Motorlar • Buhar Jeneratörleri • Vakumlu Güneş Kolektörleri	• Elektrik Üretimi, Fotovoltaik Piller ve Odaklanmış (Yoğunlaştırıcı) • Güneş Enerjisi (CSP) Santralleri

Yapılmış araştırmalar sonucu dünya enerji tüketiminde yaklaşık olarak %1,5 oranında artış olduğu görülmektedir. Bu sebepten dünya genelinde yeni enerji kaynağı ihtiyacı ortaya çıkmıştır (Koçbulut, 2017).

1.3. Literatür taraması

Fotovoltaik paneller, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürürken panellerin avantaj ve dezavantajları da ortaya çıkmaktadır.

Avantajlar olarak; yakıt maliyetlerinin olmaması, kaynağın sınırsızlığı ile sistemin uzun ömürlü olması, çevre dostu olmaları, şebekenin olmadığı yerlerde elektrikten yararlanma imkânı olması, dağıtım maliyetinin olmaması şeklinde sıralanabilir.

Dezavantaj olarak; kurulum maliyetinin yüksek olması, kış aylarında enerji üretiminin düşük olması ve gece karanlığında enerji üretiminin olmaması şeklinde sıralanabilir (Akyüz, 2019).

Fotovoltaik sistemlerde kayıpları azaltmak için arızalı olan modüllerin hızlı şekilde belirlenmesi önem arz etmektedir. Güneş enerjisi sistemlerinde arıza, bozulma gibi olaylar hücre parça veya dizilerinde meydana gelmektedir. ‘Arızaları belirlemek için elektriksel, ısı ve görsel yöntemler kullanılmaktadır’ diyen Sarıkurt vd. (2011) yapmış oldukları

alışmalarında güneş panellerinde oluşabilecek arızanın türünün ve dizi üzerindeki yerinin belirlenmesini araştırmışlardır. Bunun için tasarlamış oldukları sistemde 3 farklı güneş paneline ait ölçümleri karanlık odada gerçekleştirmişlerdir. Arıza durumu tespiti ve gölgeleme durumunun belirlenmesi için empedans farkı kullanılarak yapılan frekans cevap analizi yönteminin kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Fotovoltaik sistemlerin verimli çalışması için izlenmesi gereken gerçekleme oranını etkileyen değerlerin başında yüksek panel sıcaklığı, panele gelen ışınlımların kir, toz gibi etkenler, panellerin arasında oluşan uyumsuzluklar, kablolama kayıpları ile evirici dönüşümlerinde oluşan kayıplar olarak sıralanabilir. Bu kayıplar ile güç sisteminin performansını belirleyip hataların tanımı yapılp verimlilikleri takip edilmelidir. İzleme sırasında hatalı olan panellerin tespit edilmesi önemli olduğu için sistemlerdeki hata tespiti görsel, termal ve elektriksel olarak sınıflandırılabilir. Elektriksel olarak, güneş ışınlımı sıcaklık değerleri gibi meteorolojik değerlere gerek duyulmadan yapılan yaklaşımlar, sistemin akım, gerilim karakteristiği analizi gibi olan yaklaşımlar ele alınabilir (Kapucu ve ubuku, 2019).

Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerin üretimini gerçekleştirdiği meydana getiren bileşenlerin karakteristik değerleri, konfigürasyonu, coğrafi konumu, kurulum noktasının etrafında var olan yapı ile işletim sırasında meydana gelebilecek arızalar olarak sıralanabilir. Işınlım kayıpları; modül düzlemin eğim açısı nedeniyle yatay düzlemde elde edilmiş olan kazanç ya da kayıp olarak tanımlanır. Spektrum kayıpları olası sapma durumunda modüllerin spektral tepkilerindeki seçicilik olarak tanımlanan bu sapsmalar hesaba katılmalıdır. Yansıma kayıplarında modül yüzeyine gelen ışınlım emilim yapılmadan geri yansıdığı için yansıma kayıpları olarak tanımlanmaktadır. Cismin yüzeyinden geri dönmesi, ışınlımın cismin içine etki etmesi, ışınlımın cismin içinde yakalanıp formunun değişmesi gibi hareketleri yerine getirir. Yüzey kaplama camları emilimi çok iyi yapıp yansıtmayı da en az seviye de tutacak şekilde tasarlanmalıdır. Işınlım şiddeti güneş ile modül arasındaki açı ile modül kırılma indeksine bağlı olarak yansımaktadır. Gölgelenme kayıpları ufuk gölgelenmesi ve modül sırası gölgelenmesi olarak sıralanabilir. Gölgelenme durumu fotovoltaik sistemlerin hepsinin performansında etkili rol oynamaktadır. Tozlanma ve karlanma kayıpları, ışınlım miktarında azalmaya sebep olmaktadır. Tozlanmanın çok fazla olduğu az yağışlı bölgelerde, tozlanma kayıpları önemli bir değer kazanmaktadır. Kar yağışının çok fazla olduğu yerlerde, karlanma durumunun da kayıplarda etkin rolü mevcuttur. Eğimli yüzeylerde, yere kurulu sistemlerde %1, çatı sistemlerinde ise %2 değeri karlanma kaybı olarak belirlenebilir. Modüllerin teknik özelliklerinin katalog değerlerinin

farklılıkları mevcuttur ve fotovoltaik panellerin güçleri I-V eğrisindeki maksimum güç noktası ile tanımlanır. Standart test koşullarında farklı değerlerdeki ışınlamalar fotovoltaik panelde modülün güç çıkışı olarak görülen kayıplar olarak tanımlanır. Modülün güç çıkışı ile sıcaklık arasındaki orantı ters olduğu için sıcaklık değerlerinde artışlar olduğunda güç oranında azalma olacaktır. Sıcaklık neticesinde oluşan kayıplar hücre sıcaklığı ile doğru orantılı olduğu için enerji üretimini olumsuz etkilemektedir. Fotovoltaik paneller inverter girişinde DC gerilim ve akım değerlerini tutturmak için paralel ve seri bağlanır fakat bu bağlantı yapısındaki DC güç tek panellerin güç toplamından daha düşük bir seviyede olur. Statik uyumsuzluk, çevresel gerilim ve gölgelenme başlıca sebep olarak gösterilebilir. Kabloların boyutlandırılması, sistem tasarımı için önemli bir noktadır. DC kablolar aracılığı ile invertere bağlanan modüllerde akım taşıma kapasitesi ve iletken boyunca oluşabilecek gerilim düşüşü ile iletken boyutunun hesaplanmasında etkili rol oynamaktadır. İnverterin verim eğrisi ile enerji tüketimi stand-by konumu göz önünde bulundurarak hesaplanır. Güç kısıtlamasından olan kayıplarda panelin nominal güç değerinin inverter AC çıkış gücü oranını etkileyip üretilen gücün hepsinin şebekeye gönderilmesine engel olabilir. Maksimum güç noktası izleyen sistemlerde etrafı tarayan sistemler uygun değer noktasında sürekli salınım yaparak maksimum güç noktası izlenmesinde hata ve kayıp ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu noktadaki kayıplarda inverterde çevrim veriminde düşüşe sebebiyet vermektedir (Deniz, 2013).

Kapucu ve Çubukçu (2019) bir fotovoltaik sistemde kısa devreleri ve kısmi gölgelemenin temelde yer aldığı bir hata tespit yöntemini deneysel olarak çalışmışlardır. Sistem çalışması en yüksek güç noktası takibi kontrolü yapan şarj kontrol cihazı, batarya ve temel parametreleri içeren anlık ölçen aygıtlar ile sistemin çıktıları kaydedilmektedir. Ayrıca tasarladıkları model ile geleneksel hata tespiti yöntemlerinin sınırlı olduğu ışınlam ve hücre sıcaklık ölçümleri ile de hata tespitinin yapılabilmesini mümkün kılmışlardır. Deneysel sistem tarafından toplanan ölçümler için toplanmış olan verilerin bütün şekilde test edilmesi için Python tekniğinden yararlanmışlardır. Topluluk öğrenmesi yöntemi ile bazı algoritmaların çıktı veya giriş kısmında değişiklikler yapılırsa önemli bir değişiklik meydana gelebileceğini söylemişlerdir. Sonuç olarak tasarladıkları topluluk öğrenmesi modeli ile hata tespiti işlemleri yüksek sınıflandırma performansı ve güçlü genelleme yapması ile fotovoltaik sistemlerdeki hata tespitlerinde başarı oranı yüksek bir yöntem olduğunu bildirmişlerdir (Kapucu ve Çubukçu, 2019).

Köksoy ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada hareketli bir araç üzerine konumlandırılmış kısa devre akım, açık devre gerilimi ve güç üretimi yapabilen hücre

modüllerin birbirine paralel bağlanması ile sonucunun izlenmesi düşünülmüştür. Gerilim değerleri birbirlerine yakın olacağı için akım-gerilim ölçümü metodu kullanılarak sistemin arıza tespitinde kolaylık sağlanacağını söylemişlerdir. Modüllerden okunan akım değerleri kullanılarak akım-gerilim ölçümü yöntemi ile gölgelenme ve kalıcı arızalarının ayırt edilmesini amaçlamışlar. Hazırlanmış olan sistem sayesinde modüllerin verdiği akım değerleri kayıt edildikten sonra birbirleri ile karşılaştırılarak akımda oluşan dalgalanmalarında gölgelenme sebebi ile mi, hücrelerin yıllanmış olması sebebi ile mi olduğunu tespit edilmesinin mümkün olduğunu bildirmişlerdir. Uzun zamandır kullanımda olan panellerin verimlerinde azalmaların olması arıza tespitlerini kolaylaştırmıştır (Köksoy vd., 2011).

Boztepe (2017) yapmış olduğu çalışmada güç sistemlerinde verimliliği etkileyen parametreleri belirlemeye çalışmıştır. Çalışmada panel verimi ile kurulacak alan birlikte düşünüldüğünde maksimum güç için verimi en yüksek panelleri kullanması gerektiğini tespit etmişlerdir. Sonuç olarak panellerin seçim kriterlerinde verim yerine sistem ömrü boyunca üretebileceği toplam enerji göz önünde bulundurmanın daha doğru olacağını söylemişlerdir.

Güneş santrallerinde üretilen enerjinin hesabı pek çok parametreye bağlıdır ve mutlaka bir benzetim yapılarak tasarımın doğrulanması uygun bir yaklaşımdır. FV sistemlerin karmaşık mühendislik sistemleri olduğunu ve çalışmada belirtilen bütün hesaplamalar benzetim programı tarafından daha hassas matematiksel modellerle ve bir yıl boyunca her saat için yapıldığından gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilebildiğini belirtmiştir (Boztepe, 2017).

Aydın (2006) yapmış olduğu yüksek lisans tezinde PV panelleri 12 ay süresince izleyerek güç üretimine etki eden faktörlerin elektriksel bağlantı kayıpları, yüksek sıcaklıklardan etkilenme, tozlanma, yansıma ve cihazlar arasındaki uyumsuzluk kayıpları şeklinde sıralamıştır. Ayrıca sistem tarafından üretilen güç ile kullanılan elektrikli araçların kablo mesafelerinin kısa olması ve kesitlerinin de uygun seçilmesi gerekmekte olduğunu bildirmiştir (Aydın, 2006).

Sarı Kurt vd. (2011) yapmış oldukları çalışmada frekans cevap analizi yöntemini kullanarak transformatörlerin güneş panellerindeki arıza tespiti için uygulanabileceğini araştırmışlardır. Bu yöntem ile karanlık ortam ölçümleri ile sahada yapılan ölçümler karşılaştırılarak gölgeli zamanlarda ve arızalı zamanlarda oluşabilecek hataları fark etmek için kullanılabileceğini söylemişlerdir. Bunun için yüksek frekans bandında sinyaller

arasında elde edilebilecek farkların, arıza tespitinde kullanılabileceğini bildirmişlerdir. (Sarıkurt vd., 2011).

Adak ve arkadaşları (2019) yapmış olduğu çalışmada FV panellerin yüzeylerine düşen ışının bir kısmının emildiği ve elektrik enerjisine dönüştüğü diğer kısımlarının da geri yansıtıldığına dikkat çekmişlerdir. Geri yansıtmanın en az seviyeye indirmeye çalışılması için farklı hücrelerin kullanıldığı, çok sıcak ortamlarda monokristal hücrelerin polikristal hücrelere göre daha verimli olduğunu tespit etmişlerdir. Paneller gölge etkisine maruz kaldığı zaman P-V eğrisinde görülebilecek farklı güç noktaları meydana gelebilecektir. Işınım şiddeti panellerin eğim açılarının yanı sıra sistemin çıkış gücüne de etki etmektedir. Sıcaklık artışı güç üretimine olumsuz bir etki etmektedir, ortam sıcaklığı yüksek olunca üretilen enerji miktarı düşüş gösterdiğini bildirmişlerdir (Adak vd., 2019).

Ekinci (2018) yapmış olduğu güneş hücrelerinin performansına bara etkisi adlı deneysel ve teorik çalışmada farklı bara türleri kullanmıştır. Bara sayısındaki artış hücrelerde enerji veriminde artış olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda çok bara olan sistemlerde pilin verimliliğine pozitif etki vermesi yanı sıra mikro çatlaklıkların oluşmasına neden olabileceğini ve bu konunun araştırılması gerektiğini bildirmiştir (Ekinci, 2018).

Deniz (2013), güneş enerjisi santrallerinde, santral kalitesinin performans oranına bağlı olduğunu ve bu oranın ne kadar büyük olursa güneş ışınının elektriğe dönüşmesinde etkili olacağından bahsetmiştir. Yüksek performans oranı ve fiyat kriterleri santralin kurulumu için önemli bir değerde olduğu ve iyi bir işçilik ile yüksek kaliteli bir santralin ucuza mal edilerek kurulabileceğinin öneme değinmiştir (Deniz, 2013).

Akman (2019) yapmış olduğu yüksek lisans tezinde FV panellerde sıcaklık verim ilişkisi araştırmıştır. Polikristal panellerin arkasından bakır boru kullanılarak yapılan su kanalı vasıtasıyla panellerde soğutma işlemi uygulaması yapılmıştır. Termal verimliliğin iyileştirilmesi için arka yüzeyde sıcaklıkların düşürülmesi amaçlanmıştır. Fotovoltaik panellerin arka yüzeylerinin soğuk tutulması sıcaklık seviyesinin az olması ile elektriksel verimde bir artışın olduğu görülmüştür (Akman, 2019).

Öztürk (2017) çalışmada güç dönüşüm verimine etki eden parametreleri araştırmıştır. Piyasada kullanılan sistemlerde enerji dönüşümü için verim değerinin %14-19 arasında olmaktadır. Enerji üretiminin artırılması konusunda güneş ışınlarının odaklanmış şekilde yoğunlaştırılması gerektiğini söylemiştir. Işık yoğunluğunda artışın olması ışık tarafından üretilen taşıyıcı sayısı artacağını, tipik bir yoğunlaştırıcı sistem ile güneşin 6-400 katı bir ışık yoğunluğu elde edilebileceğini ve bu sayede verimin artacağını bildirmiştir. (Öztürk, 2017).

Akar (2016), yapmış olduğu çalışmasında güneş santrali kurulum ve performans analizini incelemiştir. Hazırlanacak tesis için seri ve paralel bağlanması gereken panellerin sayısı ile invertere bağlanması gerekli paralel dizi sayısı iklim koşulları göz önünde bulundurularak akım, güç, gerilim değeri hesaplanmalı ve bu hesaba göre ekipman belirlenmesi gerektiğini söylemiştir. Panellerin verimlerinde %3 ile başlayıp sonrasında %0,7 üretim kayıplarının meydana geleceğı hesaplanarak maliyetin amorti süresi belirlenmelidir. Fotovoltaik panellerin hücrelerinde teknolojik iyileştirilmeler yapılarak sistem verimliliğinde artış sağlanabilir. Sıcaklık değeri panel üzerinde olan etkisini en alt seviyeye indirerek performans oranında yüksek verim sağlanabilir (Akar, 2016).



2. GENEL BİLGİLER

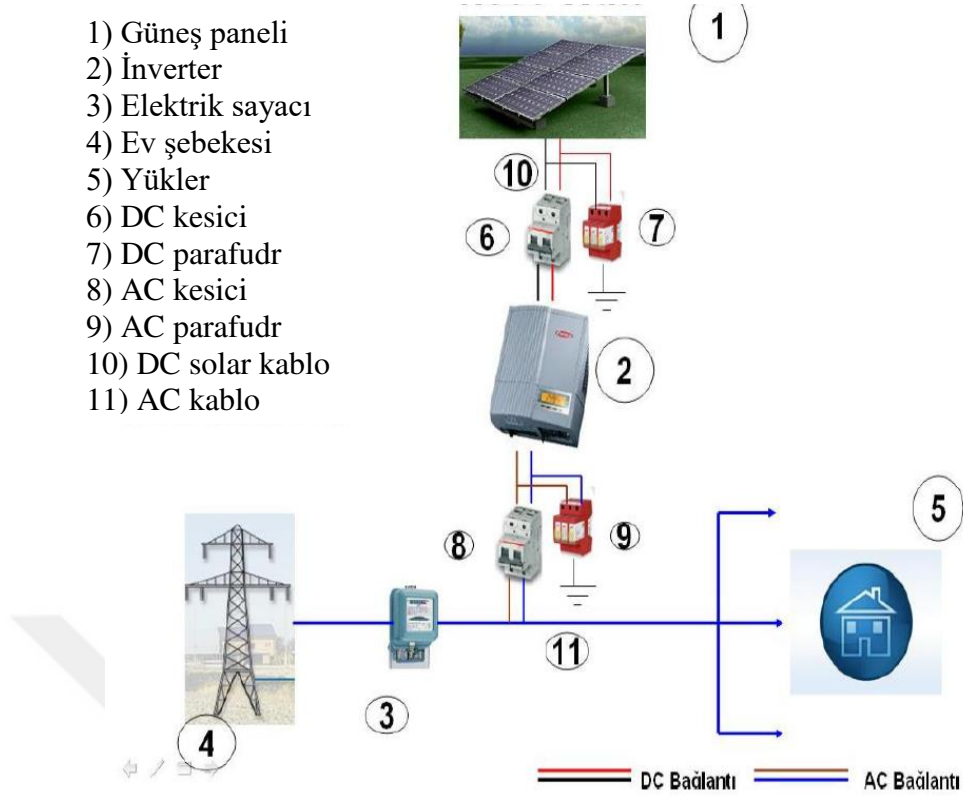
2.1. Fotovoltaik Sistemler

Güneş enerjisi elektrik enerjisine dönüştürken kullanılan yarı iletken aygıtlar güneş pili olarak isimlendirilmektedir. Bütün ışıkların etkisinde enerji üretebilme imkânına sahiptirler. Çeşitli biçimlerde şekillendirilen paneller genellikle 100 – 200 cm² alanlarında ve 0,2 – 0,4 mm kalınlığa sahip olarak imal edilmektedir. Enerji korunumu yasası ile ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren aygıtların enerjiyi depolama özelliği bulunmamaktadır. Işık kaynağı yok olduğu zaman enerji üretimi sona erdiği için gece sürecinde kullanılması gerektiği durumlarda depolayıcı sisteme eklenmelidir. Silisyum madeni ile en çok kullanılan güneş materyalleri imal edilmektedir. Cihazların üzerine ne kadar çok ışık gelirse enerji üretimi de o oranda artış göstermektedir (Sayın ve Koç, 2011).

2.2. Sistem Bileşenleri

Güneş enerjisi sisteminde panel dışında başka donanımlar da bulunmakta ve kullanılmaktadır (Şekil 2.1). Güneş enerjisinde üretilen DC akım, sanayi ve evlerde kullanılabilmesi için DC akımı alternatif akıma çeviren eviriciler kullanılması gerekmektedir. Bu dönüşüm aşamasında sistem güvenliği için ve verileri izleyebilmek için çeşitli cihazlar kullanılmaktadır. Ayrıca bu üretilen enerjiyi taşımak için özel üretim kablolar, bağlantı elemanları kullanılmaktadır. Bu ürünleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (Sayın ve Koç, 2011).

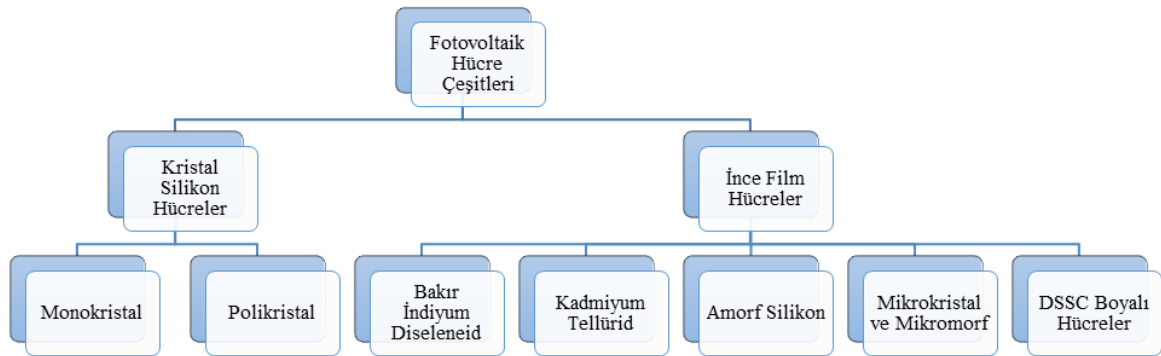
- Güneş Paneli
- Çelik Konstrüksiyon Sistemi
- MC4 Konnektörler
- DC Kablolar
- DC Parafudrlar
- DC Yük Şalterleri
- Topraklama Elemanları
- Evirici(İnverterler)
- AC Kablolar
- AC Koruma Şalteri
- AC Parafudr
- Trafolar
- Bağlantı Elemanları
- Haberleşme ve İzleme Sistemi
- Sayaçlar



Şekil 2.1. Fotovoltaik sistem yapısı sıralanabilir (Girgin, 2011)

2.2.1. Güneş Pillerinin Çeşitleri

Fotovoltaik hücreler temel olarak kristal silikon hücreler ve ince film hücreler olarak iki gruba ayrılmaktadırlar (Şekil 2.2). Günümüzde yapılan tesislerin %90'ını kristal silikon yapıları hücreler oluşturmaktadır (Sayın ve Koç, 2011).



Şekil 2.2. Fotovoltaik hücre çeşitleri (Girgin, 2011)

Monokristalin Güneş Pilleri

Atomik yapısı homojen olan monokristalin güneş pilleri, verimlik değerleri açısından diğer güneş pillerine göre yüzde %20 daha yüksektir. Üretim aşamalarının teknik olarak zor olmasının yanında uzun zaman alması nedeniyle fiyatları da yüksek olmaktadır. Uzun süreli kullanmak için dayanıklı ve verimli bir seçenek olarak düşünülebilir (Sayın ve Koç, 2011).

Polikristalin Güneş Pilleri

Monokristalin malzemelerden oluşan polikristalin güneş pili homojen bir yapıya sahip değildir. Verimlilik değerleri %16 kapasitesinde olup monokristalin malzemelere göre düşük diğer güneş pillerine göre yüksek bir seviyededir. Maliyet durumu göz önüne alındığı zaman monokristal güneş pillerine göre daha düşük seviyede olması nedeniyle verimlilik oranları maliyet oranlarına kıyasla yüksek seviyede olduğu için üretimi en çok olan güneş pilleridir (Sayın ve Koç, 2011).

Amorf Silikon Güneş Pilleri

Kristal yapılı olmayan, verimleri yapısı nedeni ile diğer güneş pillerine göre düşük %5 - %8 arasında olan değerlere sahip güneş pilleridir (Sayın ve Koç, 2011).

CIS Güneş Pilleri

Diğer güneş pilleri ile karşılaştırıldığında daha ince tabakalı olan CIS (Copper-Indium-Diselenid - Bakır-İndiyum-Diselenid) güneş pillerinin verimlilikleri %10 civarındadır. Bu güneş pillerinin yapısının ince olması montajda kolaylık, düşük maliyet, hafif olmasının yanında geniş yüzeylerde uygulanabilmesi avantajları bulunmaktadır (Sayın ve Koç, 2011).

2.2.2. Akü Grubu

Üretilen enerjiyi depolamada aküden faydalanılmaktadır ve kapasiteleri amper – saat olarak (Ah) açıklanmaktadır. Kapasite değerleri, seri veya paralel bağlantı kullanılarak yükseltilmesi sağlanabilir. Akülerin uzun ömürlü olması istenirse doluluk kapasitesi yarıdan aşağıya düştüğü zaman şarj edilmesi gerekmektedir ki gece enerji ihtiyacı olan sistemlerde kullanılmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Akü grupları (URL-2, 2022)

OPzS Akü

Sistemde enerji kesintisi olmaması için bakımı az tüplü sabit tesis aküleri olarak sabit tesis aküleri üretilmiştir. Yüzdürme gerilimi ve çalışma sistemi için en az seviyede bakım gerektirip enerji maliyeti açısından düşük seviyededir. Düşük antimonlu kurşun alaşımının kendi kendine deşarj oranını azaltması ile su kaybı oranı düşüktür. Aktif madde tutumu ve şarj – deşarj özelliği aynı oranda bulunmaktadır.

Jel Akü

Soğuk ortam sıcaklıklarında kullanım süreleri ile performans oranları daha iyi seviyede olan silikon jel ile üretimi yapılmaktadır. Bu modeller özel seperatörle donatıldığı için bakım gerekmeyen tam kapalı ve güvenilirliği ile kalitesi yüksek olan akülerdir.

Kuru Akü

Kapasitesi yüksek (TP ve TPD), performansı ile uygun fiyatı nedeniyle yaygın bir kullanım alanına sahip akü çeşitleridir. Kapalı bakım gerektirmeyen aküler ile ısı yelpazesi çok geniş olan alanlarda kullanılabilmesi, uzun ömürlü olmasının yanında uygun tasarım yapısı ve yatay – dikey pozisyonlarda çalışılabilmesi sonucunda asit sızdırmaz olması nedeniyle kullanılabilir.

2.2.3. Akü Şarj Regülatörü (Şarj Kontrol Cihazı)

Panelden gelen akımı düzenli hale getirerek aküye iletimini sağlayan ve akünün tam dolup aşırı kullanımla boşalmasını önleyen cihazdır. Bu cihazın seçilmesinde gereken en yüksek akıma karşı dayanıklı olmasına, batarya voltajı ile uyumlu olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Voltaj değerleri 12/24/48V ve amper değerleri 10/20/40/60A gibi değer durumlarında değişmektedir. DC voltaj çıkışları olduğu için doğru akımla çalışan cihazlara gerilimi direkt olarak verirler (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. PV sistemleri için regülatör örnekleri (URL-3, 2022; URL-4, 2022)

2.2.4. Yük (Elektrik Tüketen)

Güneş pillerinden üretilen elektriği kullanan donanımlar veya şebekeye bağlı sistemlerdeki şebeke bağlantıları yük olarak ifade edilmektedir.

2.2.5. İnverter (Evirici)

Güneş pillerinden üretilmiş olan DC gerilimi, AC gerilime dönüştüren cihazın çıkış gerilimi kullanım yerine göre değişiklik göstermektedir. Şebekeye bağlı sistemlerde sinüs çıkışlı inverter kullanılmaktadır. Yapıları anahtarlama elemanı ve gerilim şekillendirici devreden meydana gelmektedir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. İnverter örnekleri (URL-5, 2022)

Güneş enerjisi sistemlerinin merkezinde yer almaktadır. Güneş enerjisi sistemleri genelde off grid olanları hariç şebeke ile ortak olarak çalışmaktadırlar. İnverterler, şebeke gerilimi ve frekans seviyeleri çıkış gerilimini ve frekansını düzenleyerek şebeke ile aynı doğrultuda çalışırlar.

İnverterler 2 gruba ayrılabilir:

- ✓ Of Grid (Şebekeden Bağımsız) İnverterler
- ✓ On Grid (Şebeke ile Senkron) İnverterler
 - Dizi inverterler
 - Merkezi İnverterler
 - Hibrit İnverterler

Of Grid (Şebekeden Bağımsız) İnverterler

Şebekeden bağımsız olarak çalışan inverterlerdir. Çalışmak için akü gerilimine ihtiyaç duyarlar. İçinde akü şarj entegresi bulunabilir ya da akü şarj cihazı kullanılabilir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Off Grid tip inverterler (URL-6, 2022)

On Grid (Şebeke ile Senkron) İnverterler

Dizi inverterler

Dizi tipi invertörler küçük ve orta güçlerde üretilirler. 1 – 250 kW arasında farklı güçlerde bulunabilirler. Kullanılacağı yere ve projeye göre istenilen güç seçilir. Çatı ve arazilerde kullanılırlar. Bir veya daha fazla MPPT (Maksimum Güç İzleme Noktası)'e sahiptirler (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Dizi Tipi İnverter (URL-7, 2022)

Merkezi İnverterler

Merkezi tip inverterle genelde 250-2500 kW güçleri arasındadır. Büyük kapsamlı projelerde kullanılır. Merkezi inverter kullanılan sahalarda string box ya da toplama kutuları kullanılır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Merkezi tip inverterler (URL-8, 2022)

Hibrit İnverterler

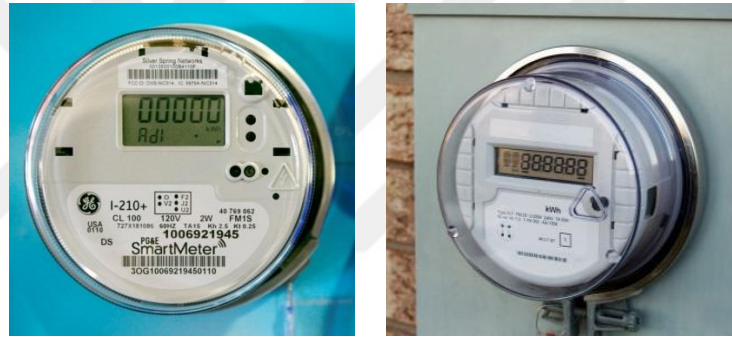
Hibrit tip inverterler, hem şebeke ile hem de şebekeden bağımsız çalışabilen invertelerdir. Akü bağlantıları vardır. Akü şarj entegreleri içinde de olabilir ya da akü şarj cihazı yardımıyla aküler şarj edilebilir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Hibrit tip inverterler (URL-9, 2022)

2.2.6. Çift Yönlü Sayaç

Sisteme enerji satmak için tasarımı yapılmış olan bu sayaç ile üretilen enerjinin ve tüketilen enerjinin devletle hesabının yapılmasını kolaylaştıracaktır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Şebekeye bağlantılı sistemler için çift yönlü sayaç (URL-10, 2022)

2.2.7. Bağlantı Konnektörleri-MC4

Bağlantı elemanı olarak solar kablo şeklinde isimlendirilen güneş enerjisinin sistem kablolarında bağlantı elemanı olarak konnektörlerden faydalanılmaktadır. Bu ürünler dış ortam koşullarına dayanaklı olacak şekilde üretilmektedirler. Santrallerde birçok arıza bu noktadan çıkmaktadır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Dişi ve erkek konnektörler (URL-11, 2022)

2.2.8. DC Bağlantı Kabloları

Güneş panellerinde üretilen DC akımlar taşımak için özel yapılmış DC kablolar kullanılır. Bu tip kabloların genel özellikleri 70°C'ye kadar çalışabilmeleri ve gerilim değerleri 1000V ve üstünde olmalıdır (Şekil 2.12).

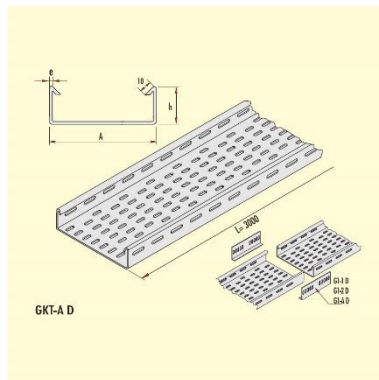


Şekil 2.12. Kırmızı ve siyah DC kablolar (URL-12, 2022)

2.2.9. AC Kablolar

Güneş enerji sistemlerinde evirici sonrasında AC elektrik taşınmaktadır. Eviriciler ile AC Pano veya yükseltici trafolar arasında kullanılan kablolar yeraltından veya bina içerisinden taşınmaktadır. Yeraltından taşıma esnasında kabloları uygun spiral borular ile taşınmaktadır. Bina içinde ise tavalar aracılığı ile taşınmaktadır.

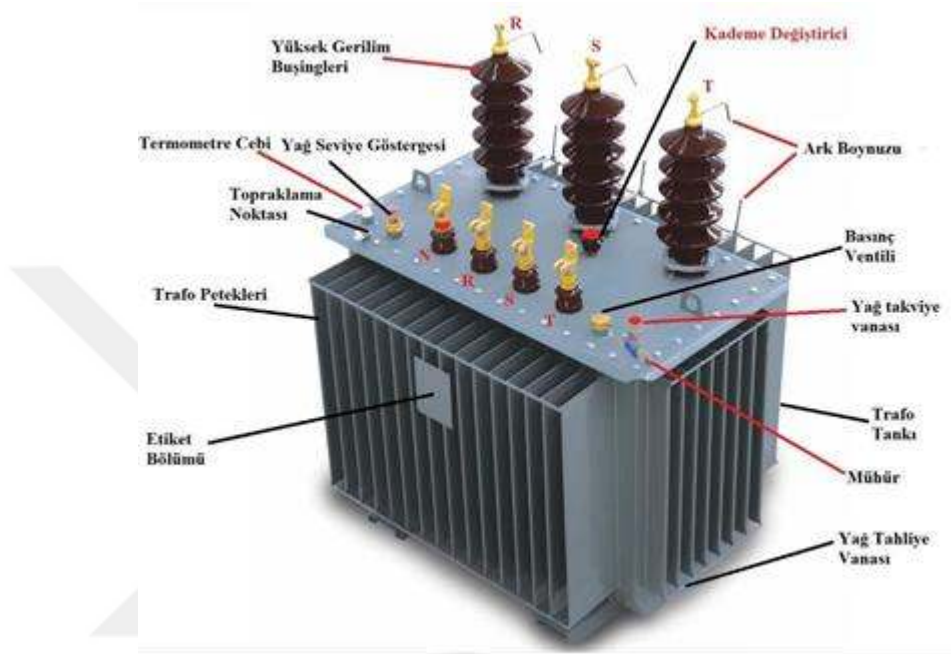
Taşınacak akım kapasitesine göre uygun kesitli NYY veya NYM kablolar seçilmelidir. Bu tip kablolar genel olarak 70°C'ye kadar çalışabilmeleri ve gerilim değerleri 300V ile 1000V arasında olmalıdır (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Kablo taşıma tava ve yeraltı boruları (URL-13, 2022)

2.2.12. Trafolar

Trafolar inverterler tarafından üretilen AC enerjiyi YG Şebeke sistemine bağlantısını sağlayabilmek için gerilimi yükselten veya alçaltan elektrik makineleridir. Genelde 0,4kV seviyesindeki gerilimi 31,5 kV veya 34 kV seviyelerine çıkarırlar. Trafo ve kısımları Şekil 2.16'da gösterilmiştir.



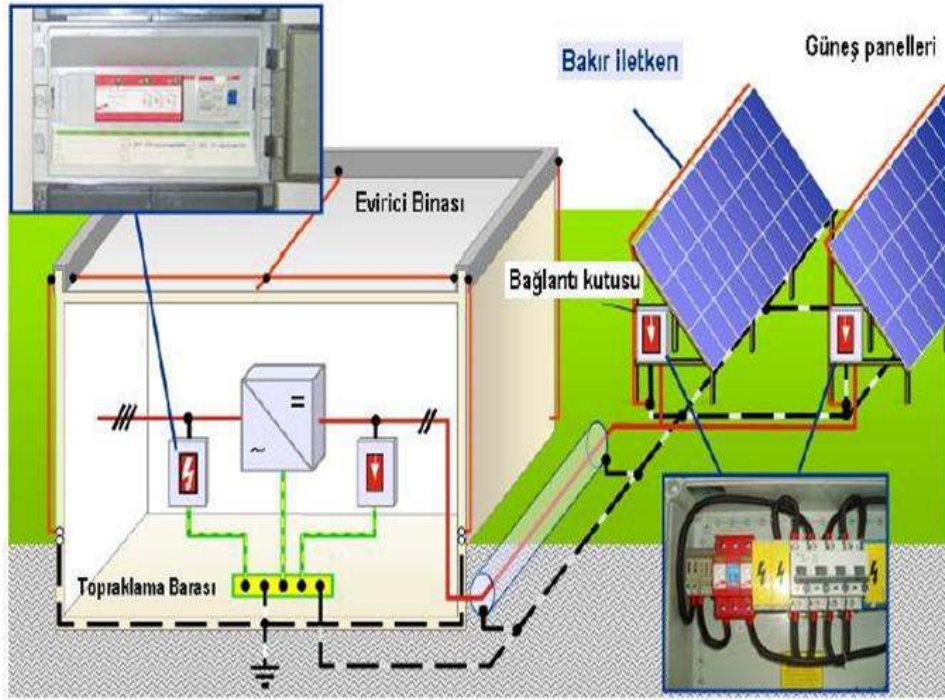
Şekil 2.16. 0,4-34kV trafo (URL-17, 2022)

2.2.13. Topraklama Sistemi

Topraklamanın güneş enerjisi sistemlerinde önemi büyüktür. Sisteme bağlı tüm cihazlar uygun bağlantı şekilleri ile topraklama sistemine bağlanmalıdır. Büyük arıza ve olaydan korumak en önemlisi can güvenliği için zorunlu olarak yapılmalıdır.

Bu tarz önlemler genellikle yatırımcılar tarafından maddi kaygı olarak yapılmamaktadır, bunun için tasarımı yapan ve uygulama yapan kişiler buna çok önem vermelidir. Topraklama sistemi ve yıldırımdan koruma sistemi bir arada düşünerek sistem tasarımı yapılmalıdır. Şekil 2.17'de örnek topraklama ve yıldırımdan korunma şeması görülmektedir.

Yıldırım Koruma Devre Şeması



Şekil 2.17. Örnek topraklama ve yıldırımdan korunma şeması (Girgin, 2011)

2.2.14. Bağlantı Elemanları

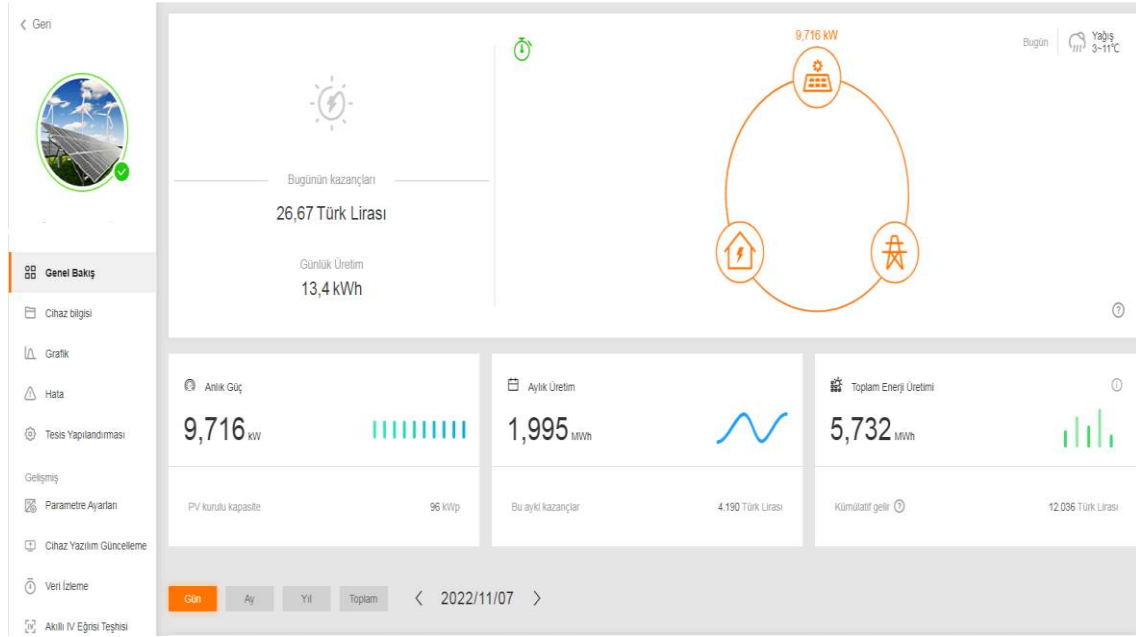
Güneş panelleri bağlantısında birçok farklı bağlantı malzemesi kullanılır (Şekil 2.18). Bu malzemeler seçilirken uygun kalite ve uzun ömürlü ürünler seçilmelidir.



Şekil 2.18. Bağlantı elemanları (URL-18, 2022)

2.2.15. Uzaktan İzleme ve Haberleşme

Uzaktan izleme sistemleri güneş enerji santrallerin olmazsa olmazıdır. Tüm üretim değerleri bu sistemden izlenebilir. Olası arızalar buradan tespit edilebilir, yıllık üretim raporları ve karşılaştırmaları buradan alınabilir. Sungrow isimli uzaktan izleme sistemine ait ekran görüntüsü Şekil 2.19’da görülmektedir.



Şekil 2.19. Uzaktan izleme sistemi

2.3. Fotovoltaik Sistem Çeşitleri

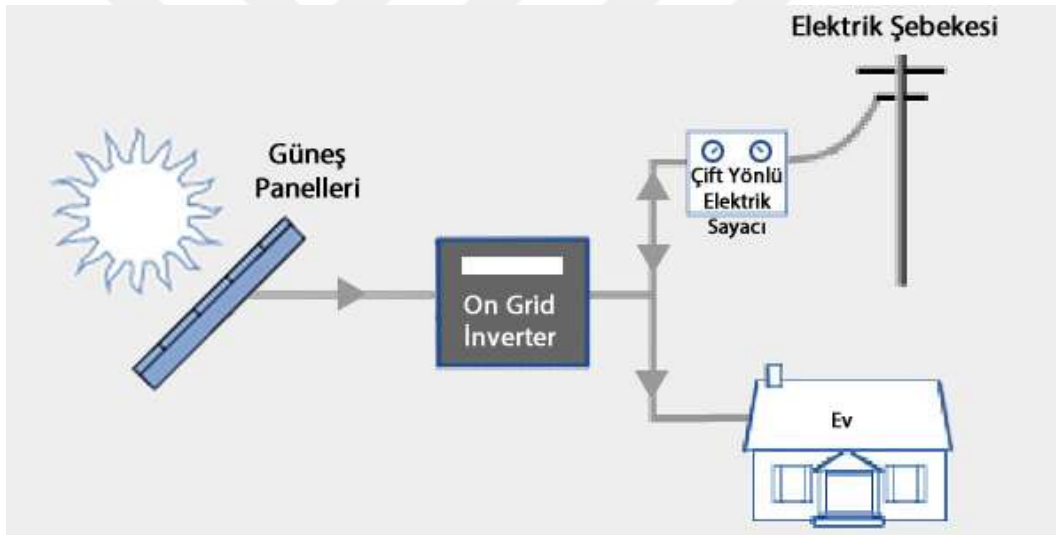
Fotovoltaik sistem kurulumları kullanım amaçlarına göre değişiklik göstermektedir. Şebekeye bağlı (On Grid) sistem ve şebekeden bağımsız (Off Grid) sistem olarak 2 şekilde sıralanabilir.

2.3.1. Şebekeye Bağlı (On Grid) Sistemler

Güneşten elde edilen enerji, üretim aşamasından depolama olmadan şebekeyi besleyici şekilde anında kullanılan sistemler şebekeye bağlı (On Grid) sistemler olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.20). Sistem elektrik şebekesini beslerken fazla üretilen enerjiyi de tarife ve kanunlar doğrultusunda devlet tarafından satın alınabilmektedir.

Şebekeye bağlı sistemlerin avantajları şu şekilde sıralanabilmektedir:

- Sistem depolama elemanları olmadan kullanılacağından ayrı bir ek depolama maliyeti bulunmaz.
- Şebeke sistemine yakın yerde bulunacağı için ayrıca bir depolama alanı ile enerji çevrim kaybının olmamasından dolayı kayıplar en az seviyede olacaktır.
- Şebeke bağlantılı olduğu için elde edilen enerjinin az kaldığı durumlarda şebeke devreye girerek ve enerji yükünden sistem eksiksiz olarak beslenebilecektir.
- Şebeke bağlı sistemlerde tasarım yapılırken enerji yükünün tamamını karşılaması zorunlu olmadığından tasarım istenilen miktarda yükte yapılabilme esnekliğine sahiptir.
- İstenilen zamanda sistemde yük kapasitesinin büyütülmesi kolay bir şekilde yapılabilir.



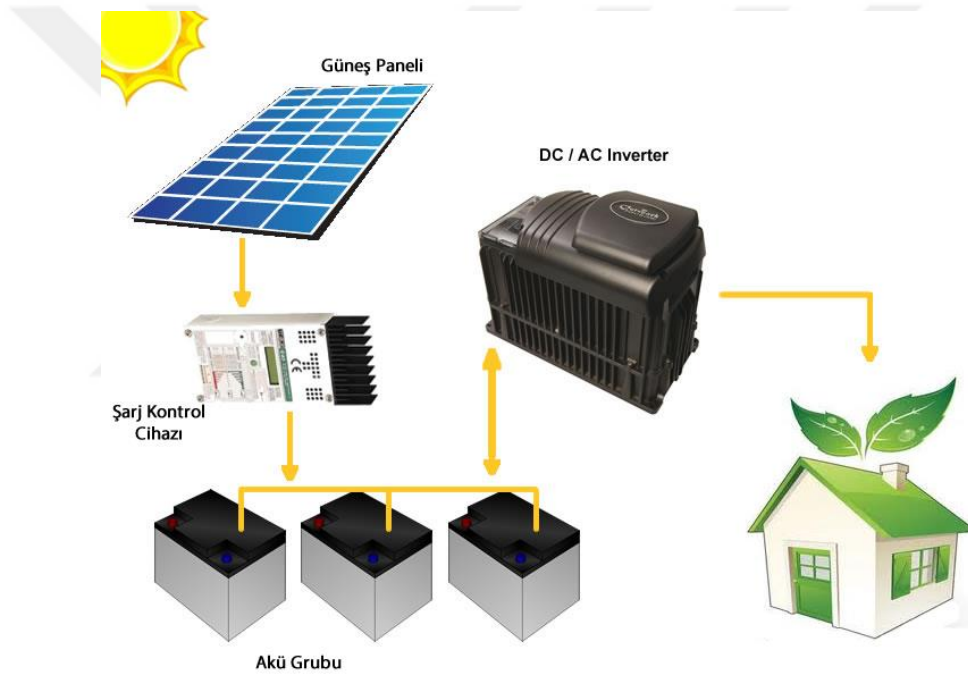
Şekil 2.20. Şebekeye bağlı (On Grid) PV sistemi (URL-19, 2022)

2.3.2. Şebekeden Bağımsız (Off Grid) Sistemler

Güneşten elde edilen enerji depolama ünitelerine toplanabildiği için şebeke yardımı olmadan sistem için yükü beslemesine şebekeden bağımsız sistem olarak tanılandırılmaktadır (Şekil 2.21). Bu sistemlerde depolama ürünleri kullanıldığı için güneşin olmadığı zamanlarda yani geceleri de enerji kullanımına uygun olmaktadır.

Şebekeden bağımsız sistem avantajları:

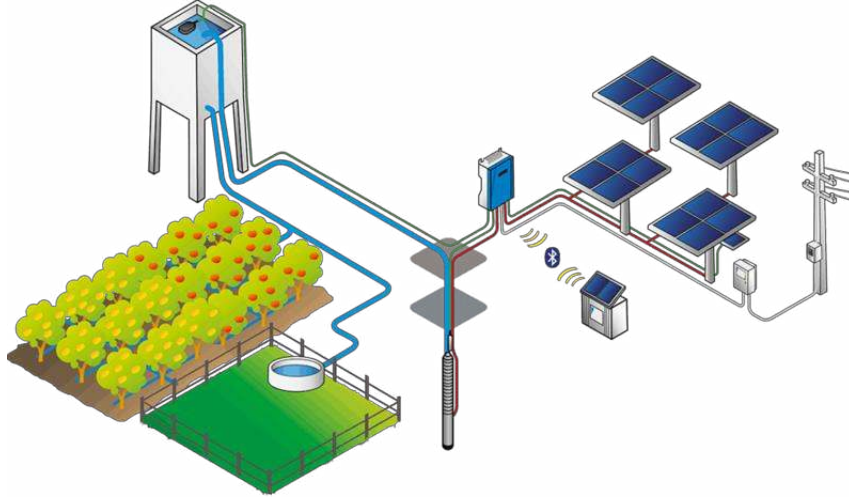
- Şebekeden bağımsız olduğu için kendine ait enerji üretip onu kullanmaktadır.
- Şebekenin olmadığı veya şebekeye ulaşımın mümkün olmadığı durumlarda sistem yükü besleyecek şekilde tasarımı yapılabilir.
- Güneş ışınlarının yeterli olmadığı zamanlarda sistem akü gibi depolama elemanlarından beslenebilmektedir ve depolama elemanları yetersiz kaldığında da jeneratör ile sisteme enerji beslemesi sağlanabilecektir.
- Sistem yükünün en az seviyede olması için tasarruf sağlayan ürünler kullanılması gereklidir. İnverterden kaynaklanan kayıp için ve maliyet nedeniyle DC yükten kurulmuş ayrı bir sistem tercih edilmelidir.



Şekil 2.21. Şebekeden bağımsız (Off Grid) PV sistemi (URL-20, 2022)

2.3.3. Sulama Sistemleri

Sulama sistemleri özellikle enerjinin olmadığı yerlerde çok sık kullanılan yöntemlerdendir. Güneş enerjisinden üretilen DC akım, solar sürücüler sayesinde AC akıma çevrilerek su pompası çalıştırılır ve çıkarılan su direk sulama ya da havuzda biriktirilerek sulama işlemi yapılır (Şekil 2.22). Elektrik fiyatlarındaki artış güneş enerjili sulama sistemlerine çiftçileri yönlendirmiştir.



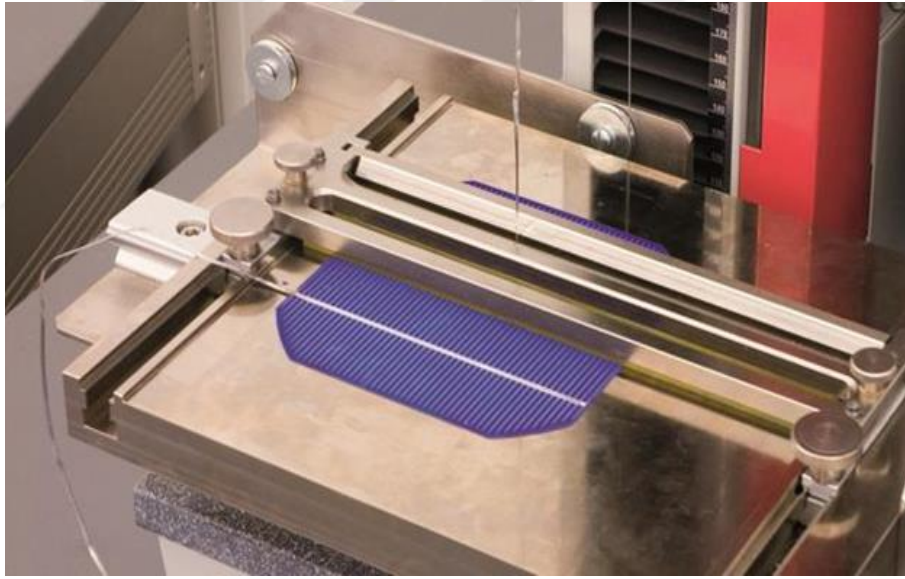
Şekil 2.22. Güneş enerjili sulama sistemleri (URL-21, 2022)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Fotovoltaik Sistemlere ve Sistem Elemanlarına Yapılan Testler

Güneş pili çevresel koşullarda farklı etkiler altında kalmaktadır. İklim koşulları, sıcaklıklarda meydana gelen dalgalanmalar güneş pillerinin çalışma işlevselliğinde etki etmektedir. Karlanma, buzlanma gibi durumlar ve montaj işlerinden hasar durumu en az seviyede kalacak şekilde olmalıdır. Elektrik ve mekanik özellikler yönünden bu talepler önemlidir. Özellikle zorlu iklim koşullarında kurulacak olan santraller için mekanik dayanımın önemi ön plana çıkmaktadır. Sürekli arıza veren modüllerin hem tamiri ek iş yükü doğuracaktır, hem de arıza süresinde geçen dönemde üretim kaybına neden olacaktır. Özellikle üretim sonrası hücrelerin bazı testlere tabi tutularak bu testleri başarı ile geçmeleri gerekmektedir.

Üretim sonrası hücre testleri, kurulum sonrası ise saha testleri yapılmaktadır.



Şekil 3.1. Güneş Hücresinin Test Edilmesi (URL-22, 2022)

3.2. Hücre testleri ve standartları

3.2.1. Camın eğilme mukavemetinin belirlenmesi

Fotovoltaik hücrelerde kullanılan camın eğilme mukavemetinin belirlenmesi için aşağıdaki standartlara uygun olarak testler yapılmaktadır (URL-22, 2022).

DIN EN 1288-2

Yapıda cam – cam tarafından göstermiş olunan eğilmeye karşı mukavemet belirlenmesi - Bölüm 2: Çift halka eğme testinin geniş test alanlı plaka numunelerinde kullanılması(ISO/DIS 1288-3: 2007); Almanca versiyonu prEN ISO 1288-2: 2007 (URL-22, 2022).

DIN EN 1288-3

Yapıda cam - camda eğilme mukavemetinin belirlenmesi - Bölüm 3: İki taraflı desteği olan numunelerin testi (dört kesme yöntemi), (ISO/DIS 1288-3:2007); Almanca versiyonu prEN ISO 1288-2: 2007 (URL-22, 2022).

DIN EN 1288-5

Yapıda cam - camın eğilme mukavemetinin belirlenmesi - Bölüm 5: Küçük test alanlı plaka şeklindeki numunelerde çift halka eğme testi (ISO/DIS 1288-5:2007); Almanca versiyonu prEN ISO 1288-5 (URL-22, 2022).

3.2.2. Silindir soyma testi

Fotovoltaik hücrelerde kullanılan camın eğilme mukavemetinin belirlenmesi için aşağıdaki standartlara uygun olarak testler yapılmaktadır (URL-22, 2022).

DIN EN 1464

Dayanımı yüksek olan bağların soyulmaya karşı direnç belirlenmesi. Silindir soyma testi (ISO 4578: 1990, değiştirilmiş); Almanca versiyon EN 1464: 1994 (DIN EN 1464: 1995-01) Değiştirir: DIN 53289:1979-09 (URL-22, 2022).

DIN EN 1465

Gerilme ve kayma direnci için üst üste binmelerde dayanım tayini (ISO 4587: 1979, değiştirilmiş); Almanca versiyonu prEN 1465: 20083.1.3. Tasarım yeterliliği ve tip onayı testi (URL-22, 2022).

3.2.3. IEC Tip Onay Testleri

IEC 61215 veya EN 61215, Fotovoltaik panellerde materyallerde bulunan yaşlanma etkileri yapay stres içinde olabilecek temelde yer alan çeşitli kalifikasyon testleri için açıklanmış olmasını anlatır. Detaylı bir şekilde aşağıda ayırt edilebilir: (URL-22, 2022).

Kalın film için IEC veya EN 61215 ve ince film modelleri için IEC veya EN 61646

IEC 61215 veya EN 61215

IEC 61215 testi, bütün dünyada çevre koşullarının tümünde uzun yıllar dayanabilecek şekilde tasarlanmış olan güneş panelleri ile çok zorlu şekilde olmaktadır.

İşlem yapılırken hata olmadan, IEC testi toplam sürede 5 aydan fazla bir süre almaktadır. Bir modül kitinde ultraviyole radyasyon, yüksek sıcaklıkla nemde uzun süre etki altında kalma durumu da dahil olmak üzere aşırı sıcaklık, mekaniksel stres, bozulma ile dolu yağması ve kaya parçası düşmesi direncini de içeren kontrollerin yer aldığı çevresel test uygulamasını geçmesi gerekmektedir. Çevresel teste yan olarak, modüldeki elektriksel performans, yalıtım ve kritik nokta yönünden bütün bir şekilde incelenmelidir (URL-22, 2022).

IEC 61646 veya EN 61646

IEC 61646 veya EN 61646, ince film modülünde materyal üzerinde yapay strese olabilecek yaşlanma etkisini temele alan çeşitli kalifikasyon testleri açıklanır. Ayrıntılı şekilde incelersek aşağıda yer alan stres grupları ayırt edilebilir: (URL-22, 2022).

- UV ışığı dâhil güneş ışığı
- İklim (soğuk, sıcak, nem, iklim değişikliği)
- Mekanik yük (dolu, rüzgâr emme, basınç, kar)

Yeterlilik testleri, güç çıkışı ve yalıtım özelliklerinin sonrasında önemli derecede bir görsel hasar görülemediğinde, giriş durumuna bakılarak önemsiz bir şekilde değişme veya değişmeme olduysa testler başarılı olarak kabul edilir. IEC 61646 numaralı test sertifikası son zamanlarda kristal PV modülleri için bir kalite işareti olarak kendini kanıtlamıştır. Bu sertifika ulusal ve uluslararası destek önlemleri açısından birçok lisans yetkilisi tarafından istenmektedir (URL-22, 2022).



Şekil 3.2. Tasarım onayı (dayanıklılık testi) (URL-22, 2022)

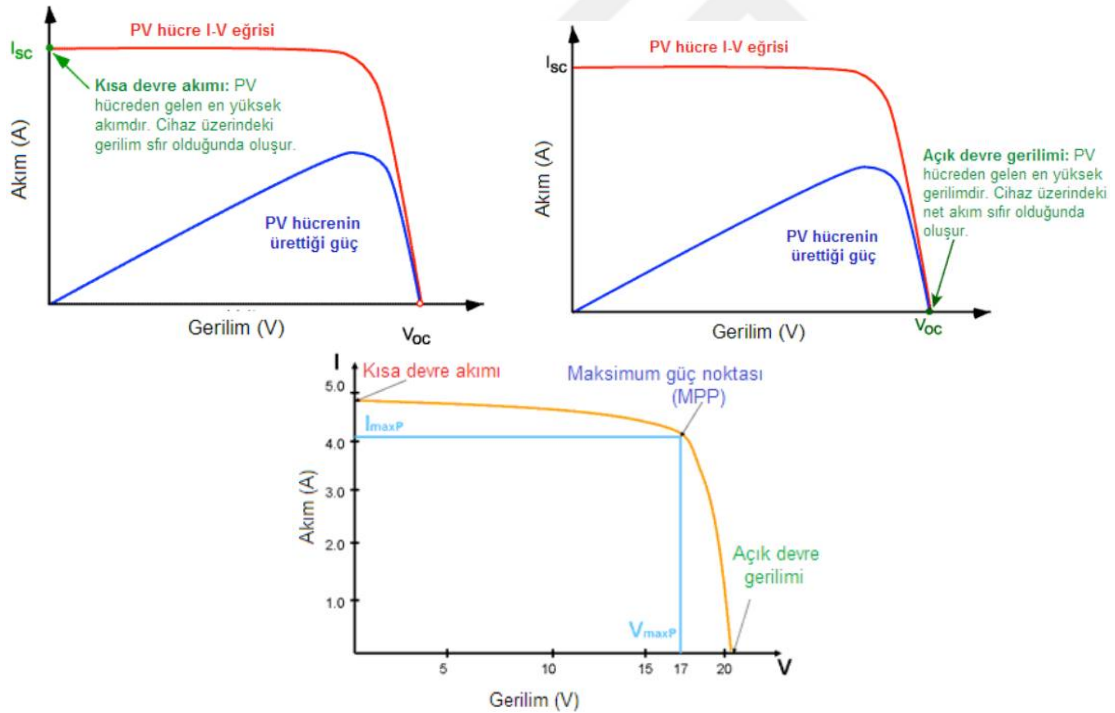
3.2.4. Akım – Gerilim – Güç Özellik Testleri

PV hücrede akım-gerilim (I-V) değerinin özellikleri üç ayrı yöntemle belirlenebilir:

1. Değişken olan direnç sabit devre ile kısa devre arasındaki durumları sabit bir ışık şiddeti altında değiştirilerek PV hücre uçlarının arasında gerilime karşıt dirençten geçen akım ölçülmesi sağlanır.
2. DC besleme dış kaynak yardımının diyot gibi çalıştırılması sağlanarak PV hücrenin karanlıkta çalıştırılması
3. Bir ışık kaynağının aydınlatılmasında şiddeti değiştirildiği zaman ışık kaynağı altında V_{oc} ve I_{sc} değerleri ölçülerek belirlenebilir (Öztürk, 2017).

Açık devre gerilimi (V_{oc}): Hücre akımının sıfır olduğu zamanlarda PV hücrenin açık devre gerilimi (V_{oc}) hücre uçlarından geriliminin ölçülmesidir.

Kısa devre akımı (I_{sc}): Gerilimin sıfır olduğu ve aydınlatma altında hücreden geçen akımın PV hücrenin kısa devre akımı (I_{sc}) olarak tanımlanmaktadır (Şekil 3.3). Işınım şiddetine bağlı olarak ihmal edilen paralel direnç etkileri durumunda ışıqla akım eşit olmaktadır (Öztürk, 2017).



Şekil 3.3. Bir PV hücrenin akım-gerilim eğrisi (Öztürk, 2017)

Dolgu Faktörü (FF): Bir PV hücrede en üst seviyede olan çıkış gücü, açık devre gerilimi ile kısa devre akımına bağlı kullanılan tanımlanan değişkendir. Seri dirençte artış oldukça, FF değerinde azalma oluşur. Dolgu faktörü (FF), maksimum güç değerinin (P_m)

açık devre gerilimi (V_{oc}) ve kısa devre akımı (I_{sc}) çarpımına bölünmesiyle belirlenir (Öztürk, 2017).

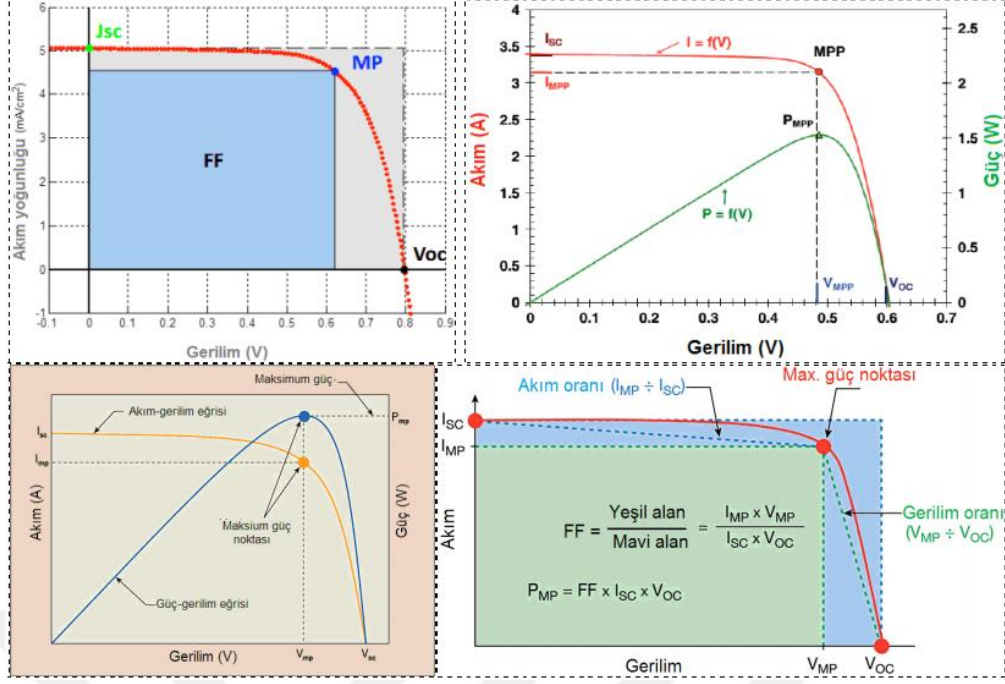
$$FF = \frac{P_m}{V_{ad} \times I_{kd}} = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{\mu \times I_s \times A_c}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (3.1)$$

PV hücrede ideal ölçü olarak dolgu faktörü değeri kullanılır. İdeal bir PV hücrede dolgu faktörü değeri (FF)= 1'dir. Bu nedenle, herhangi bir PV hücrede dolgu faktörü değeri 1'e yakın olarak istenir (Tablo 3.1). Dolgu faktörü büyükse seri direncin (R_s), diyotun ideal olma faktörünün (A_o), ters doyum akım yoğunluğunun (J_o) ve sıcaklığın (T) küçük; yasak enerji aralığının (E_g) ve şönt direncin (R_{sh}) büyük olması gerekir. Hücrelerin seri ve şönt direnç değerleri ile diyot kayıplarından doğrudan etkilenen dolgu faktörüdür. Dolgu faktörünün yükseltilmesinde Şönt direnç (R_{sh}) artırılarak ve seri direnç (R_s) değerleri azaltılarak yapılır. Hücre çıkış gücü teorik alanda en üst değere getirilerek verim daha yüksek oranda sağlanır. Dolgu faktörü, normal silikon bir PV hücresi için yaklaşık olarak % 80 değerindedir. Dolgu faktörü (FF), bir PV hücrenin genel davranışındaki bir diğer belirleyen bir değişkendir (Öztürk, 2017).

Tablo 3.1. Değişik tip PV hücrelerin karakteristik değerleri (Öztürk, 2017)

PV Hücre	Alan (cm ²)	V _{oc} (V)	I _{sc} (mA/cm ²)	FF (%)	η (%)
Tek Kristal Si	4,0	0,706	42,2	82,8	24,7
Tek Kristal GaAs	3,9	1,022	28,2	87,1	25,1
Çok Kristal Si	1,1	0,654	38,1	79,5	19,8
Amorf Si	1,0	0,887	19	74,1	12,7
CuInGaSe ₂	1,0	0,669	35,7	77,0	18,4
CdTe	1,1	0,848	25,9	74,5	16,4

Maksimum Güç Noktası: Geniş bir gerilim (V) ve akım (I) değeri aralığında PV hücre çalışabilir. Dirençte oluşan yükü sıfırdan (kısa devre) çok yüksek bir değere (açık devreye) sürekli olarak arttırarak maksimum güç noktası belirlenebilir. Maksimum güç noktasında $V \times I$ değeri yüksek olduğu noktada PV hücre bulunduğu ışıyım seviyesinde en yüksek elektrik üretimine geçer. Kısa devre ve açık devre sınır değerlerinde çıkış gücü sınır değerleri sıfırdır. PV hücrenin üretebileceği en yüksek çıkış gücü, Şekil 3.4'te görüldüğü gibi, hücrenin I-V eğrisi içine çizilebilecek maksimum alanlı dikdörtgenin alanına eşittir (Öztürk, 2017).



Şekil 3.4. PV hücrenin akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) özellikleri (Öztürk, 2017)

3.2.5. Verimin Test Edilmesi

Hücre ve modüllerde verim farklı anlamlarda yer almaktadır ki bireysel olan PV hücre de verim, PV modüldeki verimden daha yüksek seviyede yer alır. % 5 ile % 20 arasında verimi olan hücrelere güneş enerjisi elektriğe dönüştürülebilir ama verim konusunda % 10 değeri altında bulunan güneş hücreleri, uygulama konusunda verimli ve ekonomik olmamaktadır. Yarı iletken güneş hücresinin verimi; laboratuvar koşullarında % 10 – 30 değerlerinde iken uygulama sahasında % 5 – 20 değerleri arasında değişiklik gösterir. Uygulama alanlarında verim % 15 değerinde bulunan güneş hücresi iyi bir güneş hücresi olarak değerlendirilmektedir (Öztürk, 2017).

PV sistemde verime etki eden unsurlar şu şekilde sıralanmaktadır:

- PV hücre malzemesi
- PV hücre akım ve gerilim özellikleri
- Dolu (şarj) kontrol cihazı özellikleri
- Dönüştürücü verimi
- Akümülatör verimi
- Sıcaklık değerleri
- PV sistem gölgelenme durumu
- Kullanılan kablonun kalınlığı

- PV tesisat üzerinde toz/kir birikmesi
- PV tesisatın yönlendirilmesi
- PV dizilerin eğim açısı
- PV hücrelerin yüzeyine uygulanan işlemler
- PV tesisata uygulanan bakım/onarım işlemleridir.

Hücre veriminin yüksek olduğu modüllerin birim alan başına verebildikleri güç değerleri fazla olduğu zaman bu tip hücrelerdeki yüzey alanları küçük tesisatlarda kullanım için uygun olmaktadır. Hücre ve modül verimliliklerinde farklılıklar olmaktadır. Örnek olarak tek kristal silikon bir hücre verimi %24 oranlarındayken aynı hücrelerden oluşmuş modülde verim %13-17 oranlarında olabilmektedir. Çok kristal silikon hücre %18 verim verirken modülde bu durum %11-15 arasına tekabül etmektedir. Amorf silikon hücrede %11-12 verimleri modülde % 5-8 oranlarına inmektedir. Sebebinin açıklayacak olursak modül verimi hesaplamasında tüm panelin yüzeyi dikkate alınarak yapılmasından meydana gelmektedir. Panelin düzlem yüzeylerinde PV hücre dizilerinin arasında kalan elektriksel alan işe yaramaz yüzeyler de bulunduğu için verim hesaplaması yapılırken verim azaltıcı etkiye bulunmaktadırlar. Sistemin toplam maliyetinde %55-60 oranında modül maliyetleri oluşturmaktadır (Öztürk, 2017).

PV Hücre Verimi: Hücrede verim kaybına sebebiyet veren iki önemli etken geleneksel p-n eklemede; yasak bant aralığından düşük olan fotonların enerjisini soğurulamaması ile yüksek enerjili fotonların fazla olan enerjilerinin ısıya dönüşmesi olarak sıralanabilir. Bu mekanizmaların kayıpları çevrimden elde edilen enerjinin yarısının kullanılmadığını açıklamaktadır. Yeni nesil güneş pillerinde bu kullanılmayan enerji açıklarından yararlanılarak verimi arttırmak iyi bir hedef olacaktır (Öztürk, 2017).

Tablo 3.2. Değişik tip PV hücre ve modül verimlerinin karşılaştırılması (Öztürk, 2017)

PV Teknoloji		Hücre Verimi (%)	Modül Verimi (%)
Kristal Silikon	Tek Kristal silikon	25,0	14 – 16
	Çok Kristal Silikon	21,3	14 – 16
	Galyum Arsenik	37,5 – 29,1	
İnce Film	Amorf Silikon	13,6	6 – 9
	Kadmiyum Tellür	22,1	9 – 12
	CIS/CIGS	22,3	8 – 14

Hücre Verimine Etki Eden Etmenler:

- PV hücre yüzey malzemesinin ışıyım özellikleri
- Güneş ışıyımının spektral özellikleri
- Güneş ışıyılarının PV hücre üzerine geliş açısı
- Ortamdaki havanın sıcaklığı
- PV hücrenin iç seri direncinden kaynaklanan kayıplar
- PV hücrenin kalınlığı
- PV hücrenin eğim açısı
- PV hücrenin temizliği

FV panel verimi: Teorik olarak PV panellerin verimlerinin özdeş olan hücrelerin verimleri ile aynı olması gerekmektedir ama panellerin verimleri gerçek ortamlarda düşük olmaktadır. Panel kurulumundan kaynaklanan verim düşüklüğünün olduğu bir sistemde hücreler seri ve paralel bağı kurulu iken seri hatta olan en düşük akımlı olan hücre seri hattının akımını belirlemiş olacaktır. Paralel bağlanmış seri olan hatlarda ise en düşük olan gerilim değeri çıkıştaki gerilim değeri belirlemiş olacaktır. Hücreler arasında oluşturulan bağlantıda uyumsuzluk verim düşüklüğünü oluşturacağından hücrelerin birbirine bağlandığı her bağlantıda sistemdeki toplam dirence eklenecektir (Öztürk, 2017).

Güneş ışığının etkileri: Işık akımı (I_{ph}) güneş ışığı ile ilgili bir durum olduğu için tasarımlarda da güneş ışığını göz önünde bulundurmak gerekli bir konudur. Gölgeleme durumlarında ve bulutlu havalarda paneldeki kısa devre akımı değeri I_{sc} önemli bir derecede düşüş göstermekteyken açık devre gerilimi V_{oc} değişimine oranla düşük kalmaktadır. Örnek olarak verecek olursak SW-165 solar paneli, 200 W/m^2 ile 1000 W/m^2 ışıyım değerlerinin alt seviyesinde göstermiş olduğu verimdeki değişim ile kıyaslanırsa, aşağıdaki yer alan Denklem 3.2 ortaya çıkacaktır (Öztürk, 2017).

$$\frac{n_{200} - n_{1000}}{n_{1000}} = \frac{31W/200W/m^2 - 165/1000W/m^2}{165/1000 W/m^2} = -0.06 \quad (3.2)$$

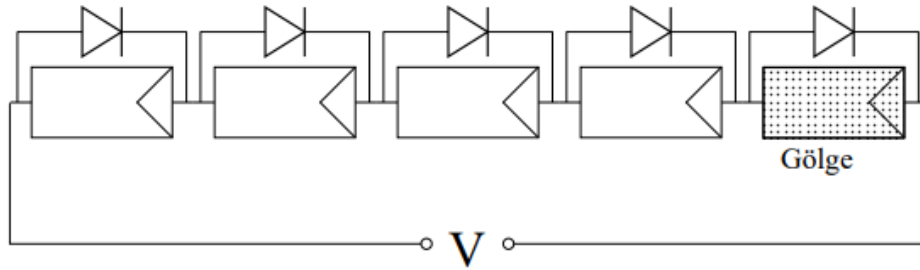
Gece ya da ışık tarafından gölgeleme olduğu zamanlarda sistem üzerinde bağı olan ek bir üreteç (Batarya, jeneratör v.s.) mevcutsa panele doğru akım geçişine engel olmak için panel ile üreteç arasında, panele doğru olan akımın geçmesini engellemek maksadıyla bir

diyot yerleştirilir. Yoğunluk sonrasında güneş ışığı açısında da benzer sebeplerden kaynaklı panelde işleyişte önemli bir derecede değişiklik olur.

Açılardaki değişim referanslarına göre yapılan açılardaki değişimlerde $\cos \theta$ değerinde de bir değişim meydana gelecektir. Kosinüs kuralında $0^\circ - 50^\circ$ arasında takip etme durumu varken 50° sonrası içinde Kelly cos değeri ile uyum gösterir ve bu seri sonuçlarına göre panel 85° sonrasında enerji üretimi konusunda güçsüz kalır.

Gölgenin verime etkisinin belirlenmesi: Verim durumu göz önünde bulundurularak seri bağlantıların kullanıldığı hücre ve hücre bazlı yerlerde kısmi anlamda oluşabilecek gölgelenmeler panelin ölçeğinde güç kaybına neden olabilir ki bu önemli bir derecedir. Gölgeleme olduğunda hücrede üreteç özelliği kaybolur. Işık akımı ışıınım ile doğru bir orantıya sahip olduğu için hücrede ters bir kutuplaşma oluşur. Hücre üzerinden akım geçmeye başladığı zaman direnç gibi enerji tüketen hücre ısınmaya başladığı için hücrede panelin akım kapasitesi yani veriminde düşüş meydana gelir. İstenmeyen bir durum olduğu için diyotlar çözüm yolu olarak kullanılır.

Solar hücrelerin seri bağlanması sonucunda elde edilen Şekil 3.5'te görüldüğü üzere, gölgeli olamayan hücrelerde gerilim bağlandıkları diyotlarda ters kutuplanma gerilim etkisi yapacağı için diyotlardan bir akım geçişi meydana gelmeyecektir.

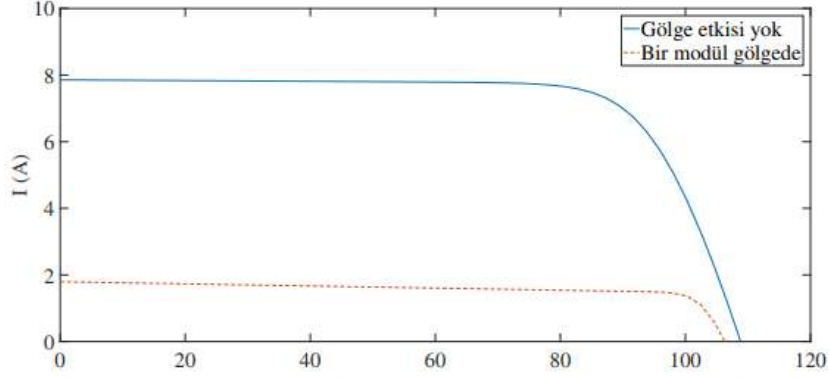


Şekil 3.5. Hücresel bazda gölgelenme durum

Gölgenin etkisinde kalan gösterilmiş olan taralı kısımda diğer hücrelere göre ters bir voltaj meydana gelip diyot iletken hale gelerek üstünden akım geçirir hale gelecektir. Gölgeli alan içerisinde kalan diyot üzerinde ise gerilimde düşüş meydana geleceği görülmektedir. Her hücreye diyot bağlamak gölge etkisi ve hotspot oluşumunu önlemekten ziyade maliyet konusunda bir artış getireceği için seri bağlı olan belirli sayıdaki hücre kümesine bağlantı yapılmaktadır.

Hücresel alanda oluşan gölgeleme ile panellerin kurulu olduğu sistemin gölgelenmesinde bazı sıkıntılar meydana gelecektir. Dizi ölçeğinin gölgelenmesinde

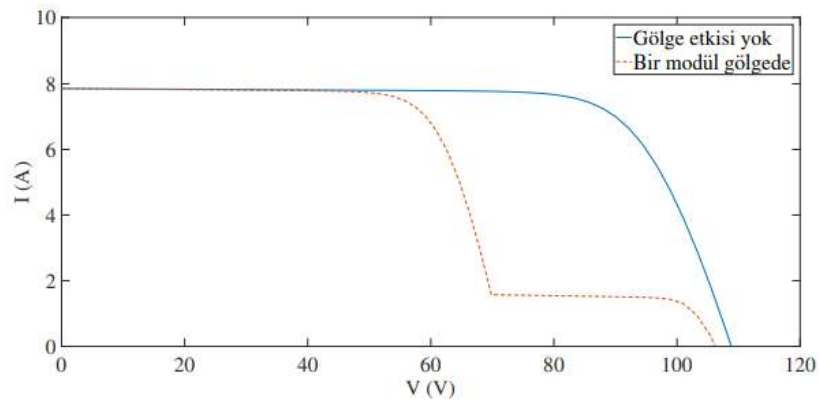
hücresel ölçek benzeri sonuçlar oluşturacaktır. Şekil 3.6 yer alan üç panelin olduğu bir dizide her panel aynı 1000W/m^2 'lik ışıınımdaki durumu ve bir panelin 200W/m^2 ışıınımda olduğu gölge altında kalınan durum için I-V eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Gölge etkisini gösteren modelin I-V eğrisi

Eğri üzerinden anlaşılacağı üzere gölgede kalan panelde tüm dizi için bir akım sınırlayıcı etki göstermektedir ve bu da bir enerji kaybına neden olmaktadır. Küçük ölçekte olan bir gölgeleme de bile panelin akım çıkışı noktasında önemli ölçüde düşüş meydana gelebilmektedir.

Sistemlerin kurulumu göz önünde bulundurularak sık bir şekilde karşı kalınabilecek duruma mani olabilmek için gölge etkisinde kalacak olan panele geçiş diyotu eklenerek enerji kaybında bir düşüş oluşacaktır. Şekil 3.7'de bu durum karşısında meydana gelebilecek akım gerilim eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Gölge etkisindeki geçiş diyotlu modelin I-V eğrisi

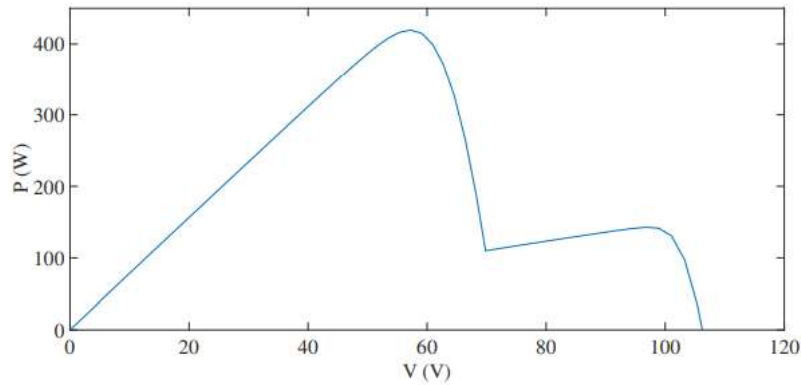
Panel dizileri yeterli büyüklüğe ulaştığı zaman tümünden veya genelinden parçalı bir gölgelenme durumu görülecektir. Panellerin bir veya birkaç tanesi gölge altında kaldığı

zaman ki bu gölgenin durumuna bağılı olarak değişebilir sistem elektrik üretmez hale gelebilir ve bu durumda sisteme bağılı olduğu için gücü tüketici bir rol oynamaya başlar. $P_k=12R$ formülü kullanılarak kendi dirençleri üzerinden enerji tüketimine başlarlar.

Kısa süreli olan gölgeleme durumunun yarattığı güç kaybı kritik değeri aşmadığı sürece aşılabılır. Ama gölgelenme durumunun aşırı olduğu zamanlarda gölgede kalan panellerin bağılı olduğu kolları enerji üretiminde tamamen bir duruş yaşanabilir.

Uygulama kısımlarında böyle bir olayı önlemede panellere geçiş diyotu parçalı olarak montaj edildiğinde oluşan durumda, kritik eşik durumu aşıldığı zaman sorunlu panel ile ona aynı diyot ile bağlanmış diğer panellerde ise düşüş yaşanır ki yeni olan modellerin birçoğunda standart olarak bulunmaktadır.

Şekil 3.8’te görülen kısmi gölge kaynaklı sorunların etkisi ile geçiş diyotu minimize edilse de şekilden görülebileceği üzere güç ve gerilim eğrilerinde iki tane tepe noktası meydana gelmektedir. Bu durumda maksimum güç noktası takip sisteminde sorun oluşturabilir. Takip sistemi yerel maksimum noktaya takılıp kalabilir.



Şekil 3.8. Gölge etkisindeki geçiş diyotlu modelin P-V eğrisi

Geçiş diyotlarının kullanılıp güç kayıplarından dolayı oluşan özel durumlarda yeniden değerlendirilmesi yapılabilir. Diyotlar aracılığıyla sağlanan güç kazanımlarının sebep olduğu özel durumlar tarafından yeni baştan bir değerlendirme yapılabilir. Diyotlar tarafından sağlanan güç kazanımı sebep olduğu kayıplardan fazla olması durumunun meydana gelmesine izin verilmemelidir. Çağdaş şarj kontrol üniteleri ve eviriciler karanlıktaki diziyi devre dışına bırakarak geçişte kullanılan diyotları devre dışında bırakarak gereksiz bir duruma getirebilir.

3.2.6. Sıcaklık ve Nemin PV Sistemler Üzerindeki Etkisi

Sıcaklık artışı ile birlikte PV hücrelerde kısa devre akımında artış oluşurken açık devre geriliminde azalma oluşur. Bu sebepten dolayı yüksek sıcaklıklarda çalışmalar sistemlerde güç ve verimi olumsuz anlamda etkilemektedir ki bu durumda hücre veriminde azalma meydana gelmektedir. Bu düşüşler mono ve polikristal silikon hücrelerde ince tabaka hücrelerine nazaran daha belirgin bir hal almaktadır. Kristal silikon hücreden oluşan modüllerin soğuk tutulması için çaba gösterilmeli gereklidir ve çok sıcak şartlarda ince tabaka – amorf silikon hücreler tercih edilmelidir.

Sıcaklıkların her 1°C artış göstermesi elde edilen güç oranlarında % 0,5 değerinde azalma göstermektedir. Amorf silikon hücrelerde ise 1°C olan sıcaklık artışı, güçte % 0,2 oranında azalma göstermektedir. PV panelden üretilmiş olan akım güneş ışığının yoğunluğu ve radyasyonu ile artış göstermektedir. Işınım oranında önemli bir değişim olması akımda da önemli bir değerde değişim oluşturmalarına rağmen gerilim oranı sabit kalmaktadır.

Sıcaklık etkisi: I_{sc} artış gösteren sıcaklık değeri ile birlikte artış gösterirken V_{oc} azalma gösterir. Verilerin olduğu sayfalarında akım değerinin katsayısının değerini artı gösterirken gerilim değeri için verilen katsayıyı eksi işareti olarak gösterir. Bu terimlerdeki sıcaklık ile olan değişim şu şekilde formül haline getirilebilir:

$$I_{sc} = I_{scn}(1 + K_i\Delta T) \quad (3.3)$$

$$V_{oc} = V_{ocn}(1 + K_v\Delta T) \quad (3.4)$$

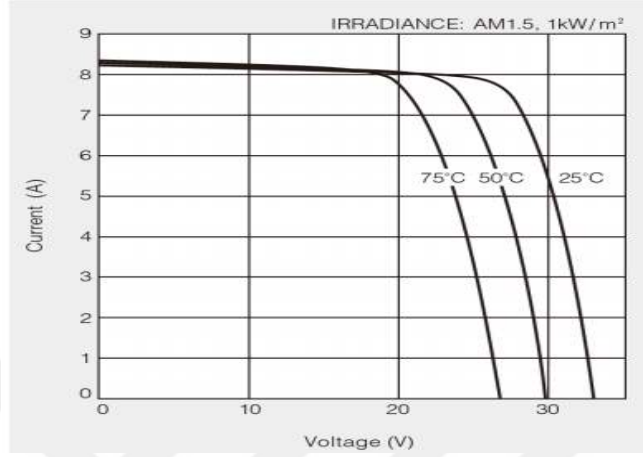
STC değeri için bu denklemler I_{scn} ve V_{ocn} kısa devre akımı ve açık devre gerilimini göstermektedir. Solar panel işletme sıcaklığında olan bu değerler (I_{sc} ve V_{oc}) kısa devre akımı ve açık devre gerilimi olarak tanımlanır. Elde edilen bu akım gerilim denklemleri içinden güç denklemi çıkartılırsa aşağıda yer alan Denklem 3.5 elde edilir.

$$P = V I = V_{oc}I_{sc}[1 + (K_i + K_v)\Delta T] \quad (3.5)$$

Bu denklemde KC200GT güneş panelinin değerleri yerine yazılırsa Denklem 3.6 elde edilmiş olur.

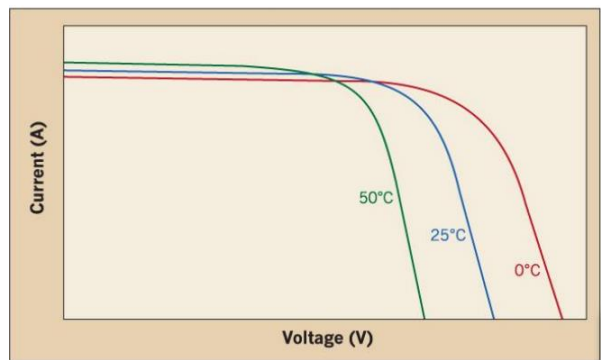
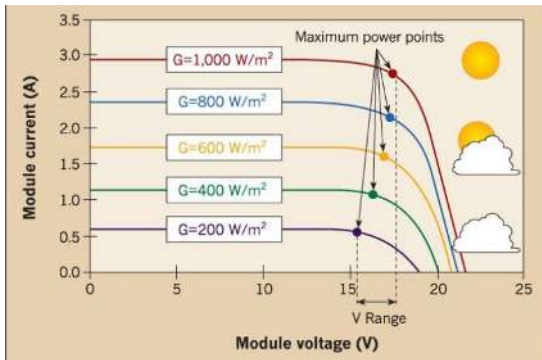
$$\begin{aligned} P &= V_{oc}I_{sc}[1 + (0.0032 - 0.1230)\Delta T] \\ P &= P_0[1 + (-0.1198)\Delta T] \end{aligned} \quad (3.6)$$

Denklem 3.6’de görülen sıcaklık artışında güç ve akımda farklı etkiler görülmesi sonucunda, etki derecelerinde fark oluştuğu için güç düşüşü meydana gelmektedir. Şekil 3.9 ile gösterilmiş olan KC200GT güneş panelinin eğri çizgileri bu meydana gelen durumu ortaya koymaktadır.



Şekil 3.9. KC200GT panelinin farklı sıcaklık için I-V eğrisi

Sıcaklık artışı sonrasında PV hücrelerde kısa devre akımında artış görünürken açık devre geriliminde bir azalma görülmektedir. Bu sebepten dolayı yüksek çalışma sıcaklığı PV sistemlerin güç ve verim konusunda bir olumsuzluk vermektedir. Hücre veriminde artış gösteren sıcaklık düşüş göstermeye başlar. Bu düşüşün en belirgin hali mono ve polikristal silikon hücrelerde ince tabaka (thin film) hücrelerine göre daha açıktır. Bu sebebi göz önünde bulundurarak kristal silikon hücreli modüllerin soğuk tutulması için bir çaba harcanıp, çok sıcak şartlarda ince tabaka– amorf silikon hücrelerin tercihi sağlanmalıdır. Şekil 3.10’da sıcaklığın kristal silikon hücreli PV modüllerin I – V Akım Gerilim eğrisine olan etkisi görülmektedir.



Şekil 3.10. Sıcaklığın kristal silikon hücreli PV modüllerin I-V eğrisine olan etkisi

Şekil 3.10'da verilmiş olan, PV eşdeğer devresindeki diyotta doyma akımı I_0 ve I_0 'ın sıcaklığa bağlı ifadesi Denklem 3,7'de gösterilmiştir. Bu denklemde, Şekil 3.10 'da verilen eğri sıcaklık durumuna bağlı olarak akım değişiminden nasıl etkilendiği ortaya konulmuştur.

$$I_0 = \frac{I_{sc,n} + K_i \Delta T}{\exp\left[\frac{V_{oc,n} + K_v \Delta T}{\alpha V_t}\right] - 1} \quad (3.7)$$

Formülde; nominal şartlar altında I_{sc} kısa devre akımı, V_{oc} açık devre gerilimi, K_v açık devre gerilim/sıcaklık katsayısı ve K_i kısa devre gerilim / sıcaklık katsayısıdır. Işınımın perdelenmesine atmosfer içerisinde bulunan fazla su buharı neden olmaktadır. Havada buluna su buharı yağmur ve kar olarak yoğunlaştığı zaman atmosfer daha berrak bir hal alarak ışıınım engellenmesini en az seviyede tutar.

3.2.7. Rüzgâr Yönü ve Hızı

Enerjinin üretilmesinde hava şartları güç akışında engel oluşturur. Modüldeki ısı ortamdaki ısıdan, bulut yapısından, rüzgâr hızından ve PV sistemin pozisyonundan etkilenir. Rüzgâr hızı PV panelde sıcaklık düşüreceği için; PV hücre sıcaklığı rüzgâr hızına büyük oranda, rüzgâr yönüne küçük oranda duyarlı kalmaktadır.

3.3. Saha Testleri

IEC 62446 ve IEC 60891 kapsamında güneş enerjisi santralinde performans denetleyip ölçüm yapabilmek için testler yapılması gerekmektedir. Bu testler başlıca I-V Curve (akım gerilim) ölçümü, dronlu termal testler, EL (elektrolüminesans) testi, izolasyon testi, topraklama testi ve performans ölçümüdür (URL-22, 2022).

IEC EN 62446 Standardı ile yapılan zorunlu ve seçenekli ölçümler Kategori-1 ve Kategori-2 Testleri olarak sınıflandırılmaktadır (URL-22, 2022).



Şekil 3.11. Santral kontrol testleri

Tablo 3.3. Kategori testleri

Kategori – 1 Testler	Kategori – 2 Testler
• Topraklama ve Süreklilik Testleri • Polarite Testleri • V_{oc} ve I_{sc} Ölçümleri • Fonksiyon Testleri • İzolasyon Testleri	• Tüm Panoların Termal Kamera İle Kontrolü • PV Modüllerin Termal Kamera İle Kontrolü • PV Modüller ve Dizileri İçin I-V Eğrisi Ölçümleri

3.3.1. Kategori-1 Testler

Topraklama ve Süreklilik Testleri

Elektriksel tüm tesislerde topraklama konusu önemli bir konu olarak görülmektedir. Kaçak akım korumasında, yıldırım gibi genel korumalar konusunda topraklama ciddi bir öneme sahiptir. Meydana gelecek bir kopukluk topraklama ve eş potansiyel durumunda sisteme ciddi bir şekilde zarar verebilir. Bu kapsamda kayıt altına almak için eş potansiyel barasının megger ile topraklama ölçümü yapılmasının yanı sıra konstrüksiyon ve güneş panellerinin topraklama ölçümleri gerçekleştirilmeli ve problem görüldüğü anda gereken tüm önlemlerin alınmış olması gerekmektedir.

Elektriksel süreklilik testlerinin yapılmış olduğu ve ana topraklama terminalinin bağlantı doğruluğunun kontrol edildiği DC taraftaki koruyucu topraklama ve/veya eş potansiyel kuşaklamanın bağlı bulunduğu yerlerde tüm iletkenlerin üzerinde yapılması gereklidir.



Şekil 3.12. Santral kontrolü yardımcı cihazlar

Polarite Testleri

Polarite kontrolünü diğer testleri yapmadan, anahtarı kapatmadan veya dizi aşırı akım koruma cihazlarının bağlanma öncesinde, güvenlik ve bağlanmış olan ekipmanları hasardan korumak için önemli büyüktür.

By-Pass diyotların ve modüllerin önceden bağlanmış olduğu sistem üzerinde kontrolünün yapılmış olması ve bir dizinin üzerinde ters polaritenin bulunması durumunda kaynaklanan hasarın kontrol edilmesi gerekmektedir. Şekil 3.13'te inverter kontrolü yapılmaktadır.



Şekil 3.13. İnverter kontrolü

V_{oc} - I_{sc} Ölçümleri

Modül dizilerinin doğru bağlanması ve dizi içerisinde beklenen sayıda olan modüllerin seri olarak birbirlerine bağlanması konusu açık devre gerilimi (V_{oc}) ölçümünün kontrol edilmesi amacıyla taşımaktadır. Ara bağlantı atlanması veya yanlışlık sonucunda dizinin içerisinde yanlış sayıda modülün birbirine bağlanmasında büyük sistemler içerisinde hata ortasını açık devre gerilimi hızlı bir şekilde tespit eder.

Sistemin doğru çalışma karakteristiklerinden emin olabilmek için PV dizi kablolamasında kısa devre akımı (I_{sc}) ölçümü kullanılarak büyük bir hatanın olmadığı doğrulanmak istenmektedir. PV dizilerinin doğru çalışması üzerine, kısa devre testi ve çalışma testi olmak üzere iki test yöntemi bulunmaktadır. İnvertörlerden gelen etkilerin hariç olduğu kısa devre testlerinin tercih edilmesi mümkün olduğu zamanlarda kullanılması istenmektedir.

Fonksiyon Testleri

Şalt cihazı ile birlikte monte edilen diğer kontrol aparatlarının bağlantısının doğru olduğu ve düzgün çalıştığı konusunda kesin olmak üzere test edilmesi gereklidir.

Tablo 3.4. Test kontrol parametreleri

AC PANO NO	İNVERTÖR NO	KESİCİ FONKSİYONU	DEVREYE GİRME SÜRESİ
1	1	Başarılı	50 sn
1	2	Başarılı	50 sn
1	3	Başarılı	50 sn
1	4	Başarılı	50 sn
2	5	Başarılı	65 sn
2	6	Başarılı	65 sn
2	7	Başarılı	65 sn
2	8	Başarılı	65 sn

İzolasyon Testleri (Hipot) Testleri-IEC 62446

Panel toprak arasında 1.000 V olan bir gerilime tabi tutulan güneş panellerinde izolasyondaki direnç kontrol edilir. Eviricilerin devre dışı kalmamasının öneminin dışında panellerden kaçak olmaması ve insana zarar vermemesi istenmektedir. Bu aşamada EPC firmaları tarafından kablaj sırasında verilen zarar aşamada tespit edilip devreye alınma aşamasında çok önem arz etmektedir.

1	INVERTER1 / STRING1 26.06.2018 15:18	PASS
	RISO + R: 885MΩ Um: 1050V Uiso: 1000V Limit: 200MΩ	PASS
2	INVERTER1 / STRING2 26.06.2018 15:20	PASS
	RISO + R: 679MΩ Um: 1050V Uiso: 1000V Limit: 200MΩ	PASS
3	INVERTER1 / STRING3 26.06.2018 15:20	PASS
	RISO + R: >999MΩ Um: 1050V Uiso: 1000V Limit: 200MΩ	PASS

Evirici	Dizi	Sonuç
GES Evirici 1	1 – 17	> 2 MOhm
GES Evirici 2	1 – 17	> 2 MOhm
GES Evirici 3	1 – 17	> 2 MOhm
GES Evirici 4	1 – 17	> 2 MOhm
GES Evirici 5	1 – 17	> 2 MOhm
GES Evirici 6	1 – 17	> 2 MOhm
GES Evirici 7	1 – 16	> 2 MOhm
GES Evirici 8	1 – 17	> 2 MOhm
GES Evirici 9	1 – 17	> 2 MOhm
GES Evirici 10	1 – 17	> 2 MOhm
GES Evirici 11	1 – 17	> 2 MOhm
GES Evirici 12	1 – 17	> 2 MOhm
GES Evirici 13	1 – 17	> 2 MOhm
GES Evirici 14	1 – 17	> 2 MOhm

Şekil 3.14. Test kontrol parametreleri

Bu ölçüm sonuçlarına göre aşağıda yer alan konular ile ilgili bilgi sahibi olunabilir:

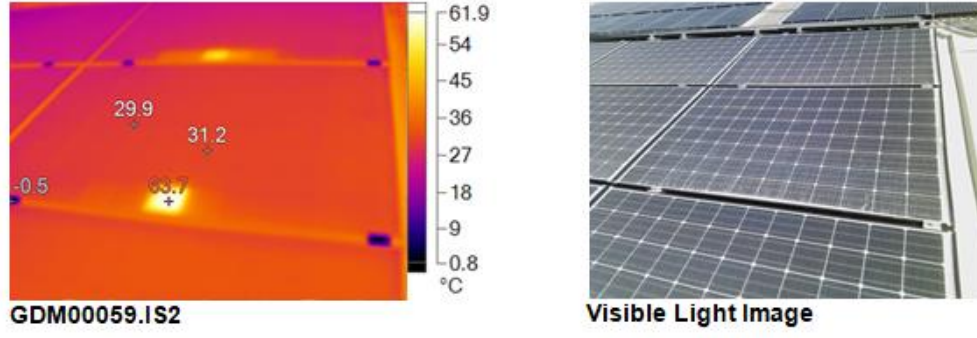
- Kablolarda bir zarar var mı?
- Faz-toprak hatası güneş panelleri bölgesinde DC akım tarafında var mı?
- Eviriciyi devre dışında bırakacak olan izolasyon direncinde etki gösteren herhangi bir problem var mı?

3.3.2. Kategori-2 Testler

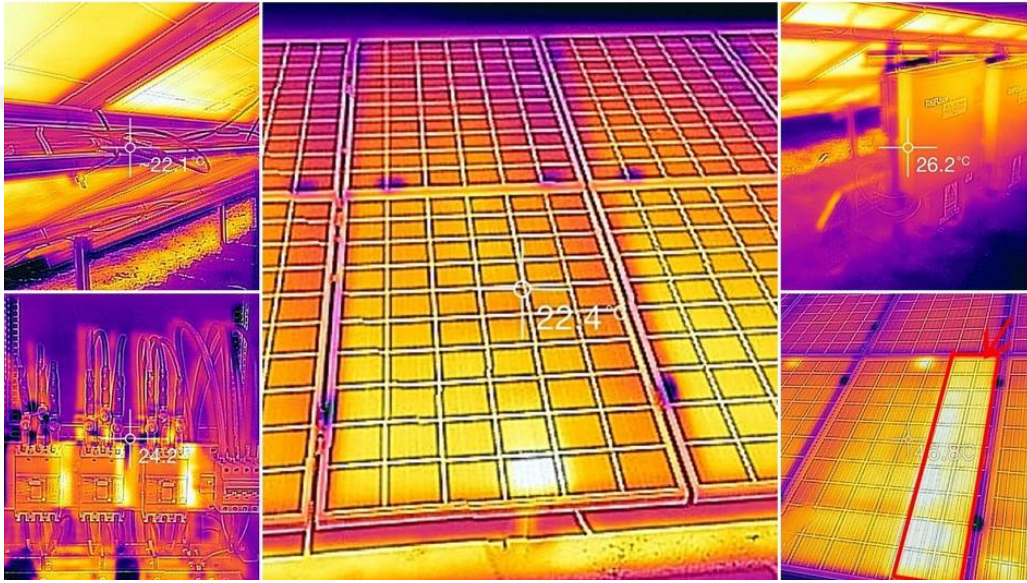
Termal Denetim / Drone ve El Termali ile Hot-spot Ölçümü-IEC 62446 / IEC 61215

Enerji üretiminde kayıpları önlemek için sıcak noktaların termal kamera ile denetlenmesi hızlı ve güvenilir şekilde yapılması enerji tüketim performansının en üst seviyede tutulması önemli bir amaçtır. Fotovoltaik panellerde oluşan hotspotlar ile AC ve DC panolar, kablo, konnektör bağlantıları da bu yöntemle görülebilmektedir.

Drone ve el termal kamerası ile güneş panellerini devreye alma işleminden sonra hot-spot kontrollerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Problem tespiti konusunda termal denetimler önem arz etmektedir (URL-23, 2022).



Şekil 3.15. Panel termal görüntüleme (URL-23, 2022)



Şekil 3.16. Santral termal görüntüleme (URL-23, 2022)

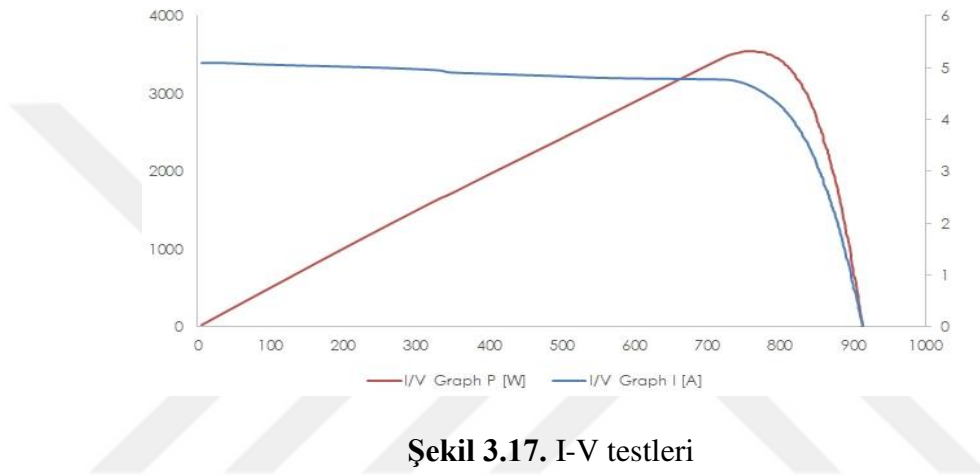
Termal denetim sonrasında aşağıda yer alan konular hakkında bilgi sahibi olunabilir;

- Zarar gören hücreler
- By-Pass diyotu, J-Box gibi panel malzemelerindeki ısınmalar
- Gölgeleme vb. çevre etmenlerinin verdiği zararlar
- Hiç devreye alınmamış dizileri
- Hot spot tespiti
- Montaj hatasından kaynaklanan problemler
- Kablo, toplama panoları, bağlantı noktaları, eviriciler ve güç ünitelerindeki sıcaklık farkları (URL-23, 2022)

I-V (Eğrisi) Ölçümü – IEC 60891

I-V grafiği bazı vermiş olduğu bilgiler dışında (akım-gerilim) ölçümleri ile PV modül ve modül dizileri için LID, PID, mikro-çatlak, degradasyon vs. gibi problemlerinde tespit edildiği görülmektedir (URL-24, 2022).

Yapılan ölçümler kayıt defterine benzetilebilir olduğu için ilerleyen zamanlarda yapılacak olan kontrollerde güneş panellerinin kullanım sürelerinden (ömür) kaynaklı verim kayıpları ne kadar olduğunu görülmesi açısından faydalıdır. Panelden enerjinin eksik üretilmesi durumunda, neden eksik üretim olduğunu bu test yöntemi ile belirleyebiliriz (URL-24, 2022).



Şekil 3.17. I-V testleri

I-V testi sonucunda aşağıdaki konularda bilgi sahibi olunabilir;

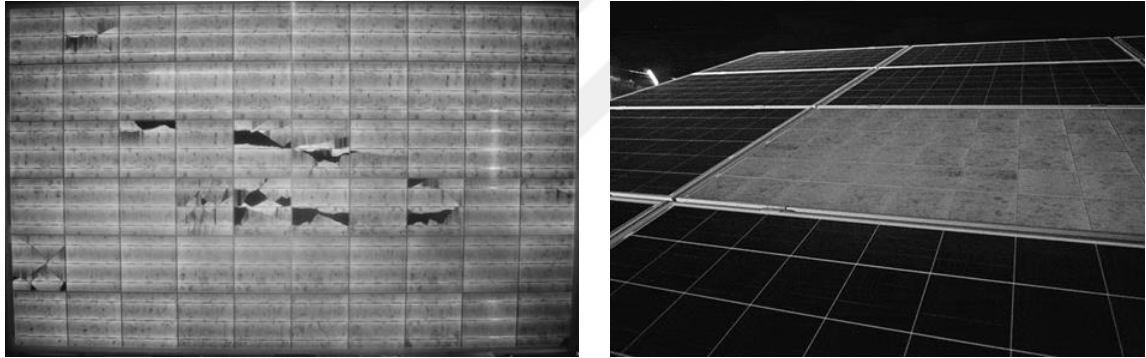
- V_{oc} , I_{sc} , V_{mpp} , I_{mpp} , P_{maks} Ölçüm sonuçları
- Dizi performans ölçümü
- Modül / Dizi doluluk oranı
- Modül ya da sıra kusurlarının veya gölgelenme sorunlarının tanımlanması.
- Modül üzerinde yer alan kirlilik kaynaklı oluşan problemler
- LID / Işık kaynaklı bozulma (Light induced degradation) kaynaklı sorunlar
- PID / Potansiyel kaynaklı bozulma (Potential induced degradation) kaynaklı sorunlar
- By-pass diyotları kaynaklı sorunlar
- Panel serilerindeki muhtemel hatalı bağlantılar
- Bir bölgesinde kesik oluşmuş veya herhangi bir bölgede fare yemesi gibi sebepler dolayısıyla DC kablolardan kaynaklanmış toprak teması olan veya kaçak durumu var mı?

Elektrolüminesans (E.L.) Görüntüleme Testi IEC 61215 / IEC 61646

Hücrelerin üzerinde bulunan kristal yapıdan bilgi almak için elektrolüminesans görüntüleme, fotovoltaik modüllerin voltaj geri beslemesi ile yaymış olduğu üst kızılötesi dalga boyunda ışık analizi edilerek kullanılan yöntemlerdir. Modüller üzerinde küçük çatlaklar, üretim esnasında oluşan sorunlar lehimleme ve omik kontaklar benzeri çalışmayan bölgeler kolay şekilde belirlenebilmektedir (URL-23, 2022).

Modüllerin üretim sonrasında uygun şekilde taşınması, montaj yapıldığı zaman da hücrelerdeki yapısal kusurların oluşması ve bu kusurların laboratuvar ortamında tespit edilmesinin zahmet verici olmasının yanı sıra maliyet arttıracığı için santralin kurulumu sonrasında sahada tespit edilmesi daha uygun olacaktır (URL-23, 2022).

Elektrolüminesans fotoğrafı çekilen güneş panelinin müşteriye sunumu yapılır ki kullanılan hücrelerin gelecek zamanda meydana gelebilecek problemlere göre röntgen olarak düşünülebilir. Hücrelerin imalatlarında ve santralin kurulum aşamasında zarar görüp görmediğini bu şekilde görülebilir (URL-23, 2022).

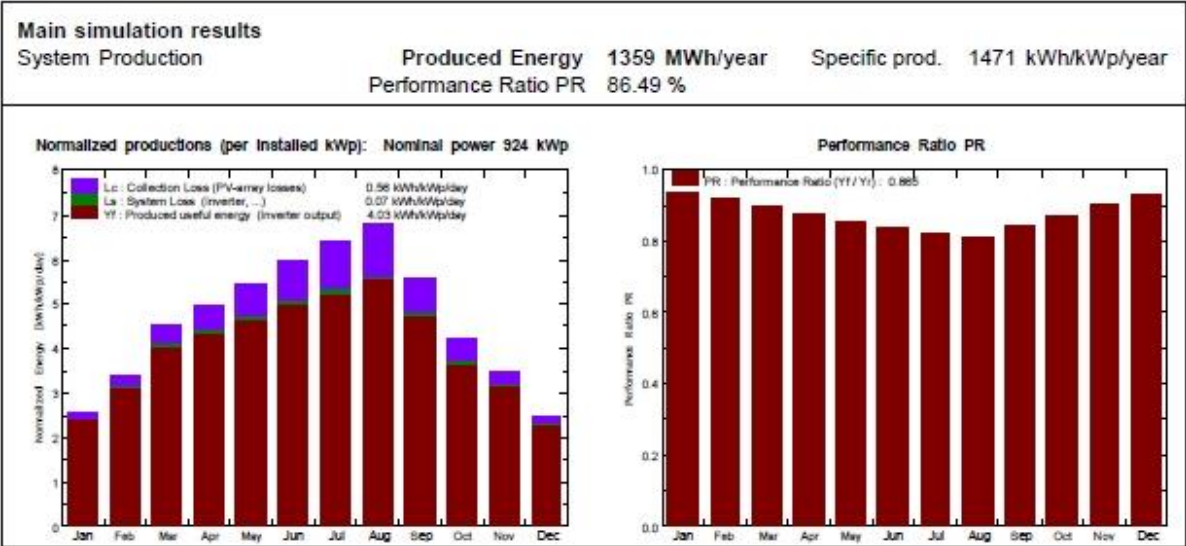


Şekil 3.18. Santral ön incelemeleri

PVSYST Simülasyon Raporlama

PVsyst, fotovoltaik sistem tasarımlarının yapıp sonuçlarının analiz edilmesi için geliştirilmiş ve en yaygın olarak kullanılan tasarım programıdır.

Santralden üretilmesi gereken enerji ile üretilen enerji santralin gerçek konumu kullanılarak Meteonorm/NASA verileriyle bir yazılım üzerinden benzetim gerçekleştirilip güneş enerjisi santralinin performans değeri belirlenmiş olur. Sistem kurulmadan yazılım üzerinde benzetim gerçekleştirilerek kurulması planlanan santralde tahmini üretim değerleri belirlenip bu değerlerin analizleri yapılabilir.



Şekil 3.19. Simülasyon göstergeleri

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Fotovoltaik Sistemlerde Oluşan Arızalar ve Kayıplar

Temelinde iki bölümden oluşan güneş pilinde ilk bölüm ışımanın büyük bir kısmını soğurabilecek şekilde kalın yarı iletken malzemeden yapılan katman ki bu katmanda fotovoltaik etki oluşur. Elektron-deşik çifti birleşme ve akım vermeden önce ısı açığa çıkarmaya meyillidir ki bu durumda güneş pilinin yarı iletken olan kısmı devreye girer, bu da ikinci temel bölümü oluşturur.

Fotovoltaik paneller 5 ana parçadan meydana gelmektedir. Alt-üst polimer tabakalar, fotovoltaik hücreler, cam kapak, metal dış çerçeve, parçaların üzerine yerleştirileceği arka taban plakası olarak sıralanabilir.

Fotovoltaik hücre çeşitleri olarak mono-kristal silisyum, poli-kristal silisyum, amorf-silikon hücreler, galyum arsenik, ince film, copper indium deselenide ve kadmiyum telorayt sıralanabilir.

Seri bağlı sistemlerde; gerilim fotovoltaik panellerin bağlantı sayısı ile doğru orantıda artış gösterirken akım sabit olarak kalmıştır. Paralel bağlı sistemlerde; aynı akım ve gerilim özelliğinde olan fotovoltaik panellerin olduğu sistemlerde gerilim sabit durumda seyrederken akım modül sayısına bağlı olarak doğru orantılı şekilde artış göstermektedir. Seri ve paralel bağlı sistemlerde; aynı akım ve gerilim değerlerine sahip fotovoltaik pillerin dizilerinde geriliminde ve akımında modül sayısına bağlı olarak artış göstermektedir.

Fotovoltaik modüllerin temel karakteristikleri sıcaklık ve ışıyım güç yoğunluğuna göre değişim gösterebilmektedir. Modül yüzeyine gelen ışıyımlar hücreler tarafından emilim olmadan geriye doğru döner. Emilimin gerçekleştiği kısımdan da elektrik enerjisine dönüşüm sağlanır. Modüllerde oluşan gölgelenmeler, ufuk gölgelenmesi ve modül gölgelenmesi olarak sıralanırken modülden kaynaklanmış olan kayıpların katalog değerleri ve gerçek değerler için fark olduğu görülmesi için standart test koşulları içerisinde farklılıkları modüllerin güç çıkışlarındaki kayıplar şeklinde tanımlanabilir (Deniz, 2013).

Sistemde arıza kaybının en az seviyede olması istenirken sistemin kullanmış olacağı enerji en yüksek seviyede olmalıdır. Bu durum arızalı olan modüllerin belirlenmesi için son derece önemlidir. Sistemlerde oluşan arızalar ya da bozulmalar hücre, modül ve dizilerde oluşmaktadır. Hücresel performans düşüklüğü ise fiziksel zedelenmeler, su teması sonucunda oluşan paslanmalar, kızılötesi ısı baskı sonucunda çıkış enerjisinde azalış olması şeklinde sıralanabilir. Açık veya kısa devre bağlantı sorunları ile koruma kaplamasının özellik değerinin azalması, modül ve hücre arasındaki bağlantı hataları ile meydana

gelebilmektedir. Dizilerin performansının düşük olması açık-kısa devre kurulumundaki kablolama hatası, bağlantı sorunları, parametre uyuşmaması ve kısmi gölge durumu en başta sayılabilen sistem kayıplarıdır (Sarıkurt vd., 2011).

Fotovoltaik paneller ile elektrik enerjisi üretiminde ister tek bir panel ister birden fazla panel ile oluşturulacak sistemler için bazı kriterlerin göz önünde bulundurulması gerekir. Bu kriterlerin düzgün belirlenmemesi ya da sistem kurulum aşamasındaki yanlış uygulamalar sonucu meydana gelecek arızalar ve oluşacak kayıplar ışıınım kayıpları, sistem kayıpları ve dönüşüm kayıpları şeklinde 3 ana grupta incelenebilir.

Işıınım kayıpları; modül düzlem açısı, spektrum kayıpları, yansıma kayıpları, gölgelenme kayıpları ile tozlanma ve karlanma kayıpları olarak sıralanabilir.

Sistem kayıpları; modül teknik özelliklerindeki sapmalar, düşük ışıınım kayıpları, sıcaklık, uyumsuzluk ve kablo kayıpları olarak sıralanabilir.

DC/AC ve AC/DC dönüşüm kayıpları; İnverter kayıpları, güç kısıtlamasından kaynaklı kayıplar, MPPT kayıpları olarak sıralanabilir.

4.2. Işıınım Kayıpları

Fotovoltaik panellere gelen ışıınım yoğunluğu, tesisin olduğu bölgede güneşlenme süresi, ışınların fotovoltaik panele gelme açısı, panel yüzey sıcaklığı ve panelin yapıldığı malzemenin türüne göre sistemin enerji miktarını etkileyen faktörler olarak sıralanabilir. Bunlara ek olarak tozlanma, kar yağışı, dış etkilere zarar görmüş panellerde oluşan çatlak ve nokta kusurları da ışıınım kayıplarının oluşturan diğer etkenlerdir.

4.2.1. Modül düzlem açısı

Işıınım değeri, sistemin kurulacağı alanın coğrafi konumu, tarihi ve zaman dilimiyle değiştiği için santral tasarımında güneş açıları en önemli etkindir. Denklikasyon açısı güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile arasında yapmış olduğu açı olarak tanımlanır. Zenit açısı, yükseklik açısı olarak tanımlanır ve dikey olarak ölçümü yapılır. Eğim açısı panelin yatayda yapmış olduğu açıdır ki $0^{\circ} \leq \beta \leq 180^{\circ}$ değerleri arasında değişiklik göstermektedir. Bu açı değeri sistem tasarımının en önemli parametrelerinden bir tanesidir (Perdahlıyan, 2021).

Tüm bu bilinenler doğrultusunda modül düzlem açısı, spektrum ve yansıma kayıplarının en aza indirilmesinde sistem tasarımının önemi oldukça büyüktür. Karmaşık hesaplamalar gerektiren bu tasarım kriterleri için günümüzde simülasyon programları kullanılmaktadır. Bu yazılımlardan bazıları PVSOL, PVsyst, PVGIS, Polysun vb.'dir (Kırbaş ve Kocakulak, 2021).

4.2.2. Tozlanma ve Karlanma Kayıpları

Tozlanmanın olması hava şartlarına ve sistemin kurulma bölgesine göre önem arz etmektedir. Panellerin yüzeyleri sık sık temizlenmeli veya mümkün ise yıkama yapılmalıdır (Aydın, 2006).

Tozlanma araştırmalarında yağış oranının az olduğu yerlerde %15 civarlarında bir orana bağlanmaktadır ki modüllerin temizlenmesinin önemi artmaktadır. Yağmur, panelin eğim açısının 15° üzerinde olduğu durumlarda paneller rahatlıkla temizleyebilir. Bu durumlarda kayıp değeri %0,5 gibi bir sınır değeri alabilir. Karlanma olan zamanlarda üreteç çıkış noktalarında kayıplar olmaktadır. Çatı eğimi olan yerlerde %2 oranında yere kurulmuş sistemler için %1 kar yağışının yoğun olduğu yerlerde kayıp değerleri öngörülmektedir (Deniz, 2013). Öngörülen kayıp değerleri dışındaki toz ve kar yağışından kaynaklı yüksek oranda kayıpların oluşmaması için panellerin tozdan ve kardan temizlenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde kayıp değerlerinde artış söz konusu olacaktır.



Şekil 4.1. Tozlanmış fotovoltaik paneller



Şekil 4.2. Kar yağışı sonrası fotovoltaik paneller (URL-25, 2022)



Şekil 4.3. Aşırı kar yağışı sonrasında zarar gören paneller

Panellerde tozlanma olması gelen ışınımına karşı bir direnç oluşturur. Işınım miktarındaki azalma ile güç üretiminde bir düşüş meydana getirmektedir. İklim şartlarına bağlı olarak belirli aralıklarla panellerin temizlenmesi gerekmektedir. Temizlik işlemi için yıkama en uygun yöntemdir. Bu iş için geliştirilmiş yıkama aparatları veya robotlar kullanılması mümkündür. Panellerin silme yöntemiyle temizlenmesi işleminde panel yüzeyinde çizikler oluşma ihtimali yüksektir. Ayrıca silme baskısının iyi ayarlanamaması nedeniyle mikro çatlakların oluşması da mümkündür.



Şekil 4.4. Tozlanmanın drone ile temizlenmesi (URL-26, 2022)



Şekil 4.5. Tozlanmanın mekanik bir aparatla temizlenmesi (URL-27, 2022)



Şekil 4.6. Tozlanmanın manuel yıkama ile temizlenmesi

4.2.3. Gölgeleme Kayıpları

Fotovoltaik sistemlerde üretilmiş olan enerjinin verimliliğini belirleyen birçok etken vardır. Bileşenlerin nominal karakteristik değerleri, sistem konfigürasyonu, coğrafi alan koşulları, gölgelemeye sebep olabilecek yapı ve çalışma sırasında meydana gelebilecek elektronik arızalar üretimde kayıplara sebep olur (Pakma, 2018).

Gölgelemenin önlenmesi için bölgenin iklim ve coğrafi özelliklerinin iyi şekilde bilinmesi önemlidir. By-Pass diyotları normal iletim halinde açık devre gibi davranmaktadır ki gölge olduğu zamanda aktif bir rol kazanır. Panellerin yüzeyine gelen ışınlımların bir kısmı hücreler tarafından geri yansıtıldığı için panellerin yüzeyini kaplayan malzemenin cinsi önem kazanmaktadır. Sıcaklığın artış gösterdiği zamanlarda poli kristallerden daha verimli olan mono kristal paneller kullanılmaktadır. Panellerde gölge durumunda maksimum güç noktasında çok sayıda artış meydana gelmektedir. Güneş ışınlım şiddeti eğim açısı ile sistemin gücünü etkilemektedir ki ışınlım şiddetinin düşmesi, eğik gelmesi sonucu ile çıkış gücü düşmektedir. Akım geriliminin artması ile gerilim değerinde düşüş olması sonucunda çıkış gücü düşmüş olacaktır (Adak vd., 2019). Bu nedenle gölgelemeye neden olacak bulutlanma, çatıdaki çıkıntılı alanlar (Şekil 4.7), yan binalar ve ağaçlar (Şekil 4.8) gibi çeşitli unsurların tasarım aşamasında belirlenmesi gerekir. Bulutlanma haricindeki gölgeleme sorunları tasarım aşamasında çözümlenirse gölgeleme kayıpları da minimum boyutta tutulmuş olur.



Şekil 4.7. Gölgeleme kayıpları



Şekil 4.8. Gölgelemenin olmaması için parçalı yerleşim

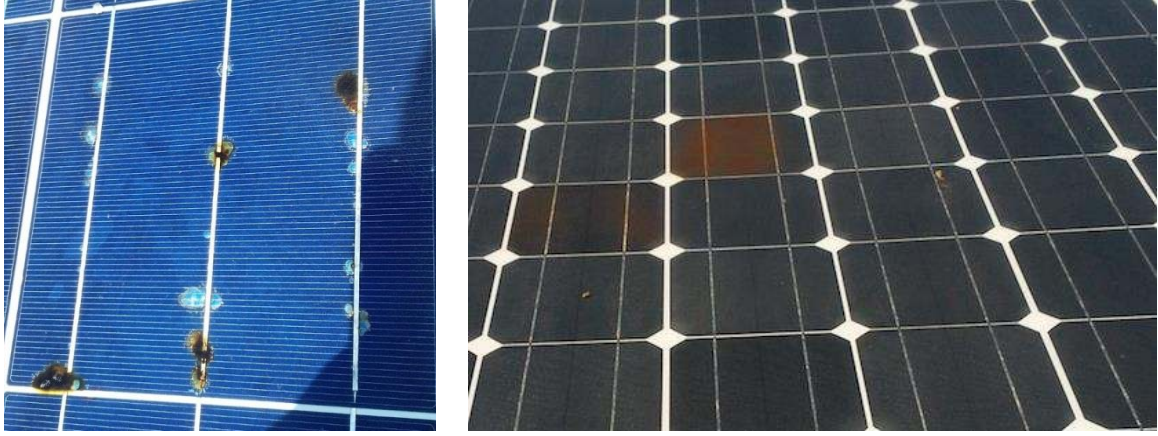
4.2.4. Sıcaklık Kayıpları

Fotovoltaik sistemlerde elde edilen güç çıkışı sıcaklıkla ters orantılıdır ki modülde sıcaklık artışı oluştuğunda modül gücünde azalma olur. Ortam sıcaklığındaki artış hücrede de sıcaklık yükselmesine neden olur, performans oranı azalır ve enerji üretiminde kayıplar meydana gelir (Öztürk, 2017).

Performans oranı, üretilen enerjinin referans enerjiye oranlanmasıyla bulunulabilir. Yaz aylarında örgü sistemlerin ortam sıcaklığına bağlı olarak performans oranı azalmaktadır. Performans oranı kayıpları %20-40 oranlarına yakın değerlendirilebilmektedir (Pakma, 2018).

4.2.5. Hotspot Kayıpları

Panellerde üretim, taşıma, konstrüksiyon ve dış etkenlerden dolayı iç yapıda lehimleme hatası, kırık bağlantı, korozyon, kırık hücre, dış yapıda kırık cam, kaplama hatası gibi bir takım arızalar çok sık bir şekilde karşılaşılabilmektedir. Üretim hatalarını da içeren çatlak, çizik, kuş pislikleri ve kırık hücreler olması gibi sebepler yüzünden fotovoltaik panellerde oluşan sıcak noktalar hotspot olarak tanımlanmaktadır. Bu ısı noktaları enerji üretim noktasında düşüşe sebep olabileceği gibi enerji üretim kapasitesini de düşürmektedir (Dağlı, 2019).



Şekil 4.9. Hotspot kayıpları (URL-27, 2022; URL-28, 2022)

Yukarıda bahsedilen ışınlm kayıpları için; güneş panellerinin açısının kurulum bölgesine uygun şekilde belirlenmesi, gölgelenme konularının giderilmesi için simülasyon programlarından yardım alınması, tozların belirli aralıklarla temizlenmesi, hotspot hatalarının gözlem yoluyla yada uzaktan izleme sistemleri ile belirlenmesi ve en hızlı biçimde giderilmesi ile ışınlm kayıplarının en az seviyeye indirilmesi mümkün olacaktır.

4.3. Sistem Kayıpları

4.3.1. Kablo ve Diğer Bağlantı Kayıpları

Güneş enerjisi sistemlerinde kullanılacak kablolar özel üretilmiş çift katlı izolasyonlu olmalıdır. Bu sayede diğer kablolarla göre dış çevre koşullarına dayanıklı ve elektriği iletmesinde kayıplar daha az olmaktadır. Kablolar -40 ila 120°C arasında sıcaklığa, ultraviyoleye, oksitlenmeye, yangına, basınca ve mekanik darbelere dayanıklı olmalıdır. Kablolar farklı kesitte alanlarına sahiptir. Kablo seçiminde ne kadar akım taşıyacağı ve ne kadar uzun mesafeye ileteceği durumlarına göre kesit belirlenmelidir. Güneş enerjisi sistemlerinde kablolar çok uzun mesafeli olmadığından genellikle 6 mm² kesitindeki kablolar kullanılır. Büyük kapasiteli off grid sistemlerde paneller çoğunlukla paralel bağlandığından yüksek çıkış akımına ulaşmaktadırlar bu yüzden büyük kesitli kablolar kullanılmalıdır. Ama her ne olursa olsun sistem gereksinimlerinden farklı büyük/küçük kesitli kablolar kullanılması iletim kayıplarına neden olacaktır. Bu kayıpları en aza indirmek için sistemin optimum ihtiyacı olan kablo kesitinin hesaplanarak belirlenmesi gerekmektedir (Güneş, 2021).

Fotovoltaik sistemlerde meydana gelen kablo kayıpları DC ve AC kablo omik yapılarından kaynaklanması sonucu kablo boyut farklılıkları ile kesit farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Bu durum tasarım aşamalarının önemini göstermektedir. İletkenlerin akım taşıma kapasiteleri iletim süresince oluşabilecek gerilim düşüşleri sistemde meydana gelebilecek kayıpların nedenlerinden sayılabildiği için iletken seçimi de önem arz etmektedir. %1-3 arasındaki değerler kayıp olarak kabul edilmektedir. Kablo kesiti hesaplaması için gerekli formül Denklem (4.1) (Köroğlu vd., 2010), DC kablolardaki güç kaybının belirlenmesi Denklem (4.2) ve yüzde gerilim düşümü hesabı ile kesit kontrolünün yapılması Denklem (4.3)'te verilmiştir (Çaçan, 2018).

Kablo kesitini hesaplamak için kullanılması gereken formül:

$$A = \frac{0,0175 \times 2 \times L \times P}{(f_k \times U^2)} \quad (4.1)$$

A = İletken Kesiti (mm²)

0,0175 = Bakır için spesifik direnç (Ohm × mm² / m)

L= Kablo uzunluğu (m)

P= Kablo tarafından alınması gereken güç (W)

f_k = İletken kaybı (%)

U= Sistem voltajı (V)

DC kablolarda güç kaybı için;

$$P_k = \frac{(2 \times L \times I^2)}{(S \times k)} \quad (4.2)$$

P_k = Güç kaybı (W)

L= Kablo uzunluğu (m)

I= Kablo üzerinden geçen akım (A)

S= Kablo kesiti (mm²)

k= Öz iletkenlik sabiti (Sm/mm²)

Yüzde gerilim düşümü hesabı ile kesit kontrolünün yapılması:

$$\%e = \frac{(2 \times 100 \times L \times I)}{(S \times U \times k \times H)} \rightarrow S = \frac{2 \times 100 \times L \times I}{\%e \times U \times k \times H} \quad (4.3)$$

L= Kablo uzunluğu (m)

I= Kablo üzerinden geçen akım (A)

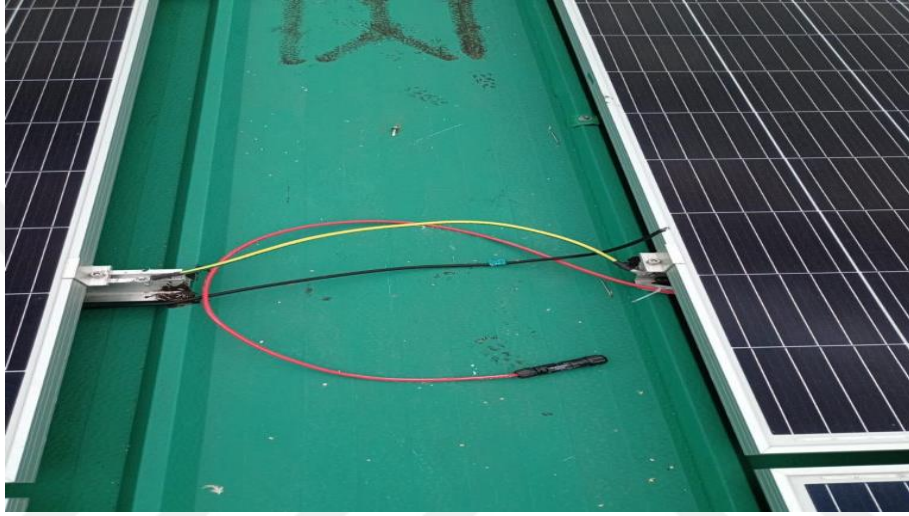
S= Kablo kesiti (mm^2)

U= Sistem voltajı (V)

k= Öz iletkenlik sabiti (Sm/mm^2)

H= Paralel hat sayısı

%e= Yüzde gerilim düşümü (DC kablolama için kesit kontrolünde 1 alınacaktır)



Şekil 4.10. Kablolama hatası



Şekil 4.11. Kablolama hatası sonucu oluşan yanmalar



Şekil 4.12. Topraklama kablosu bağlantı hatası



Şekil 4.13. Trafo bağlantı hatası



Şekil 4.14. Özensiz toprak altı kablo döşemesi

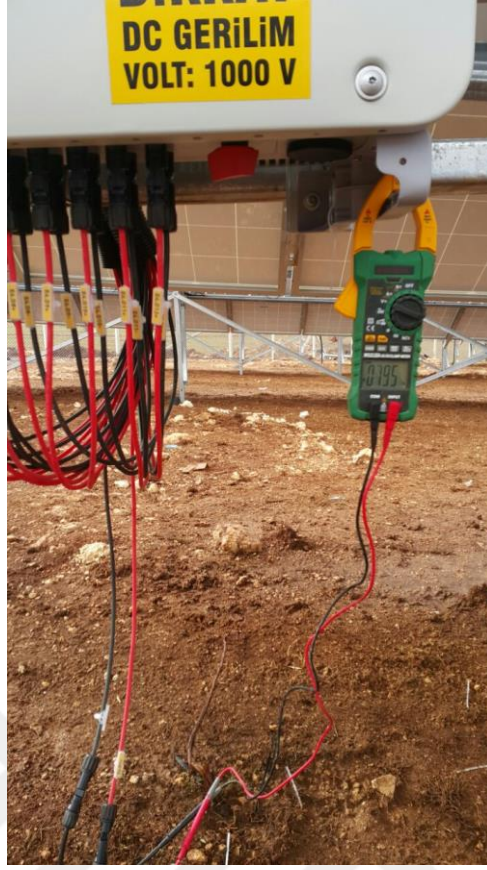
Kabloların seçiminde kablodaki voltaj ve güç değerlerine uygun kablo uzunluğu ve kesitinin belirlenmesi ile kablo kayıpları minimum seviyeye indirilebilir. Ayrıca toprak altı ve üstü kablo montajlama işlemlerinin daha önceden belirlenen teknik şartnamelere uygun şekilde yapılması kayıplar konusunda daha yardımcı olacaktır.

4.3.2. Uyumsuzluk Kayıpları

Ölçüm ve kayıt sistemlerinde ekipmanlar birbirlerine bağlanırken elektrik kablolarının uzun olması ve bağlantı noktalarında meydana gelen direnç etkisi sebebiyle üretilen güç miktarında düşüşler oluşmaktadır. Bu kayıpların en az seviyeye indirilebilmesi için kablo kesitleri güç akışına uygun olmalı ve bağlantıları doğru bir şekilde yapılmalıdır.

Ölçüm ve kayıt düzenekleri ekipmanları kendilerine has karakteristik özelliklere sahiptir ama farklı özellikteki cihazların birbirine eklenmesi ile sistemde bağlantı kayıpları meydana gelecektir. Bu uyumsuzluk neticesinde olan kayıplar %3 olarak tahmin edilmektedir (Aydın, 2006).

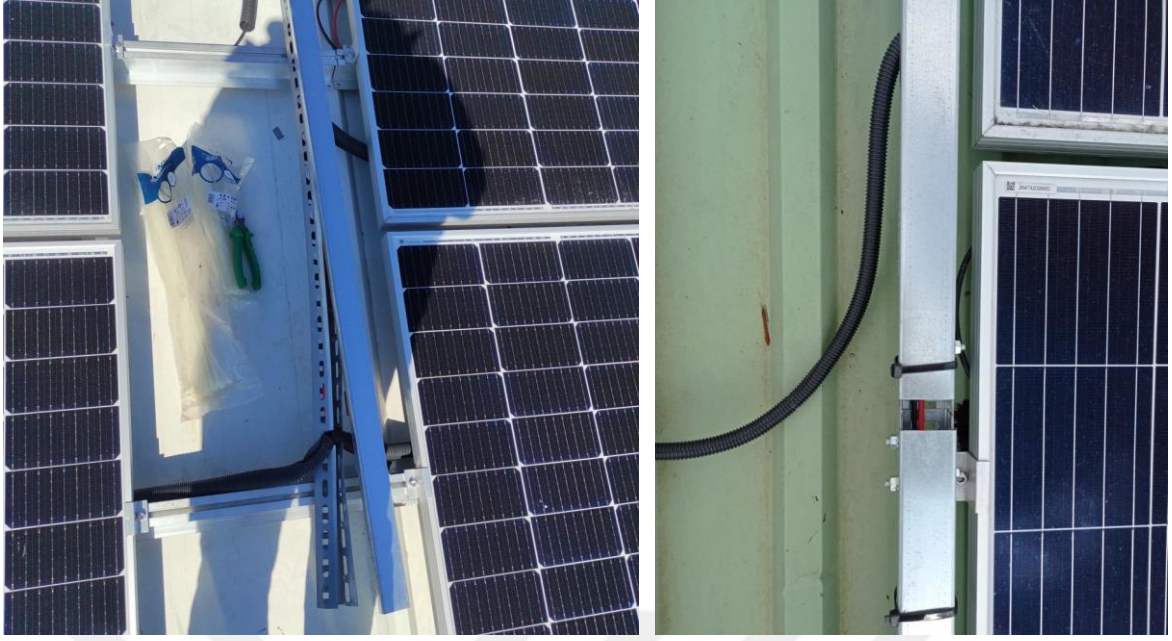
Uyumsuzluk kayıplarının olmaması ya da minimum seviyede tutulması için panel seçimi, inverter güç sınıfının belirlenmesi, tasarım aşamasında özenle yapılması gereken konulardır. Bu sayede sistemde bulunan elemanların bir birleri ile olan uyumları sağlanmış olup uyumsuzluk kayıplardan kaçınılabilir.



Şekil 4.15. Kablodaki enerji ölçümleri

4.3.3. Sistem Kurulum/Montaj/Konstrüksiyon Hataları

Santralin çalışma süresi uzun yıllara yayılacağı için panellerin üzerinde yer alacağı taşıyıcı sistemlerin dikkatli bir şekilde seçilmiş olması gerekmektedir. Sistem performansına da etki edeceği için güneş ışınlarını tam olarak alması istenmektedir. Panellerin altında oluşan sıcaklığın kontrol altına alınabilmesinde ve panel altındaki hava akışının düzenlenmesinde konstrüksiyon sisteminin katkısı kaçınılmazdır. Çelik ve alüminyum malzemeden yapılmış taşıyıcı sistemler de alüminyumun hafif olması ve ucuz olması çelik malzemeye göre daha çok tercih edilir. Konstrüksiyon sistemlerinin hesabı yapılırken zemin etüdü, deprem anı, rüzgâr ve karlanma durumları gibi olaylar göz önüne alınarak tasarım hesabı yapılmalıdır (Güneş, 2021).



Şekil 4.16. Konstrüksiyon hataları



Şekil 4.17. Dış etkenlerden dolayı kırılmış paneller



Şekil 4.18. Dış etkenlerden dolayı kırılmış paneller



Şekil 4.19. Canlı hayvanların pano içerisine girmesi sonucu oluşan kısa devre



Şekil 4.20. Kablo ucu pabuçlarında oluşan kirlenme sonucu oluşan iletim hatası

4.3.4. Modül Teknik Özelliklerindeki Sapmalar

Ürün kataloglarında yer alan değerler ile çalışma esnasında elde edilen değerler arasında bir takım değer farklılıkları oluşmaktadır. Hücre performansındaki değerler üretim proseslerinde standart olan parametrelerin hesap edilememesinden dolayı gerçek saha ortamında yer alan güç değerlerinde veri değişikliklerine neden olduğu için üretim rakamlarının sahada düşük çıkması olarak görülmektedir. Bu kayıpların giderilmesi için panel seçimi esnasında kaliteli panellerin kullanılması ve katalog değerlerinin iyi bir şekilde incelenmesi ile kayıplar önceden öngörülüp minimum seviyede tutulabilir.

4.4. DC/AC ve AC/AC Dönüşüm Kayıpları

DC-AC çevrim kayıpları, inverterler, inverter yarı iletken malzemeleri, manyetik elementler, kapasitör vb. ürünlerin anahtarlama özellikleri sebebiyle meydana gelmektedir.

4.4.1. İnverter Kayıpları

İnverterler DC gerilimi AC gerilim yapmak amacıyla kullanılmaktadır. Çıkış gerilimi farklı formlarda olabilir. Bunlar da; kare dalga, sinüs benzeşimli, tam sinüs gibi dalga

formlarıdır (Turhan, 2011). İnverterler güneş enerjisi sistemlerinin performansını önemli düzeyde etkilemektedir.

Solar inverter seçimi için proje tasarımı yapılırken DC tarafta panellerin dizilimi ile solar inverter giriş gerilim aralıkları birbirine uygun olmalı ve AC tarafta ise proje gücü ile toplam solar inverter gücünün aynı olması gereklidir. Bu aynı zamanda sistem uyumu için gereklidir. Bu konular doğrultusunda yapılacak hesaplamalar ile doğru solar inverter modeli (güç sınıfı) seçilmelidir (Deniz, 2013).

Arazinin yapısında engebeler olması eğimin farklı olması sonucunda dizilerden gelen enerji miktarlarında farklılıklar görülecektir. Dizi inverterlerde maksimum güç izleme noktaları fazla olacağı için merkezi inverter seçilmesi gerekmektedir. Günlük değişken hava şartları mevsim dönemi göz önünde bulundurularak çalışma aralığı geniş olan inverter seçimi yapılması gerekmektedir (Güneş, 2021).

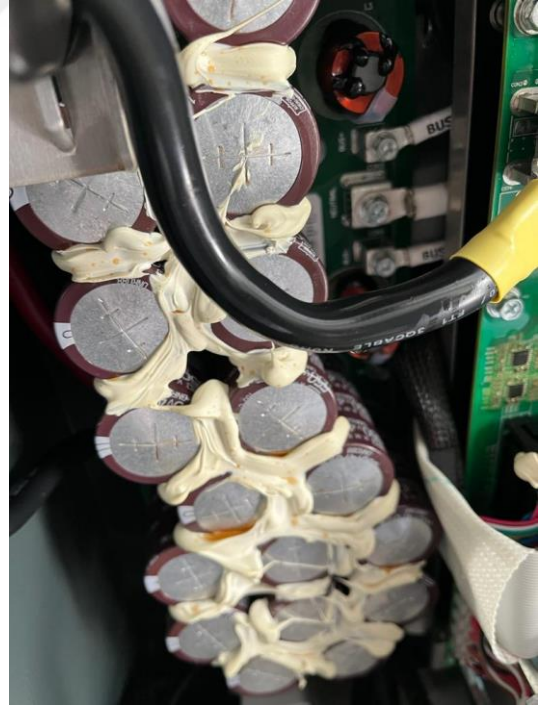
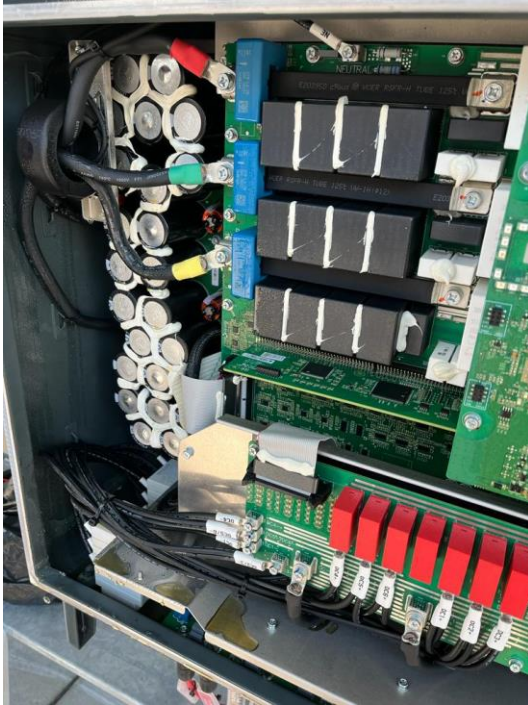
İnverterin çıkış gücü; kullanılacak inverter sayısının, maksimum çıkış gücünün inverter çıkış gücüne oranlanması ile hesaplanabilir. Dizi inverter montajlanacağı alanda hiçbir şey olmamalıdır. DC girişi izin verilen en üst noktadan daha fazla yüksek bir gerilim cihaza bağlanırsa cihazın ısınıp kendini kapatmasına sebebiyet verir. Bu sebepten dolayı inverter hesabının iyi yapılmış olması, yağmur, kar olaylarından etkilenmemesi ve zemine direkt konumlandırılmaması gerekmektedir. İnverter montajı sırasında kablo girişleri yapılırken kablolarda enerji olmaması gerekmektedir (Güneş, 2021).

İnverter seçimi ve montajı esnasında yapılacak olan hatalar inverter kayıplarının artmasına sebep olacağından bu konulara özenle dikkat edilmesi gerekmektedir (Güneş, 2021).

Ayrıca inverterler uyku modunda çalışma yaparken enerji tüketimi söz konusudur. Bu durum DC-AC çevrimlerde oluşan kayıpların bir kısmını oluşturmaktadır. Bu kayıplardan tamamen kaçınılması mümkün olmamakla birlikte inverter seçimi esnasında bu değerler kontrol edilerek uyku modu kayıp oranları azaltılabilir (Güneş, 2021).



Şekil 4.21. İnverter kablo bağlantılarından kaynaklı yangınlar



Şekil 4.22. İnverter kondansatörlerinin patlaması



Şekil 4.23. İnverter fanı tozlanması

İnvertere bağlanacak kabloların toprak altında özenli bir şekilde döşemesi yapıldıktan sonra her modülün giriş çıkış değerlerinin belirlenerek kabloların bağlantısı yapılır. Sistem üzerindeki inverter Şekil 4.24’te gösterilmektedir.



Şekil 4.24. Sistem üzerindeki inverter

4.4.2. Kısa Devre Kayıpları

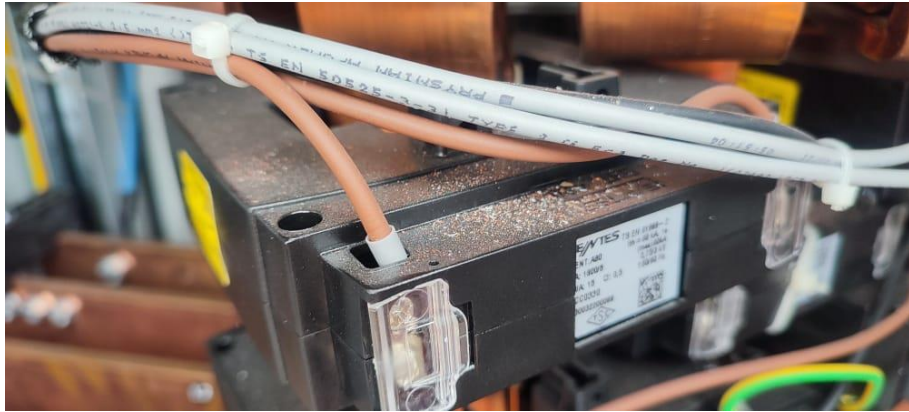
Fotovoltaik panellerde sıklıkla karşımıza çıkan arızalar hücrelerde kısa devre ve diyot kısa devresidir. Kısa devre, üretim aşaması ve üretim kalitesinin düşük olması ya da saha montajından sonra montajlama hatalarından meydana gelebilmektedir. Bu arızalar genel enerji üretimini düşürmektedir

Panel yapılarındaki p-n bağlantı bölgesinde oluşan arızalar diyot kısa devresi olarak tanımlanmaktadır (Dağlı, 2019).

Kablo ucu pabuçların standartlara uygun olmaması, kablo soyma esnasında hatalı işlemler yapılması ya da kablo kırıkları nedeniyle kısa devre olması sistem verimin düşürmektedir. Hatta bazı durumlarda sistemin çalışmasına tamamen durdurmaktadır.



Şekil 4.25. Kısa devre sonucu yanmış kablolar



Şekil 4.26. Bakır kablo parçacıklarının neden olduğu kısa devre

4.4.3. Bara Kayıpları

Baralar, aynı gerilim ve güçte elektrik enerjisinin toplandığı ve dağıtıldığı ünedir. Baralar, elektrik enerjisinin kontrol ve kumanda edilmesinde kullanılır. Bunların yanında ünitelerin birbirleri ile olan irtibatını sağlayan iletkendir. Santraller, trafo merkezleri, şalt sahaları, ölçme merkezleri, elektrik dağıtım panoları sıklıkla kullanıldıkları yerlerdir. Santrallerde ise üretilen elektrik enerjisinin şalt sahalarında sisteme dağıtılması, toplanması esnasında bara kullanımı oldukça önemlidir (Ekinci, 2018).

Modül dizilerinde üretilen enerjinin invertere bağlantısı baralar yardımıyla olur. Toplanan doğru akımı alternatif akıma dönüşmesi için invertere iletilmiş olur. Ayrıca baralar on grid sistemlerde iletim ve dağıtım hattına bağlantının yapılabilmesi içinde kullanılır.

Genellikle bakır ve alüminyum olarak yapılırlar. Bara seçimi ve kurulumu esnasında dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır. Yükün cinsi ve miktarı, kullanıldığı yer, besleme kaynaklarının sayısı ve sürekliliği seçim kriterler arasındadır. Kurulum esnasında ise aynı fazda birden çok iletken kullanılacaksa iletkenler arası mesafe minimum 50 mm olmalıdır. Birden fazla bara kullanılacaksa baralar arası mesafede en az bara kalınlığı kadar olmalıdır (Ekinci, 2018).



Şekil 4.27. Doğru yapılmış bara bağlantısı



Şekil 4.28. Yanlış bara bağlantısı

Gökalp (2018) çalışmasında 13 baralı test sistemi ile bir mahalle şebekesine güneş enerjisi santralinin entegrasyonunu gerçekleştirmiştir. Sistem üzerinde 3 adet bara için 3 farklı senaryo ile analizler yapmıştır. Gün içinde çalışma koşullarında bara hattında meydana gelen kayıplarda %5,51 oranında bir azalma olduğunu belirlemiştir (Gökalp, 2018). Bu çalışmadan da anlaşılacağı üzere bara kullanımı hem sistem verimine hem de kayıpları azaltmaya önemli katkıları vardır.

5. SONUÇ

Yenilenebilir enerjiye verilen önem gün geçtikçe artış göstermektedir. Fosil yakıtların kullanımından oluşan çevre sorunları temiz, güvenilir ve çevre dostu olan güneş enerjisini önemli kılmaktadır. Sera gazı salınımının az olmasıyla hava kirliliği, sessiz çalışmasından dolayı gürültü kirliliği yaratmaması güneş enerjisi sistemlerinin en önemli avantajlarıdır. Bundan dolayı güneşten enerji elde edilmesi daha çok ön plana çıkmaktadır.

Güneş ışınlarının enerjisiyle elektrik üreten sistemler fotovoltaik sistemlerdir. Bu sistemler güneş panelleri, akümülatör, inverter (çevirici), akü şarj kontrol cihazı, sistem kontrol birimi ve çeşitli devre elemanlarından oluşturulmaktadır. Fotovoltaik sistemler ile elektrik üretimi esnasında tasarımsal, kurulumsal ve sistemi oluşturan elemanlardan kaynaklı arıza ve kayıplar meydana gelmektedir. Bu tez çalışması kapsamında fotovoltaik sistemlerde meydana gelen kayıplar ışıınım, sistem ve dönüşüm kayıpları olarak gruplandırılmıştır.

Enerji üretimi sırasında meydana gelen ışıınım kayıpları, tesisin olduğu bölgede güneşlenme süresi, ışınların fotovoltaik panele gelme açısı, panel yüzey sıcaklığı ve panelin yapıldığı malzemenin türüne göre sistemin enerji miktarını etkileyen faktörlerdir. Bu türden kayıpların sistem tasarım esnasında optimize edilmesi gerekmektedir. Panellerde tozlanma olması gelen ışıının miktarında azalmaya neden olup, güç üretiminde düşüşe neden olmaktadır. Temizleme işlemleri düzenli ve yıkama aparatlarıyla yapılmalıdır. Panel açısının iyi bir hesaplamayla yapılması gölgeleme kayıplarını minimize edecektir. Çeşitli bilgisayar yazılımları ile bu tür hesaplamalar kolaylıkla yapılmaktadır. Aşırı sıcaklıklar enerji üretimini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sıcaklıkların artışı sonrasında paneller üzerinde hotspotlar oluşmakta ve verimi olumsuz yönde etkilemektedir. Panellerin soğutulması üzerine çeşitli çalışmalar sürmekle birlikte paneller arası hava akışı ile sıcaklığın kontrol altına alınması sistem verimini olumlu yönde etkileyecektir.

Sistem kayıpları, fotovoltaik sistemlerde meydana gelen kablo kayıplarını, uyumsuzluk kayıplarını en aza indirebilmek için kablo boyut ve kesit farklılıkları tasarımı iyi yapılmalıdır. Sistemin uzun yıllar çalışma süresi olacağı için taşıyıcı sistemler dikkatli ve uyumlu seçilmelidir. Güneş ışıınının panele gelme açısı iyi ayarlanmalıdır. Konstrüksiyon hataları sonucunda panel açılarında kaymalar, zemin oturmasından kaynaklanan kayıpların en az seviyede tutulması gereklidir. Zemin etüdünün en iyi şekilde olması bu kayıpların en az seviyede tutulmasını sağlayacaktır. Karlanma ve diğer doğa olayları da göz önünde bulundurulmalıdır. Modüllerin katalog değerlerinin sistem kurulumu yapıldıktan sonra

enerji üretim değerlerinde farklılıklar oluşmaktadır. Katalog değerlerinin incelenmesi kayıpları en az seviyede tutmak için yarar sağlayacaktır.

İnverterler DC/AC ve AC/DC dönüşüm sağlayan ve elektrik enerjisini ihtiyaca göre kullanıcıya sunan sistem elemanlarıdır. Dönüşüm esnasında oluşan kayıplar güneş enerjisi sistemlerinin performansını önemli düzeyde etkilemektedir. Bu yüzden ilk olarak inverter seçimi sistem gereksinimlerine uygun olarak yapılmalıdır. Daha sonra diğer inverter kayıplarını azaltmak için gerekli önlemler alınmalıdır. Sistemin olduğu arazinin engebeli olması enerji akışını etkileyeceğinden dolayı sistem ile inverter aynı seviyede kurulmalıdır. Hava koşulları göz önünde bulundurularak (kar, yağmur vb.) inverterlerin yer seviyesinden bir miktar yukarıda konumlandırılmaları daha sağlıklı olacaktır. İnverterler bağlantı yapılırken kablolar özenli bir şekilde yerleştirilip doğru yerlerine montaj edilmelidir. Kablo uçlarının uygun seçilmemesi ile kabloların hatalı soyulması sonucunda sistemde kısa devre meydana gelir. Bu sebeple sistemin enerji üretiminde azalma veya tamamen durma olur. Kablolama işlemlerine önem verilmesi gerekmektedir. Baralar dizilerde üretilen enerjinin invertere iletilmesinde görevlidir. Dağıtım hattına bağlantısının doğru bir şekilde yapılmış olması bara kayıplarını aza indirerek sistem verimine olumlu yönde etki edecektir.

Güneş enerjisi santrallerinde ve diğer fotovoltaik sistemlerde üretilen enerji birçok parametreye bağlı olup, tasarımı ve kurulumu için doğru mühendislik çalışmaları yapılması gerekmektedir. Sistemlerin işletilmesi ve izlenmesi de ayrıca önemlidir. Arızalı panele veya diziye anında müdahale edilmesi, temizlenmesi gibi işlemler sistem verimine direkt etki edeceğinden önem arz etmektedir.

Sonuç olarak bahsettiğimiz konulara dikkate edilerek tasarlanacak ve uygulanacak olan fotovoltaik sistemlerinin kayıplarının azaltılması mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

- Adak, S., Cengi, H., Yılmaz, A.S., 2019. Fotovoltaik Sistemin Çıkış Gücünün Sıcaklık ve Işımaya Bağlı Matematiksel Modellemesi ve Simülasyonu. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 11(1), 316- 327.
- Akar, A., 2016. Bir Güneş Enerji Santralının Kurulumu ve Performansının Analizi, Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye
- Akman, Ö., 2019. Fotovoltaik Panellerde Sıcaklığın Elektriksel Verime Etkileri ve Termal Güç Eldesi, Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, Türkiye
- Akyüz, C., 2019. Orta Ve Yüksek Dağlık Bölge Şartlarında Çalışan Fotovoltaik Sistemlerin Ömrünü Belirleyen Etkenlerin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye
- Atçı, M.E., 2012. Türkiye'nin Enerji Yatırımlarının Planlanması Sürecinin Bulanık AHP Yöntemi İle Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye
- Aydın, M., 2006. Fotovoltaik Sistem Güç Karakteristiklerinin Deneysel Yöntemle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, Türkiye
- Boztepe, M., 2017. *Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Verimliliği Etkileyen Parametreler*, IV. İzmir Enerji Verimliliği Günleri, İzmir, 19-20 Ocak 2017.
https://www.emo.org.tr/ekler/65eb10e64749410_ek.pdf (14.10.2022)
- Çağan, F., 2018. Fotovoltaik Sistemlerin Kurulum Ve Maliyet Analizinin Örnek Bir Otele Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye
- Dağlı, A., Karaköse, E., Durmuş, A., 2019. Solar Panellerde Arıza Analizi, *3rd International Symposium On Innovative Approaches In Scientific Studies, Engineering And Natural Sciences*, Ankara, 479-481.
- Deniz, E., 2013 *Güneş Enerjisi Santrallerinde Kayıplar*,
https://www.emo.org.tr/ekler/38f0038bf09a40b_ek.pdf (14.10.2022)
- Ekinci, F., 2018. Güneş Hücrelerinin Performansına Baranın Etkisinin İncelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33, 67- 82.
- Girgin, M.H., 2011. Bir Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralının Fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5 Mw'lık Güneş Enerjisi Santrali için Enerji Üretim Değerlendirmesi ve Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul, Türkiye

- Gökalp, E., 2018. Optimal Bağlantı Kriterlerine Göre Güneş Enerji Santrallerinin Şebeke Entegrasyonu ve Ada Modunda Çalışmada Kritik Yüklerin Enerjilendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 14, 306-314.
- Güneş, C., 2021. Fotovoltaik Güneş Enerji Santrallerinin Tasarımı, Bakımı, Onarımı ve İşletilmesi, Yüksek Lisans Tezi. Adıyaman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Adıyaman, Türkiye
- Kapucu, C., Çubukçu, M., 2019. Fotovoltaik Sistemlerde Topluluk Öğrenmesi Temelli Hata Tespiti. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 12(2), 83-91.
- Kırbaş, İ., Kocakulak, T., 2021. Hibrit Sistemler ile Enerji Üretimi: MAKU-TBMYO Örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(1), 127-135.
- Koçbulut, G., 2017. Fotovoltaik Güneş Hücresinin Güneş Işınım Ölçüm Cihazı Olarak Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, Türkiye
- Köksoy, A., Pado, A.G., Doğan, Ö., Hocaoglu, M.H., Öztürk, O., 2011. Mobil Platformlarda Kullanılan Güneş Dizilerinde Arıza Tespiti, *IV. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, Kocaeli, 164-168.
- Koroğlu, T., Teke, A., Bayındır, K.Ç., Tümay, M., 2010. Güneş Paneli Sistemlerinin Tasarımı, *Elektrik Mühendisliği*, 439, 98-104.
- Onurbaş Avcioğlu, A., Dayioğlu, M.A., 2016. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Teknolojileri*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No: 1637, Ders Kitabı: 588, Ankara.
- Özçelik, Ö., 2018. Güneş Enerji Sistemleri ve Güneş Yatırımları İçin Doğru ve Güvenilir Bir Yol Haritası Oluşturulması, Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye
- Öztürk, H.H., 2017. *Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi ve Etkili Etmenler*, Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri 1, 1-14
https://www.emo.org.tr/ekler/3a921ffad054cb0_ek.pdf (12.10.2022)
- Pakma O., 2018. Batman İlindeki İnce Film a-Si Teknolojili Fotovoltaik Sistemin Performans Değerlendirmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20 (1), 234 – 242.
- Perdahlıyan E., 2021. Endüstriyel Bir Tesis Çatısına Fotovoltaik Sistem Kurulumu İçin Tasarım Ve Hesaplamaları; Edirne Örneği, Yüksek Lisans Tezi. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, Türkiye
- Sarıkurt, T., Pado, A.G., Doğan, Ö., Hocaoglu, M.H., 2011. Mobil Platformlarda Kullanılan Güneş Dizilerinde Arıza Tespiti, *IV. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, Kocaeli, 164-168.

- Sayın, S., Koç, İ., 2011. Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yaralanmada Kullanılan Fotovoltaik (PV) Sistemler ve Yapılarda Kullanım Biçimleri. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(3), 89-106.
- Turhan, K., 2011. Fotovoltaik Modüller İçin Bir Gerçek Saha Performans Ölçüm Platformunun Tasarımı, Kurulumu ve Testleri, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul, Türkiye
- URL-1, 2022. *Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası*, T.C. Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://Enerji.Gov.Tr/Eigm-Yenilenebilir-Enerji-Kaynaklar-Gunes> (Erişim Tarihi:29.04.2022)
- URL-2, 2022. *Akü grupları*. <https://diyot.net/gunes-enerjisi/> (Erişim Tarihi: 28.10.2022)
- URL-3, 2022. *Akü şarj regülatörü*. <https://www.sk-solar.gr/pdf/conergy.pdf> (Erişim Tarihi: 28.10.2022)
- URL-4, 2022. *Akü şarj regülatörü*. <https://www.conrad.com/p/steca-pr-1515-charge-controller-pwm-12-v-24-v-15-a-1556059> (Erişim Tarihi: 28.10.2022)
- URL-5, 2022. *İnverterler* <https://www.tamsolar.com.tr/huawei-100-kw-trifaze-on-grid-inverter-sun2000l-100ktl/> (Erişim Tarihi: 28.10.2022)
- URL-6, 2022. *Off Grid inverter*. <https://www.solaxpower.com.tr/x1-boost/> (Erişim Tarihi: 28.10.2022)
- URL-7, 2022. *Dizi inverter*. <https://www.3de3enerji.com.tr/huawei-36kw-trifaze-on-grid-inverter/> (Erişim Tarihi: 28.10.2022)
- URL-8, 2022. *Merkezi inverter*. <https://www.fimer.com/central-inverters/pvi-5000-cn> (Erişim Tarihi: 28.10.2022)
- URL-9, 2022. *Hibrit inverter*. <https://www.genbayapimarket.com/goodwe-3648d-es-tek-faz-hibrit-inverter> (Erişim Tarihi: 28.10.2022)
- URL-10, 2022. *Çift yönlü sayaç*. <https://www.kontrolkalemi.com/akilli-sebeke-ve-getirisi/> (Erişim Tarihi: 28.10.2022)
- URL-11, 2022. *Konnektör*. <https://www.yatmalzemeleri.com/urun/solar-panel-mc-4-konnektor-kiti> (Erişim Tarihi: 28.10.2022)
- URL-12, 2022. *DC kablolar*. <http://www.yedigunelektrik.com/tr/haberler/solar-kablo-nedir-neden-onemlidir/3> (Erişim Tarihi: 28.10.2022)
- URL-13, 2022. *Kablo taşıma tavası*. <https://gersan.com.tr/tr/products/detail/610/agr-hizmet-tipi-kablo-kanal-h40mm> (Erişim Tarihi: 28.10.2022)
- URL-14, 2022. *Parafudr*. <https://www.yilkomer.com/parafudr-teknolojisiinde-devrim-citel-vg-teknoloji/> (Erişim Tarihi: 28.10.2022)

- URL-15, 2022. *AC sigorta*. <https://elektroporium.com/legrand-c-tipi-3x40a-otomatik-sigorta-403346.html> (Erişim Tarihi: 28.10.2022)
- URL-16, 2022. *DC sigorta*. <https://tr.farnell.com/littelfuse/lphv0002z/fuseholder-10mmx38mm-pressure/dp/1818407> (Erişim Tarihi: 28.10.2022)
- URL-17, 2022. *Trafo*. <https://elektrikdagitim.wordpress.com/2019/11/06/trafo-nedir-trafo-ne-ise-yarar/> (Erişim Tarihi: 28.10.2022)
- URL-18, 2022. *Bağlantı elemanları*. <http://m.wanhossolars.com/roof-mounting-system/aluminum-solar-panel-kits-mid-clamps-for.html> (Erişim Tarihi: 28.10.2022)
- URL-19, 2022. *On Grid sistem*. <https://saeedtrader.com/industrial-solar-solution/> (Erişim Tarihi: 28.10.2022)
- URL-20, 2022. *Off Grid sistem*. <http://www.bmenerji.com.tr/solar-sistem-urunleri/> (Erişim Tarihi: 28.10.2022)
- URL-21, 2022. *Tarımsal sulama sistemi*. <https://www.cozum.co/tarimsal-sulama-sistemleri/> (Erişim Tarihi: 28.10.2022)
- URL-22, 2022. *Güneş pillerinin testi*. <https://www.zwickroell.com/tr-tr/solar> (Erişim Tarihi: 26.10.2022)
- URL-23, 2022. *Santral performans ölçümü*. <https://www.proerk.com/> (Erişim Tarihi: 24.11.2022)
- URL-24, *IEC Standartlarına Göre Güneş Enerjisi Santralleri Denetimi ve Ölçüm Hizmetleri*. <https://www.solarian.com.tr/gunes-enerjisi-santralleri-ges-denetimi-ve-olcum-hizmetleri/> (Erişim Tarihi: 25.11.2022)
- URL-25, 2022. *Kar yağışı sonrası panel*. <https://nexten.com.tr/> (Erişim Tarihi: 26.10.2022)
- URL-26, 2022. *Dron ile panel temizliği*. <https://ortayaisfikirleri.com/> (Erişim Tarihi: 26.10.2022)
- URL-27, 2022. *Panellerde noktasal hotspot*. <http://www.redmexico.org.mx/> (Erişim Tarihi: 26.10.2022)
- URL-28, 2022. *Panellerde alansal hotspot*. <https://www.sunkauf.de/module-mit-hotspots/> (Erişim Tarihi: 26.10.2022)