



**T.C.
ŞIRNAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENERJİ BİLİMİ VE TEKNOLOJİLERİ ANA BİLİM DALI**

**PVSYST YAZILIMI İLE ŞEBEKEYE BAĞLI 1 MW KAPASİTELİ
GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİNİN SİMÜLASYONU VE
PERFORMANS ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed Said Ulaş

ŞIRNAK, 2025

**T.C.
ŞIRNAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENERJİ BİLİMİ VE TEKNOLOJİLERİ ANA BİLİM DALI**

**PVSYST YAZILIMI İLE 1 MW KAPASİTELİ GÜNEŞ ENERJİSİ
SANTRALİNİN TASARIMI, SİMÜLASYONU VE PERFORMANS
ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed Said ULAŞ

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Ahmet TURŞUCU**

ŞIRNAK, 2025

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu tez çalışmasının Şırnak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlandığını, bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılıyıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımınla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Tezi Hazırlayan:

Muhammed Said ULAŞ

İmza:

TEZ YAZIM KILAVUZUNA UYGUNLUK

“Pvsyst Yazılımı İle Şebekeye Bağlı 1 MW Kapasiteli Güneş Enerjisi Santralinin Simülasyonu Ve Performans Analizi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Şırnak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu’na uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Muhammed Said ULAŞ

Danışman

Doç. Dr. Ahmet TURŞUCU

Enerji Bilimi Ve Teknolojileri Ana Bilim Dalı Başkanı

Dr. Öğr. Üyesi Edip TAŞKESEN

KABUL VE ONAY SAYFASI

Doç. Dr. Ahmet TURŞUCU danışmanlığında **Muhammed Said ULAŞ** tarafından hazırlanan “**Pvsyst Yazılımı İle Şebekeye Bağlı 1 MW Kapasiteli Güneş Enerjisi Santralinin Simülasyonu Ve Performans Analizi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Şırnak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Enerji Bilimi Ve Teknolojileri** Ana Bilim Dalı’nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jürisi	Unvanı, Adı ve Soyadı	İmza
Jüri Başkanı	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Şefik Üney	
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Hakan Dumrul	
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Ahmet Turşucu	

Savunma Tarihi: 21 / 05 / 2025

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun ../../.... tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. İbrahim HÜSEYİNİ

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmamın tüm süreçlerinde bakış açısı, rehberliği, teknik ve akademik olarak her anlamda motivasyon ve destek kaynağım olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Ahmet Turşucu'ya,

Yaytaş mevkiinde yer alan KEYVAR ŞEN-PA güneş enerjisi santralini ziyaret ettiğim zamanlarda sistem hakkında tüm bilgilerin tespit edilerek analiz, saha kontrolleri ve değerlendirme anlamında destek olan işletme sahibi Sanai ŞEN'e ve destek çalışanı Servet Bey'e

Ayrıca çalışma süresi boyunca yoğunluğum ve yorgunluğumu bilerek bu konuda yanımda olmayı ve moral vermeyi hiç bir zaman esirgemeyen değerli ailem ve çocuklarıma çok teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÖZET	ix
ŞEKİL DİZİNİ.....	xi
TABLO DİZİNİ	xiv
KISALTMALAR VE SİMGELER	xv
GİRİŞ.....	1
1. LİTERATÜR İNCELEMESİ	3
2. ENERJİ ÜRETİM VE KURULU GÜÇ İSTATİSTİKLERİ	7
3. SOLAR ENERJİ.....	13
3.1. Güneşin Temel Geometrik Açıları	13
3.1.1. Deklinasyon (sapma) açısı	13
3.1.2. Saat açısı.....	14
3.1.3. Enlem açısı	15
3.1.4. Zenit açısı	15
3.1.5. Yükseklik açısı	16
3.1.6. Azimut açısı.....	16
3.1.7. Hava kütlesi (Air Mass) spektrumu	17
3.1.8. Yüzey eğim açısı.....	18
3.1.9. Geliş açısı.....	18
3.2. Fotovoltaik Solar Teknoloji Ve Çalışma Metodolojisi	19
3.2.1. Solar hücre ve paneller	21
3.2.2 Monokristal ve polikristal hücreli paneller	24
3.2.3. İnce film paneller.....	25
3.2.4. Çift yönlü (bifacial) ve half cut (yarım hücreli) paneller.....	26
3.3. Solar Panellerde Bulunan Bileşenler.....	28
3.3.1. Panel dizileri	28
3.3.2. Sabit fotovoltaik modüller	28
3.3.3. Hareketli fotovoltaik modüller.....	29
3.3.4. Şarj bataryaları (aküler)	29
3.3.5. İnverterler (DC-AC dönüştürücü).....	30
3.3.6. Elektrik şebeke sayacı.....	30
3.4. PV Panellerde Kullanılan Bazı Ölçüm Cihazları.....	31
3.4.1. Piranometre (ışınım - radyasyon sensörü)	31
3.4.2. Ortam ve panel sıcaklık sensörleri	31
3.4.3. Anemometre (rüzgar hızı) ve yön sensörü	32
3.4.4. Nem ve Yağış Sensörleri.....	33
3.4.5. Kirlenme sensörü.....	34
3.5. Fotovoltaik Sistemlerde Performans Oranı	34
3.6. PV Panellerde MMPT (Maksimum Güç Noktası İzleyici).....	35

3.6.1. Fill factor (dolgu faktörü).....	36
4. SOLAR ENERJİ ÜRETİMİNDE VERİMİ ETKİLEYEN PARAMETRELER.....	38
4.1. Gerilim ve Akım Değerlerinin Işınım ve Sıcaklığa Göre Durumu	38
4.2. Panel Eğimi.....	38
4.3. Kablo Kayıpları ve İç Direnç Kaybı.....	39
4.4. Gölgeleme Kayıpları	39
4.5. Panel Dizilerine Ait Uyumsuzluk Kaybı	40
4.6. PV Sistem İnverter Kayıpları	41
4.7. DC ve AC Kablo Kayıpları	41
4.8. Mikro Çatlama Kayıpları.....	41
4.9. Kabarcıklanma Sorunu	42
4.10. Diyot Sorunları.....	43
4.11. Sıcak Nokta Etkisi (Hot Spot)	43
5. ŞEBEKEYE PARALEL (ON-GRİD) BAĞLI SİSTEMLER	44
5.1. On-Grid Sistemlerin Bazı Özellikleri.....	44
5.2. Şebekeye On-Grid Bağlı Sistem Çeşitleri	45
5.2.1. Merkezi dönüştürücülü sistem	45
5.2.2. Dizi dönüştürücülü sistemler	45
5.2.3 Modül dönüştürücülü sistemler	46
6. MATERYAL VE YÖNTEM.....	47
6.1. PVsyst Yazılım Programı.....	47
6.2. Şebekeye Bağlı (Grid-Connected) Proje Tasarımı	51
6.2.1. Yönlendirme (orientation) alanı.....	52
6.2.2. Sistem alanı	53
6.2.3. Ayrıntılı kayıplar (detailed losses) alanı	55
6.2.4. Horizon (ufuk çizgisi) alanı	56
6.2.5. Yakın gölgelemeler (near shadings definition).....	57
6.2.6. Modül düzeni	59
6.2.6. Ekonomik değerlendirme ve enerji yönetimi.....	59
6.3. PVsyst Yazılımında Santral Tasarımı.....	60
7. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME.....	68
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	76
KAYNAKÇA.....	78
EKLER	83

ÖZET

PVSYST YAZILIMI İLE ŞEBEKEYE BAĞLI 1 MW KAPASİTELİ GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİNİN SİMÜLASYONU VE PERFORMANS ANALİZİ

ULAŞ, Muhammed Said

Yüksek Lisans, Enerji Bilimi ve Teknolojileri Bölümü

Danışman: Doç. Dr. Ahmet Turşucu

Şubat 2024, 78 Sayfa

Enerji tüketimi, sanayi devrimi dönemiyle adeta miladı başlatıp istatistiksel anlamda takip eden yıllar içerisinde devamlı artış kaydetmiştir. Sanayi devrimi döneminden günümüze kadar tüketilen enerji, bu süreçte teknolojik ve ekonomik anlamda bir çok gelişme kaydettirmesi her ne kadar pozitif değerlendirilse bile tüm bunların yanında küresel çapta dezavantajları olmuştur. Yine bu dönemde özellikle fosil yakıtlar tüketildiği için havaya salınan karbondioksit (CO₂) ve karbonmonoksit (CO) gazları, güneş ışığının geri yansımaları engelleyerek zamanla ‘sera etkisi’ oluşumu meydana gelmiştir.

Kömür, petrol, nükleer enerji ve doğalgaz gibi sera etkisi oluşumuna sebep olan yakıtlar yenilenemeyen kaynaklar olarak bilinmektedir. Bu yakıtların geleceği ve sebep oldukları büyük zararlar insanlar tarafından bilinmesiyle birlikte zaman içerisinde atmosfere zarar vermeyen, daha ucuz, temiz ve yenilenebilen enerji kaynakları (YEK) için çalışmalar yapılarak önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Bu kaynaklar rüzgar, su, güneş, dalga, atık, jeotermal v.b. olmaktadır. Yenilenebilen enerji kaynaklarından biri olan güneş (solar) enerjisi hayat devam ettiği müddetçe bitmeyen bir enerji kaynağıdır. Ülkemizde YEK içerisinde güneş enerjisinden üretilen elektrik enerjisinin toplam kurulu güçteki payı çok fazla görülmesi bile kullanımının giderek artması, kolay kurulum yapılması ve maliyet oranlarının düşmesi kurulu güçteki payına olumlu etki etmektedir.

Bu çalışmada, Diyarbakır ili Yenişehir ilçesinde kurulu 1 MW kapasiteli güneş enerjisi santraline ait gerçek saha üretim verileri ile PVsyst yazılım simülasyon verileri kıyaslanmıştır. Santralde yer alan gerekli tüm parametreler PVsyst programına tanıtılıp, 2023 yılına ait veriler baz alınarak enerji üretim tahminlemesi saha verileriyle karşılaştırılmıştır. Güneş enerjisi santrali ortamına ait konum, iklim bilgileri, panel yön bilgisi ve eğim açısı, PV ve invertör teknik özellikleri gibi bileşenler tek tek tespit edilip programa yüklenmiştir. Yapılan analiz değerlendirmesinde sahada 2023 yılı için toplamda 1.497.426 kWh üretim tespit edilirken PVsyst uygulamasında 1.447.714 kWh üretim tahminlenmiştir. Elde edilen üretim değeri kıyaslamasında bazı aylarda artma ya da azalma yönünde fark gözlemlenirken toplam üretimde saha verilerine oldukça yakın sonuç elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik sistemler, PVsyst yazılımı, Güneş enerjisi, Performans analizi

ABSTRACT

SIMULATION AND PERFORMANCE ANALYSIS OF A 1 MW CAPACITY SOLAR POWER PLANT CONNECTED TO THE GRID WITH PVSYST SOFTWARE

ULAŞ, Muhammed Said

MSc, Department of Energy Science and Technologies

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet Turşucu

February 2024, 78 Pages

Energy consumption started with the industrial revolution and has been increasing statistically in the following years. Although the energy consumed from the industrial revolution to the present day has made many technological and economic developments in this process, it has also had disadvantages on a global scale. Again, especially during this period, since fossil fuels were consumed, carbon dioxide (CO₂) and carbon monoxide (CO) gases released into the air prevented the reflection of sunlight and over time, the formation of the 'greenhouse effect' occurred.

Fuels that cause the greenhouse effect, such as coal, oil, nuclear energy and natural gas, are known as non-renewable resources. As people became aware of the future of these fuels and the great damage they caused, significant developments have been made over time by studies for cheaper, cleaner and renewable energy sources (YEK) that do not harm the atmosphere. These sources are wind, water, sun, wave, waste, geothermal, etc. Solar energy, one of the renewable energy sources, is an energy source that will not end as long as life continues. Although the share of electricity produced from solar energy in the total installed power within the YEK in our country is not seen as very high, its increasing use, easy installation and decreasing cost rates have a positive effect on its share in the installed power.

In this study, the real field production data of the 1 MW capacity solar power plant installed in the Yenışehir district of Diyarbakır province were compared with the PVsyst software simulation data. All necessary parameters in the plant were introduced to the PVsyst program and the energy production estimate was compared with the field data based on the data for 2023. Components such as the location of the solar power plant environment, climate information, panel direction information and tilt angle, PV and inverter technical specifications were determined one by one and loaded into the program. In the analysis evaluation, a total of 1,497,426 kWh of production was determined in the field for 2023, while 1,447,714 kWh of production was estimated in the PVsyst application. While a difference in increase or decrease was observed in some months in the comparison of the production values obtained, a result very close to the field data was obtained in total production.

Keywords: *Photovoltaic systems, PVsyst software, Solar energy, Performance analysis*

ŞEKİL DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1. Elektrik üretiminin türkiye'de yıllara ve kaynaklara göre dağılımı (GWh) (M. Yılmaz, 2024)	8
Şekil 2. 2023 - 2024 haziran ayı sonları elektrik üretiminin kaynaklara göre gösterimi (MWh) (M. Yılmaz, 2024)	9
Şekil 3. Türkiye güneş potansiyeli haritası (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2023)	11
Şekil 4. Diyarbakır güneş potansiyeli (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2023)	11
Şekil 5. Diyarbakır için aylara göre ortalama radyasyon değerleri (kWh/m ² -gün) (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2023)	12
Şekil 6. Diyarbakır için aylık (gün bazında) ortalama güneşlenme süreleri (Saat) (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2023)	12
Şekil 7. Günlere göre deklinasyon açısı değişimi (Detay Gezgin, 2023).....	14
Şekil 8. Saatlere güneş saat açısı (Özdoğan, 2023)	15
Şekil 9. Dünya düzlemine göre bazı güneş açıları (Özdoğan, 2023)	15
Şekil 10. Güneş yükseklik ve zenit açısı (Özdoğan, 2023)	16
Şekil 11. Güneş izdüşümü ve güney arası azimut açısı (Özdoğan, 2023).....	17
Şekil 12. Zenit açısına göre air mass değerleri (G2V Engineer, 2024)	17
Şekil 13. Geliş açısı ile birlikte diğer güneş açıları (Soyoğuzpınar, 2021)	18
Şekil 14. Maddelerin bant aralıkları (Demirtürk, 2023).....	20
Şekil 15. Yarıiletken katmanlarından gelen ışık sonrası gerçekleşen elektron hareketi (Kaymak, 2023).....	20
Şekil 16. P-N tipi yarıiletkende elektron hareketiyle meydana gelen elektrik alan (Demirtürk, 2023).....	21
Şekil 17. Güneş hücresi görünümü (Antalya Enerji, 2023)	21
Şekil 18. Bypass diyotunun örnek çalışma şeması (New, 2021).....	22
Şekil 19. Hücreden diziye solar panel görünümü (Raven, 2023).....	23
Şekil 20. Solar panel katmanları (İzmirli, 2022).....	23
Şekil 21. Tekli ve çoklu kristal panel örnekleri (E. Yılmaz, 2021)	24
Şekil 22. İnce film çatı ges örneği (Gezegen Solar, 2024)	25
Şekil 23. Çok katmanlı solar hücre yapısı (Epj.org, 2023)	26
Şekil 24. Standart tek - iki yönlü hücre yapısında ışınım etki durumu ve örnek bifacial kurulum görseli (New Energy, 2019)	26
Şekil 25. Yıllara göre monokristal ve bifacial panellerin dünya genelindeki durumu (Braga vd., 2023).....	27
Şekil 26. Tam ve yarım hücre yapısı (Solar Mag, 2020).....	27
Şekil 27. Kurulu ges panel sistemi (Gezegen Solar, 2024)	28
Şekil 28. Belirli yönde yapabilen paneller (Mohammed & Shakarji, 2022).....	29
Şekil 29. Güç- zaman çizelgesinde sabit ve hareketli sistem karşılaştırılması (Kodak, 2020)	29
Şekil 30. İnverter örnekleri.....	30
Şekil 31. Piranometre (Erdem, 2022)	31
Şekil 32. Ortam ve panel sıcaklık sensörleri (Seven, 2022).....	32

Şekil 33. Rüzgar hız ve yön sensörleri (Seven, 2022)	33
Şekil 34. Nem ve yağış sensör örnekleri (Seven, 2022).....	33
Şekil 35. Diziler arasına paralel yerleştirilen kirlenme sensörü (Seven, 2022)	34
Şekil 36. Şarj takip cihazı (MPPT) (Mühendistan, 2020)	36
Şekil 37. Akım-Gerilim eğrisi ve MPPT noktası (Öztürk, 2013)	36
Şekil 38. Dolgu faktörü alanı ve hesabı (Öztürk, 2013).....	37
Şekil 39. Işınım ve sıcaklığa bağlı akım-gerilim grafiği (M. Shahryar, 2022)	38
Şekil 40. Işık açısının panele yansıdığı açı gösterimi (A. R. Dal, 2021)	39
Şekil 41. Mevcut bir engele göre panelin dikey ve yatay yerleştirilmesi (Çilli, 2019).....	40
Şekil 42. Toplam üretime oranla GES sistemindeki ortalama kayıplar (Erişgin, 2022)	41
Şekil 43. Termal görüntü ile hücre çatlak tespiti (Yildiz & Ergün, 2019)	42
Şekil 44. Kabarcıklaşma noktaları bulunan panel (Maysun Solar, 2022).....	42
Şekil 45. Diyot arızalı PV panel (Yildiz & Ergün, 2019)	43
Şekil 46. Panellerde termal görüntü ile tespit edilen hot spot etkisi (Özdem, 2023)	43
Şekil 47. Şebekeye on-grid bağlantılı sistem şeması (Ceylan & Gürel, 2021)	44
Şekil 48. Merkezi invertör şebeke bağlantı şeması (Sinovoltaik, 2024).....	45
Şekil 49. Dizi invertör şebeke bağlantı şeması (PurePower Engineering, 2023).....	46
Şekil 50. Modül inverter şebeke bağlantı şeması (Bouchakour vd., 2014).....	46
Şekil 51. Proje akış diyagramı.....	48
Şekil 52. PVsyst giriş ekranı	49
Şekil 53. Veritabanları sayfası	50
Şekil 54. Konum seçimi ekranı	50
Şekil 55. Koordinat giriş ekranı	51
Şekil 56. Şebekeye bağlı veri giriş ekranı	52
Şekil 57. Yönlendirme ekranı.....	53
Şekil 58. Sistem veri giriş ekranı	54
Şekil 59. Fotovoltaik panel seçimi ve teknik özellik detay ekranı.....	54
Şekil 60. İnvertör model ve teknik özellik detay ekranı.....	55
Şekil 61. Kayıp ekranı	56
Şekil 62. Horizon çizgi diyagramı.....	57
Şekil 63. Yakın gölgeleme ekranı	58
Şekil 64. Panel yerleşim ve gölgelendirme tasarımı	58
Şekil 65. Ekonomik değerlendirme ekranı	59
Şekil 66. PV Modül giriş alanı	61
Şekil 67. İnverter giriş alanı	61
Şekil 68. PV panel (solda) ve invertöre (sağda) ait teknik özellik etiketleri.....	61
Şekil 69. Sahanın kuşbakışı görüntüsü.....	62
Şekil 70. Santral ünite sınırlarının alanı	63
Şekil 71. Santral zemini ve çevre yolları.....	64
Şekil 72. PV dizisine bağlanan invertörler	65
Şekil 73. Modül taşıyıcı sistem detay şablonu	65
Şekil 74. Birleştirici (Combiner) pano iç görüntüsü	66
Şekil 75. Panel bağlantı şeması	66
Şekil 76. Birleştirici (solda) ve invertör (sağda) topraklama bağlantısı.....	67
Şekil 77. Şebeke trafosu (solda) ve invertör (sağda) termik şalter panosu	67
Şekil 78. Saha ve PVsyst verilerinin aylık üretim değerleri ve sapma oranları	68

Şekil 79. Sistemin tek hat bağlantı şeması	69
Şekil 80. Sistem ve proje özeti	69
Şekil 81. PV karakteristiği ve genel parametreler	70
Şekil 82. Dizi kayıpları.....	71
Şekil 83. Ufuk diyagramı	71
Şekil 84. Yakın gölgelemeler.....	72
Şekil 85. Genel üretim, kayıplar ve performans oran tablosu	73
Şekil 86. Sistem kayıp çizelgesi	74
Şekil 87. Sistem güç dağılımı tanım grafikleri.....	75



TABLO DİZİNİ

Sayfa

Tablo 1. Türkiye'de kaynak türüne göre 2022 - 2023 yılları toplam lisanslı kurulu güç değerleri (MW) (M. Yılmaz, 2024)	7
Tablo 1 ve Tablo 2'deki değerlere göre geçmiş yıl ve haziran ayı istatistikleri, yenilenebilir kaynaklara ait kurulu güçlerde ve özellikle güneş enerjisi kurulumlarında artış yaşandığı izlenmektedir.	8
Tablo 2. Türkiye'de lisanslı elektrikte 2023 haziran ve 2024 haziran ayları sonu kaynaklara göre toplam kurulu güç ve oranları (M. Yılmaz, 2024).....	8
Tablo 3. Türkiye'de lisanssız üretim başvurularının 2023 yıl sonu durumu (MWe) (M. Yılmaz, 2024)	10
Tablo 4. Türkiye'de lisanssız üretimde kaynakların kurulu güce göre dağılımları (M. Yılmaz, 2024)	10
Tablo 5. Bazı PV hücrelerine ait dolgu faktörü ve diğer değerler (Öztürk, 2013).....	37
Tablo 6. PV panel teknik özellikleri.....	60
Tablo 7. İnvertör teknik özellikleri	60
Tablo 8. Diyarbakır ili aylık ortalama sıcaklık değerleri (°C) (Meteoroloji 15. Bölge, 2025).....	62
Tablo 9. 2023 yılına ait Diyarbakır ili günlük ortalama sıcaklık değerleri (°C) (Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, 2025)	62
Tablo 10. Diyarbakır ili aylık güneşlenme süresi (saat).....	63
Tablo 11. Diyarbakır ili günlük güneşlenme süresi (saat).....	63

KISALTMALAR VE SİMGELER

Kısaltmalar	Açıklamalar
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları
EPDK	: Enerji Piyasaları Denetleme Kurumu
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
IEC	: Uluslararası Elektronik Komisyonu
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MPPT	: Maksimum Güç Noktası İzleyici
LMT	: Local Mean Time
MWh	: Megawatt saat
MWe	: Megawatt elektrik
kWh	: Kilowatt Saat
KVA	: Kilovolt Amper
GES	: Güneş Enerjisi Santralleri
FF	: Fill Factor (Dolgu Faktörü)
NOCT	: Nominal Çalışma Şartlarındaki Panel Sıcaklığı
PO	: Performans Oranı
On-Grid	: Şebeke Bağlantılı
Off-Grid	: Şebeke Bağlantısız
Bypass	: Köprüleme
GPA	: Güneş Paneli Adeti
GPG	: Güneş Paneli Gücü
İHA	: İnsansız Hava Aracı
HIT	: Heterojunction with İntrinsic Thin Layer
PF	: Paketleme Faktörü
STK	: Standart Test Koşulları
EVA	: Etilen Vinil Asetat

Simgeler	Açıklamalar
Si	Silisyum
GaAs	Galyum Arsenid
T_h	Hücre Sıcaklık
$T_ç$	Çevre sıcaklığı
T_{stk}	Standart Test Koşulları Sıcaklığı
δ	Deklinasyon Açısı
ω	Saat Açısı
GS	Güneş Saati
$\emptyset$	Enlem açısı
Ψ	Zenit Açısı
α	Yükseklik Açısı
γ_s	Azimut Açısı
H.K.	Hava Kütlesi
β	Yüzey Eğim Açısı
θ	Geliş Açısı
AM	Air Mass
Atm	Atmosfer
W	Watt
W_p	Watt Peak
$^{\circ}C$	Derece
PV	Photo Voltaik
$CuInSe_2$	Bakır İndiyum Diselenid
CdTe	Kadmiyum Tellür
I	Akım
I_{sc}	Kısa Devre Akımı
I_{mp}	Maksimum Güç Akımı
R	Direnç
CO_2	Karbondioksit
V	Volt (Gerilim)

V_{OC}	Açık Devre Gerilimi
V_{mp}	Maksimum Güç Gerilimi
P	Güç
P_{max}	Maksimum Güç
DC	Doğru Akım
AC	Alternatif Akım
PbA	Kurşun Asit
NiCd	Nikel Kadmiyum
Ah	Amper Saat
UV	Ultraviole
J_o	Akım Yoğunluğu
E_g	Yasak Bant Enerji Aralığı
η_h	Hücre Verimi
τ_g	Modül Geçirgenlik Sabiti
α_h	Absorbsiyon Oranı
B_s	Berraklık
\$	Dolar
m	Metre
η_{inv}	İnvertör Verimi

GİRİŞ

Güneş ışıını, güneş yüzeyinde gerçekleşen füzyon reaksiyonları ve tepkimeleri sonucunda oluşan patlamalar ile yayılan enerjidir. Nükleer çekirdek patlaması olarak da bilinmektedir. Güneşten yayılan bu ışıının bir kısmı atmosfer tabakalarına girerken bazı nedenlerden dolayı % 30'u yeryüzüne ulaşmadan soğurulmaktadır. Bu engeller tabakalardaki gazlar ve bulutlar olabilmektedir. Toplam ışıının yarısı direkt olarak, yaklaşık %20'si dolaylı bir şekilde yeryüzüne ulaşmaktadır. %1'den az bir kısmı da bitkilere yansımasıyla fotosentez olayı gerçekleşip oksijen üretilmektedir. Işınım yeryüzüne ulaştıktan sonra su, toprak, kar, ağaclar ve taşlarda farklı oranlarda soğurulmakta ve bir kısmı bu yerlerden geri yansımaktadır.

Yeryüzüne yansıyan güneş ışıınından günümüz teknolojiyle çok farklı alanlarda faydalanılmaktadır. Yararlanılan bu alanların en önemlilerinden biri enerji sektörü ve bu da elektrik enerjisi olmaktadır. Güneş enerjisinin elektrik tüketimini karşılama payı zamanla pozitif ivme kazanmaktadır. Fotovoltaik paneller ile elektrik enerjisi, güneş kollektörleri ile ısı enerjisi, yine ışıınım vasıtasıyla yapay fotosentez gibi teknolojiler üretilmektedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022).

Güneşin ışıınım enerjisinden dünya yüzeyine yansıyan fotonlar, hiç bir şekilde karbon emisyon salınımı yapmadan solar hücre denilen güneş pilleri sayesinde elektrik enerjisine dönüştürülerek gerekli enerji ihtiyacını belirli oranda karşılamaktadır. Solar hücre içerisinde foton enerjisine duyarlı yarıiletken malzemeler bulunmaktadır. Geçmişten bu yana en fazla kullanılan yarıiletken maddesi silisyumdur (Si). Diğer yarıiletken maddelere göre yeryüzünde yüksek oranda bulunmaktadır. Yarıiletken maddeler içerisinde yer alan yasak enerji bant genişliği mesafesi, fotonla uygun bir etkileşim kuracak bir mesafe olmasından ötürü enerji üretimine olanak sağlamaktadır. Solar hücre teknolojisi için bu malzemelerin kullanımı bu konuda büyük önem arz etmektedir (Kaymak, 2023).

Ülkeler, yenilenebilir enerji kaynaklarına son yıllarda daha fazla yatırım yapmaya başladı. Fosil yakıtlar diğer adıyla karbon salınımı yapan enerji kaynakları dünyanın her yerinde aynı rezerv miktarlarında bulunmamaktadırlar. Haliyle rezerv alanları çok olan ülkelerden enerji ya da kaynak satın alan diğer ülkeler buralara enerji ihtiyacı bakımından bağımlı hale gelmektedir. Karşılıklı enerji ticareti yapan ülkeler arasında siyasi, askeri ve ekonomik çatışmalar olması halinde kaynak sağlayan ülke, enerji bakımından güçlü olmasından ötürü böyle durumlarda kaynağı kesip karşı ülke ya da ülkeleri zor durumda

bırakabilir. Nitekim 2022 yılı başlarında Rusya ve Ukrayna arasında yaşanan savaş ile birlikte Rusya'dan bir çok ülkeye aktarılan doğalgaz akımı bazı noktalarda durduruldu. Bunun sonucunda etkilenen ülkeler enerji açıklarını kapatmak amacıyla farklı kaynakların teminine başvurmak zorunda kaldılar. Bu kaynaklardan biri de güneş enerjisi oldu. GES, ilk kurulum aşaması sırasındaki maliyetleri haricinde büyük bakım masrafları içermeyen, belirli bir yıldan sonra bu maliyetleri de amorti eden, başka ülkelere ihtiyaç duymadan enerji tüketimine cevap veren enerji sistemleridir.

Temiz enerjilerden biri olarak bilinen güneş enerjisi sistemleri, enerji piyasasında geniş alanlara kurulu güç bakımından büyük çapta kurulumlar gerçekleştirilmektedir. Kurulu gücün artması, proje ön fizibilite çalışmaları ve üretim tahminleme gerekliliklerini beraberinde getirmektedir. Santrallerin performanslı olarak çalışması, şebeke yönetimi, bakım stratejilerinin oluşturulması, yıllara bağlı ekonomik değerlendirme gibi çoğu alanda ön tahminleme çalışmalarının karar destek anlamında fayda sağlamasıyla önemli mesafeler kaydedilmektedir. Analiz sonuçları içerisinde elde edilen sağlıklı tahminlemeler, cihazların verimli kullanımına, maliyet düşümüne ve karlılığa yararlı olmaktadır.

Bu çalışmadaki amaç, güneş enerjisi santrallerine ait üretim verilerini tahminleyerek öncesinde önemli noktalar için gerekli bilgi sahibi olup proje süreçlerini sağlıklı ve en verimli bir şekilde yürütülmesine destek sağlamaktır. Yapılan analiz çalışması dikkate alındığında üretim tahminlemesine hangi parametrelerin ne oranda etki ettiği, kayıplar ve performans oranı ile birlikte detaylı görülebilecektir. Analiz çalışması, PVsyst yazılım programını simülasyon ve performans değerlendirmesi anlamında deneyimleyecek kullanıcılara yol gösterebilir.

1. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Fatma Yiğit kendi çalışmasında, PVsyst portalini kullanarak şebekeye bağlı 1 MW kapasiteli ges santralının saha koşullarını ele alıp portal üzerinde sümule ederek verisel yakınlık analizi yapmıştır. Santralde kullanılan panel adeti, inverter adeti, alan ve koordinat bilgilerini sistemde kullanmıştır. Saha ve PVsyst uygulama değerleri karşılaştırması sonucu yıllık toplam üretim enerji değerleri bazında % 4,6 fark oranı ile doğruluk tespiti elde etmiştir (Yiğit, 2023).

Zafer Ramazan Şahin yaptığı araştırmada, şebekeye bağlı bir güneş enerjisi santralinde kullanılan 335 Wp gücündeki paneller ve 100 kW gücündeki inverterleri sahadaki adet ve güç miktarlarına göre PVsyst simülasyon programında sisteme tanıtip yıllık enerji üretim kıyaslaması yapmıştır. Çalışma sonucunda % 3,33 değerinde bir sapma gözlemlemiştir. Uygulamanın genel anlamda gerçek saha verilerine yakın değerler ortaya çıkardığı izlenimi doğmuştur (Z. R. Şahin, 2024).

Hülya Çınaroğlu çalışmasında, şebekeden bağımsız bir güneş enerjisi sisteminin beş çeşit durumunu farklı paneller kullanarak PVsyst yazılımında analiz etmiştir. Bu durumları, yatay eksen, mevsimsel, dikey eksen, sabit ve çift eksen şeklinde takip sistemlerini uygulayıp performans oranı, verim ve kayıpları karşılaştırmıştır. Yaptığı tespitler sonucunda, tüm takip sistemleri için de ışımaya bağlı kayıpların yaz mevsiminde daha fazla, kış mevsiminde ise daha az olduğunu gözlemlemiştir. Paneller içerisinde yıllık üretim tespitinde en fazla üretimi ince filmde, en az üretimi polikristal panellerde görmüştür. Yıllık toplam kayıp kıyaslamasında ince film panelin monokristale oranla % 3,61 daha yüksek bir değer ortaya çıkardığı tespitine varmıştır (H. Çınaroğlu, 2023).

Aysun Şahin yaptığı çalışmada, kurulu bir ges santralının saha bilgilerini elde ederek PVsyst ve PVSOL yazılım uygulamalarında karşılaştırma analizi gerçekleştirmiştir. Şırnak ili Meteoroloji Müdürlüğü verilerini, sıcaklık ve radyasyon bazında her iki uygulamada simülasyon çıktısını alarak kıyaslamıştır. Sahada gerçek yıllık üretim değeri 1.242.772 kWh iken PVsyst simülasyon sonucunda 1.377.012 kWh elde etmiştir. Aynı şekilde PVsyst yazılımında performans oranını % 84,36 ; üretim doğruluk oranını da % 89 olarak gözlemlemiştir (A. Şahin, 2024).

Muhammed Enes Üründü yaptığı analiz çalışmasında, Konya ili Yunak ilçesine ait Ayritepe Mahallesinde bulunan 1 MW kurulu güçteki bir güneş enerjisi santralinin gerçek saha verileri ile PVsyst ve PVSOL yazılımlarını kullanarak simülasyon değerlerinin kıyaslamasını yapmıştır. Yıllık üretim değerini PVsyst yazılımı kullandığında % 5,43 bir sapma, PVSOL uygulaması kullandığında ise % 1,83 değerinde bir sapma elde etmiştir. Elde ettiği bulgular sonucunda her iki yazılımın da kurulum, kurulum tamamlanma sonrasında optimizasyon, konfigürasyon ve sistem tasarımı gibi çalışmalarda kullanımlarının faydalı ve işlevsel oldukları çıkarımını yapmıştır (Üründü, 2025).

Büşra Karaca yaptığı araştırmada, Ankara ilinde 75 kW kapasiteli güneş enerjisi santrali için PVsyst ve Matlab uygulamalarını karşılaştırmalı olarak kullanarak farklı simülasyonlar oluşturup olumlu ve olumsuz taraflarını analiz etmiştir. Burada Matlab uygulamasında, MGNI (Maksimum Güç Noktası İzleyicisi) algoritmali ve MGNI algoritmasız şeklinde simüle oluşturmuştur. Işınım süresinin yoğun olduğu aylarda PVsyst yazılımında oluşan enerji üretimi değerleri, Matlab MGNI algoritma kullanılan yazılıma göre daha az olduğunu gözlemlemiştir. Araştırmacı, yıllık bazda enerji üretim farklarını değerlendirdiğinde PVsyst ile MGNI algoritmali Matlab simülasyonu arasında % 6,46; PVsyst ile algoritmasız Matlab simülasyonu arasında % 28,97 ve algoritmali ve algoritmasız Matlab tasarımları arasında % 33,56 olarak bulmuştur. Çalışma sonucunda, PVsyst yazılımının tasarımının kolay, ekonomik çıkarım yapılabilmesi, ticari yönden kullanıma daha elverişli olduğu; Matlab yazılımının ise çoğu veri girişlerinin manuel eklenmesi, inverter tasarımının ayrıca yapılması, panel yerleşimi konusunda yalnızca hesaplama yapabilmesi açısından ticari yönden elverişli olmadığı fakat araştırma çalışmalarında çok faydalı sonuçlar elde edilebildiği yorumunu yapmıştır (Karaca, 2023).

Mehmet Sinan Çınaroğlu yaptığı analiz çalışmasında, Kilis ilinde bulunan 1000 kWh üretim gücünde Geylan Enerji GES, 1040 kWh gücünde Akdemir GES 1029 kWh gücünde Ataoğlu GES'lerine ait simülasyon ölçümlerini PVsyst 7.1 yazılımında yapmıştır. Simülasyon sonucunda son üç yıl ortalama enerji üretimleri PVsyst değerlerine yakın çıktığını görmüştür. Santrallerin üç yıla ait üretim verileri ile PVsyst yazılım sonucunda çıkan değerler arasında % 10 sapma olduğunu görmüştür. Ayrıca Kilis 7 Aralık Üniversitesinde 1 MWh kurulu güç değerinde bir ges kurulması durumunda üretilen enerji miktarını PVsyst programında yıllık 1735,6 kWh olarak bulmuştur. Kurulacak santralin ekonomik anlamda maliyetinin geri ödeme zamanı uygulama programında 7 yıl olarak görülmüştür (M. S. Çınaroğlu, 2021).

Mahmudzade Seymur kendi çalışmasında, PVsyst 7.4 yazılımını kullanarak Azerbaycan/Bakü şartlarında büyük ölçekli güneş enerjisi santralının performans analizini yapmıştır. 3 MW kapasiteli sistemde yıllık en yüksek çift eksenli üretimde 5371 MWh, performans oranını % 88,6 olarak bulmuştur. Dizi kayıplarını 0,57 kWh/kWp/gün, sistem kaybını 0,06 kWh/kWp/gün olarak gözlemlemiştir. Aynı şekilde önlenen en yüksek karbon emisyon 52733.9 tCO₂ , en düşük ise 42065.5 tCO₂ değerinde bulmuştur. Çalışmasında takip sistemi açısından tek eksenli olanların çevre şartları anlamında daha verimli olduğu ve emisyon oranında % 35'e kadar düştüğünü tespit etmiştir (Mahmudzade, 2024).

Zainullah Serat ve arkadaşları yaptıkları analiz çalışmasında, PVsyst yazılımı kullanarak on-grid bağlı bir çatı güneş sisteminin tasarım ve ekonomik analizini gerçekleştirmişler. Tasarım sürecinde solar potansiyel durumu, sistem boyutları, panel eğim ve yönünü tespit edip sistem performansını ortaya çıkarmışlardır. Tespit ettikleri bulgularda çatı sisteminin yıllık 19.323 kWh enerji üretimini ölçümlemişler. Finansal anlamda sistem geri ödeme zamanını 6,3 yıl olarak bulup, yatırım getiri oranını %457 şeklinde tahminlemişlerdir (Serat vd., 2023).

Fangfang Wang ve arkadaşları yaptıkları analiz çalışmasında, 50 MW şebeke bağlantılı sistemin simülasyon testini yapmışlardır. Sistemde mart ayından eylül ayına kadar izlenme gerçekleştirdiklerinde ışık yoğunluğunun fazla olduğu zamanlarda enerji üretiminin de paralelde artış gösterdiğini tespit etmişlerdir. Yıllık yaklaşık % 80 oranında bir performans oranı çıktısı vermiştir. Simülasyon sonuçlarına göre sistem üçüncü çalışma yılından sonra kar elde edebilir olduğu ve çalıştığı süre boyunca 1121310.388 tCO₂ emisyon miktarından tasarruf edilebileceği hesaplanmıştır (Wang vd., 2024).

Muhammed Muneeb Khana ve çalışma arkadaşları birlikte yaptıkları araştırmada, Pakistan'da şebeke bağlantılı PV sistemlerinin SAARC (South Asian Association for Regional Cooperation, Güney Asya Bölgesel İş Birliği Teşkilatı) ülkeleri ile karşılaştırmalı analizini PVsyst tabanlı yazılımla gerçekleştirmişlerdir. Tüm SAARC ülkelerinden coğrafi bir yer seçilip 9,6 kWp yük için 48 V ve 1,5 kW inverter modeli, 320 Wp panel gücü örnekleri performans çalışması tahminlemek için kullanılmıştır. Afganistan/Kabil şebekesine giden enerjinin, Hindistan/Ahmedabad'tan daha fazla olduğu bulunmuştur. Kabil'in güneş sistemi potansiyeline katkı sağlayan önemli bir unsur, şehrin yüksek güneş ışınlamı olduğu ve enerji üretimi 2027,9 kWh/m²/yıl olarak gözlemlenmiştir. Bhutan'ın başkenti Thimphu'nun ışınlamı 1807,3 kWh/m²/yıl olarak ölçülmüştür fakat bu ölçüm

Kabil'e göre çok düşük çıkmıştır. Maldivler'in başkenti Malé ve Hindistan'ın en büyük şehri Ahmedabad, her ikisinin de en düşük genel performans oranı %82,6 çıkmıştır. Pakistan'ın başkenti İslamabad ve Bangladeş'in başkenti Dakka'nın genel performans oranları %83,6 olarak tespit edilmiştir. Enerji üretimleri sırasıyla 13912 ve 12917 kWh/yıl şeklinde gözlemlenmiştir. Çalışma sonucu olarak uygun coğrafi konum, yüksek performans oranı, optimum PV panel ve invertör seçimleri ile SAARC ülkeleri arasında paylaşılabilecek enerji santrali tasarlanabileceği öngörüsünde bulunulmuştur (Khan vd., 2024).



2. ENERJİ ÜRETİM VE KURULU GÜÇ İSTATİSTİKLERİ

Ülkemizde bakanlık tarafından yayınlanan yıllık kurulu güç ve üretim miktarına ait istatistik değerleri, tablolarda görüldüğü gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının ilerleme oranlarını göstermektedir. Bu veriler petrol, doğalgaz ve ithal kömür gibi dışa bağımlı kaynaklar için de değişim oranlarını göz önüne getirmektedir. Tablo 1, 2022 ve 2023 lisanslı toplam elektrik kurulu güç değerlerini kaynak bazında belirtmektedir. Burada yıl bazında yenilenebilir kaynakların toplam kurulu gücü diğer kaynaklara nazaran daha yüksek paya sahip olmakla birlikte yenilenebilir kaynaklar içerisinde pay bakımından en yüksek artışı gerçekleştiren kaynak güneş enerjisi olmaktadır.

Tablo 1. Türkiye'de kaynak türüne göre 2022 - 2023 yılları toplam lisanslı kurulu güç değerleri (MW) (M. Yılmaz, 2024)

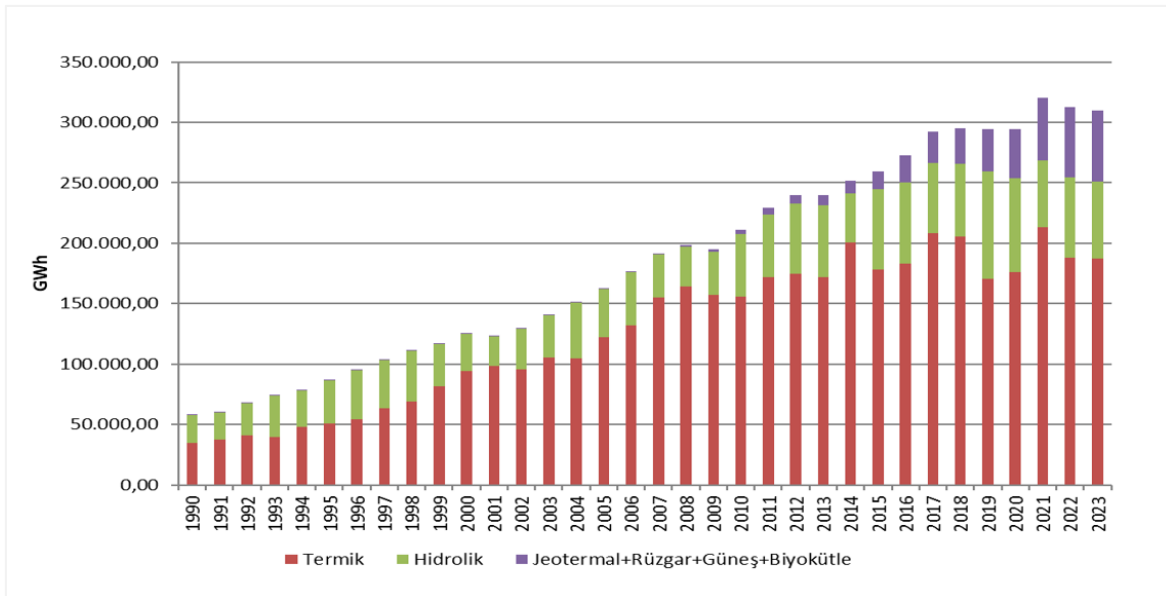
KAYNAK TÜRÜ	2022 Değeri (MW)	Pay (%)	2023 Değeri (MW)	Pay (%)	2022-2023 Değişimi (%)
BARAJLI	23.279,82	24,46	23.650,21	24,56	1,59
RÜZGÂR	11.307,45	11,88	11.706,67	12,16	3,53
AKARSU	8.274,77	8,7	8.297,26	8,62	0,27
BİYOKÜTLE	1.823,06	1,92	1.985,69	2,06	8,92
JEOTERMAL	1.691,34	1,78	1.691,34	1,76	0
GÜNEŞ	1.468,81	1,54	1.664,65	1,73	13,33
YENİLENEBİLİR	47.845,24	50,28	48.995,82	50,87	2,4
DOĞAL GAZ	25.233,09	26,52	25.230,98	26,2	-0,01
İTHAL KÖMÜR	10.373,80	10,9	10.373,80	10,77	0
LİNYİT	10.193,96	10,71	10.193,96	10,58	0
TAŞ KÖMÜR	840,77	0,88	840,77	0,87	0
ASFALTİT KÖMÜR	405	0,43	405	0,42	0
FUEL OİL	260,13	0,27	260,13	0,27	0
NAFTA	4,74	0	4,74	0	0
LNG	1,95	0	1,95	0	0
MOTORİN	1,04	0	1,04	0	0
TERMİK	47.314,47	49,72	47.312,36	49,13	0
Genel Toplam	95.159,71	100,00	96.308,18	100,00	1,21

Tablo 1 ve Tablo 2’deki değerlere göre geçmiş yıl ve haziran ayı istatistikleri, yenilenebilir kaynaklara ait kurulu güçlerde ve özellikle güneş enerjisi kurulumlarında artış yaşandığı izlenmektedir.

Tablo 2. Türkiye’de lisanslı elektrikte 2023 haziran ve 2024 haziran ayları sonu kaynaklara göre toplam kurulu güç ve oranları (M. Yılmaz, 2024)

KAYNAK TÜRÜ	2023 HAZİRAN		2024 HAZİRAN		DEĞİŞİM (%)
	KURULU GÜÇ (MW)	ORAN (%)	KURULU GÜÇ (MW)	ORAN (%)	
DOĞAL GAZ	25.258,49	26,45	24.574,67	25,51	-2,71
BARAJLI HİDROLİK	23.282,30	24,38	23.860,52	24,77	2,48
RÜZGÂR	11.470,32	12,01	12.138,48	12,6	5,83
İTHAL KÖMÜR	10.373,80	10,86	10.373,80	10,77	0
LİNYİT	10.193,96	10,68	10.193,96	10,58	0
AKARSU	8.293,21	8,69	8.306,79	8,62	0,16
BİYOKÜTLE	1.942,23	2,03	2.009,27	2,09	3,45
JEOTERMAL	1.691,34	1,77	1.691,34	1,76	0
GÜNEŞ	1.468,81	1,54	1.668,81	1,73	13,62

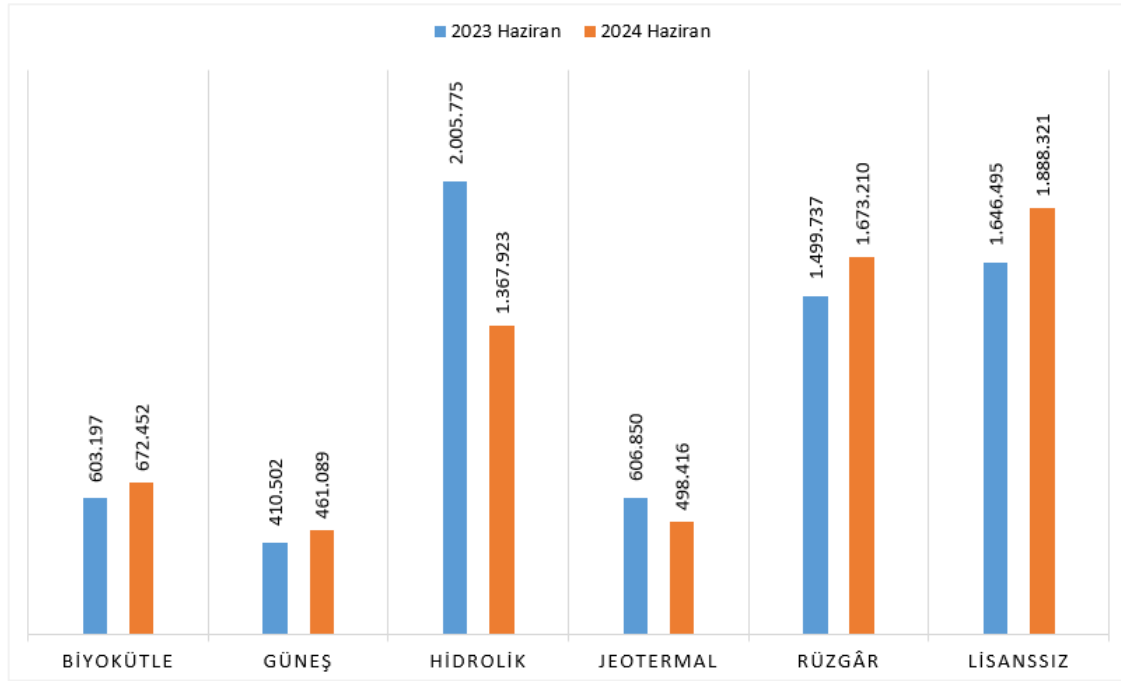
Şekil 1’de yıllar içerisinde enerji ihtiyacına göre elektrik üretimindeki artışın kaynaklara göre gösterimi bulunmaktadır. YEK’nda her ne kadar yıllar arasında karşılaştırma yapıldığında artış ve azalış oranı değişkenlik gösterse bile genel anlamda üretimde doğrusal bir yükselme izlenmektedir.



Şekil 1. Elektrik üretiminin türkiye’de yıllara ve kaynaklara göre dağılımı (GWh) (M. Yılmaz, 2024)

2023 ve 2024 Haziran ayları YEK'na göre elektrik üretim kıyaslaması Şekil 2'de görülmektedir. Haziran ayına göre değerlendirildiğinde güneş enerjisinin elektrik üretimindeki payı bir önceki yıla göre %12 civarı gözükmemektedir. Lisanssız üretimden sonraki en fazla orana sahip bir pay olarak değişkenlik göstermektedir.

Lisanssız üretimler içerisinde hem kurulu güç hem de üretim bazında en fazla paya sahip kaynak yine güneş enerjisi olduğu EPDK istatistiklerin belirtilmektedir (M. Yılmaz, 2024).



Şekil 2. 2023 - 2024 haziran ayı sonları elektrik üretiminin kaynaklara göre gösterimi (MWh) (M. Yılmaz, 2024)

Ülkemizde lisanssız enerji üretimi için yapılan başvurular, yıllar bazında değerlendirildiğinde büyük bir artış çizgisinde ilerlemektedir. Başvurular içerisinde rağbet oranı ve başvuru sayısı en yüksek olan yenilenebilir enerji kaynağı güneş olmaktadır. Maliyet ve erişilebilirlik bakımından her kesimden insanın kurulumunu küçük çapta dahi olsa yapabileceği sistemler, güneş paneli sistemleri olabilmektedir.

Tablo 3'te 2023 yıl sonu başvuru güçleri megawatt elektrik (MWe) bazında görülmektedir.

Tablo 3. Türkiye'de lisanssız üretim başvurularının 2023 yıl sonu durumu (MWe) (M. Yılmaz, 2024)

Kaynak	Biyokütle	Güneş	Hidrolik	Kojenerasyon	Mikroenerasyon	Rüzgar
Bağlantı anlaşması aşamasında	4,86	6.691,75	5,08	52,51	0,05	130,77
Çağrı mektubu aşamasında	7,23	10.812,33	0,49	15,98		318,03
İptal edildi	14,22	1.722,84	15,32	113,32		82,91

2022 ve 2023 yılları lisanssız kaynak kurulu güçleri bazında kıyaslandığında Tablo 4'teki değişim ortaya çıkmaktadır. Tabloya göre iki yıl için de en yüksek lisanssız kurulu güç kaynak türü güneş olarak görülmektedir.

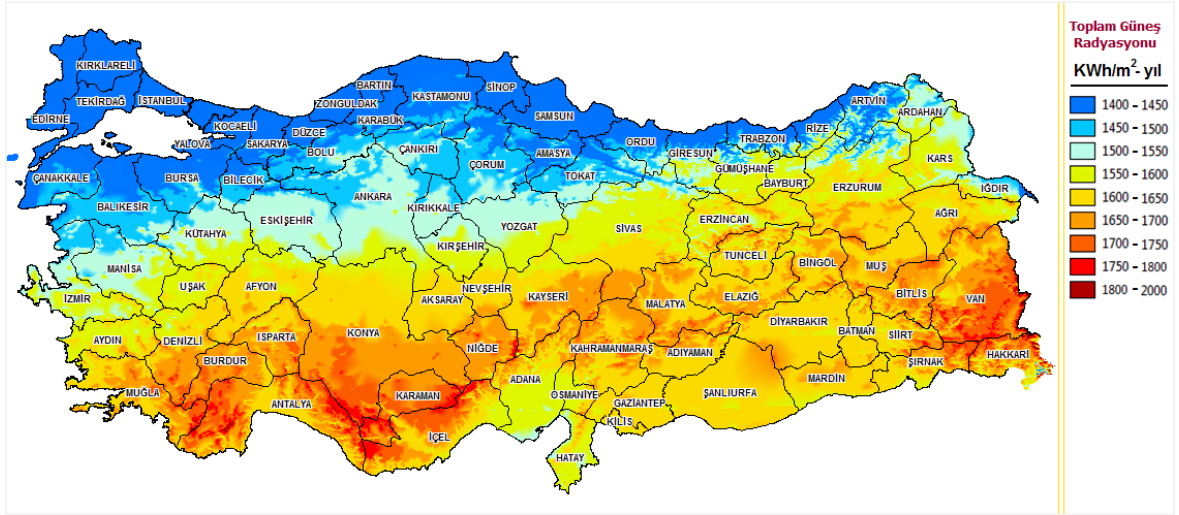
Tablo 4. Türkiye'de lisanssız üretimde kaynakların kurulu güce göre dağılımları (M. Yılmaz, 2024)

KAYNAK TÜRÜ	2022		2023	
	KURULU GÜÇ (MWe)	ORAN (%)	KURULU GÜÇ (MWe)	ORAN (%)
GÜNEŞ	9.362,05	93,35	12.333,60	94,58
DOĞALGAZ	481,80	4,8	497,81	3,82
GÜZGAR	79,03	0,79	99,83	0,77
BİYOKÜTLE	93,71	0,93	94,71	0,73
HİDROLİK	12,01	0,12	14,59	0,11
TOPLAM	10.028,60	100	13.040,53	100

Fotovoltaik panel üretiminde ülkemiz Avrupa'da ilk dünyada dördüncü sıradadır. Türkiye'de kurulumu yapılan küçük ölçekli GES'ler lisanssız üretim yönetmeliğine uyularak gerçekleştirilmektedir. Kurulu gücü belirli bir sınırın üzerinde olan kurulumlar lisanslı yönetmeliğe uyma zorunluluğu bulunmaktadır. İlgili maddelerin eklenip düzenlenme yetkisi Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından yapılmaktadır.

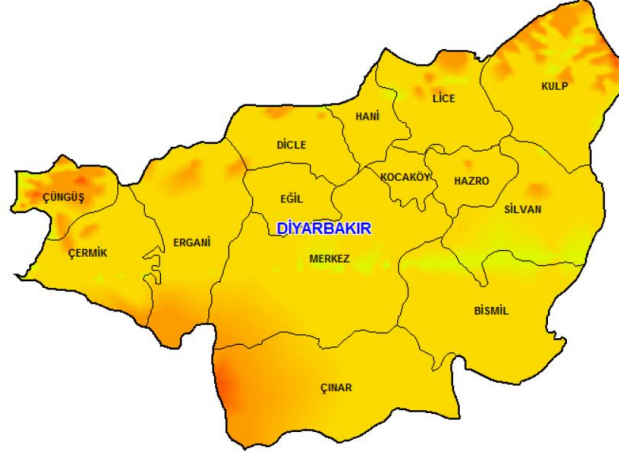
Şekil 3'te ülkemize ait güneş radyasyon aralıklarını gösteren potansiyel harita görülmektedir. Haritada görüldüğü gibi ışıının radyasyonu etkisi bölgenin sıcak ya da soğuk olmasına bağlı olmadan yıllık güneşlenme oranının yüksek olmasıyla doğru orantılı bir görünüm dikkate çarpmaktadır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) verilerinde Türkiye'nin yılda ortalama güneşlenme süresi toplam 2.741 saat, ortalama ışıının değeri toplamda 1.527,46 kWh/m² olarak bulunmaktadır.



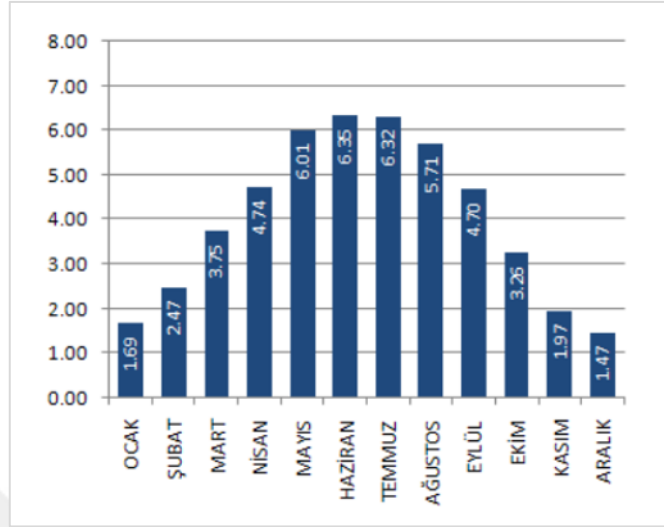
Şekil 3. Türkiye güneş potansiyeli haritası (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2023)

Işınım potansiyeli bakımından yüksek bölgelerden birisi Güney Doğu Anadolu Bölgesi'dir. Yıllık bazda 1650 – 1700 kWh/m² aralığında güneş radyasyonu bulunmaktadır. Şekil 4'te görüldüğü gibi bu aralıkta Diyarbakır ili de yer almaktadır.



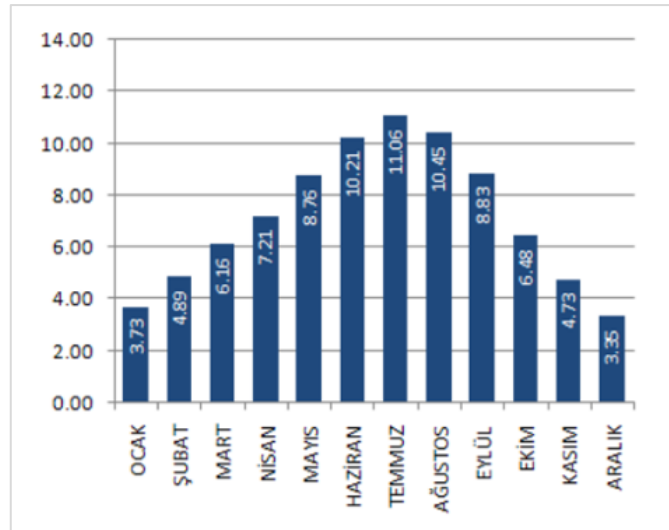
Şekil 4. Diyarbakır güneş potansiyeli (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2023)

Diyarbakır iline ait aylara göre gün bazında ortalama radyasyon değerleri ve yine gün bazında ortalama güneşlenme süreleri Şekil 5 ve Şekil 6’da gösterilmiştir.



Şekil 5. Diyarbakır için aylara göre ortalama radyasyon değerleri (kWh/m2-gün) (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2023)

Kış aylarında yaz mevsimine oranla havanın genellikle yağışlı ve bulutlu geçmesi sebebiyle güneşlenme süresi Diyarbakır’da mevsimlere göre oldukça farklılık göstermektedir.



Şekil 6. Diyarbakır için aylık (gün bazında) ortalama güneşlenme süreleri (Saat) (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2023)

3. SOLAR ENERJİ

3.1. Güneşin Temel Geometrik Açıları

Güneşten gelen ışınlar, dünya yüzeyindeki farklı düzlemlerle farklı açılar oluşturmaktadır. Bu açılar; saat, yükseklik, zenit, geliş açısı, azimut ve deklinasyon gibi açılardır. Güneş paneline yansıyan ışınlar dik açıya yaklaştıkça üretim verimini attırmaktadır. Dünya ekseninin eğikliği, güneşin ve kendi etrafındaki dönüşü gibi sebeplerle yeryüzüne yansıyan açı devamlı olarak değişkenlik göstermektedir.

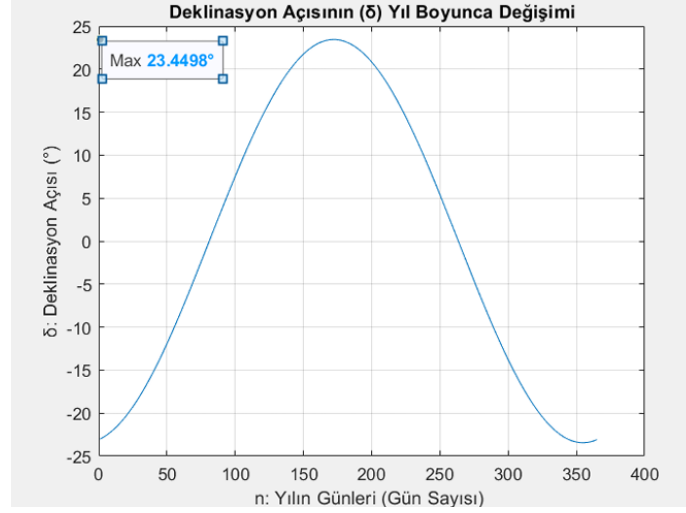
3.1.1. Deklinasyon (sapma) açısı

Mevsim ve aylara göre güneşe ait ışınların dünyaya yansımalarıyla geliş açısı oluşturmalarına deklinasyon açısı denir. 23.45^0 'lik açıyla 21 Haziran'da en fazla, -23.45^0 'lik açıyla ise 21 Aralık'ta en az değere gelmektedir. Bu süreç, dünyanın hem kendisi hem de güneş etrafında dönmesiyle oluşmaktadır. Gece ve gündüzün eşit olduğu ekinoks günlerinde (22-23 Eylül ile 20-21 Mart) deklinasyon açısı sıfır olmaktadır.

Başka bir tanımda güneş ışınları ile ekvator düzlemi arasındaki enlem açısıdır. 'δ' işaretiyle gösterilen deklinasyon açısı Denklem 1'de görüldüğü gibi Cooper eşitliği ifadesi kullanılarak hesaplanmaktadır. Eşiklik hesabında yer alan 'n' ifadesi yıl başlangıcı 1 Ocak olarak kabul edildiğinde yıla ait kaçınıcı gün olduğunu göstermektedir (Detay Gezgin, 2023).

$$\delta = \left(23,45 \sin\left(360 \frac{284+n}{365}\right) \right) \quad (1)$$

Örnek olarak 11 Haziran için hesaplanırsa yılın 162. gününe denk geldiğinden dolayı Şekil 7'de de görüldüğü gibi deklinasyon açısı bu gün için; $\delta = \left(23,45 \sin\left(360 \frac{284+162}{365}\right) \right)$ = 23,1 olacaktır.



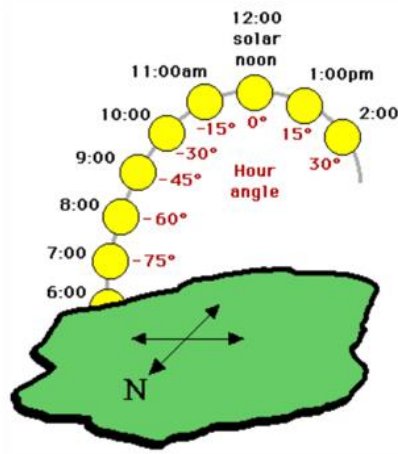
Şekil 7. Günlere göre deklinasyon açısı değişimi (Detay Gezgin, 2023)

3.1.2. Saat açısı

Saat açısı, dünyanın kendi dönüşünü yapması sırasında gün saatine göre Şekil 8’de görüldüğü gibi 15^0 ’lık değişen açılarla dönüşler yaparak meridyenin batı ya da doğusu tarafında güneşin yer değiştirme durumu olarak ifade edilmektedir. Meridyen açısı ile gelen ışınlar arasında bulunan açıdır. Öğle vakti sonrası pozitif, öncesinde negatif açı olmaktadır. Saate göre değerlendirildiğinde her 15^0 ’lık meridyen 1 saate tekabül etmektedir. Saat açısı, Denklem 2’de görüldüğü gibi yerel zaman ortalaması (Local Mean Time-LMT) ya da (GS=Güneş Saati) ifadesi üzerinden hesaplanmaktadır. Saat açısı ifadesi ‘ ω ’ şeklinde gösterilmektedir.

$$\omega = 15 \times (LMT - 12) \rightarrow LMT: \text{Güneş saati} \quad (2)$$

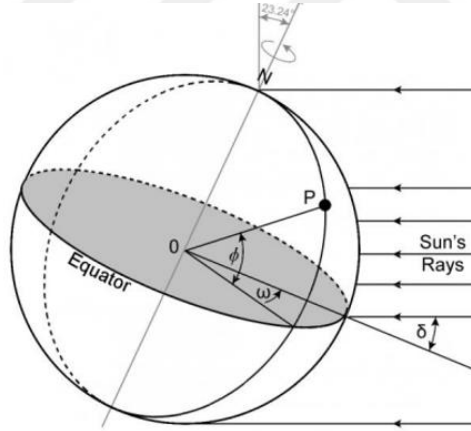
Bir örnek verilecek olunursa öğleden önce saat 11:00 için saat açısı; $\omega = 15 \times (11 - 12)$ formülü üzerinden $\omega = -15$ olmaktadır.



Şekil 8. Saatlere güneş saat açısı (Özdoğan, 2023)

3.1.3. Enlem açısı

Enlem açısı, yeryüzündeki gözlemci noktasının ekvator ile birleştiği yerde yaptığı açıdır. $+90^0$ ile -90^0 arası açı değeri almaktadır. 'Ø' olarak ifade edilmektedir. Şekil 9'da güneş açılarına ait gösterim bulunmaktadır.



Şekil 9. Dünya düzlemine göre bazı güneş açıları (Özdoğan, 2023)

3.1.4. Zenit açısı

Yeryüzünde bulunan gözlemci noktasının normali ve ışınlar arası oluşan açıdır. Bir yönüyle güneşin yükseklik açısıyla birlikte 90^0 'ye tamamlanır. Güneşin doğuş ve batış durumlarında zenit açısı yaklaşık 90^0 olurken, öğle saatinde 0^0 'ye çok yakın olmaktadır. 'ψ' ya da 'θz' ile ifade edilmektedir. Eşitlik ifadesi Denklem 3'teki gibidir (Detay Gezgin, 2023).

$$\psi = \alpha - 90 \quad (3)$$

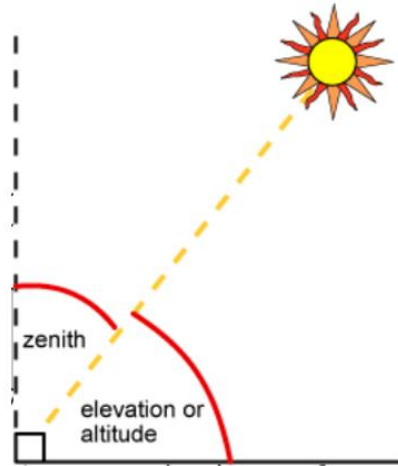
‘ α ’ ifadesi yükseklik açısını vermektedir. Zenit açısı diğer açılarla birlikte ifade edildiğinde Denklem 4’teki gibi gösterilmektedir.

$$\cos(\psi) = \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\delta) \cos(\omega) \quad (4)$$

3.1.5. Yükseklik açısı

Güneş ışınlarının gözlemci noktasının bulunduğu yeryüzü düzlemi ile doğrudan yaptığı açıdır. Şekil 10’da görüldüğü gibi zenit açısı ile birlikte 90° ’yi tamamlar. Denklem 5’teki gibi ‘ α ’ ifadesi ile gösterilmektedir.

$$\alpha = 90 - \psi \quad (5)$$

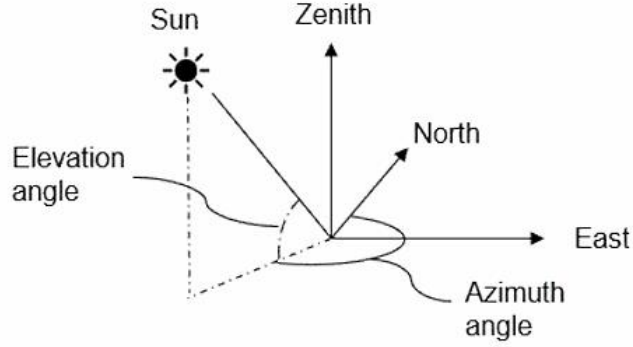


Şekil 10. Güneş yükseklik ve zenit açısı (Özdoğan, 2023)

3.1.6. Azimut açısı

Şekil 11’deki gibi herhangi bir yerde güneş ışınlarının yeryüzü düzlemine olan dik izdüşümü ile güney doğrultunun arasında yer alan açıdır. Bu açı, sabit konumlandırılan panellerin verimlilikleri açısından önem arz etmektedir. Azimut açısı tam güneyde 0° güney yönden doğuya negatif, batı tarafına pozitif kabul edilmektedir. ‘ γ_s ’ ifadesi ile gösterilmektedir. Azimut açısı Denklem 6’daki gibidir. Azimut açısı -180° ’den büyük ve eşit 180° ’den küçük ve eşittir (Detay Gezgin, 2023).

$$\gamma_s = \sin^{-1} \left[\frac{(\cos(\delta)\sin(\omega))}{\cos(\alpha)} \right] \quad (6)$$

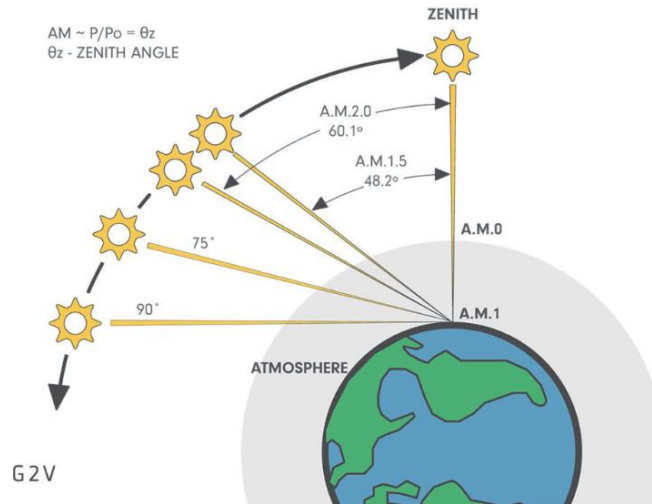


Şekil 11. Güneş izdüşümü ve güney arası azimut açısı (Özdoğan, 2023)

3.1.7. Hava kütlesi (Air Mass) spektrumu

Şekil 12’de görüldüğü gibi herhangi bir saat diliminde ışıının geçtiği hava kütlesinin, güneş tam ortada iken ışıının geçtiği hava kütlesine oranı air mass (hava kütlesi) ifadesini vermektedir. Eşitlik ifadesi Denklem 7’deki gibi olmaktadır (Ceylan & Gürel, 2021).

$$H.K. = \frac{1}{\cos(\psi)} \quad (7)$$



Şekil 12. Zenit açısına göre air mass değerleri (G2V Engineer, 2024)

Şekil 12’de örnek olarak zenit açısı yaklaşık 48° iken air mass değeri 1,5 olmaktadır. 60° iken 2, 90° ’ye yaklaştıkça 4 gibi bir değer almaktadır.

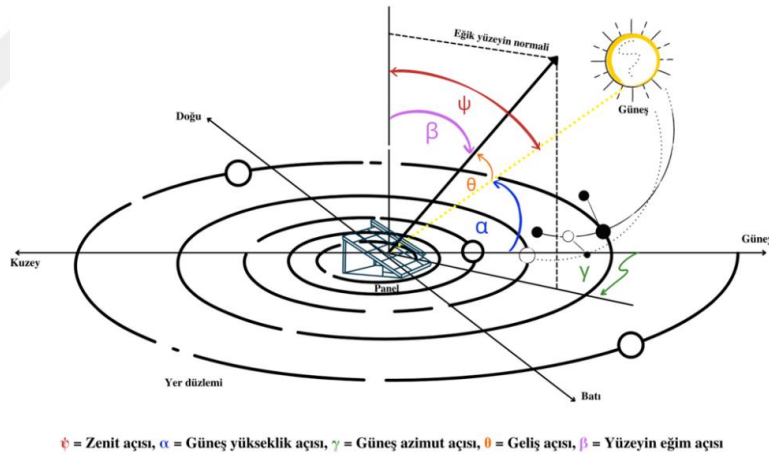
Zenit açısı 48° olduğunda hava kütlesi için, denklemde açı yerine yerleştirildiğinde $H.K. = \frac{1}{\cos(\psi)} = \frac{1}{\cos(48)} = 1,5$ değerini almaktadır.

3.1.8. Yüzey eğim açısı

Güneş panelinin yeryüzü yatay düzlemi ile yaptığı açıdır. ‘ β ’ gösterimi ile ifade edilmektedir.

3.1.9. Geliş açısı

Yansıyan ışınımın yeryüzünün normali ile yaptığı açı geliş açısını vermektedir. Güneş ışınlarının dik olduğu durumdaki geliş açısı 0, yüzeye paralel olduğu durumdaki geliş açısı 90° ’dir. Şekil 13’te görüldüğü gibi ‘ θ ’ ifadesi ile gösterilmektedir (Ceylan & Gürel, 2021).



Şekil 13. Geliş açısı ile birlikte diğer güneş açıları (Soyoğuzpınar, 2021)

Geliş açısı Denklem 8’deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\theta = \cos^{-1}[\cos(\delta) \cdot \cos(\psi - \beta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\delta) \cdot \sin(\psi - \beta)] \quad (8)$$

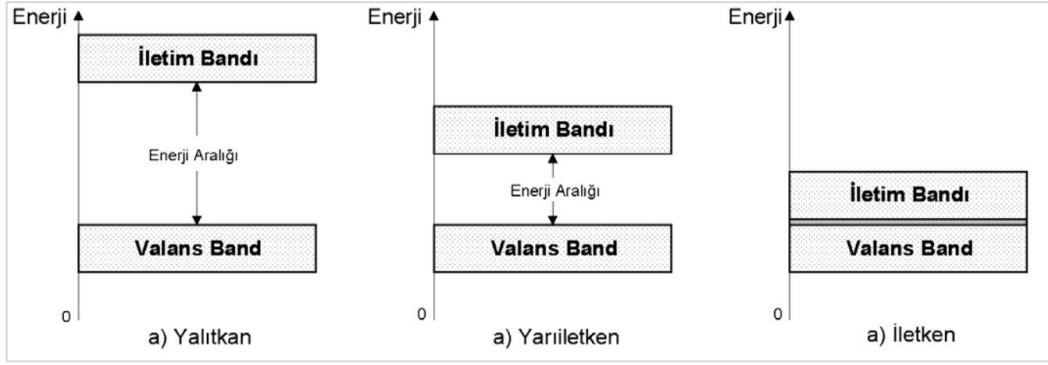
3.2. Fotovoltaik Solar Teknoloji Ve Çalışma Metodolojisi

Fotovoltaik güneş enerjisi, solar hücre içerisinde yer alan ve basit bir devre şeması şeklinde bağlantısı sağlanan yarıiletken maddeye ışığın düşmesi ile foton enerjisinin elektrik enerjisine doğrudan dönüştürülme işlemidir.

İlk olarak Edmond Becquerel isminde Fransız bir fizik bilim insanı 1839'da sıvı iletken içine bırakılan elektrotlar arasında, sıvı üzerine düşen ışınım sonrasında gerilim oluştuğunu farketmiştir. Bu olay fotovoltaik enerjinin çalışma prensibinin başlangıcı olarak bilinmektedir. G.Adams ve R.Days 1876'da fotovoltaik olayını ilk defa selenyum üzerinde deneyerek çalışma yapmıştır. 1914 yılında % 1'lik bir verimle solar hücre gözlemlerinde gerilim elde edilmiştir. 1954'te ilk kez silisyum maddesi kullanılarak foton enerjisinin elektrik enerjisine dönmesindeki verimlilik % 6'ya yükselmiştir. İlerleyen yıllarda uzay cihazları üzerinde ilk örnekler denenmeye başlanmıştır (Kaymak, 2023).

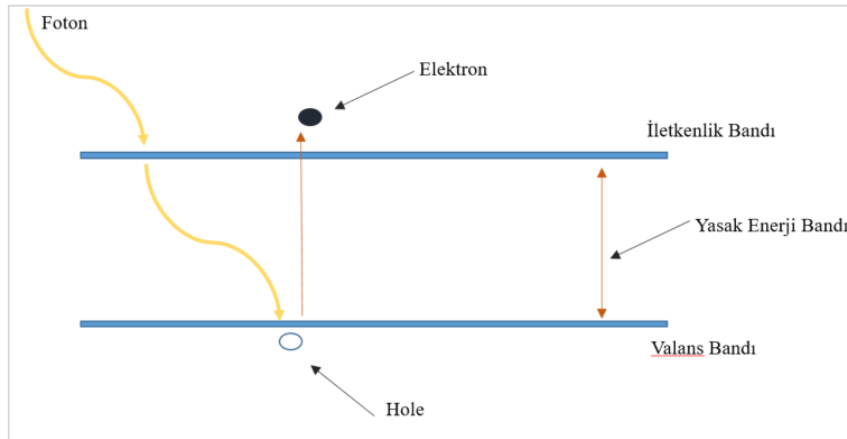
Başlarda üniversite düzeyinde araştırma ve geliştirme çalışmaları verimlilik anlamında yapılıyor olsa dahi zaman içerisinde yenilenebilir enerji kaynakları konusunda bilinçlenmenin artması ile birlikte büyük şirketler solar enerji üretimi konusunda gerekli sorumluluklar almışlardır (Kaymak, 2023).

Fotovoltaik hücrelerde kullanılan malzeme özellikle yarıiletken olarak bulundurulmaktadır. Maddeler içerisinde bulunan ve elektriksel etkinin gerçekleşip ya da gerçekleşemediği bantlar fotovoltaik elektrik enerjisinin açığa çıkması açısından önem arz etmektedir. İletken maddeler içerisinde Şekil 14'te görüldüğü gibi serbest dolaşan elektronların hareketlerini kısıtlayıcı yasak bir bant aralığı bulunmaz. Bu sebeple üzerine düşen ışığa aynı şekilde cevap verip geri göndermektedir. Bununla birlikte yasak aralığın olmamasından ötürü hollerden (boşluk) ayrılamayan elektronlar ışık kaynaklı bir elektrik akımı meydana getirememektedirler.



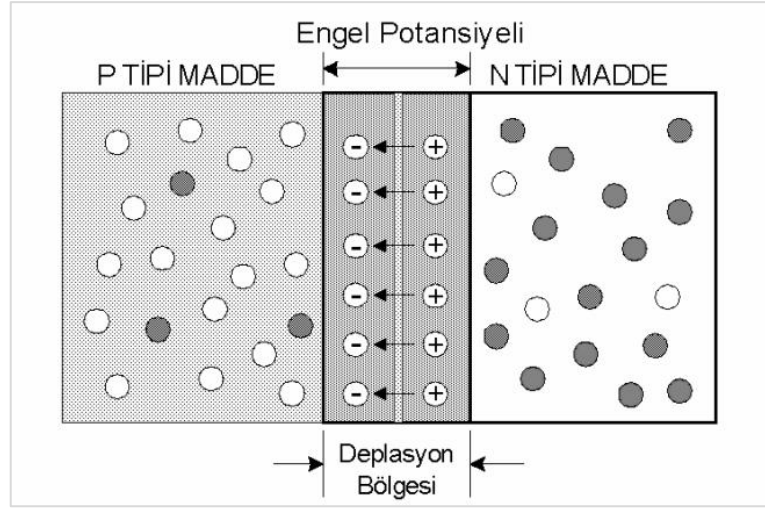
Şekil 14. Maddelerin bant aralıkları (Demirtürk, 2023)

Yarıiletken malzemelerde iletkenliği tamamen ortadan kaldıracak bir enerji boşluğu yani geniş yasak bant bulunmamaktadır. Madde içinde yer alan elektronun sıkıştığı anda atlayabileceği bir mesafe vardır. Şekil 15'te görüldüğü gibi güneşten bu malzemeye fotonun (ışık enerjisi) düşmesi ile birinci bantta elektron sayısının artması sonucu mevcut elektronlardan biri yasak bant aralığını geçerek ikinci bant katmanına yerleşmektedir. Elektron karşı tarafa geçerken kendi yerinde bir boşluk (hole) bırakmaktadır. Böyle devam ettikçe her iki katman duvarında karşılıklı holler ve elektronlar birikmektedir. Bu maddeye dışarıdan iletken bir bağlantı ile yük bağlandığında iletken içinden akım geçişi sağlanmış olacaktır.



Şekil 15. Yarıiletken katmanlarından gelen ışık sonrası gerçekleşen elektron hareketi (Kaymak, 2023)

Güneş hücrelerinde kullanılan yarıiletken malzemelerde Şekil 16'da görüldüğü üzere ışıyım sonucu hareket eden elektronlar bir tarafa pozitif holler bir tarafa dizilerek kutuplaşma meydana getirmektedirler. Elektron ilerlemesi her iki katmanda denge meydana gelene kadar devam etmektedir. Nihai durumda denge gerçekleştiğinde elektrik alan oluşmaktadır.



Şekil 16. P-N tipi yarıiletkende elektron hareketiyle meydana gelen elektrik alan (Demirtürk, 2023)

3.2.1. Solar hücre ve paneller

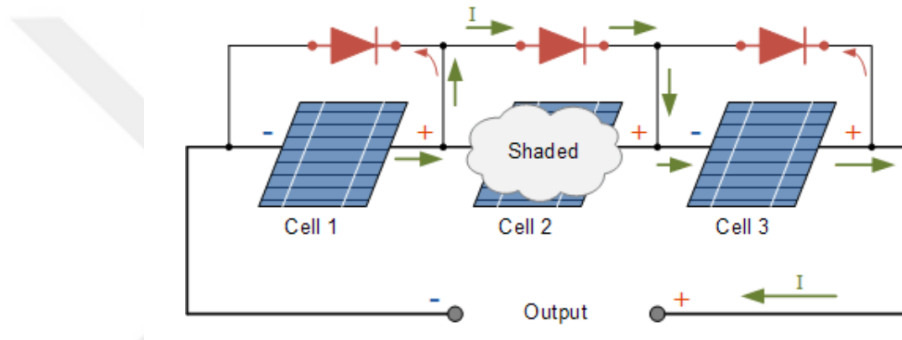
Fotovoltaik paneller, solar hücrelerin iletken noktalardan birbirleriyle genelde seri bağlanarak birleştirilmesi ile yapılmaktadır. Panel boyutları ve kurulum yapıldığı yerdeki sayısı, kullanım noktaları ile beraber tüketim ihtiyacına göre değişkenlik göstermektedir. Fotovoltaik panel piyasasında ticari olarak genellikle 60 ya da 72 hücreden oluşan modüller tercih edilmektedir. Panel hücre bağlantılarında Şekil 17’de görüldüğü gibi “tab” (lehimleme teli) ve “bus” (bağlantı teli) adı verilen iletkenler kullanılmaktadır. Panele ait hücreler bağlanırken artı kutuplar arka yüze eksi kutuplar ön yüze gelmektedir (Ceylan & Gürel, 2021).



Şekil 17. Güneş hücresi görünümü (Antalya Enerji, 2023)

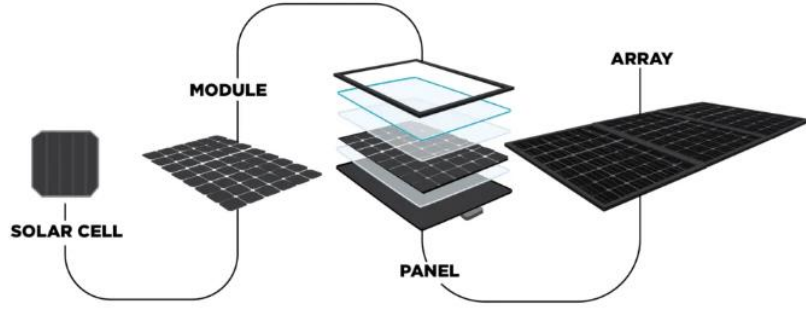
Modül içerisinde hücreler birbiriyle seri bağlanarak bir döngü tamamlandığında iki seri hat arasına Şekil 18’de de görüldüğü gibi diyot yerleştirilerek hücrenin gerçekleşebilecek herhangi bir sıcak nokta ve gölgelemeye karşı koruması sağlanmaktadır.

Sıcak nokta; çevresel bir darbe, çatlaklık, dolu...v.b nedenlerle modül gerilim ve güç dengesizliği sonucu hücrelerin aşırı ısınmasıyla meydana gelen etkidir. Bu durum lehimleme ve kapsüllemenin tahrip olmasına sebep olmaktadır. Normal şartlarda zaten aşırı sıcaklığın hücre verimi üzerinde olumsuz sonuçları bulunmaktadır. Sıcak nokta etkisinde ise hücre sıcaklığı belirli bir derecenin üzerine çıkmasıyla hücre yapısı bozulmaktadır. Kullanılan diyotlar oluşacak zararın sadece belli bir bölgede kalmasını sağlayarak enerjinin üretimini devam ettirmektedir. Ayrıca gölgelemede, üretimin azaldığı ya da durduğu noktalarda panelde kullanılan Bypass diyotu bu bölgeleri es geçerek üretimi sürdürmektedir (Duman & Alçı, 2022).



Şekil 18. Bypass diyotunun örnek çalışma şeması (New, 2021)

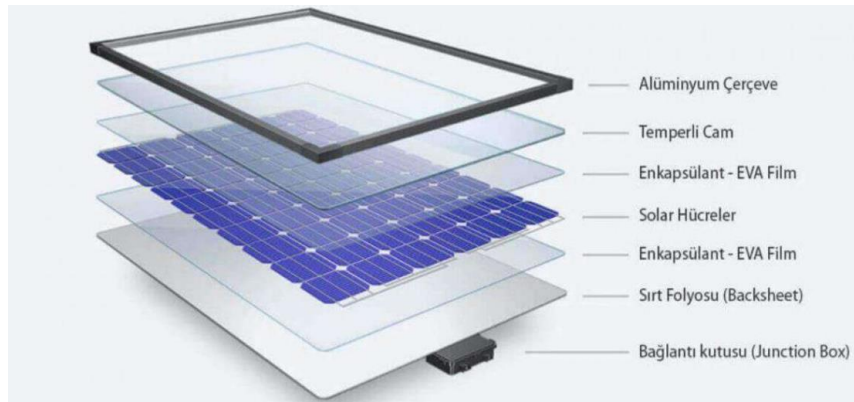
Hücreler bus teli ile bağlanarak bir araya getirildiğinde Şekil 19'da görüldüğü gibi modülleri, modüller bağlanarak panel ve dizileri meydana getirmektedirler. Modüllerin test edildiği ortamlarda; 25 °C sıcaklık, 1000 W/m² ışıınım enerjisi ile 1,5 AM (Air Mass) hava kütlesi (1,5 atm - atmosfer basıncı anlamına da gelmektedir) bulunmaktadır. Piyasada genellikle silisyum maddesi kullanılarak üretilen hücreler tek kristalli ve çok kristalli olarak üretilmektedir. Tek kristalli hücreler saf silisyum maddesinden üretildiğinden dolayı yapım aşaması zorlu süreçlerden geçmektedir. Bu sebeple maliyeti çok kristalli panellere oranla daha yüksek olmaktadır. Maddenin saf olması hücre verimlilik oranına artan bir etki göstermektedir (Kabadayı, 2021).



Şekil 19. Hücreden diziye solar panel görünümü (Raven, 2023)

Silisyum malzemesi haricinde kullanılan bileşik yarıiletkenler de bulunmaktadır. Panel yapısının farklılık göstermesine bağlı olarak bu maddeler kullanılmaktadır. İnce film, esnek film, çok katmanlı (multi junction cells), tek katmanlı gibi tiplerde hücreler üretilmektedir. Yapının ince, esnek ve çok katmanlı olması maliyete ayrı ayrı etki etmektedir. Üreticiler, panel kurulumu sonrası ortalama 20 – 25 yıl performans ve malzeme garantisi vermektedirler. Hatta bu yıllardan sonra bile performans oranı %80 üzerinde devam edebilmektedir (İzmirli, 2022).

Solar panel üretilirken belirli katmanlar oluşturularak, dış ortamdan gelebilecek zararlı etkilere karşı koruma sağlayacak ve güneş ışınımını en iyi şekilde absorbe edebilecek şekilde yapılmaktadır. Şekil 20’de görüldüğü gibi standart bir monokristal panel katmanları sıralanacak olunursa; en dış katman alüminyum çerçeve, sonrasında güneş ışığını en iyi şekilde geçirebilecek sağlam temperli cam, hücrelerin her iki yüzünde EVA (etilen-vinil-asetat) koruma kaplaması, arka yüzünde ise folyo ve bağlantı aparatları bulunmaktadır.



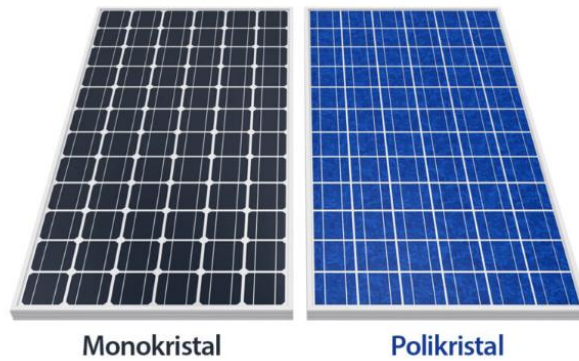
Şekil 20. Solar panel katmanları (İzmirli, 2022)

3.2.2 Monokristal ve polikristal hücreli paneller

Monokristal hücrelerin üretim aşamasında saf silisyum kullanılmaktadır. Başlangıçta kum ve kuvars halinde bulunan çoklu silisyum malzemesi yüksek sıcaklıkta eritilip kalıplar haline getirilmektedir. Kalıp haline getirilen kare ya da silindirik yapılar zorlu bir aşama daha olan dilimleme yöntemiyle ince levhalar haline getirilir. Bu altıgen ya da kare yapılara wafer denilmektedir. Daha sonra bu plakalara iletkenler eklenip PV (fotovoltaik) hücre meydana getirilir. İçerisinde yer alan silisyum maddesinin saflığının çok olması panel verimliliğini arttırmaktadır. Fraunhofer Enstitüsü tarafından 2018’de PV panel verimlilikleri hakkında deney yapılarak monokristal panellerde %26’nın üzerinde verim elde edilmiştir (Güneş, 2021).

Piyasada monokristal panellerin kullanılmasında ortalama verim %19 – 21 olmaktadır. Saf silisyum maddesi kullanılmasından dolayı hücreler daha koyu renkli ve homojendir. Rengin koyu olması ışınımı absorbe etme yeteneğini arttırmaktadır. Teknolojik anlamda yapım aşamasındaki zorluklar zamanla ilerleme kaydetmesi, beraberinde maliyeti de düşüreceğinden piyasada kullanımını daha da arttıracaktır.

Şuan için monokristal panellerin hala daha maliyetli olması polikristal hücrelerin üretilmesinde etkisi olmuştur. Polikristal modül üretimlerinde silisyumun saf hale getirilme işlemi gibi zorlu aşamaları olmadığından adından da anlaşılacağı üzere heterojen yapıda üretilmesi yapım ve kurulum maliyetini doğrudan düşürmektedir. Kullanılan malzemenin homojen yani saf olmaması verimin düşümüne de neden olmaktadır. Maliyetinin düşük olması piyasada daha fazla kullanılmasını sağlamıştır. Polikristal panellere dikkatle bakıldığında çoklu kristal yapı açık bir şekilde gözle görülmektedir. Şekil 21’de görüldüğü üzere hücre malzemesinin saf oluşu her iki panelin aralarındaki estetik ve renk farkını da göstermektedir (İzmirli, 2022).



Şekil 21. Tekli ve çoklu kristal panel örnekleri (E. Yılmaz, 2021)

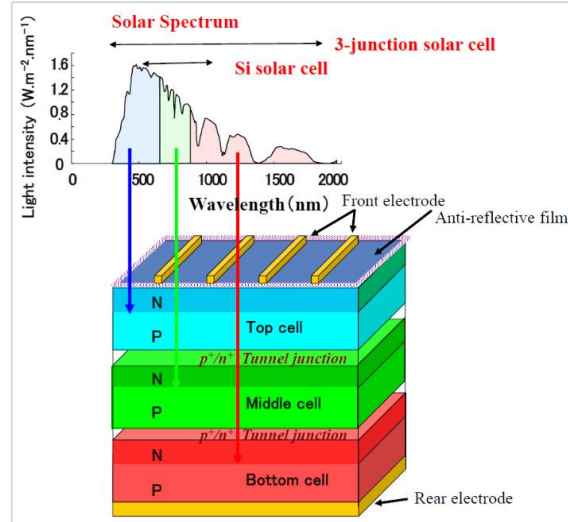
3.2.3. İnce film paneller

Bu türde üretilen paneller Şekil 22’de görüldüğü gibi ince ve esnek yapıda olmaktadır. Alan bakımından daha geniş yer kaplarlar. İnce ve esnek özellikleri sayesinde bir çok farklı yapılara bitişik bir şekilde kurularak üretim sağlanabilmektedirler. Bu panellerde ışıyınım radyasyonunu daha fazla absorbe etme özellikleri bulunmaktadır. Piyasada bulunan ürünleri tek katmanlı ve verim açısından düşük özellikte olduğı için genelde tercih edilmemektedir. İnce film hücrelerinde kullanılan malzemeler; bakır indiyum di selenid (CuInSe_2), amorf silisyum, kadmiyum tellür (CdTe), galyum arsenid (GaAs) gibi bileşik yarıiletken maddeler olmaktadır.



Şekil 22. İnce film çatı ges örneğı (Gezegen Solar, 2024)

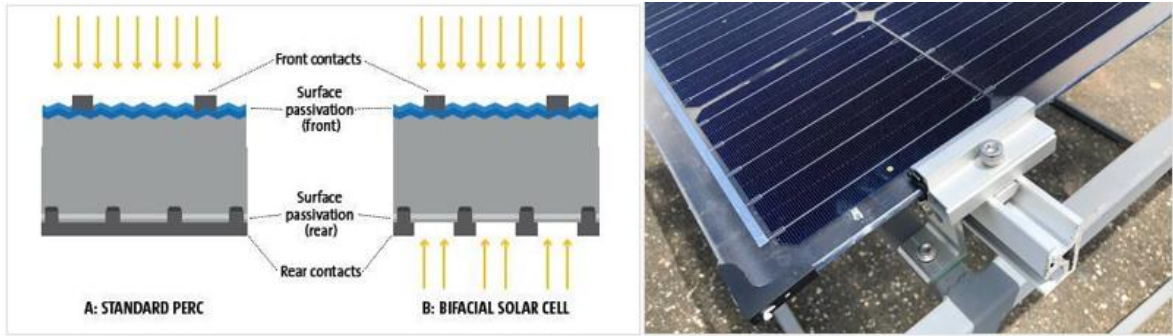
Panel hücreleri, çok katmanlı yapıda yani birden fazla yarıiletken malzemenin bulunduğı katmanlar kullanılarak üretildiğinde çok daha iyi verim vermektedirler. Fakat bu tarz üretim çok maliyetli olmasından ötürü piyasada pek bulunmamaktadır. Uzay çalışmaları, insansız hava savunma araç (İHA) üretimi gibi yerlerde kullanılmaktadır. Her bir yarı iletken madde ya da bileşik güneş ışığının farklı renklerine karşı duyarlı olabilmektedirler. Güneş ışığı spektrum bandında Şekil 23’teki gibi kırmızıdan maviye doğru birden fazla renk bulunmaktadır. Verim açısından da yine kırmızıdan maviye doğru bir artış söz konusu olmaktadır. Hücre için farklı katmanlarda kullanılan her bir yarıiletken malzemenin spektrumdaki renklerden bir ya da bir kaçını absorbe etme özelliğı bulunmaktadır. Bu da hücrenin multi-junction (çok katmanlı) olabilme durumunu ortaya çıkarmaktadır. Böyle bir uygulamada verim %45’lere kadar çıkabilmektedir (Selamoğlu, 2023).



Şekil 23. Çok katmanlı solar hücre yapısı (Epj.org, 2023)

3.2.4. Çift yönlü (bifacial) ve half cut (yarım hücreli) paneller

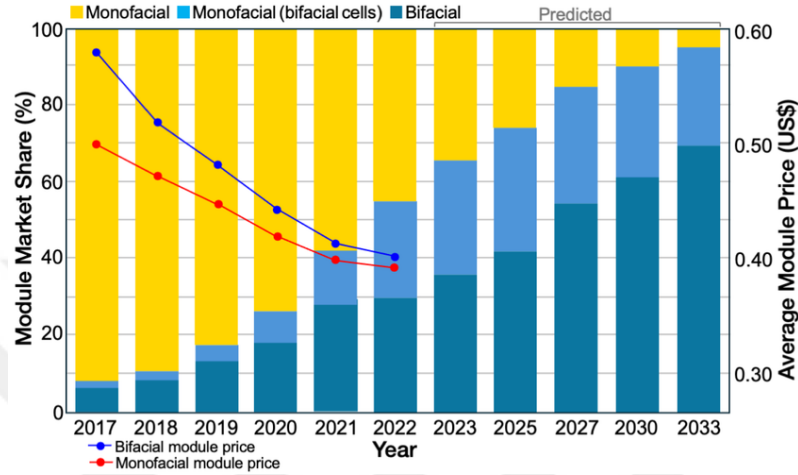
Bifacial panellerde Şekil 24'te görüldüğü gibi standart panellerin aksine sadece tek yüzeye değil her iki yüzeye de ışığın yansıyabilmesini olanak sağlayan şeffaf ince katman bulunmaktadır. Bu yapıya heterojunction with intrinsic thin layer (HIT) denilmektedir. Monokristal hücre tipi kullanılarak hazırlanan şeffaf aralıklı bifacial paneller, ışınım radyasyonunu ön yüzeye direk almaktadır. Ön yüzeyin %25'ine yakın aydınlanma enerjisi kadar arka yüzeye ışınım yansıyarak toplamda daha yüksek bir güç elde edilmektedir.



Şekil 24. Standart tek - iki yönlü hücre yapısında ışınım etki durumu ve örnek bifacial kurulum görseli (New Energy, 2019)

Çift yönlü panellerde iyi bir verim elde edilmesi ile birlikte ülkemizde maliyetinin hala daha fazla olması piyasada standart olanlara nazaran çok kullanılmamaktadır. Fakat üretim yapıldığı zamandan bu yana satın alma ve kurulumlarında artan bir eğri görülmektedir (New Energy, 2019).

Dünya piyasasında Şekil 25'te görüldüğü gibi 2023'e kadar bifacial solar panellerin büyüme eğrisi görülmektedir. 2023-2033 arasında ise tahmini büyüme izlenimi vardır. Aynı zamanda monofacial ve bifacial panellerin ortalama fiyat miktarı ilk yıllarda büyük bir fark olarak görülmekte iken zaman içerisinde azalarak her iki panel dünya genelinde fiyat bakımından birbirine yaklaşmış görülmektedir (Braga vd., 2023).

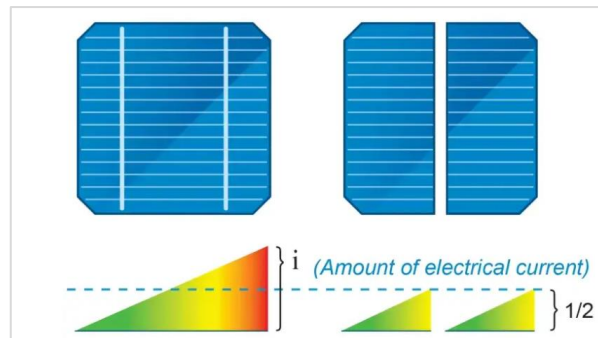


Şekil 25. Yıllara göre monokristal ve bifacial panellerin dünya genelindeki durumu (Braga vd., 2023)

Half cut yani yarım hücreli paneller, tam bir hücrenin yarıya bölünmüş şekilde birleştirilmesi işlemidir. Şekil 26'da gösterimi bulunan bu tip panellerde en önemli özellik, hücre akımlarının yarıya indirilmesi ile dirençten kaynaklanan kaybın düşürülmesidir.

Mevcut kayıp güç $P_{Kayıp} = I^2 \cdot R$ şeklinde ifade edilirse,

Yeni kayıp $P_{YeniKayıp} = (I^2/4) \cdot R$ ifadesiyle dörtte bir kadar düşmektedir. Bu da haliyle kullanılabilir gücün verimini arttırmaktadır. Yeni geliştirilen bazı modül hücrelerinde hücrenin kesim sayısı artırılarak gerilim sabit olacak bir şekilde akım değeri daha da düşürülebilmektedir (Greensolar, 2023).



Şekil 26. Tam ve yarım hücre yapısı (Solar Mag, 2020)

3.3. Solar Panellerde Bulunan Bileşenler

PV sistemlerdeki ana bileşenler; paneller, inverterler (eviriciler), sayaç, batarya (off-grid bağlantılar için) olmaktadır. Bunların haricinde sistemdeki verimi en yüksek seviyede tutabilmek ve takibini yapabilmek adına gerekli bazı ölçüm cihazlar da kullanılmaktadır.

3.3.1. Panel dizileri

Birbirleri ile seri ya da paralel bağlanan paneller dizileri meydana getirmektedir. Fotovoltaik panel kurulumları bina cepheleri, Şekil 27’de görüldüğü gibi tarıma elverişli olmayan araziler, çatılar, durgun göl ya da dalga boyları yüksek olamayan denizlere v.b yapılmaktadır. Firmalar tarafından genellikle montaj sonrası ortalama 25 yıl performans ömrü verilmektedir.



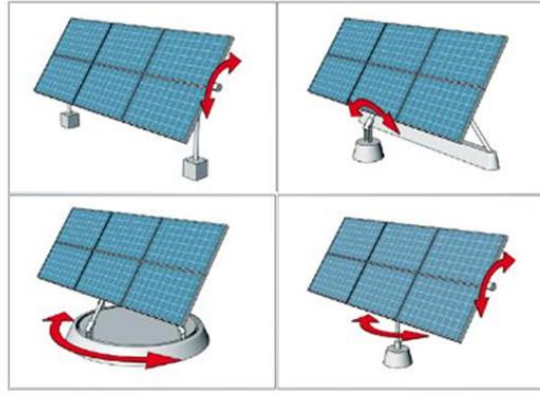
Şekil 27. Kurulu ges panel sistemi (Gezegen Solar, 2024)

3.3.2. Sabit fotovoltaik modüller

Yer yüzeyi, çatı, duvar v.b yerlerde sabit kurulum yapılacak paneller, kurulum yapılacak yerin coğrafi konum ve iklimi dikkate alınarak güneş ışınlarının dik açı ve buna en yakın düzeyde yansıması göz önüne alınıp hareket etmeyecek bir şekilde yerleştirilmesi sabit PV sistemlerinde uygulanmaktadır.

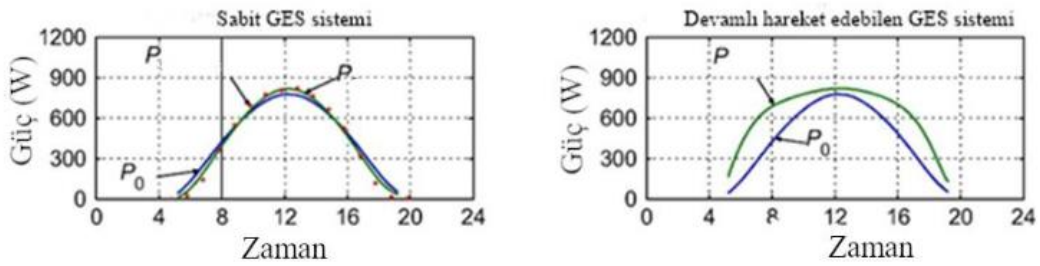
3.3.3. Hareketli fotovoltaik modüller

Hareketli tarzda kurulum yapılan paneller yatayda ve dikeyde salınım yapacak şekilde üretilmektedirler. Hareket için step motor kullanılmaktadır. Step motorlar, içerisinde yer alan sargılara aralıklı adımlarla akım akmasına izin verip mıknatıslanmalar meydana getirerek itmeleri oluşturmaktadır. Bu durum panel ya da dizilerin belirli zaman aralıklarında Şekil 28'deki gibi istenilen yönlerde dönüş yapmasını sağlamaktadır (Mohammed & Shakarji, 2022).



Şekil 28. Belirli yönde yapabilen paneller (Mohammed & Shakarji, 2022)

Yapılan kurulumlar sonucunda bu sistemlerde üretilen enerjinin gün içerisinde zamana bağlı gerçekleşen güç miktarı, Şekil 29'da görüldüğü gibi sabit sistemlere oranla belirli saatler aralığında büyük farklar oluştuğu gözlemlenmiştir.



Şekil 29. Güç- zaman çizelgesinde sabit ve hareketli sistem karşılaştırılması (Kodak, 2020)

3.3.4. Şarj bataryaları (aküler)

Elektrikteki enerjiyi kimyasal enerjiye dönüştürüp depolama görevi görürler. Hareketsiz ve sessiz cihazlardır. Önemli avantajları; taşınabilir olmaları, uzak mesafelerde iletim hattının gidemediği yerlerde kullanılabilmesi, güvenilir güç kaynağı olmaları ve doğru akım (DC) sağlamalarıdır. Kurşun-asit (PbA) ve nikel-kadmiyum (NiCd) bataryalar

genellikle kullanılmaktadır. Off-Grid (şebeke bağlantısı olmadan) sistemlerde kullanılan bataryalarda, gündüz tüketim harici fazla enerji depolanır. Hava koşulları kötü olduğu durumlarda ve geceleri bataryalardaki dolu enerji kullanılmaktadır. Batarya kapasitesi amper saat (Ah) olarak gösterilir. Şarj dolm performansını etkileyen sebepler; sıcaklık, nihai gerilim, deşar oranı ve özgül ağırlık olmaktadır. Fotovoltaik sistemlerde genellikle otomotiv sektöründe kullanılan jel tipi batarya tercih edilmektedir (Ceylan & Gürel, 2021).

3.3.5. İnverterler (DC-AC dönüştürücü)

Güneşten gelen foton enerjisi ile birlikte panellerde üretilen DC enerjiyi, AC (alternatif akım) enerjisine dönüştüren cihazlardır. Verim oranları %95 ile %99 arasında olmaktadır. İnverter ömürleri 5 ile 10 yıl arasındadır. Daha kaliteli ve düzenli bakımı olan eviricilerin ömürleri 15 yıla kadar çıkabilmektedir. Şekil 30'da işletme sahasında çekilen invertör örnekleri görülmektedir.



Şekil 30. İnverter örnekleri

3.3.6. Elektrik şebeke sayacı

Tüm sistemdeki toplam üretilen elektrik gücünü ölçmektedir. Hatta bu sayaçlarda sistemlerde üretimin yapılmadığı saatlerde sistemin enerji sağladığı tüketim noktasının ne kadar tüketim yaptığını ve ayrıca üretimin yapıldığı saatlerde de ne kadar üretimin yapıldığını ölçmektedir. Şebekeye bağlı olan sistemlerde üretim fazlasını şebekeye aktarmakta üretimin olmadığı zamanlarda ise şebekeden enerji almaktadır.

Bazı ölçümler sayesinde güneş panellerinin kurulacağı ortamda maksimum verim sağlanabilmesi mümkün olmaktadır. Işınım radyasyonu, rüzgar hızı, ortam sıcaklığı, maksimum güç akımı ve gerilimi gibi ölçümler panelin mevcut ortam ve zamanda ne oranda üretim sunacağı hakkında bazı bilgiler vermektedir.

3.4. PV Panellerde Kullanılan Bazı Ölçüm Cihazları

3.4.1. Piranometre (ışınım - radyasyon sensörü)

W/m^2 cinsinden güneş ışığıyla gelen radyasyonu ölçmek için kullanılmaktadır. Kısa devre akım değeri ölçümüyle birlikte ışıınım radyasyonu da ölçülmektedir. Şekil 31’de görüldüğü üzere ışıınım sensörü plastik kutu ya da alüminyum ile kapatılmış üstü cam kaplamalı hücre referansıdır.



Şekil 31. Piranometre (Erdem, 2022)

Sensörün maliyeti uygun, sağlam ve güvenilir bir çözüm sunmaktadır. Hücrede kullanılan düz cam, her açıdan ışığın yansımaları aynı değerde sonuç vermemektedir. Bu durum açısal anlamda farklılık gösterdiğinden panellerin açısı değeriyle aynı şekilde yerleştirilirler. $0 - 1600 W/m^2$ değer aralığında ışıınım radyasyonu ölçebilmektedir. Zorlu hava şartlarında dayanımı yüksek bir malzemeden üretilmiştir. Hücrenin içinde bulunduğu katmanlar normal panel hücrelerinde kullanılan katmanlar gibi olmaktadır (Erdem, 2022).

3.4.2. Ortam ve panel sıcaklık sensörleri

Ortam sıcaklık sensörü, çevredeki sıcaklığı ölçmede kullanılmaktadır. Direk güneş ışığından muhafaza edilmiş bir şekilde doğal hava bulunduran sensör, ultraviyole (UV) ışınımına dayanacak bir biçimde tasarlanmıştır. Sahada yer alan tüm ısı verebilecek cihazlardan

uzakta ve panellerden 1 metre mesafeye yerleştirilmelidir. Sensör ölçüm aralıkları ortalama -40 ile +85 °C aralığında olmaktadır.

Panel sıcaklık sensörü, panel arka kısmına yapıştırılacak bir biçimde kullanılmaktadır. Farklı tipteki paneller için kullanılacak sensör sayısı arttırılmalıdır. Sıcaklık ölçüm aralığı markalara göre değişkenlik gösterebilse de ortam sıcaklık aralığı ile aynı olmaktadır. Şekil 32’de iki sensöre ait örnek gösterim bulunmaktadır.



Şekil 32. Ortam ve panel sıcaklık sensörleri (Seven, 2022)

3.4.3. Anemometre (rüzgar hızı) ve yön sensörü

Panelin sıcaklık tahminleme ve yorumunda rüzgar hız sensörü etkili olmaktadır. Hız sensörü rüzgar yönüne bağımlı kalmadan ölçüm yapacak şekilde üretilmiştir. Ayrıca panellere zarar verebilecek kadar oluşabilecek şiddetli rüzgarlar meydana geldiğinde ürün garantisi hakkında delil örneklerini verebilmektedirler. Ölçüm aralığı hız için ortalama 1-60 m/s olabilmektedir.

Yön sensörü de ne taraftan rüzgarın eseceğine bağlı olarak sıcaklık hakkında bilgi vermektedir. Zararlı ışıma dayanacak şekildeki malzemeden yapılmıştır. Paneller üzerinde toplanan toz ve kirliliğin de yönünü bulmada katkı sağlamaktadırlar. Yön sensörü ölçüm aralığı 0° - 359° arasında olmaktadır (Seven, 2022).

Rüzgar hızı ve yön sensörlerine ait örnek gösterimler Şekil 33'te görülmektedir.



Şekil 33. Rüzgar hız ve yön sensörleri (Seven, 2022)

3.4.4. Nem ve Yağış Sensörleri

Nem sensörü, nem miktarının fazla olduğu yerlerde tercih edilmelidir. Sıcaklık verisi ile birlikte nemden kaynaklanan panel ıslanma zamanı da belirlenmektedir. Ölçüm değeri aralığı 0 – 100 % olmaktadır.

Yağmur sensörü, metrekareye yağmur düşüm miktarını ölçmektedir. Kirlenme sensörü ile beraber kullanımıyla panellerde temizlenme ölçüsü belirlenmiş olur. 0 – 7,8 mm/saat aralığında ölçüm yapmaktadır. Sensörlere ait örnek gösterimler Şekil 34'te bulunmaktadır.



Şekil 34. Nem ve yağış sensör örnekleri (Seven, 2022)

3.4.5. Kirlenme sensörü

Panellerin bulunduğu ortamda bir çok sebepten kirlenme meydana gelebilmektedir. Bunlar yakınında yapılan inşaat, toprak, fabrika, endüstriyel, polen, partikül v.b kaynaklı sebepler olabilmektedir. Hücreye yansıyan ışınımı engellediği için genel standarda göre paneldeki üretilen enerjinin kaybı ile kirlenme aynı oranda olmaktadır.

IEC (Uluslararası Elektronik Komisyonu) standartlarına göre kirlenme sensörü Şekil 35'te görüldüğü gibi birbirleri ile normalize edilen iki tane ışık sensörüne sahip olmalıdır. Biri düzenli aralıklarla temizlenmeli, diğer sensör ise toz ve kirlenme halinde bırakılmalıdır. Bu şekilde bırakılan ışınım sensörleri arasındaki değer farkı kıyasından toz (kirlenme) oranı hesaplanmaktadır. IEC standart verilerinde bulunan kısıtlamalara göre hesaplama yapılmalıdır. Kirlenme sensöründeki temiz ışınım tarafı düzenli olarak otomatik bir şekilde temiz tutulmalıdır. Tüm tesis panelleri temizlendiğinde ise her iki sensör (kirli ve temiz) de temizlenmesi gerekmektedir.



Şekil 35. Diziler arasına paralel yerleştirilen kirlenme sensörü (Seven, 2022)

3.5. Fotovoltaik Sistemlerde Performans Oranı

Panel tesisleri için performans, birim ışınım miktarı bazında enerji üretimine göre yüzdesel hesaplanmaktadır. Bir yıl boyunca sistem üzerine düşen ışınım radyasyon miktarı içinden toplam kayıplar çıkarıldığında net üretilen enerji bulunmaktadır. Performans oranı bir yönüyle verim ölçüsünü vermektedir.

Performans oranı Denklem 9'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$P.Oranı = \frac{Eac \cdot Istc}{P_{nom} \cdot H} \quad (9)$$

Formülde kullanılan Eac uygulanan zaman aralığında üretilen enerjiyi kWh olarak gösterirken, Istc standart test ortamında 1 kWp/m² kadar belirlenen ışıyım radyasyonunu, P_{nom} tesisin toplam kWp ölçüsünden gücünü, H ise kWh/m² birimi olarak uygulanan zaman aralığında panel üzerine yansıyan küresel radyasyon değeridir.

Bu oran belirlenirken zamanla panellerin kullanım sürelerine bağılı olarak oluşun verim eksikliği de ele alınmaktadır. Fotovoltaik panel verimi, üretiminin birinci yılı sonrası %1-%4 arasında, ilk yıldan sonra ilerleyen zamanda her sene %0,7-%1 aralığında düşüş olmaktadır. Toplam güç hesaplanırken yılar içerisinde gerçekleşen süreye bağılı verim kaybının da göz önüne alınması gerekir (Erdem, 2022).

3.6. PV Panellerde MMPT (Maksimum Güç Noktası İzleyici)

Panellerin ürettiğı enerjiyi yüksek oranda verimli kullanabilmek ve depolamak için bu cihazlar üretilmiştir. MPPT denetimi doğrudan ya da dolaylı olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Dolaylı denetimde gerçek gücün hesabı devamlı olarak yapılamaz. Doğrudan denetim yapılan teknikte devamlı PV toplam gücü okunarak yüksek maksimum güç noktası sağlayabilecek alarmı meydana getirilmektedir.

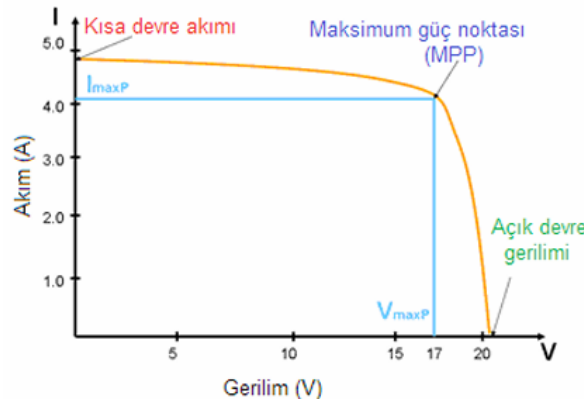
Gün boyunca toz, bulutlanma ya da sıcaklık gibi bir çok sebepten dolayı panellerden üretilen güç değişmektedir. Bu güç değişikliğinden dolayı tüketim noktasına doğrudan enerji verilmez. Şekil 36'da örnekleri görülen MPPT cihazları enerjiyi maksimum noktasındaki zamanlarda bataryaya ya da tüketim noktasına vermektedir. Bu şekilde enerji aktarımı sayesinde aküler daha uzun ve daha verimli kullanılabilecek duruma gelirler.

MPPT cihazları, PV panelleri ile depolama birimi arasına yerleştirilirler. PV hücrelerden gelen DC voltaj AC'ye dönüştürölür. Sistem o durumdaki tüketim ihtiyacına bağılı olarak akım ve voltaj değerlerini tekrardan DC'ye çevirir. Amaç panellerden sisteme maksimum enerjinin gönderilmesini sağlamaktır (Erdem, 2022).



Şekil 36. Şarj takip cihazı (MPPT) (Mühendistan, 2020)

Panellere etki eden önemli üç sebep; devre gerilimi, ısınım ve sıcaklık olmaktadır. Yüke gidecek olan enerji dengeli bir düzeyde olmaz ise verimsiz bir güç sonucu elde edilecektir. Burada Şekil 37'deki grafikte görüldüğü gibi gücü en yüksek ve dengeli bir düzeyde tutmak optimum akım ve gerilim değerlerini yakalamak ile doğrudan ilişkilidir. Bu cihazlar bataryaları en verimli bir şekilde şarj edebilmek ve yüke en verimli gücü göndermek için lazım olan akım değerine uygun gerilimi ayarlayıp aküye göndermektedir. Gerilim yüksek akım düşük ise gerilimi düşürüp akımı gerekli oranda arttırıp aküyü verimli olarak şarj etmektedir (Mohammed & Shakarji, 2022).



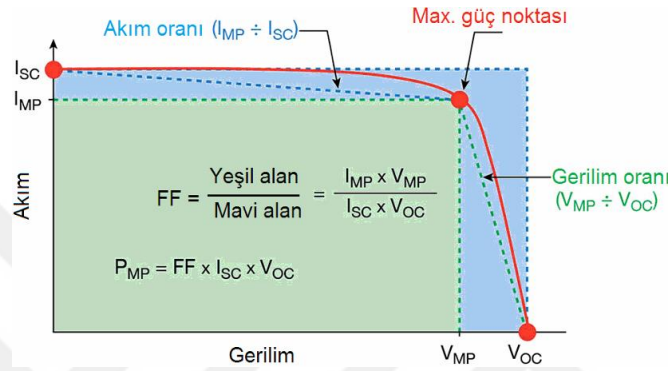
Şekil 37. Akım-Gerilim eğrisi ve MPPT noktası (Öztürk, 2013)

3.6.1. Fill factor (dolgu faktörü)

Kısa devre akımı ve açık devre gerilimine bağlı olarak maksimum çıkış gücünü belirleyen bir ifadedir. Dolayısıyla maksimum akım ve gerilim değerlerini göstermektedir.

Direncin artmasıyla dolgu faktörü azalmaktadır. Bu faktör Şekil 38’de görülmekte ve Denklem 10’daki gibi hesaplanmaktadır.

$$FF = \frac{P_m}{V(\text{açık devre}) \cdot I(\text{kısa devre})} = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{V(\text{açık devre}) \cdot I(\text{kısa devre})} = \frac{p \cdot I_s \cdot A_c}{V(\text{açık devre}) \cdot I(\text{kısa devre})} \quad (10)$$



Şekil 38. Dolgu faktörü alanı ve hesabı (Öztürk, 2013)

Fotovoltaik bir hücrenin ideal dolgu faktörü 1’dir. Bu değere yaklaşması beklenmektedir. Fill factor değerinin yüksek olması için direncin (R_s), sıcaklık (T), akım yoğunluğu (J_o) ve diyot ideal sabitinin (A_o) küçük; şönt direnci (R_{sh}) ve yasak bant enerji aralığının (E_g) yüksek olması gerekmektedir. Silisyum bir fotovoltaik hücre Tablo 5’te görüldüğü gibi dolgu faktörü ortalama %80 oranında olmaktadır.

Tablo 5. Bazı PV hücrelerine ait dolgu faktörü ve diğer değerler (Öztürk, 2013)

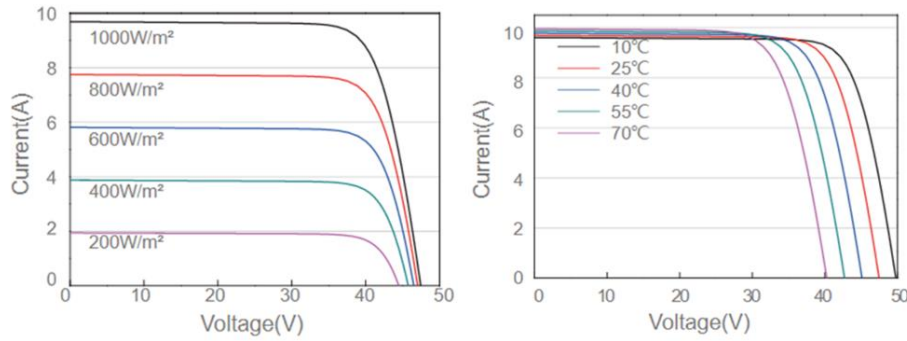
PV Hücre	Alan (cm ²)	V _{oc} (V)	I _{sc} (mA/cm ²)	FF (%)	η (%)
Tek kristal Si	4.0	0.706	42.2	82.8	24.7
Tek kristal GaAs	3.9	1.022	28.2	87.1	25.1
Çok kristal Si	1.1	0.654	38.1	79.5	19.8
Amorf Si	1.0	0.887	19.	74.1	12.7
CuInGaSe ₂	1.0	0.669	35.7	77.0	18.4
CdTe	1.1	0.848	25.9	74.5	16.4

4. SOLAR ENERJİ ÜRETİMİNDE VERİMİ ETKİLEYEN PARAMETRELER

4.1. Gerilim ve Akım Değerlerinin Işınım ve Sıcaklığa Göre Durumu

Solar hücrelerde ışınım artışı kısa devre akımını artırırken gerilim değerini çok az değiştirmektedir. Akımın artması toplam panel gücünü arttırmaktadır. Panel hücrelerinin tasarım ve üretimi gelen ışığın en iyi şekilde soğurulması hesaplanarak yapılmaktadır.

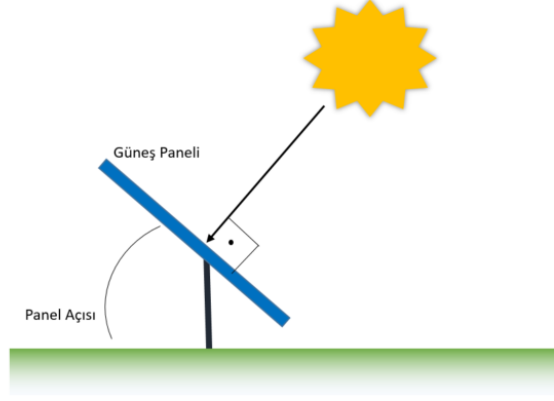
Sıcaklığın yüksek olması genel kanı olarak düşünülenin aksine hücrenin enerji üretimine olumsuz etkisi olmaktadır. Yani sıcaklığın artmasıyla Şekil 39’da görüldüğü gibi açık devre voltajı düşerken devre akımı az bir oranda artış göstermektedir. Akım ve gerilimin çarpımıyla elde edilen toplam gücün verimi de bu noktada düşmüş olmaktadır.



Şekil 39. Işınım ve sıcaklığa bağlı akım-gerilim grafiği (M. Shahryar, 2022)

4.2. Panel Eğimi

Panellere gelen ışığın Şekil 40’ta görüldüğü gibi açısal olarak dik gelmesi verimin en iyi açıda olduğunu göstermektedir. Yeni üretilen hücre modül teknolojisinde bazı paneller güneş ışığına bağlı olarak otomatik hareket ederek dik açığı daha sürekli hale getirmektedir. Her bölge ve il için panellere ait en uygun eğim ve enlem açılarının değerlerine göre kurulumların yapılması gerekmektedir. Analizini gerçekleştirdiğim Diyarbakır ili için enlem açısı $37,9^{\circ}$, eğim açısı ise 37° olması gerekmektedir (A. R. Dal, 2021).



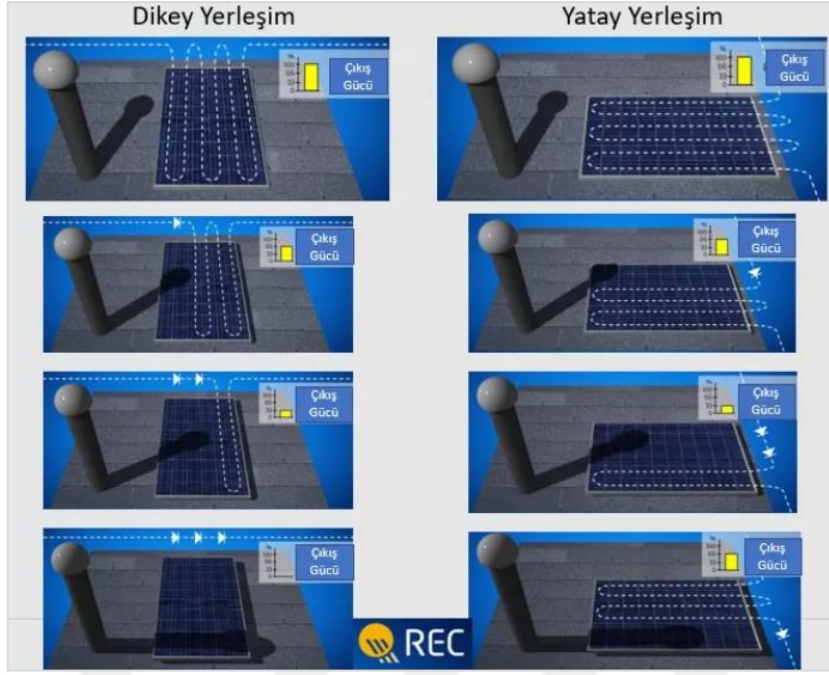
Şekil 40. Işık açısının panele yansıdığı açı gösterimi (A. R. Dal, 2021)

4.3. Kablo Kayıpları ve İç Direnç Kaybı

Panel dizilerine ait tüm bağlantılar kablolar aracılığıyla yapılmaktadır. Kablo içerisinde bulunan iletkenlerde kalınlığa bağlı artan bir iç direnç bulunmaktadır. Ayrıca kablounun uzun olması da gerilim kaybını beraberinde getirmektedir. Kayıp güç, akımın karesi ile direncin çarpımından elde edildiğinden dolayı direncin büyüklüğü ve fazla kablo uzunluğu kayıp güç miktarını arttırmaktadır.

4.4. Gölgeleme Kayıpları

Paralel bağlı dizilerde bir panel bir uçtan bir uca gölgeden kapanıyorsa güç çıkışı %0 olmaktadır. Seri bağlı panel dizilerinde ise gölgeleme olması gücü büyük oranda düşürmektedir. Gölgeleme durumları, ağaç, bulutlanma, panel üzerinde cisim bulunması, aşırı tozlanma gibi olmaktadır. Gölgelemeden kaynaklanan güç kaybını en aza indirmek için seri bağlı hücre dizilerinin arasına bypass diyotları yerleştirilmektedir. Gölgenin düştüğü hücrelerin bulunduğu dizideki diyot üzerinden akım geçişi gerçekleşerek sadece gölge alanı devre dışı kalıp diğer hücrelerin enerji akışı Şekil 41’de gösterim olarak çizildiği üzere devam etmektedir.



Şekil 41. Mevcut bir engele göre panelin dikey ve yatay yerleştirilmesi (Çilli, 2019)

Herhangi bir yapı üzerine yerleştirilecek paneller bazen belirli saat diliminde zorunlu gölge engeline takılabilmektedir. Bu durumda panelin bulunduğu yerde yatay ya da dikey olarak montajı yapılmadan önce ondan elde edilecek maksimum verim için değerlendirilmenin yapılması gerekmektedir. Şekilde görüldüğü gibi bir panelde her bir hücre sırası için birer bypass diyodu kullanıldığı düşünülürse gölgenin düştüğü her sıra için panelin tümü değil sadece gölgenin düştüğü sıra ya da sıralar devre dışı kalacaktır (Çilli, 2019).

4.5. Panel Dizilerine Ait Uyumsuzluk Kaybı

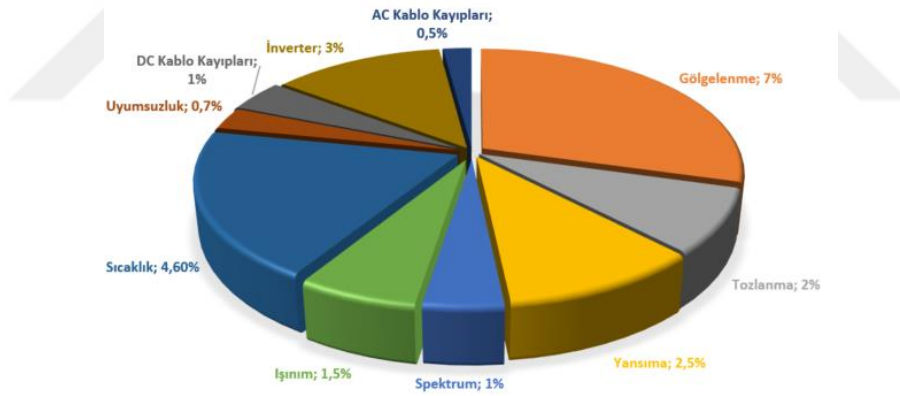
Modül dizileri içerisinde farklı eskime durumları bulunuyorsa, sıcaklık değerleri farklı olan derecelerde çalışma performansı gösteriyorsa, aralarında değişen eğim açıları ve değişen ışıınım yansımalarını alma kabiliyetleri mevcutsa uyumsuzluk nedeniyle kayıp meydana getirirler. Ayrıca kablo uzunlukları ve kalınlıkları değişkenlik gösteriyorsa bu durum da uyumsuzluğun verdiği kayıpları beraberinde getirmektedir. Panellerin inverter bağlantısı sağlanırken tüm bu uyumluluklar göz önünde bulundurularak kurulum yapılması verim düzeyini yüksek tutacaktır.

4.6. PV Sistem İnverter Kayıpları

Merkezi ve dizi yapılı dönüştürücüler on-grid (şebeke bağlantılı) sistemlerde kullanılmaktadır. Genellikle %95 ile %98 verim düzeyinde çalışmaktadırlar. Verimi düşüren sebeplerden en önemlisi yük ve sıcaklık olmaktadır. Doğrudan güneş ışığından korunmaları gerekmekte ve bulundukları ortam iyi bir şekilde havalandırılmalıdır. Dönüştürücülerin paneller ile olan uyumluluklarının da düzgün bir şekilde sağlanması gerekir. Bu durumlara dikkat edilmediği zaman verim oranı düşüş gösterecektir.

4.7. DC ve AC Kablo Kayıpları

Kablo dirençleri kalınlıkları ile doğru orantılı olarak yükselmektedir. Kesit arttıkça direnç de artmaktadır. Gerilim düşümü ve güç kaybının en aza indirilmesi için doğru kablo tasarımı yapılmalıdır. Ayrıca düzenli bir şekilde bakım yapılması gerekmektedir. Kurulum esnasında mümkün olabilecek en kısa uzunluk tercih edilmelidir. Şekil 42’de toplam üretimdeki ortalama kayıp oranları görülmektedir.

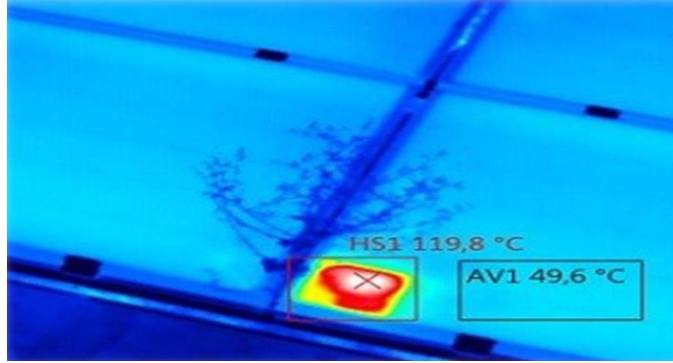


Şekil 42. Toplam üretime oranla GES sistemindeki ortalama kayıplar (Erişgin, 2022)

4.8. Mikro Çatlama Kayıpları

Panellerin fabrikasyon aşamaları, stok, taşıma ve montaj sırasında meydana gelen hatalar sebebiyle modül hücrelerinde mikro seviyesinde çatlak meydana gelebilmektedir. Sistem çalıştırılmadan önce bu kırık ve çatlaklar kontrolü yapılmaz ise büyük verim düşümlerine sebep olacaktır. Mikro çatlaklar, zamanla bağlantı iletkenlerinde kopmalara, yüksek ısı sebebiyle lehim erimelerine ve diğer hücrelerin de yakınlık dolayısıyla kolay eskimelerine yol açmaktadırlar. Bu hataların tespit edilmesi Şekil 43’te görüldüğü gibi

termografi testleri ile (termal kameralar yardımıyla) yapılabilmektedir (Yildiz & Ergün, 2019).



Şekil 43. Termal görüntü ile hücre çatlak tespiti (Yildiz & Ergün, 2019)

4.9. Kabarcıklanma Sorunu

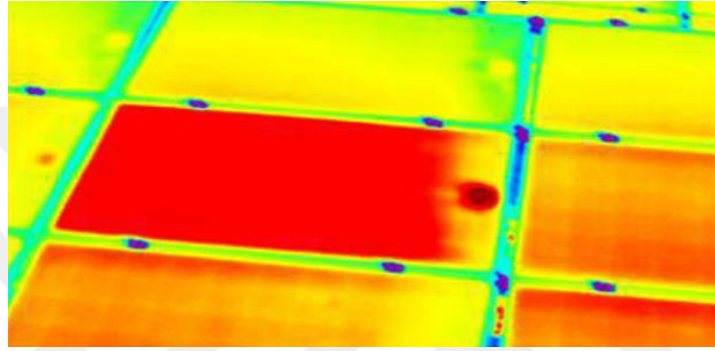
PV panel üretimi sırasında modülün tabakaları birleştirilirken kapsülleme yapılmaktadır. Bu durumda bazen tabakalar arasında Şekil 44'te görüldüğü gibi kabarcıklanma meydana gelmektedir. Kabarcık noktalarında ise yapışma ve çevresel nedenden dolayı kirlenme oluştuğunda, bu noktalarda sonrasında tabakalar birbirinden ayrılarak delamine (tabaka ayrışması) olmaktadır. Bu tip sorunlar, ışık absorbe yapısını bozmakta ve çekilen akımın kaybını meydana getirmektedir. Kabarcıklanma sorunlarında mikro çatlak kayıplarında olduğu gibi termografi testi yapılarak hata noktaları bulunabilir.



Şekil 44. Kabarcıklanma noktaları bulunan panel (Maysun Solar, 2022)

4.10. Diyot Sorunları

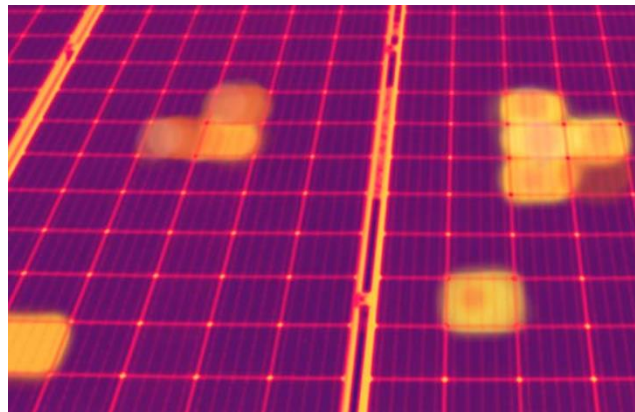
PV panellerde bypass (köprüleme) diyotları, belirli sebeplerle gölge olduğu durumlarda kısa devre gibi hücre ya da hücreler dizisinin bağlantısını es geçip araya girerek akımın devamını sağlamaktadırlar. Sıcaklığın fazla olduğu ve gölgenin olmadığı durumlarda, diyotlardan sızıntı akımı olarak akım geçebilmektedir. Bu akım sıcaklığa bağlı olarak da artmaktadır. Diyot hataları da Şekil 45'te görüldüğü gibi termografi testi ile bulunabilmektedir (Yildiz & Ergün, 2019).



Şekil 45. Diyot arızalı PV panel (Yildiz & Ergün, 2019)

4.11. Sıcak Nokta Etkisi (Hot Spot)

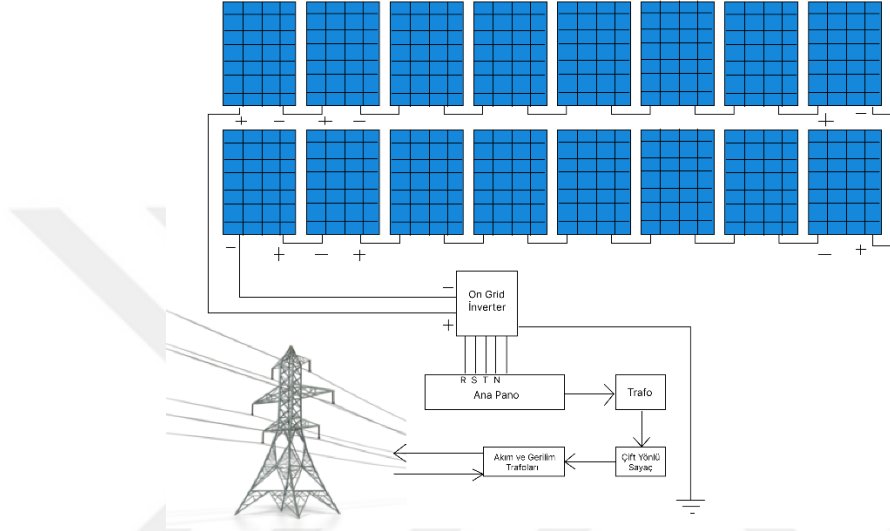
Birbirleri ile seri bağlı bulunan hücrelerde, herhangi bir hücrenin ürettiği akım değeri diğerlerinden az ise modül bu durumda yük gibi davranır. Bu noktalara doğru gerilim yol alır ve hücre sıcaklıkları artar. Modüllerde sıcaklık artışıyla Şekil 46'da da görülen hot spot etkisinin olduğu yerler meydana gelmektedir.



Şekil 46. Panellerde termal görüntü ile tespit edilen hot spot etkisi (Özdem, 2023)

5. ŞEBEKEYE PARALEL (ON-GRİD) BAĞLI SİSTEMLER

Güneş enerjisi sistem kurulumları şebeke bağlantılarında paralel bağlantı yapılarak gerçekleştirilirler. Panel montajlaması yapılırken string ve dizi gibi panel sıraları seri bağlanmaktadır. İnverter, pano, akım ve gerilim trafoları Şekil 47’de şematik gösterildiği gibi sistem içerisinde yer alır. Uç bağlantı kablosu olarak DC kablo kullanılır. Şebekeden gelen ve şebekeye giden enerjiyi ölçen çift yönlü sayaçlar da sisteme dahil edilir.



Şekil 47. Şebekeye on-grid bağlantılı sistem şeması (Ceylan & Gürel, 2021)

5.1. On-Grid Sistemlerin Bazı Özellikleri

Batarya kullanımı olmadığından ilk kurulum masrafları daha az olmaktadır. Batarya ile ilgili depolama durumu olmadığından değişim, onarım ve bakımları da bulunmamaktadır. Yıl bazlı enerji üretim tahminlemesi yapılırken, anlık olarak üretim tahminlemesi yapılamamaktadır. Resmi yönetmelik gereği iki yönlü sayaç kullanılmaktadır. Şebekeye giden ve şebekeden yüke gelen enerjinin maliyet karşılığı değişmektedir.

On-grid şebeke bağlantılı bu sistemler ülkemizde genellikle belirli bir gücün üzerinde olanlar için lisans alma koşuluna bağlı olarak destek alınarak kurulmaktadır. Dünya genelinde de bu şekildeki kurulumlar için devlet desteği bulunabilmektedir. PV panel sistemlerinin sorunlu olma durumlarında kolaylıkla hata tespiti yapıp gerektiği durumda modül değişikliği yapılabilir. Enerji üretimi olarak, devamlı sessiz çalışan sistemlerdir. Sistemin bulunduğu yerde hem enerji üretimi hem de tüketimi gerçekleştirilebilir.

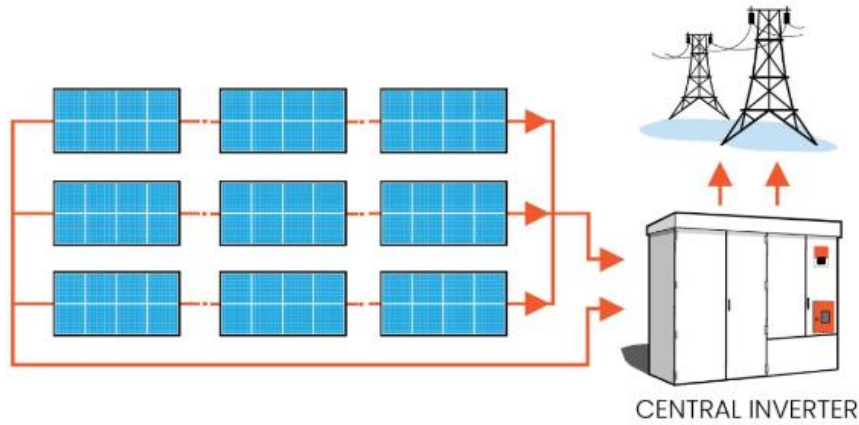
5.2. Şebekeye On-Grid Bağlı Sistem Çeşitleri

Şebeke bağlantısı olan sistemlerde bağlantısı olmayanlardan farklı bir şekilde paneller seri bağlanmaktadır. Uzun mesafeli iletim hatlarındaki amaç gibi burada da gerilimi arttırıp akım değerini sabit tutmak istenmektedir. Böylelikle kablolardaki seçim daha uygun ve güvenli olacaktır.

Şebeke bağlantılı güneş panel sistemlerinde üç şekilde bağlantı çeşidi mümkündür. Dizi, merkezi ve modül dönüştürücülü bağlantı sistemleridir.

5.2.1. Merkezi dönüştürücülü sistem

Bu sistemde tek dönüştürücü kullanılarak sistem bağlantısı sağlanır. Böyle bir bağlantıda modüller maksimum güç hedefine göre çalışması gerekmektedir. Modüller arası uyumsuzluğun olmamasına dikkat edilmesi önem arz etmektedir. Tek inverter sistemleri three phase (üç faz) şebekeye bağlanırlar. Modüllerin birbirleri ile olan güç akışını durdurmak amacıyla bypass diyotlar kullanılmalıdır. Şekil 48’de merkezi dönüştürücülü sistem gösterimi bulunmaktadır.



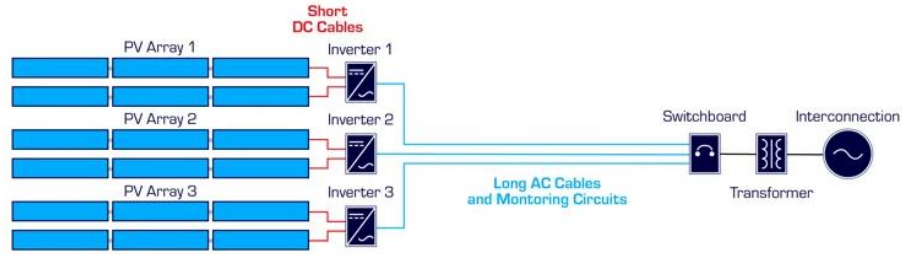
Şekil 48. Merkezi invertör şebeke bağlantı şeması (Sinovoltaik, 2024)

5.2.2. Dizi dönüştürücülü sistemler

Bu sistemlerde Şekil 49’da görüldüğü gibi her bir panel dizisi inverter vasıtasıyla şebekeye bağlanırlar. Bu tarz bağlantıda dizilerin birbirinden farklı yüklerinin verim düşümü önüne geçilmiş olur. Sistem içinde her bir dizi için bir inverter kullanıldığından dolayı

dizilerde herhangi bir sorun olması durumunda tesis komple kapatılmaz. Ayrıca bu durumda diziler arası güç geçişi engellemek için bypass diyot kullanım gereği de duyulmamaktadır.

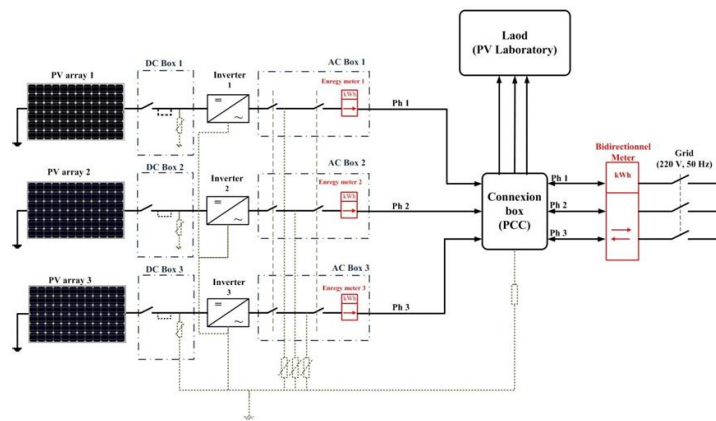
Her bir dönüştürücü kendisine ait bir maksimum güç değerinde çalışmaktadır. Bu tip sistemler, şebeke bağlantılı çatı sistemlerinde çoğunlukla kullanılmaktadır. Kendi oluşturduğum analiz çalışmasında yer alan tesis de ayrıca dizi inverter sistem olarak çalışmaktadır.



Şekil 49. Dizi invertör şebeke bağlantı şeması (PurePower Engineering, 2023)

5.2.3 Modül dönüştürücülü sistemler

Modül invertörlü şebekeye bağlı sistemlerde Şekil 50'de görüldüğü gibi her bir panelin kendisine ait dönüştürücü cihazı bulunmaktadır. Her panel diğerlerinden bağımsız AC enerji dönüşümü gerçekleştirdiği için bunlara AC güneş paneli de denilebilir. Sayıları artırılarak sistem genişletilebilmektedir. Ayrıca paneller bağımsız maksimum güç değeri üretmektedirler. Burada da diyot kullanımına ihtiyaç bulunmamaktadır.



Şekil 50. Modül inverter şebeke bağlantı şeması (Bouchakour vd., 2014)

6. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Diyarbakır ili, Yenişehir ilçesi, Yaytaş mevkiinde kurulu 1 MW kapasiteli KEYVAR güneş enerjisi santraline ait gerçek saha üretim verileri ile PVsyst yazılım simülasyon verileri kıyaslanmaktadır. Yazılım programına, saha verilerinden alınan tüm girdiler yüklenerek tasarım ve simülasyon analizi gerçekleştirilmektedir.

Tasarım sürecinde ele alınan parametreler; ufuk çıktısı, koordinat bilgileri, hava durumu, saha panel ve invertör teknik bilgileri ve kayıplar olmaktadır. Enerji üretim verisi için tüm metotlar kullanılarak en yakın değerler ve performans oranı yüksek çıktı elde edilmesi amaçlanmaktadır.

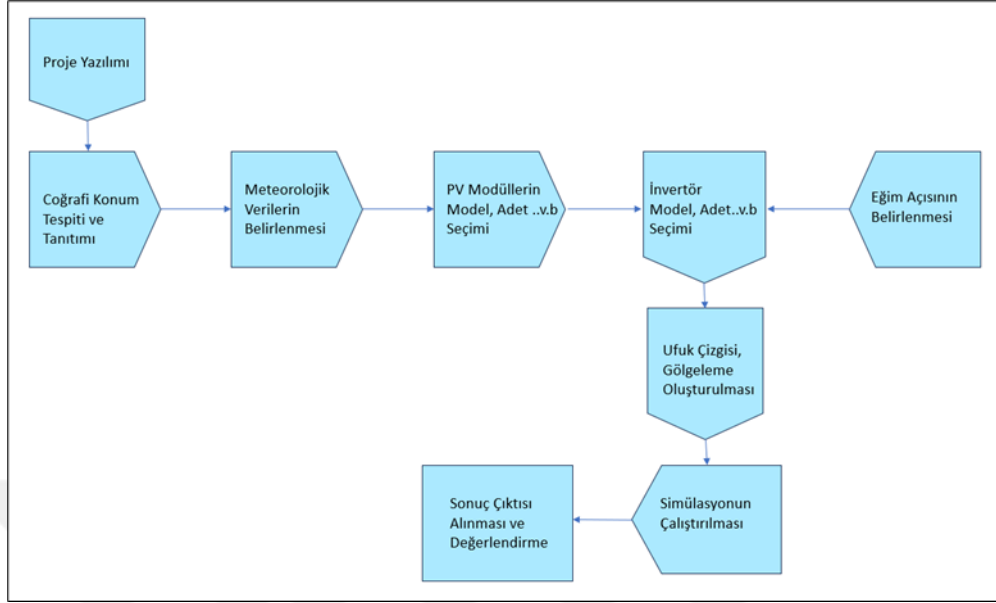
6.1. PVsyst Yazılım Programı

Eski adı PVsyst SA Geneve olan uygulama programı 1992’de İsviçre Cenevre Üniversitesi’nde geliştirilmiş olup günümüzde bağımsız bir firma tarafından çalışılmaktadır. Enerji üretim simülasyon ve analizi için bir çok veriyi uygulama kütüphanesinde barındırmaktadır.

Bu program, fotovoltaik modül sistemlerinin kurulum ve üretim süreçlerinde gerekli performans analizi, tasarım ve simülasyon çıktıları oluşturmak için kullanılmaktadır. On-grid, off-grid ve sulama sistemleri olarak üç şekilde bulunan PV modüllerin tasarım ve hesaplamalarını oluşturmaktadır.

Enerji sektöründe bu uygulama yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Güneş enerjisi santrali kurulumundan önce sistemde detaylı bir şekilde tasarım imkanı bulunmaktadır. Panel dizilimi, eğimi, sistem yönü gibi faktörler fiziksel olarak analiz imkanı sağlar. Performans ve uyumluluk analizi için gerekli panel ve invertör seçimleri yapılmaktadır. Panel özellikleri ve ışıınım değerlerine göre aylık ve yıllık üretim tahminlemesi yapılır. Gölgeleme, invertör verim ve sıcaklık gibi kayıplar saha koşullarına göre hesaplanmaktadır. Farklı iklim koşulları etkisiyle dönemsel anlamda değişen şartların detaylı analizi yapılarak sonuç ve raporlar elde edilmektedir. Aylara göre hava sıcaklığı ile güneş ışıınım değerleri kıyaslandığında, radyasyon değeri artış göstermektedir. Bunun sebebi yaza doğru günlerin uzaması yani gün boyunca toplam güneşlenme saatinde yükselme olmaktadır. Ayrıca yeryüzüne gelen ışıığın açısı panellere daha dik bir şekilde gelmektedir. Bu sebepler ışıınım

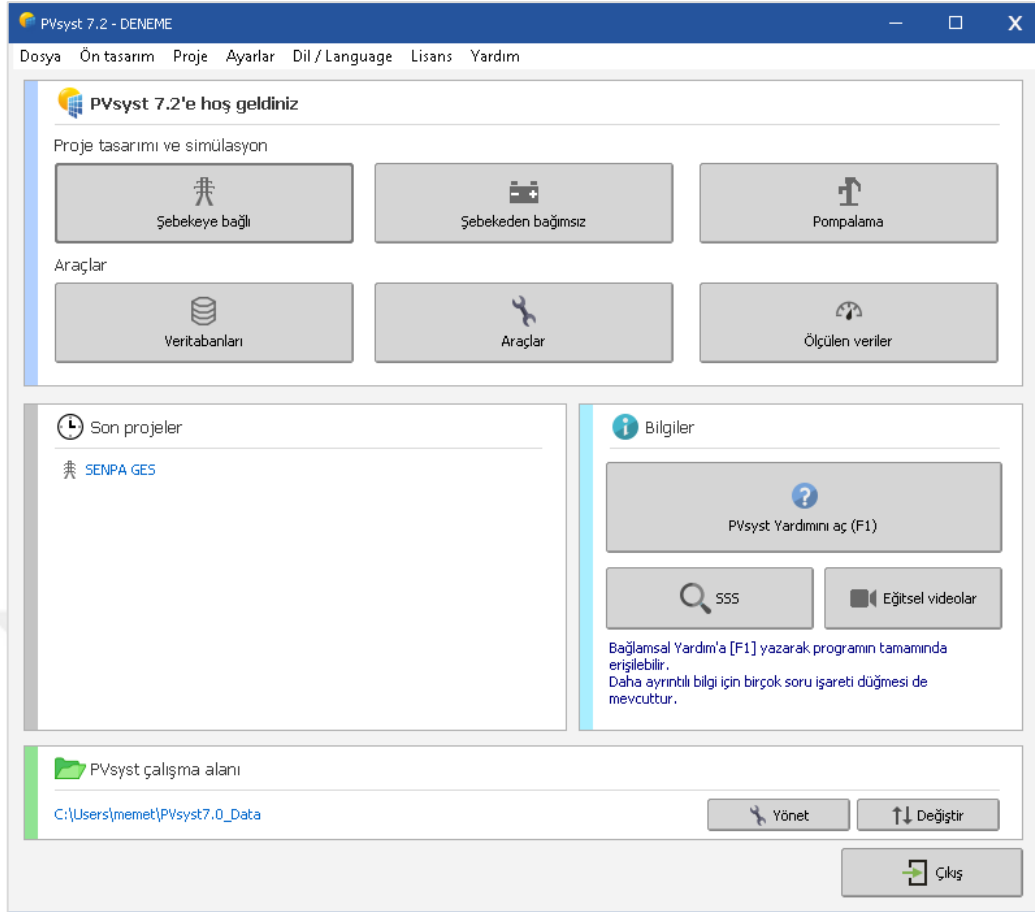
değerini arttırmaktadır. Yoksa sıcaklığın radyasyon ile verim bakımından olumsuz bir ilişkisi bulunmaktadır. Şekil 51’de projeye ait akış diyagramı görülmektedir.



Şekil 51. Proje akış diyagramı

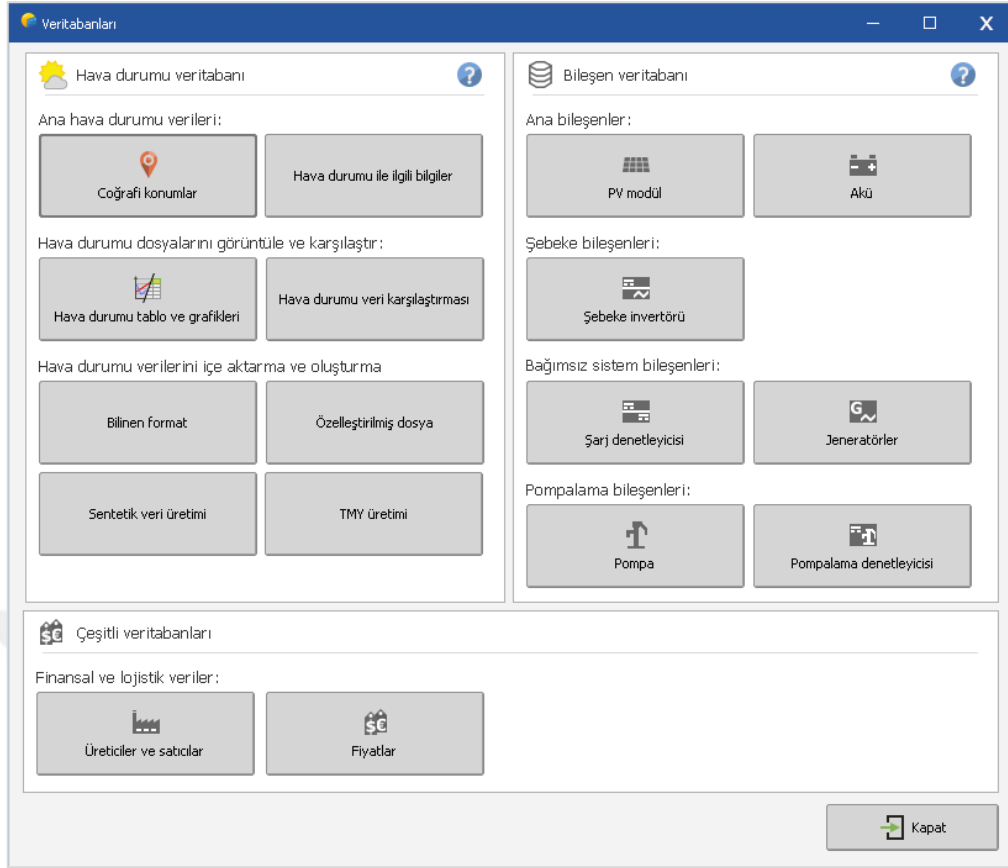
PVsyst programı Türkçe dahil çok farklı dil seçeneklerini içermektedir. Yeni sürümlerinde üç boyutlu tasarım rahat bir şekilde uygulanabilmektedir. Proje aşamasına ilk başlandığında farklı parametrelerle veri tabanına eklenebilecek geniş tanımlama yelpazesi bulunmaktadır. PVsyst windows 8 ve üzeri işletim sistemlerine uyumlu çalışabilmektedir. Kurulum için minimum 2 GB RAM (Random Access Memory - Rastgele Erişimli Bellek), disk içerisinde en az 2 GB (Gigabyte) boş yer, minimum 1280x720 piksel ekran çözünürlüğü, OpenGL 2.0 ya da üzeri grafik kartı, meteonorm verisi için .NET 4.8 framework eklentisi olması gerekmektedir (PVsyst, 2025).

PVsyst uygulama yazılımı kurulum sonrasında açılan ilk ekranda projenin şebeke durumuna göre giriş seçenekleri bulunmaktadır. Şebekeye bağlı (on-grid), şebekeden bağımsız (off-grid) ya da sulama – pompalama projelerinin yapılması durumunda ayrı ayrı butonlar yer almaktadır. Şekil 52’de görüldüğü gibi ‘Proje tasarımı ve simülasyon’ alanında proje tasarım ve simülasyonu için gerekli veri giriş seçenekleri bulunmaktadır. ‘Araçlar’ alanında veritabanı, araçlar ve ölçü girişleri yapılmaktadır.



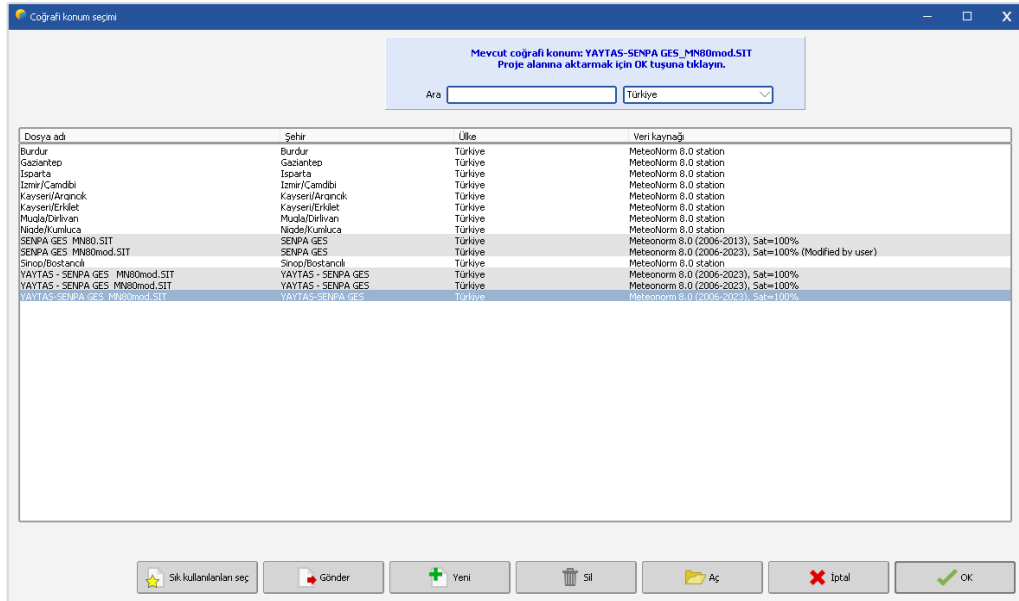
Şekil 52. PVsyst giriş ekranı

Proje yerine ait koordinat ve coğrafi bilgiler, programın mevcut kütüphanesinde yer almıyorsa ‘Veritabanları’ butonu ile yazılım içerisinde harita özelliği kullanılarak manuel olarak girilebilmektedir. Coğrafi parametreler kısmında koordinat verisi manuel girilebildiği gibi, aylık meteorolojik bilgiler de sistemin otomatik olarak yansıttığı veriler kontrol edilerek, bu veriler üzerinde düzenleme yapılabilir. Şekil 53’te görüldüğü gibi manuel girilebilecek hava durumu ve diğer bileşen seçenekleri vardır. Burada sayfanın sol tarafında koordinata bağlı ana hava durumu verileri, bu verilerin karşılaştırılması, içe aktarma ve sentetik veri üretimi bulunmakla birlikte sağ tarafta ise şebeke durumuna göre bileşen girdi seçenekleri bulunmaktadır.



Şekil 53. Veritabanları sayfası

‘Corafi konum seçeneği’ sayfasında eklenilmek istenen koordinat bilgisi Şekil 54’teki gibi yapılabilmektedir.



Şekil 54. Konum seçimi ekranı

Şekil 55'te manuel ve seçerek girilen koordinat ve harita detay giriş alanı bulunmaktadır.

Şekil 55. Koordinat giriş ekranı

Veritabanı alanında güneş horizon diyagramı görüntülenip, eğim ve azimut açıları belirlenebilir. Giriş ekranında proje hangi tür bağlantı kapsamında ise o seçenek üzerinden ilerlenerek gerekli malzeme ve alan girdileri oluşturulur.

PVsyst programına ait detali açıklama sayfaları ve eğitim videoları 'Bilgiler' seçeneğinde bulunmaktadır. 'Son projeler' alanında, hazırlanan projeler istediğimiz adres bağlantısı içerisinde kaydedilecek şekilde yer almaktadır.

6.2. Şebekeye Bağlı (Grid-Connected) Proje Tasarımı

PVsyst giriş ekranında 'Proje tasarımı ve simülasyon' altında yer alan 'Şebekeye bağlı' seçeneği tıklandığında Şekil 56'da görülen ekran çıkmaktadır.

Proje: SENPA GES_Project.PRJ

Proje Konum Varyant

Proje

Yeni Yükle Kaydet Proje ayarları Sil Müşteri

Proje adı: SENPA GES Müşteri ismi: Tanımsız

Konum dosyası: YAYTAS-SENPA GES_MN80mod.SIT Meteoronorm 8.0 (2006-2023), Sat=100% Turkey

Hava durumu dosyası: YAYTAS-SENPA GES_MN80mod_SYN.MET Meteoronorm 8.0 (2006-2023), Sat=100% Sentetik 01

Simülasyon tamamlandı (sürüm 7.2.8, tarih 31/05/25)

Varyant

Yeni Kaydet Getir Sil Yönet

Varyant no: VC3 : New simulation variant

Ana parametreler

- Yönlendirme
- Sistem
- Detaylı kayıplar
- Öz tüketim
- Depolama

Opsiyonel

- Ufuk
- Yakın gölgelermeler
- Modül düzeni
- Enerji yönetimi
- Ekonomik değerlendirme

Simülasyon

Simülasyonu yürüt

İleri simülasyon

Rapor

Detaylı sonuçlar

Sonuç özeti

Sistem tipi

Sistem üretimi	1448 MWh/yıl
Üretilebilir	1425 kWh/kWp/yıl
Performans oranı	0.802
Normalize üretim	3.90 kWh/kWp/gün
Dizi kayıpları	0.84 kWh/kWp/gün
Sistem kayıpları	0.12 kWh/kWp/gün

Bu varyant için kullanılan hava durumu dosyası: YAYTAS-SENPA GES_MN80mod_SYN.MET

Sistem özeti

Çıkış

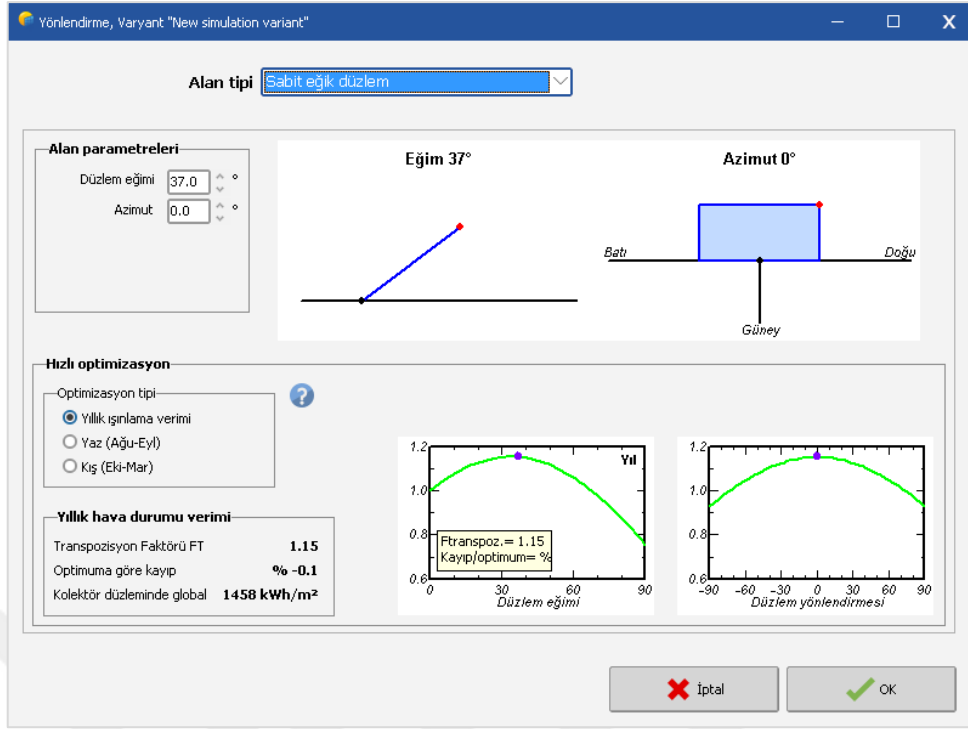
Şekil 56. Şebekeye bağlı veri giriş ekranı

Bu alanda 'Proje' ve 'Varyant' olarak iki kısım bulunmaktadır. Proje kısmında proje ismi ile birlikte database 'veritabanı' içerisinde seçilecek meteorolojik veriler ve konum bilgileri yer alır. Varyant alanında projeye ait sistemsel verilerin (PV panel ve invertör seçimleri, adetleri, gölgeleme, yerleşim biçimi, bağlantılar, ekonomik ve kayıpsal girdiler v.b) seçimi yapılmaktadır.

6.2.1. Yönlendirme (orientation) alanı

Projeye ait meteorolojik girdiler oluşturulup seçildikten sonra simülasyon için varyant alanında bulunan ilk ana parametre yönlendirme seçeneğidir. Sistem verilerini yazılıma yüklerken her bir adım için gerekli tanımlama ve verilerin girilmesi gerekmektedir. Zorunlu belirli değerlerin girilmemesi durumunda giriş seçenekleri kırmızı renkle görünür ve sistemin simülasyona hazır olmadığını gösterir.

PV panellerin zemine yaptığı eğim ve azimut açısı yönlendirme seçeneğinde bulunmaktadır. İdeal düzeyde çalışma ve panellerin en uygun yerleşimi için gerekli açı belirlenir. Panellerin verimi bu açılardan etkilenmektedir. Güney yönden sapma durumunu azimut açısı belirler (ŞAHİN, 2024). Şekil 57 eğim ve azimut açılarına ait ekranı göstermektedir.



Şekil 57. Yönlendirme ekranı

6.2.2. Sistem alanı

Sistem tasarımında iki türlü yol izlenebilir. Sabit ve belirli bir alan bulunuyorsa alan ölçüleri girilerek gerekli güç miktarı otomatik hesaplanır. Fakat sınırlı bir alan bulunmuyorsa istenen bir güç kapasitesi talep ediliyorsa, güç miktarı (kWp) girilerek lazım olan alan hesaplanmaktadır. Belirtilen iki şekilde de panel ve dizi sayıları otomatik hesaplanmaktadır (YİĞİT, 2023).

Sistem bölümünde fotovoltaik panel modeli seçilip açık devre gerilimi, kısa devre akımı değerleri belirlenmektedir. Aynı şekilde inverteör seçiminde de model, akım, gerilim, maksimum ve nominal güç değerleri girilmektedir. Tasarlanacak projenin tüm detayları saha verileri ile en yakın ve doğru bir şekilde belirlenerek girilmesi etkin performansın yakalanması açısından önem arz etmektedir. Şekil 58'de gerçek saha verileri göze alınarak sistem değerlerinin girildiği sayfa görülmektedir.

Şebekeye bağlı sistem tanımlama, Varyant VC3: "New simulation variant"

Alt alan

Alt dizinin ismi ve yönü
 İsim: PV Array
 Yön: Sabit eğik düzlem
 Eğim: 37°
 Azimut: 0°

Ön boyutlandırma yardımı
 Boyutlandırılmaz
 Planlanan gücü giriniz: 0.0 kWp
 ... veya mevcut alan(modül): 0 m²

PV modül seçimi

Mevcut: Filtre: Tüm PV modüller
 CW Enerji: 270 Wp 26V Si-poly CWT270 - 60P 2011 yılından beri Manufacturer 2019
 Optimizer kullan: Gerilim boyutlama: Vmpp (60°C) 26.7 V
 Voc (-10°C) 42.2 V

Invertör seçimi

Mevcut: Çıkış gerilimi 400 V Tri 50Hz
 Kaco new energy: 50 kW 580 - 900 V TL 50/60 Hz Blueplanet 50.0 TL3-INT BASIC 2016 yılından beri
 Invertör sayısı: 19
 Çalışma gerilimi: 580-900 V Invertör global gücü: 950 kWac
 Maksimum giriş gerilimi: 1100 V

Dizi boyutlandırması

Modül ve zincir sayısı
 Seri mod. sayısı: 22
 Zincir sayısı: 171
 Ağır yük kaybı: 0.0 %
 Nom. güç oranı: 1.07
 Panel sayısı: 3762 Yüzey: 6169 m²

İşletme koşulları
 Vmpp (60°C) 588 V
 Vmpp (20°C) 697 V
 Voc (-10°C) 928 V
 Yüzey ışınlamı: 1000 W/m²
 İmpp (STC) 1491 A
 İsc (STC) 1575 A
 Maksimum işletme gücü (1000 W/m² ışınl. ve 50°C): 917 kW
 Veri maks: STC
 Alan nominal gücü (STC): 1016 kWp

Alt alanlar listesi

İsim	#Mod #Inv.	#Zincir #MPPT
PV Array		
CW Enerji - CWT270 - 60P	22	171
Kaco new energy - Blueplanet ...	19	1

Global sistem özeti

Panel sayısı	3762
Panel yüzeyi	6169 m²
Invertör sayısı	19
PV nominal gücü	1016 kWp
Maksimum PV gücü	1000 kWDC
Nominal AC gücü	950 kWAC
Nom. güç oranı	1.069
Şebeke sınır Pnom oranı	1.016

Sistem özeti

Basit taslak İptal OK

Şekil 58. Sistem veri giriş ekranı

PV panel ve invertör model, adet ve teknik kısımları 'Veritabanı' alanından seçilip saha verisine uygun olarak Şekil 59 ve Şekil 60'da görüldüğü gibi girilmiştir.

PV modül tanımlaması

Ana veriler Boyutlar ve Teknoloji Model parametreleri Ek veriler Ticari Grafikler

Model: CWT270 - 60P Üretici: CW Enerji
 Dosya adı: CWEnerji_CWT270_60.PAN Veri kaynağı: Manufacturer 2019
 Kullanıcı tarafından belirlenen parametreler Üret. son. tarihi 2011

Nominal güç: 270.0 Wp Tol. +/- 0.0 3.0 %
 Teknoloji: Si-poly

Üretici teknik özellikleri veya diğer ölçümler

Referans koşulları	Gref	1000 W/m²	TRef	25 °C
Kısa devre akımı	Isc	9.210 A	Açık devre Voc	38.00 V
Maks güç noktası	Impp	8.710 A	Vmpp	31.00 V
Sıcaklık katsayısı	muIsc	4.5 mA/°C	Hücre sayısı	60 seri
	veya muIsc	0.048 %/°C		

İç model sonuçları

İşletme koşulları	GOper	1000 W/m²	TOper	25 °C
Maks güç noktası	Pmpp	270.1 W	Sıcaklık katsayısı	-0.38 %/°C
	Akım Impp	8.69 A	Gerilim Vmpp	31.1 V
Kısa devre akımı	Isc	9.21 A	Açık devre Voc	38.0 V
Verim	/ Hücre yüzeyi	18.30 %	/ Panel yüzeyi	16.47 %

Model özeti

Ana parametreler

Rparal.	300 Ω
Rsh (G = 0)	1200 Ω
R seri model	0.28 Ω
R seri maks.	0.31 Ω
Görünür R seri	0.44 Ω

Model parametreleri

Gama	0.949
IoRef	0.05 nA
muVoc	-122 mV/°C
muPMax sabit	-0.39 /°C

Optimizasyonu göster Kopya Yazdır İptal OK

Şekil 59. Fotovoltaik panel seçimi ve teknik özellik detay ekranı

Şebeke invertörü tanımı

Ana parametreler Verim eğrisi Ek parametreler Çıkış parametreleri Boyutlar ve Teknoloji Ticari veriler

Model: Blueplanet 50.0 TL3-INT BASIC Üretici: Kaco new energy

Dosya adı: Kaco_Blueplanet_50_0_TL3_INT_BASIC.OND Veri kaynağı: Manufacturer 2017

Original PVsyst veritabanı Üret. son. tarihi 2016

Giriş (DC, PV alanı)

Minimum MPP gerilimi: 580 V

Pnom için min. gerilim: N/A V

Maksimum giriş gerilimi: N/A A

Nominal MPP gerilimi: N/A V

Maksimum MPP gerilimi: 900 V

Mutlak maks PV gerilimi: 1100 V

Güç sınırı: 120 W

Varsayılan

Gerçek fiziksel anlamı olmayan sözleşmesel özellikler: ? Zorunlu

PV nominal gücü: 50.0 kW

Maksimum PV gücü: 70.0 kW

Maksimum PV akımı: 190.0 A

Çıkış (AC şebeke)

Frekans: ☒ 50 Hz ☒ 60 Hz

Monofaze ☐ Trifaze ☒ Bifaze

Şebeke gerilimi: 400 V

Nominal AC gücü: 50.0 kW

Maksimum AC gücü: 52.0 kW

Nominal AC akımı: 72.4 A

Maksimum AC akımı: 76.5 A

Verim

Maksimum verim: % 98.48

☒ Verim 3 gerilim için belirleniyor

Kopya Yazdır İptal OK

Şekil 60. İnvertör model ve teknik özellik detay ekranı

6.2.3. Ayrıntılı kayıplar (detailed losses) alanı

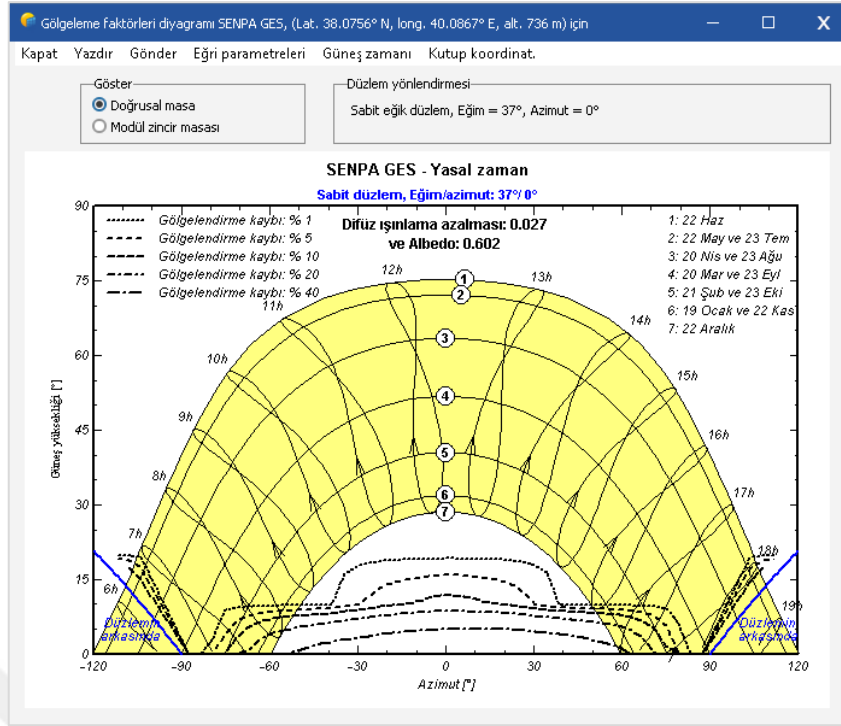
Bu kısımda tozlanma, panel kayıpları, kablo (omik DC-AC kablolama) kayıpları, sıcaklık kayıpları, yansıma, uyumsuzluk, arıza (çatlaklık, noktasal sorunlar, kirlenme ...v.b gibi) kayıplar şeklinde girdiler oluşturulabilmektedir.

Kablo uzunlukları ve kesit kalınlıkları doğru bir şekilde seçilmesi sistemin bağlantıdan kaynaklanacak direnç kayıplarını minimize edecektir. Paneller arasında farklı verim özellikleri, farklı üretim kapasiteleri bulunuyorsa bu durum uyumsuzluk kayıplarını ortaya çıkaracaktır. PVsyst yazılımında uyumsuzluk durumu program tarafından dikkate alınıp daha sağlıklı simülasyon sonuçları ortaya çıkmaktadır. Şekil 61’de omik direnç ve kablo kesit ekranı bulunmaktadır.

Şekil 61. Kayıp ekranı

6.2.4. Horizon (ufuk çizgisi) alanı

Horizon diyagramı güneşin doğuşundan battığı süreye kadar her saat farklı bir eğim yapısını gösterildiği çizgi grafiğidir. Güneşin yansıdığı enerji kalitesi saatlere göre değişkenlik göstermektedir. Şekil 62’de konuma göre ufuk çizgi grafiği görülmektedir. Enerji kalitesi öğle saatlerine doğru maksimum değere çıkarken sabah ve akşam saatlerinde kalite düşmektedir. Yükseklik ve azimut değerleri ufuk çizgisinin gerçeğe yakın üretim verisi ortaya koymasında önemli etkenlerdir. Bazı yöntemler ile bu değerler hassas olarak ölçülebilmektedir. Yöntemlerden biri olan Suncalc isimli internet sitesinde yapay zeka sistemi ile dünyanın bir çok noktası için yükseklik ve azimut değerleri tespit edilebilmektedir (ŞAHİN, 2024).

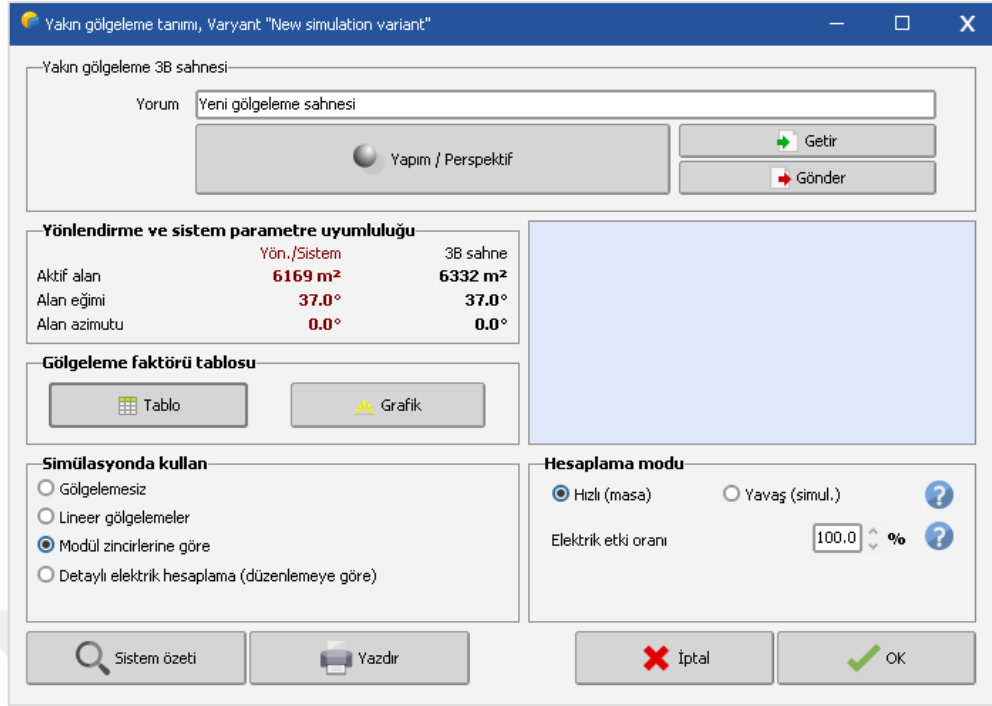


Şekil 62. Horizon çizgi diyagramı

6.2.5. Yakın gölgelemeler (near shadings definition)

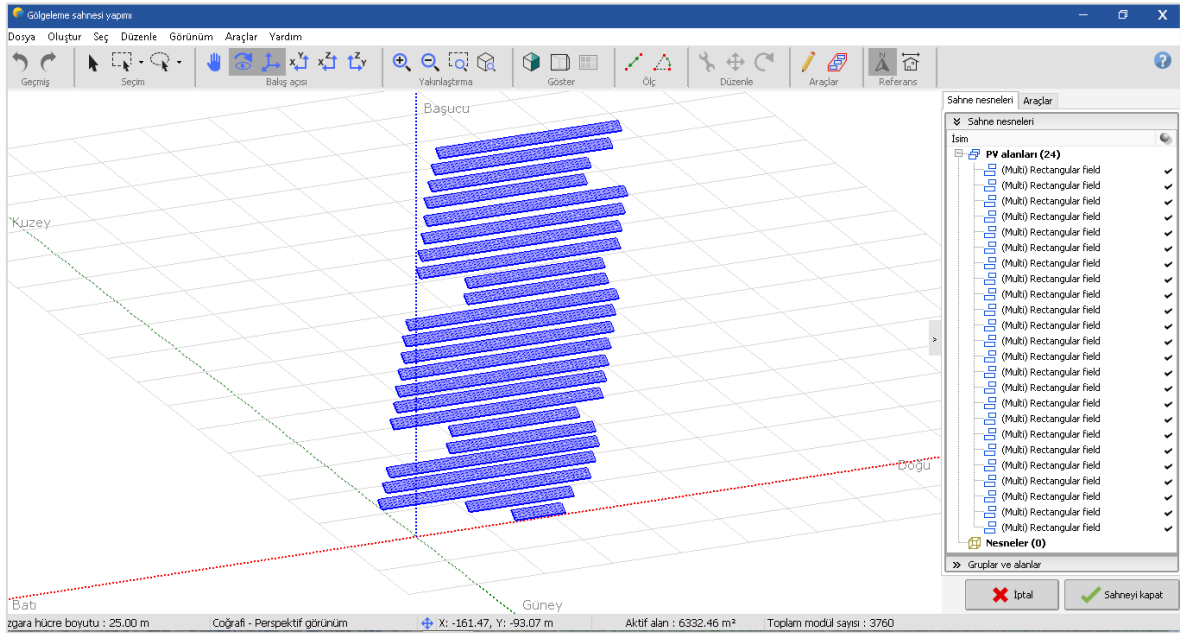
Bu alanda projenin yer aldığı konumda panellere etki eden gölgeleme durumlarının simüle edilmesi ile bu durumların neden olduğu kayıplarla birlikte sistem hesabının yapılmasıdır. Gölge kaynakları ağaç, bina, yüksek tepe vb. olabilir.

Herhangi bir nedenle PV panellere yansıyan gölgeler enerji üretimini olumsuz etkilemektedirler. Sabah ve akşam vakitlerinde düşük açılarla güneş açılarının yansıdığı saatlerde gölgeleme daha net ortaya çıkmaktadır. Güneş enerjisi santrallerinin tasarımında yerleşim planı, yakın binalar ve tüm gölge kaynakları dikkate alınması gerekir. Şekil 63'te yakın gölgeleme giriş ekranı görülmektedir.



Şekil 63. Yakın gölgeleme ekranı

Saha verileri kullanılarak yakın gölgeleme analizi PVsyst yazılımında doğru olarak oluşturulması amaçlanmıştır. Şekil 64'te panel dağılımları göz önünde bulundurularak oluşturulan tasarım görülmektedir.



Şekil 64. Panel yerleşim ve gölgelendirme tasarımı

6.2.6. Modül düzeni

Panel tasarım düzeni, enerji üretim ve performansı önemli açıdan etkilemektedir. Azimut açısı, eğim açısı, dizi sırası ve mesafeler doğru olarak belirlendiğinde maksimum performans elde edilir. Bu proje çalışmasında mevcut bir sistemin kurulu yapısına göre panel düzeni oluşturulmuştur.

6.2.6. Ekonomik değerlendirme ve enerji yönetimi

Bu alanda finansal değerlendirme yapılabilmektedir. Projede bulunan tüm maliyetler, ekonomik girdiler ve gelirler analiz edilerek sistemin amorti süresi ve kârlılığı değerlendirilir. Şekil 65'teki ekranda görüldüğü gibi ekonomik değerlendirme alanında maliyetler içerisinde invertörler, paneller, işletme bakım maliyetleri, montaj ve işçilik belirlenmektedir. Bu analiz çalışmasında maliyet ve ekonomik girdiler tanımlanmamıştır.

Economic evaluation

System summary
Project: SENPA GES
PV Array, Pnom = 1040 kWp
Grid-Connected System
Produced Energy 1331 MWh/year

Financial summary
Installation costs 0.00 EUR
Total yearly cost 0.00 EUR/year
LCOE 0.000 EUR/kWh
Payback period 0.0 years

Installation costs amount is null

Investment and charges | Financial parameters | Tariffs | Financial results | Carbon balance

Values
Global (selected) | by Wp | by m²
Currency: EUR - Euro (selected) | Rates

Installation costs

Description	Quantity	Unit price	Total	
PV modules			0.00	EUR
Inverters			0.00	EUR
Other components			0.00	EUR
Studies and analysis			0.00	EUR
Installation			0.00	EUR
Insurance			0.00	EUR
Land costs			0.00	EUR
Loan bank charges	0.00	0.00	0.00	EUR
Taxes			0.00	EUR
Total installation cost			0.00	EUR
Depreciable asset			0.00	EUR

Operating costs (yearly)

Description	Yearly cost	
Maintenance	0.00	EUR
Land rent	0.00	EUR
Insurance	0.00	EUR
Bank charges	0.00	EUR
Administrative, accounting	0.00	EUR
Taxes	0.00	EUR
Subsidies	0.00	EUR
Operating costs (OPEX)		0.00 EUR/year

Cancel OK

Şekil 65. Ekonomik değerlendirme ekranı

6.3. PVsyst Yazılımında Santral Tasarımı

Bu bölümde, kurulu bir güneş enerjisi santralinin gerçek saha koşulları ele alınarak PVsyst yazılımında simülasyon tasarımı gerçekleştirilecektir. Saha koşulları olabildiğince doğru bir şekilde yansıtılarak performans ve enerji üretimi değerlendirilecektir.

Diyarbakır ili, Yenişehir ilçesi, Yaytaş mevkiinde yer alan 299 ada 7 parselde 938.3 kWp / 891.4 kWe kurulu gücündeki santralin PVsyst yazılım verileri ile karşılaştırma analizi yapılmıştır. Verileri doğru karşılaştırılabilmesi için saha koşulları dikkatli tanımlanmıştır. Sahada iki kısımda yedişer adet, bir dizi kısmında beş adet olma üzere toplamda 19 adet invertör bulunmaktadır. Kullanılan panel ve invertörlere ait teknik bilgi ve model adları Tablo 6 ve Tablo 7’de yer almaktadır. Bunlara ait veri girişi yapılan PVsyst ekranları Şekil 66 ve Şekil 67’de görülmektedir. Teknik özelliklerin bulunduğu etiket fotoğrafları da Şekil 68’de bulunmaktadır.

Tablo 6. PV panel teknik özellikleri

Üretici Firma	CW Enerji
Model	CWT270-60P
Maksimum Güç	270 Wp
Maksimum Voltaj (Vmp)	31 V
Maksimum Akım (Imp)	8,7 A
Açık Devre Gerilimi (Voc)	38 V
Kısa Devre Akımı (Isc)	9,21 A
Maksimum Sistem Gerilimi	1000 V
Boyutları	1648 x 995 x 35 mm
Ağırlık	19,5 kg
Toplam Panel Adeti	3762

Tablo 7. İnvertör teknik özellikleri

Üretici Firma	KACO new energy
Model	Blueplanet 50.0 TL3 M
Ağırlık	80 kg
Boyutlar	700 x 500 x 300 mm
Verim	98.5 %
Toplam İnvertör Sayısı	19
Maksimum Giriş Gerilimi (Vmax)	1100 V
Maksimum AC Çıkış Gücü	52.000 VA

Select the PV module

Available Now Filter

CW Enerji 270 Wp 26V Si-poly CWT270 - 60P Since 2011 Manufacturer 2019

☐ Use optimizer

Sizing voltages : Vmpp (60°C) **26.7 V**
Voc (-10°C) **42.2 V**

Şekil 66. PV Modül giriş alanı

Select the inverter

Available Now Output voltage 400 V Tri 50Hz ☒ 50 Hz ☒ 60 Hz

Kaco new energy 50 kW 580 - 900 V TL 50/60 Hz Blueplanet 50.0 TL3-INT BASIC Since 2016

Nb. of inverters ☐ Operating voltage: **580-900 V** Global Inverter's power **950 kWac**
Input maximum voltage: **1100 V**

Şekil 67. İnverter giriş alanı



Şekil 68. PV panel (solda) ve invertöre (sağda) ait teknik özellik etiketleri

Santral sahasında farklı ünitelerde (toplamda 5 ünite) bulunup 1200 VA gücünde trafo merkezine bağlanan birden fazla dizi dönüştürücülü sistem yer almaktadır. Üzerinde karşılaştırma analiz çalışması yapılan sistem, sahanın 1 ünitesi olmakta ve 1 MW kapasitededir. Arazi düz bir toprak yapısındadır. Santral etrafında Şekil 69 ve Şekil 70’de görüldüğü gibi gölgeleme meydana getirecek herhangi bir engel bulunmamaktadır.



Şekil 69. Sahanın kuşbakışı görüntüsü

Diyarbakır ili güneşlenme süresi bakımından ortalamanın üzerinde performans alınabilecek bir konumdadır ve yüzey şekilleri ışıınım yoğunluğunu geniş bir açıyla alabilecek düz zemin alanındadır. Tablo 8, Tablo 9, Tablo 10 ve Tablo 11’de ortalama sıcaklık ve güneşlenme süreleri bulunmaktadır.

Tablo 8. Diyarbakır ili aylık ortalama sıcaklık değerleri (°C) (Meteoroloji 15. Bölge, 2025).

Yıl/Ay	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2023	3.1	3.2	11.5	13.7	18.5	26.6	31.4	31.9	26.4	18.2	11.7	6.4

Tablo 9. 2023 yılına ait Diyarbakır ili günlük ortalama sıcaklık değerleri (°C) (Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, 2025)

Gün/Ay	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2.2	5.4	9.8	4.9	11.0	23.0	28.4	31.0	30.9	22.5	18.0	4.5
2	2.2	4.6	10.9	8.2	12.7	22.5	29.4	31.4	31.1	19.8	17.6	6.3
3	2.1	1.6	12.6	12.3	13.4	23.3	30.9	33.0	30.2	17.1	15.6	6.9
4	2.2	-0.6	14.4	13.7	14.0	24.5	31.9	33.5	27.2	16.9	15.1	5.9
5	2.0	0.4	13.0	15.2	15.6	23.9	32.2	33.2	29.9	16.4	13.1	8.5
6	2.1	3.9	15.7	12.9	17.6	23.6	33.0	32.5	29.1	16.2	15.1	9.3
7	5.6	3.9	10.2	12.0	19.0	25.6	32.7	33.9	28.1	17.6	17.0	10.8
8	1.0	1.2	9.5	13.8	15.8	27.6	29.2	34.6	27.7	19.3	16.7	9.4
9	1.5	0.7	9.7	11.9	16.1	26.2	29.0	33.8	28.0	20.7	13.2	9.8
10	-1.6	0.3	10.1	12.6	18.1	26.0	28.1	35.0	26.3	21.2	15.0	10.7
11	-1.3	0.2	12.5	12.9	20.3	25.5	27.1	34.5	26.2	21.4	14.4	7.8
12	-0.8	-0.5	12.5	13.7	20.2	26.9	27.6	32.2	25.1	20.9	14.1	10.9
13	1.0	-1.0	12.4	10.5	19.8	26.4	30.1	32.5	23.4	19.9	14.2	9.2
14	3.8	-0.8	11.6	10.7	19.1	25.4	32.2	35.3	24.3	18.8	13.9	7.8
15	4.9	-0.9	12.3	12.5	17.4	25.4	33.3	34.6	25.5	18.2	13.8	5.4
16	3.7	1.0	12.3	14.3	19.5	27.1	32.3	31.6	24.3	19.5	11.3	4.8
17	6.7	-0.1	11.8	17.4	18.8	28.2	31.1	31.7	25.3	17.9	13.5	4.8
18	7.1	0.3	11.7	17.3	20.5	27.6	29.4	32.1	25.6	16.8	8.0	5.8
19	6.1	1.6	11.0	17.4	20.6	26.9	31.3	32.4	25.3	15.4	13.5	4.9
20	5.2	5.2	9.9	16.2	19.2	25.3	32.3	32.2	25.1	14.5	8.2	5.5
21	5.2	7.0	10.5	14.6	17.9	26.0	32.2	31.4	26.7	18.3	8.1	3.4
22	5.1	4.9	13.5	13.4	17.2	27.3	33.5	32.2	26.6	17.2	5.6	4.9
23	5.0	8.0	13.4	15.2	20.5	26.5	34.4	32.3	26.6	17.1	6.5	7.7
24	4.7	7.3	11.6	16.4	21.1	26.3	34.5	31.9	26.3	17.5	6.7	2.9
25	3.7	7.1	11.5	15.4	20.7	29.5	32.5	31.7	24.7	15.5	8.7	9.2
26	2.9	7.6	13.0	15.0	21.6	30.2	32.0	31.4	24.1	17.7	11.3	7.3
27	2.9	10.7	12.7	16.6	21.4	30.8	31.8	30.1	24.9	18.1	11.0	5.5
28	2.1	9.4	11.5	15.9	20.2	31.2	33.3	28.0	24.8	18.1	4.6	4.4
29	3.4		13.0	15.7	22.4	30.1	33.3	25.3	24.4	18.0	3.3	2.7
30	2.8		8.3	11.4	20.8	30.6	32.4	26.1	23.4	18.4	3.5	0.6
31	3.9		3.3		21.7		31.0	28.5		18.2		0.6

Tablo 10. Diyarbakır ili aylık güneşlenme süresi (saat)

Yıl/Ay	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2023	158.9	141.8	141.8	214.4	273.7	299.1	372.4	344.9	269.4	209.9	135.6	111.2

Tablo 11. Diyarbakır ili günlük güneşlenme süresi (saat)

Gün/Ay	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	7.8	1.9	8.8	10.9	9.3	12.0	12.9	12.1	9.5	8.9	5.5	7.9
2	7.8	0.2	6.8	5.9	11.8	6.4	12.8	12.1	10.6	2.5	5.7	7.1
3	7.7	5.2	2.4	8.8	8.7	9.2	12.7	12.2	10.9	4.5	1.2	7.6
4	7.8	0.0	5.3	9.1	11.9	12.4	12.6	12.2	10.7	7.2	6.0	6.9
5	7.4	0.0	4.6	10.9	11.8	12.3	12.7	12.0	3.8	9.6	4.4	4.3
6	6.5	1.0	3.3	5.8	4.8	2.8	12.2	11.7	10.9	9.4	6.6	0.0
7	1.8	0.6	9.3	5.2	9.7	11.9	12.5	11.8	10.9	9.7	8.3	1.0
8	2.2	4.7	7.1	9.5	9.2	11.7	8.1	11.8	0.0	9.0	6.2	0.0
9	4.3	8.7	7.7	0.7	10.2	3.2	7.7	11.4	10.8	5.1	7.0	0.0
10	3.4	7.7	5.8	0.7	9.5	8.1	9.5	10.1	10.4	0.3	6.7	0.0
11	7.7	7.4	8.5	0.7	10.5	8.2	11.9	11.8	9.5	7.6	5.4	2.8
12	6.9	8.1	7.4	5.3	3.2	11.1	12.7	11.8	4.0	9.4	6.3	3.6
13	2.7	4.4	0.2	4.6	11.7	12.4	12.8	11.9	8.9	9.4	6.7	2.3
14	0.0	9.0	0.3	7.1	12.3	12.4	12.6	8.8	10.7	9.4	0.0	7.5
15	7.5	7.5	0.3	8.9	3.1	6.6	12.7	11.8	10.5	2.0	3.2	7.1
16	0.1	7.4	3.8	10.5	12.0	12.8	12.6	11.7	10.5	6.5	0.4	3.7
17	2.2	7.8	6.9	8.1	11.6	12.3	12.6	11.6	10.5	6.9	7.3	
18	5.2	7.1	4.6	7.8	9.9	12.4	12.6	6.8	10.5	2.9	0.2	7.5
19	7.8	2.0	1.2	7.3	6.1	5.4	12.3	11.6	10.3	2.9	0.0	7.2
20	7.9	5.6	2.0	4.7	7.0	9.9	12.4	11.7	10.0	8.0	0.0	7.3
21	7.9	7.9	7.9	11.1	4.8	0.0	12.4	11.4	8.9	8.9	7.8	0.8
22	7.9	4.9	8.2	9.1	7.6	12.1	12.4	9.1	10.0	8.9	7.9	0.0
23	7.8	3.5	6.9	7.2	11.5	8.6	12.4	11.4	10.1	7.8	5.6	0.1
24	7.9	8.2	0.9	8.6	11.5	12.8	12.3	11.3	9.9	1.9	7.6	0.8
25	7.9	5.4	1.0	10.2	7.3	12.7	11.1	11.5	0.0	8.4	2.9	6.1
26	7.2	0.0	1.8	9.1	7.2	10.8	12.2	11.3	9.9	7.7	0.4	1.8
27	7.3	6.8	2.3	9.2	11.6	11.2	12.1	11.2	10.0	3.6	1.6	7.1
28	0.0	8.8	4.7	5.9	0.1	12.3	12.1	11.2	9.9	8.5	7.9	1.6
29	0.3		7.3	8.2	7.1	12.8	12.2	8.3	9.6	8.5	5.8	3.8
30	0.0		4.4	3.3	9.5	12.3	12.2	10.8	7.2	8.5	1.0	5.3
31	0.0		0.1		11.2		12.1	10.5		6.0		0.0

**Şekil 70.** Santral ünite sınırlarının alanı

Şekil 71’de santral zemini ve kullanılan panel görseli bulunmaktadır. Saha çalışanlarından alınan bilgiler dahilinde, paneller için dikilen direkler zemine çok yakın bir şekilde oturtulmuştur. Bu tarz bir kurulum modüllerden alınacak üretim verimi açısından dezavantaj oluşturmaktadır. Diyarbakır ili özellikle yaz mevsimi koşullarında havanın sıcaklık değeri yüksek olmasından ötürü panellerin yere çok yakın olması hava sirkülasyonunun önüne geçip ortalama panel sıcaklık değerlerini arttırmaktadır.



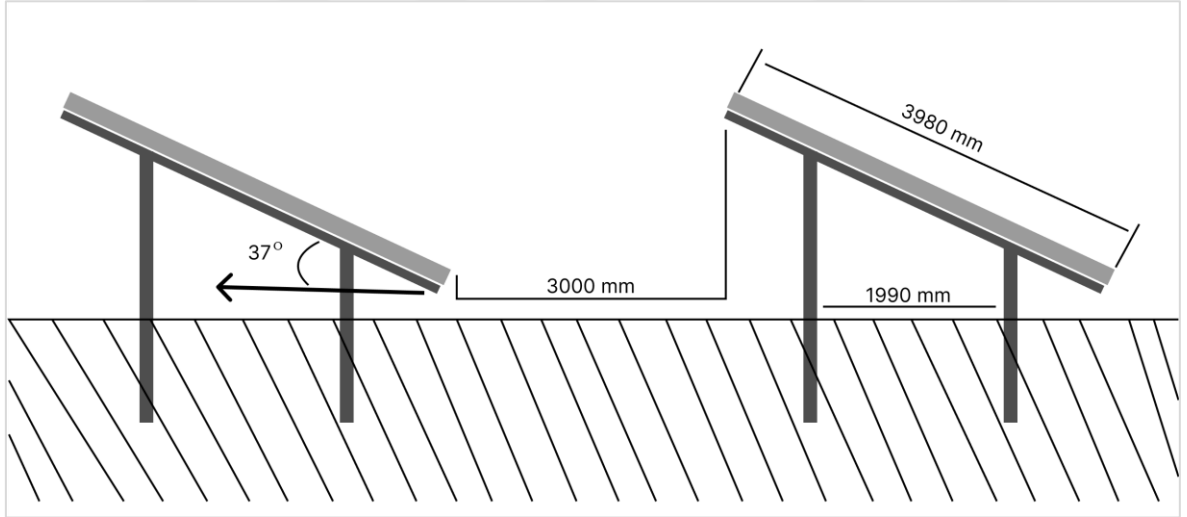
Şekil 71. Santral zemini ve çevre yolları

Santral zemini topraklıdır. Saha etrafında ve bazı dizi aralarında invertör ve bağlantı köşklerine giden ulaşımı kolaylaştıracak yollar bulunmaktadır. Invertör - PV panel bağlantısı , panel seri bağlantı kabloları Şekil 72’de yer almaktadır. invertörler ölçümlerin yapıldığı sayaç pano köşküne bağlanmaktadır. Bir sırada belirli aralıklarla montajı yapılmış KACO blueplanet modeline ait yedi adet invertör ile birlikte toplamda 19 adet invertör 1 MW kapasiteli sahada kullanılmıştır.



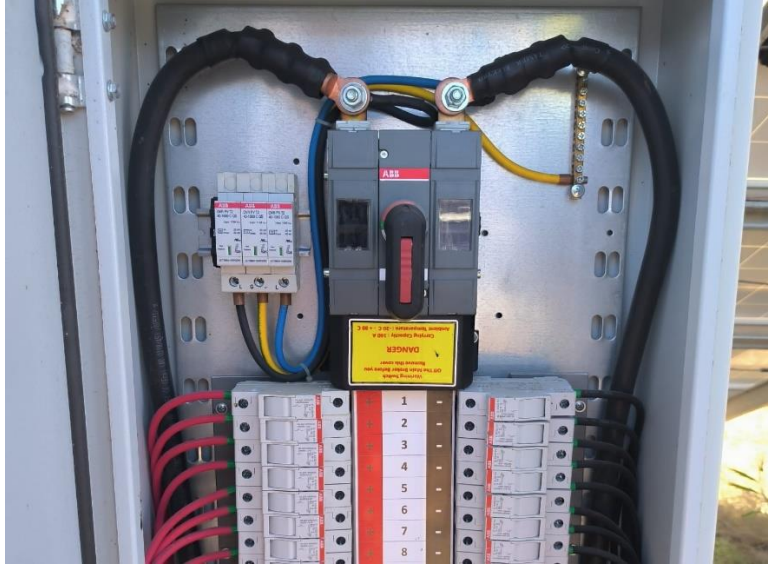
Şekil 72. PV dizisine bağlanan invertörler

Güney yönüne bakacak şekilde , PV modüller yatay zeminle 37° 'lik bir açıyla taşıyıcı direklere sabitlenmiştir. Diziler arasında 3 m mesafe bırakılmıştır. Panel taşıyıcı sistem gösterimi Şekil 73'te görülmektedir.



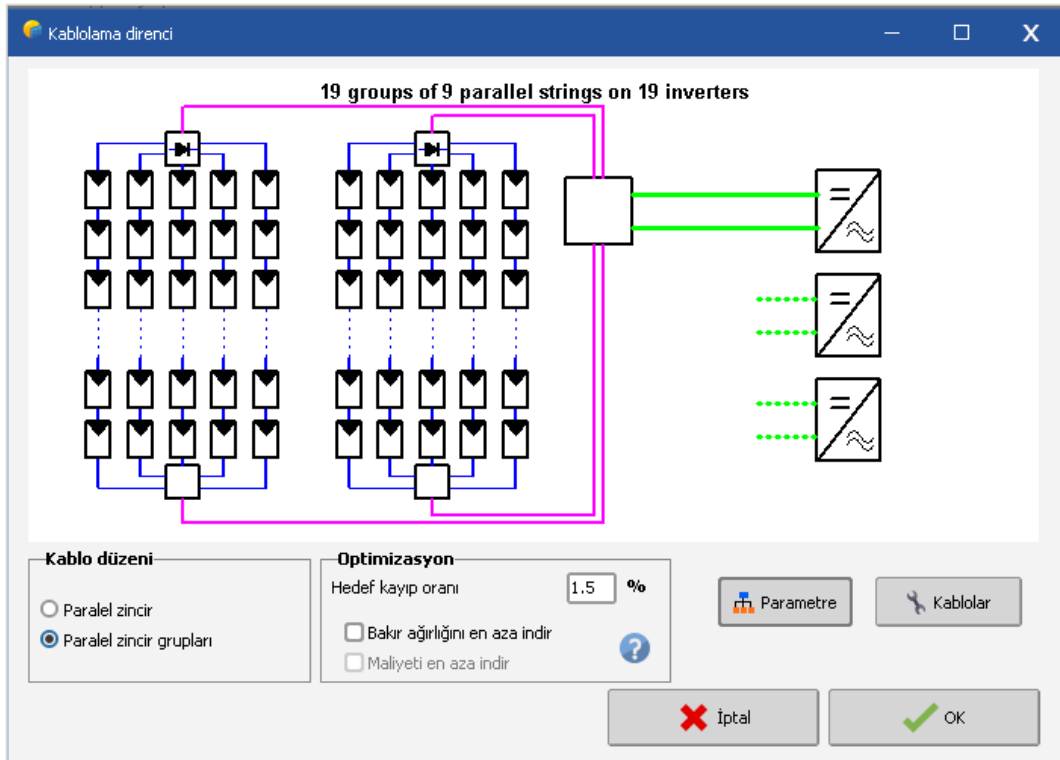
Şekil 73. Modül taşıyıcı sistem detay şablonu

Şekil 74'te 9 adet, her birinde 22 panel bulunan dizinin birleştiği pano içi görülmektedir. Bağlantı kabloları burada birleşip invertörlere gitmektedir. Birleştirici (Combiner) pano içerisinde sigortalar ve 1 adet termik şalter bulunmaktadır. Ayrıca hattın topraklama bağlantısı da pano iç metaline bağlı olarak görülmektedir.

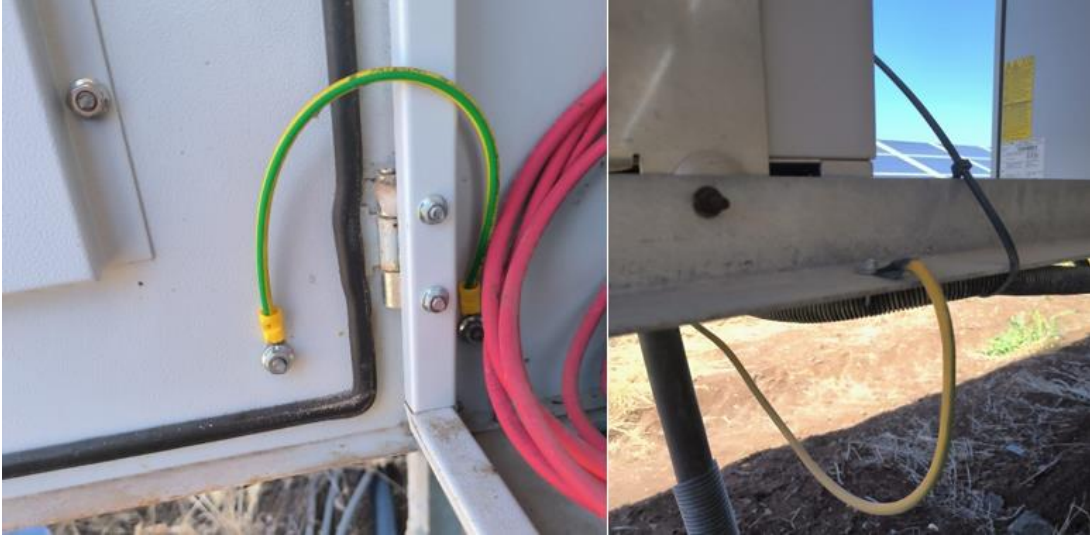


Şekil 74. Birleştirici (Combiner) pano iç görüntüsü

Şekil 75’te invertör ve panel dizilerine ait paralel bağlantı şeması görülmektedir. Şekil 76’da birleştirici ve invertör topraklama bağlantı resimleri, Şekil 77’de ise sistemi şebekeye bağlayan trafo ve invertörlere ait panoda sigorta görüntüleri bulunmaktadır. Santral sistemi içerisinde elektrik akımının güvenli bir şekilde akması için bağlantı noktaları ve üzerinde yer aldığı tüm metal malzemelerin topraklama bağlantılarının gerçekleştirilmesi büyük önem arz etmektedir.



Şekil 75. Panel bağlantı şeması



Şekil 76. Birleştirici (solda) ve invertör (sağda) topraklama bağlantısı

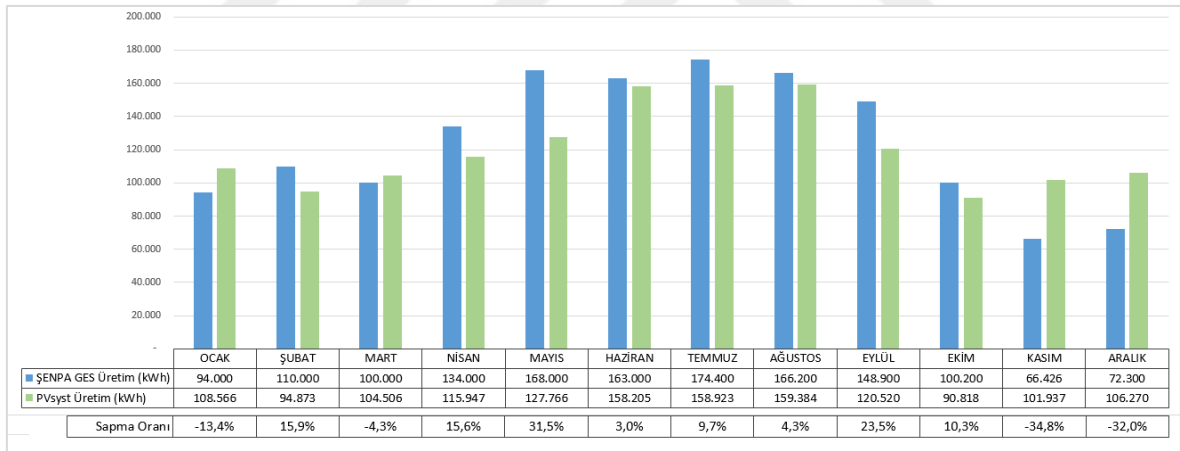


Şekil 77. Şebeke trafosu (solda) ve invertör (sağda) termik şalter panosu

7. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Analiz çalışmasında saha koşullarındaki gerçek veriler ele alınıp PVsyst yazılım programında doğru bir şekilde girilerek değerlendirme yapılmıştır. İnverter ve panel kapasiteleri, model ve teknik özellikler, sayıları, eğim ve yerleşim sahası gibi detaylar simülasyon öncesinde programa entegrasyonu sağlanmıştır.

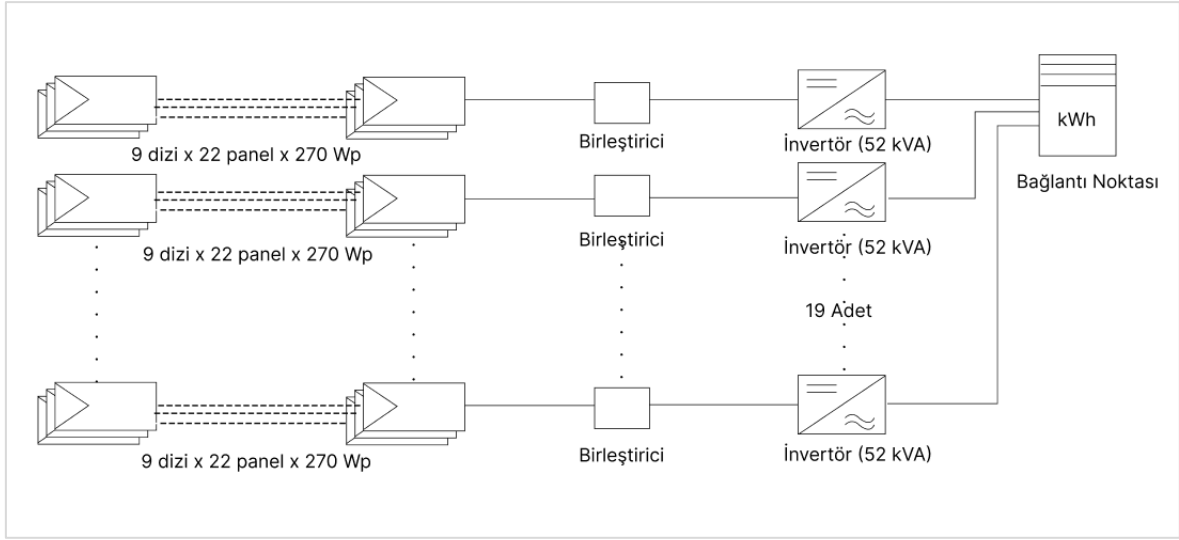
Saha araştırması sonucunda güneş enerjisi santraline ait yıllık toplam elektrik enerjisi üretim değeri 1.497.426 kWh olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte PVsyst yazılım programının simülasyon sonucunda elde edilen yıllık toplam üretim değeri 1.447.714 kWh olarak belirlenmiştir. Bu veriler değerlendirildiğinde sahanın gerçek değeri ile PVsyst uygulaması hesabı arasında % 3,4'lük bir sapma oranı ortaya çıkmıştır. Elde edilen üretim sonucu PVsyst uygulamasının detaylı analiz girdileri ve ölçümü sayesinde saha koşullarına yakın değerler ortaya çıkardığı görülmektedir. Şekil 78'de aylık üretim değerleri ve sapma oranları görülmektedir.



Şekil 78. Saha ve PVsyst verilerinin aylık üretim değerleri ve sapma oranları

Şekil 78 incelendiğinde, KEYVAR İnşaat'a ait ŞEN-PA GES verilerinde yaz mevsimi için ışıınım değerlerinin ve güneşlenme süresinin yüksek olması üretim değerlerinde de artışa sebep olduğunu göstermektedir.

PVsyst programında simülasyon çalıştırılıp rapor çıktısı tamamlandıktan sonra sisteme ait tüm detaylı veri sonuçları ortaya çıkmaktadır. Rapor birinci sayfasında, tasarlanan sistemin adres ve konum bilgileri, PV modülüne ait bilgiler ve sistem kayıp detayları bulunmaktadır. Sisteme ait tek hat bağlantı şeması Şekil 79'da görülmektedir.



Şekil 79. Sistemin tek hat bağlantı şeması

Rapor çıktısına ait ilk sayfada genel proje özeti, konum bilgileri ve sisteme ait özet tanımlamalar yer almaktadır. İnvertör ve panel adetleri, azimut ve eğim açıları, kapasite ve yakın gölgelemeler özet sayfa bilgilerinde bulunur. Şekil 80’de bu verileri içeren özet sayfa yer almaktadır.

Proje özeti			
Coğrafi konum YAYTAS-SENPA GES Turkey	Konum		
	Enlem	38.08 °N	
	Boylam	40.09 °E	
	Rakım	736 m	
	Saat dilimi	UTC+3	
Hava durumu verileri YAYTAS-SENPA GES Meteonorm 8.0 (2006-2023), Sat=100% - Sentetik	Proje ayarları		
	Albedo		0.20

Sistem özeti			
Şebekeye bağlı sistem		Zemin üzerinde sistem	
Kolektör düzleminin yönlendirmesi		Yakın gölgelemeler	
Sabit düzlem		Modül zincirlerine göre	
Eğim/Azimut	37 / 0 °	Elektrik etki	100 %
Sistem bilgisi		Kullanıcı ihtiyaçları	
PV alanı		Sınırsız yükleme (şebeke)	
Panel sayısı	3762 birim		
Toplam nom. güç	1016 kWp		
		İnvertör	
		Öge sayısı	19 birim
		Toplam nom. güç	950 kWac
		Şebeke güç sınırı	1000 kWac
		Şebeke sınır Pnom oranı	1.016

Sonuçların özeti			
Üretilen enerji	1447714 kWh/yıl	Üretilabilir	1425 kWh/kWp/yıl
		Perf. oranı PR	80.18 %

Şekil 80. Sistem ve proje özeti

PVsyst rapor çıktısının bir diğer sayfasında kollektör ve genel parametre özellikleri bulunmaktadır. Fotovoltaik modüllere ait model, birim güç ve adet bilgisi, nominal güç ve panel yüzey alanı ile birlikte sistemde kullanılan invertörlere ait aynı şekilde model, birim güç, toplam güç ve invertör adeti yer almaktadır. Şebekeye bağlı kurulu sistemin kollektör yönlendirmesi, ufuk bilgisi, dizi adetleri ve boyutlar da bu sayfada bulunur. Şekil 81’de PV karakteristikleri ve genel parametre bilgileri bulunmaktadır.

Genel parametreler			
Şebekeye bağlı sistem		Zemin üzerinde sistem	
Kollektör düzleminin yönlendirmesi		Dizi ayarları	
Yönlendirme		Kullanılan modeller	
Sabit düzlem		Transpozisyon	Perez
Eğim/Azimet		Difüz	Perez, Meteonorm
37 / 0 °		Circumsolar	ayrı
Ufuk		Kullanıcı ihtiyaçları	
Ufuk tanımlanmadı		Sınırsız yükleme (şebeke)	
Şebeke gücü kısıtlaması		Yakın gölgelemeler	
Aktif güç		Modül zincirlerine göre	100 %
1000 kWac		Elektrik etki	
Nom. güç oranı			
1.016			

Kollektör alanının özellikleri			
PV modül		Invertör	
Üretici	Generic	Üretici	Generic
Model	CWT270 - 60P	Model	Blueplanet 50.0 TL3-INT BASIC
(Kullanıcı tarafından belirlenen parametreler)		(Orijinal PVsyst veritabanı)	
birim gücü	270 Wp	birim gücü	50.0 kWac
PV modül sayısı	3762 birim	Invertör sayısı	19 adet
Nominal (STC)	1016 kWp	Toplam güç	950 kWac
Modül	171 Zincir x 22 Seri	Çalışma gerilimi	580-900 V
İşletme şartlarında (50°C)		Nom. güç oranı (DC:AC)	1.07
Pmpp	917 kWp		
U mpp	615 V		
I mpp	1491 A		
Total PV gücü		Invertör toplam gücü	
Nominal (STC)	1016 kWp	Toplam güç	950 kWac
Toplam	3762 modül	Invertör sayısı	19 birim
Panel yüzeyi	6169 m ²	Nom. güç oranı	1.07
Hücre yüzeyi	5553 m ²		

Şekil 81. PV karakteristiği ve genel parametreler

PV dizi kayıpları olarak bazı temel faktörler ve kayıp bilgileri toplam verimi etkileyen önemli parametrelerdir. Şekil 82’de bu kayıpların özet değerlerini içeren kısım bulunmaktadır. Bunlar içerisinde, IAM (yansıma etkisi) kayıp faktörü, modül kalite kaybı, uyumsuzluk kaybı, termal kayıp faktörü gibi veriler yer almaktadır.

Dizi kayıpları

Termal kayıp faktörü

Işınımına göre modül sıcaklığı

Uc (sabit)

Uv (rüzgar)

20.0 W/m²K

0.0 W/m²K/m/s

DC kablolama kaybı

Global alan direnci

Kayıp oranı

16 mΩ

3.4 STC'de%

Modül kalite kaybı

Kayıp oranı

-0.8 %

Modül uyumsuzluk kaybı

Kayıp oranı

2.0 MPP'de%

Dizi uyumsuzluk kaybı

Kayıp oranı

0.1 %

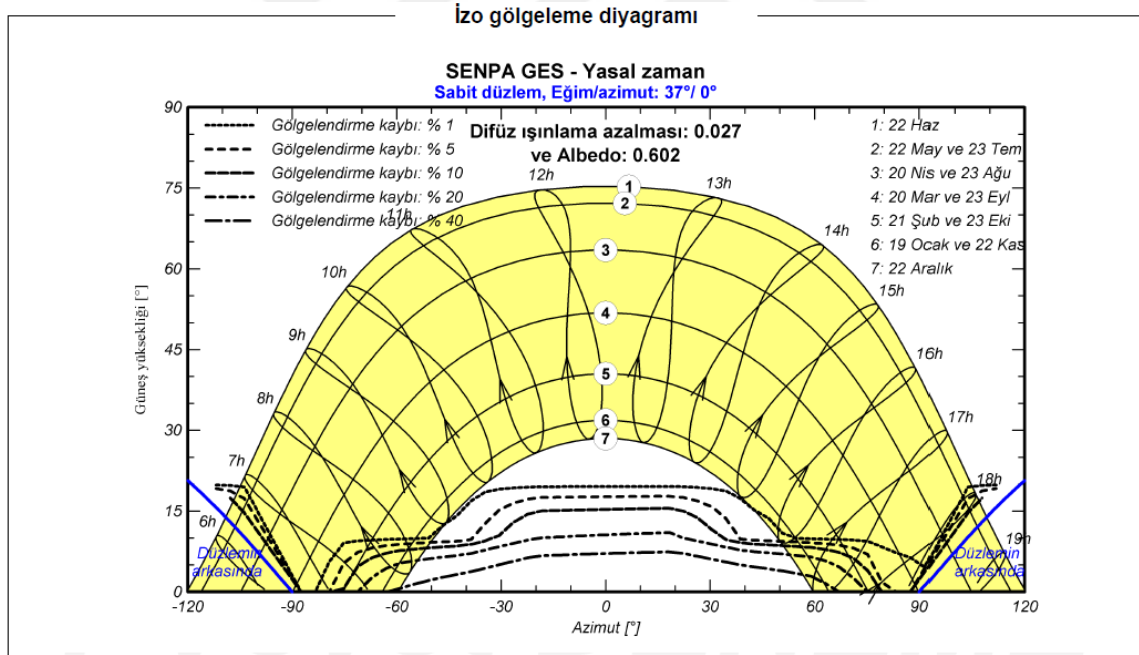
IAM kayıp faktörü

Yansıma etkisi (IAM): Fresnel, yansıma önleyici, n(cam)=1.526, n(AR)=1.290

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

Şekil 82. Dizi kayıpları

PVsyst raporuna ait diğer bir sayfada ufuk tanımlama bilgileri yer almaktadır. Panellere ait eğim ve açılar doğru bir şekilde girilip güneş ışığının en iyi şekilde alınabilmesi için ufuk tanımlaması yapılmaktadır. Şekil 83'te de görüldüğü gibi PVsyst uygulaması yıl içerisinde değişen açı ve yükseklik konumunu dikkate alarak, saatlere ve güneş yörüngesine göre ufuk çizelgesi oluşturmaktadır.



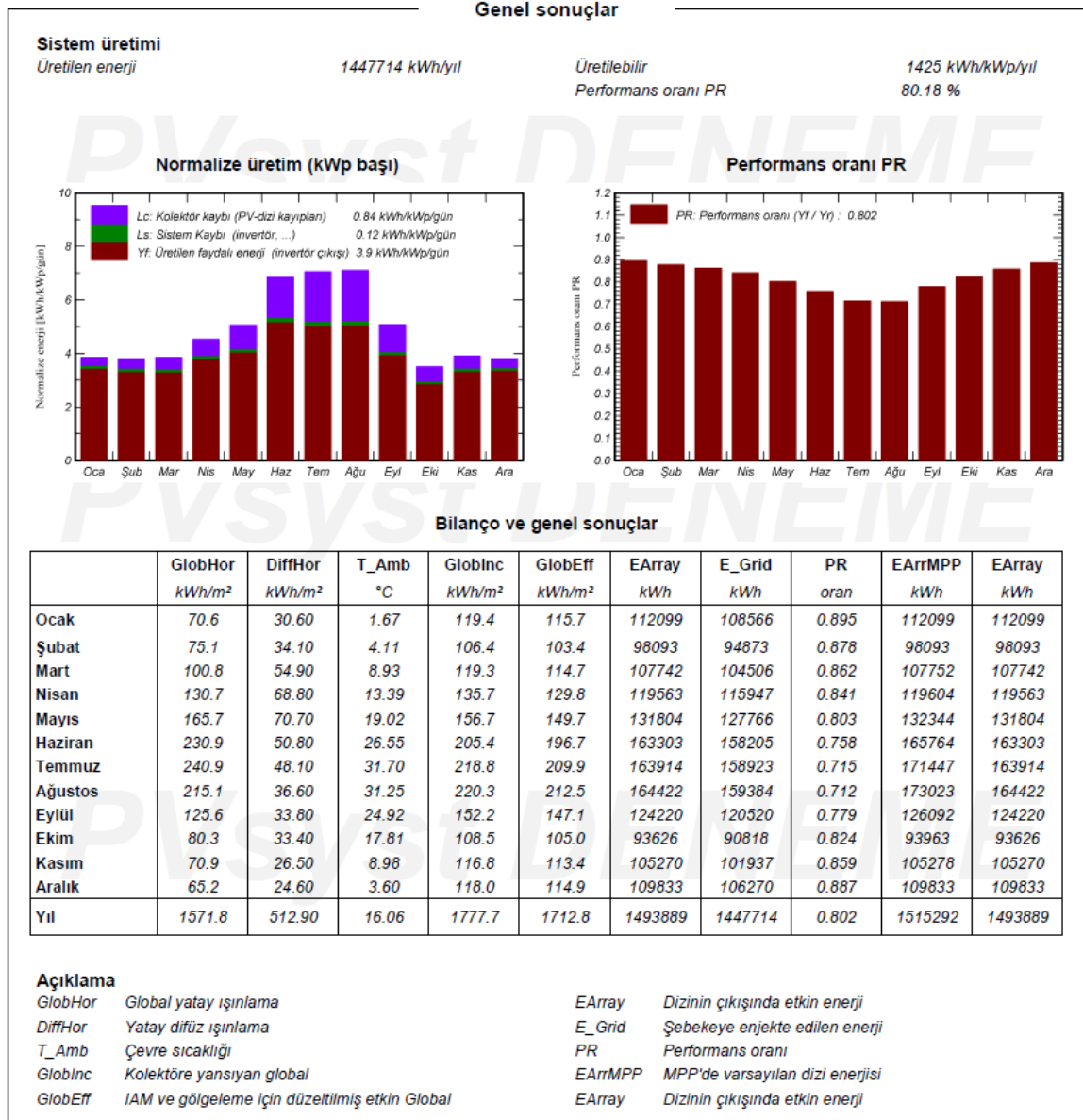
Şekil 83. Ufuk diyagramı

PVsyst yazılımında panellerin üç boyutlu olarak çizilip, yansıyan ışınımına denk gelebilecek gölgelemeler de dahil edilerek kayıpların azaltılacağı görsel bir tasarım perspektif imkanı sunulmaktadır. Şekil 84’te PV tasarımına ait görsel bulunmaktadır.



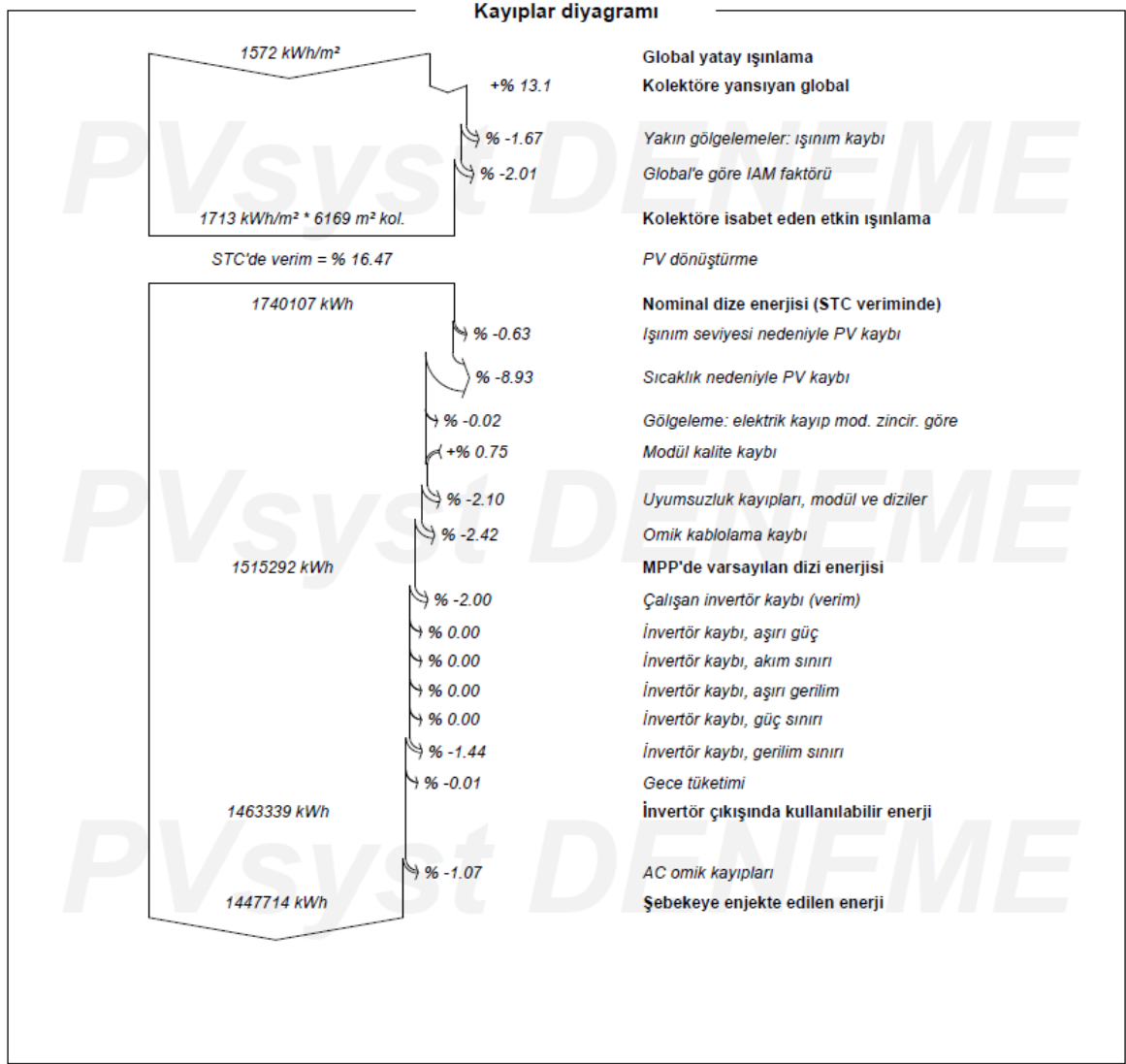
Şekil 84. Yakın gölgelemeler

Simülasyon sonucunda sistemin genel üretim ve performans oranını grafiksel ve detaylı tablo gösterimi olarak içeren genel sonuçlar sayfası Şekil 85’te de görüldüğü gibi bulunmaktadır. Burada aylık bar grafiği gösteriminde PV kaybı, sistem kaybı ve üretilen enerji miktarı bulunmakta ve günlük bazda ne kadar kWh içerdiği yer almaktadır. Her ay için o ay verilerine denk gelen performans değişim grafiği de bulunmaktadır.



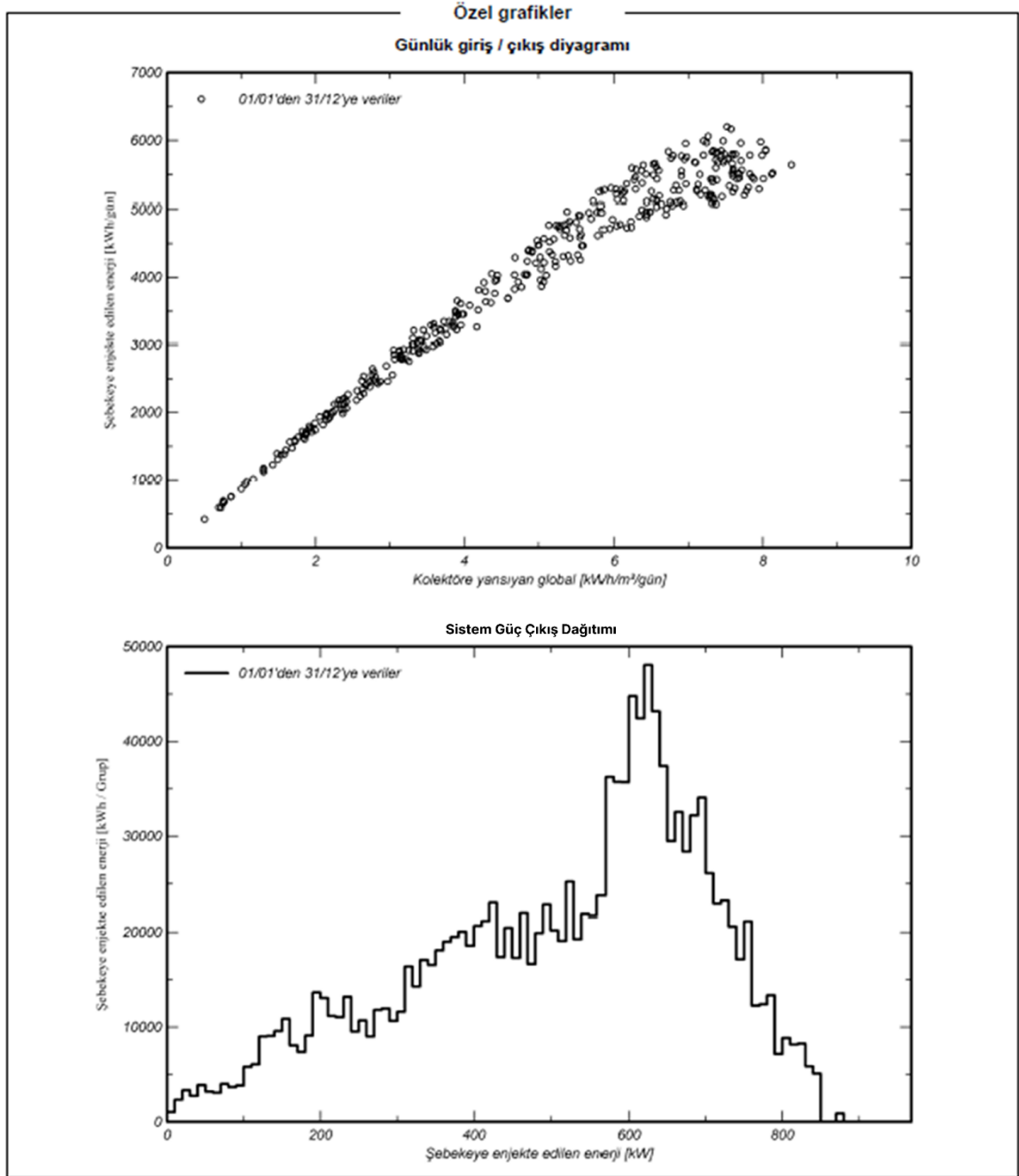
Şekil 85. Genel üretim, kayıplar ve performans oran tablosu

Şekil 86’da sisteme ait tüm kayıplar detaylı bir biçimde görülmektedir. Uzak ve yakın gölgeleme ışınlım kayıpları, ışınlımın PV tarafından tam olarak absorbe edilememesinden kaynaklanan kayıplar, sıcaklık ve omik kablo kayıpları, uyumsuzluk kayıpları, invertöre ait çeşitli sebeplerle meydana gelen kayıplar v.b gibi üretim toplam değerinin performansını etkileyen kayıp oranları bulunmaktadır.



Şekil 86. Sistem kayıp çizelgesi

Şekil 84'te şebekeye ait ön tanımlı grafik örnekleri bulunmaktadır. Sistemde meydana gelebilecek değişiklikleri ve dalgalanmaları zaman içerisinde izlemek açısından önemli grafiklerdir. Performansı etkileyecek bir sorun tespit edilmesi durumunda müdahale anlamında yardımcı analiz araçlarıdır.



Şekil 87. Sistem güç dağılımı tanım grafikleri

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 1 MW kapasitede çalışan bir güneş enerjisi santrali detayları ile birlikte PVsyst yazılımında simüle edilmiş ve bunun sonucunda çıkan değerler gerçek saha ortamıyla karşılaştırılmıştır. Tasarım ve proje uygulama sürecinde saha verileri ile aynı olacak şekilde, 270 Wp gücündeki 3762 adet PV panel, 50 kW gücünde 19 adet invertör ve her bir dizi 22 adet seri bağlı panel içerecek şekilde toplamda 171 adet dizi kullanılmıştır. Eğim açısı 37^0 , azimut açısı 0^0 olarak belirlenmiştir. PVsyst yazılımına tüm parametreler tanıtılarak simülasyon çalıştırıldığında şu şekilde çıkarımlar meydana gelmiştir;

- Yıllık toplam enerji üretim verisi gerçek saha ortamına göre 1.497.426 kWh şeklinde bir çıkış enerjisi tespit edilirken, PVsyst yazılım simülasyonu üretim verisini 1.447.714 kWh olarak tahminlemiştir. Toplamda iki veri arasında % 3,4'lük bir sapma oranı ortaya çıkmıştır.
- Sistem performans değeri % 80,18 olarak hesaplanmıştır. Gün bazında dizi kaybı 0,84 kWh, sistem kaybı 0,12 kWh, üretilen faydalı enerji yine gün bazında 3,9 kWh şeklinde çıkmıştır.
- Her iki ortam için Şekil 78 incelendiği zaman kasım ve aralık aylarında minimum üretim izlenmiştir. Yaz mevsimi aylarının da hemen hemen tümünde yüksek üretim değerleri görülmektedir.
- Gerçek saha ve simülasyon sonuçları arasında ay bazlı kontrol edildiğinde sapma oranlarında genel orana kıyasla değişken değerler gözlemlenmiştir. Mayıs ayı % 31,5; eylül ayı % 23,5; kasım ayı % - 34,8; aralık ayı % - 32 gibi büyük farklar gözlemlenirken, mart ayı % - 4,3; haziran ayı % 3,0; ağustos ayı % 4,3 gibi yakın farklar ortaya çıkmıştır.

Çalışmada elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde bazı öneriler aşağıda sunulmaktadır;

- Yapılan analiz sonuçları incelendiğinde güneş santrallerinde performans oranını yüksek seviyede tutmak için PV panellerde özellik açısından verimi yüksek, ışıınımı iyi absorbe eden, içeriği saf malzeme bulunduran modüller kullanılması ve paneller arası uzaklığın gölgelemeyi en aza indirecek bir biçimde ayarlanması tavsiye edilmektedir.

- Panel yönelimi ve eğimini, mevsim koşulları ve üretimi en yüksek seviyede bulunduracak şekilde ayarlamak gerekir. Bu durumlar dikkate alınarak hazırlanan yönelim ve eğim, güneş ışığını en doğru ve uzun süreli alabilecek şekilde ayarlanmış olur.
- Sistemin kurulacağı sahada gölgelemeye sebep olacak etkenler minimum seviyeye indirilerek hazırlanmalıdır.
- Enerji üretimi, mevcutta kullanılan cihazlardan (invertör ve panel gibi) maksimum oranda fayda sağlanılarak gerçekleşmesi için bu cihazların rutin bir şekilde bakımlarının yapılması gerekir. Özellikle panel temizliği bu durumda önemli bir etken olmaktadır.
- Analiz ve kontrol sistemleri kullanılarak üretim performansı devamlı olarak izlenmelidir. Gerekli görüldüğü durumlarda teknik ve ortam açısından iyileştirme gerçekleştirilmelidir.

Simulasyon rapor sonucunun saha verilerine yakın değerler ortaya çıkarması, PVsyst uygulama programının güneş enerjisi santral tasarımında etkin, uygulanabilir bir analiz ve performans ölçüm aracı olduğunu kanıtlamaktadır. PVsyst yazılım aracı, dünya genelinde sıkça kullanılan profesyonel bir uygulamadır. Gölgeleme, sistem konfigürasyonu, sıcaklık, kayıplar ve invertör verimi gibi birçok parametreyi göz önünde bulundurup enerji üretim tahmini sunmaktadır. Saha verileri ile birlikte karşılaştırmalı analiz yapılmasının yanı sıra yapılacak yatırım öncesinde fizibilite anlamında önemli doğruluk payları ile sonuçlar da üretilebilmektedir.

Bu çalışma, Diyarbakır Yaytaş mevkiindeki bir santralin simülasyon sonucunu içermektedir. Sonraki zamanlarda farklı bölgelerde yer alan santrallerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırma yapılması mümkündür. Bölgesel farklılıklarda ortaya çıkacak üretim tahminlemeleri, bu bağlamda meydana gelebilecek pozitif ve negatif durumları analiz etmeye fayda sağlayabilir.

KAYNAKÇA

- A. R. Dal. (2021). Güneş Enerji Panellerindeki Optimum Eğim Açısının Verime Etkisinin İncelenmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8, 241–250. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.878795>
- Antalya Enerji. (2023). Güneş Paneli Çalışma Prensibi. Fotovoltaik elektrik. Erişim: <https://www.antalyaenerji.com/gunes-paneli-nasil-calisir/>
- Bouchakour, S., Hadj Arab, A., Abdeladim, K., Cherfa, F., & Kerkouche, K. (2014). Reactive Power Issues In Grid Connected Photovoltaic Systems. Research Article [NuRER – 4. International Conference on Nuclear and Renewable Energy Resources]. In Araştırma Makalesi. Erişim: <https://l24.im/guVa9>
- Braga, D. S., Kazmerski, L. L., Cassini, D. A., Camatta, V., & Diniz, A. S. A. C. (2023). Performance of bifacial PV modules under different operating conditions in the State of Minas Gerais, Brazil. *Renewable Energy and Environmental Sustainability*, 8, 1–15. <https://doi.org/10.1051/rees/2023021>
- Ceylan, İ., & Gürel, A. E. (2021). Güneş Geometrisi, Güneş Hücreleri, Güneş Enerjisi Sistemleri ve Tasarımı (Sayfa 24-166). 3. Cilt.(Bursa: Dora Basım-Yayın).
- Çilli, K. (2019). Gölge solar paneli nasıl etkiliyor? Solar panel gölgeleme. Erişim: <https://l24.im/9VAvRq>
- Çınaroğlu, H. (2023). Bağımsız bir fotovoltaik sistemin pvsyst yazılımı kullanılarak tasarımı ve simülasyonu. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik. 81. Erişim: <https://l24.im/Mc8Curv>
- Çınaroğlu, M. S. (2021). Kilis 7 Aralık Üniversitesinde Kurulacak Bir Ges Projesinin Pvsyst Aracılığı İle Tasarım ve Analizi. Kilis 7 Aralık Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kilis. 82. Erişim: <https://l24.im/qrsblu>
- Demirtürk, T. (2023). Yarıiletkenlerin Tanıtılması. (Sayfa 1-38). Erişim: <http://yucelkocyigit.cbu.edu.tr/elektronik2.pdf>
- Detay Gezin, Ç. (2023). Güneş panellerinde, güneş takip sistemlerinin ve panel kirliliğinin panel verimliliğine etkisinin incelenmesi. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Edirne. 83. Erişim: <https://l24.im/0DT3ivV>
- Duman, S., & Alçı, M. (2022). Yarım ve tam fotovoltaik hücreleri ile tasarlanan güneş enerjisi panellerinin toplam verimliliğini etkileyen parametrelerinin incelenmesi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Erciyes Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kayseri. Bilimsel Dergi / NOHU J. Eng. Sci, 11(3), 592–600. <https://doi.org/10.28948/ngmuh.1073976>
- Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. (2023). Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası. Erişim: <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>

- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). Güneş Enerjisi ve Teknolojileri. Erişim: https://web.archive.org/web/20160917180847/http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx
- Epj.org. (2023). EPJPV Highlight - Research on the benefits of multi-junction solar cells in the Special Issue. 1. Erişim: <https://www.epj.org/scientific-advisory-committee>
- Erdem, R. (2022). İzmir Tire Yerleşiminde Saatlik Sıcaklık Değerlerinin Fotovoltaik Sistem Performansına Etkisinin Farklı Makine Öğrenmesi Modelleriyle İncelenmesi Ve Optimizasyonu. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Yönetimi ve Teknolojileri Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Denizli. Erişim: <https://hdl.handle.net/11499/45788>
- Erişgin, D. (2022). Fotovoltaik Panel Temizliğinde Yüzey Akustik Dalgaları Kullanımının Fotovoltaik Panel Performansına Etkilerinin İncelenmesi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Teknoloji Dergisi, Araştırma Makalesi, (Cilt 2, Sayı 2, Sayfa 137-154). Erişim: <https://ojs.omu.edu.tr/jest/article/view/60/13>
- G2V Engineer. (2024). Air Mass Spectrum. 1. Erişim: <https://g2voptics.com/solar-simulation/solar-energy-air-mass/>
- Gezegen Solar. (2024). İnce Film Paneller. Erişim: <https://www.enerjimgunesten.com/ince-film-gunes-paneli-nedir.html>
- Greensolar. (2023). Fotovoltaik Sistemlerde Hücre Çeşitleri. 1. Erişim: <https://www.greensolarnetwork.org/en/bilgi-bankasi/fotovoltaik-sistemlerde-h%C3%BCcre-%C3%A7e%C5%9Fitleri>
- Güneş, C. (2021). Fotovoltaik Güneş Enerji Santrallerinin Tasarımı, Bakımı, Onarımı ve İşletilmesi. (Sayfa 8-14). Adıyaman Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Adıyaman, Yüksek Lisans Tezi.
- İzmirli, A. C. (2022). 200 KW'LIK PV Güneş Enerji Güç Sisteminin RETSCREEN Programı Kullanılarak Amortisman ve Enerji Analizlerinin İrdelenmesi. İskenderun Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İskenderun. Erişim: <https://l24.im/Px1ESjf>
- Kabadayı, Ş. (2021). Güneş Panellerinde Güneş ile Gölge Arasındaki Oranların Verimlilik Üzerine Etkileri ve Analizi. Yükseköğretim Kurumları Tarafından Destekli Bilimsel Araştırma Projesi. Erişim: <http://acikerisim.karabuk.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/999/10369736.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Karaca, B. (2023). PVsyst ve Matlab/Simulink programları ile tasarlanan bir fotovoltaik sistemin simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması. Gazi Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara. Erişim: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Kaymak, M. K. (2023). Fotovoltaik Güneş Pilleri. 25. Erişim: <https://web.itu.edu.tr/~kaymak/PV.html>

- Khan, M. M., Ahmad, S., Raza, A., Sikandar, H., Hassan, R. G., & Shafi, M. A. (2024). Performance analysis of PVsyst based grid connected photovoltaic systems in Pakistan compared to SAARC countries. *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology*, 43(2), 112. <https://doi.org/10.22581/muet1982.3027>
- Kodak, O. (2020). Hareketli Güneş Enerji Modülünün Yapısal Tasarımı. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir. 87. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35602.79040>
- M. Shahryiar, S. (2022). A Simple Solar Irradiation Measurement Technique. 1. Erişim: <https://embedded-lab.com/blog/a-simple-solar-irradiation-measurement-technique/>
- Mahmudzade, S. (2024). Azerbaycan/Bakü şartlarında mega ölçekli şebeke bağlantılı bir güneş enerji santralının PVsyst programı kullanılarak performans analizi. Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bolu. Erişim: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Maysun Solar. (2022). How to deal with the EVA aging problem of Solar panels. Erişim: <https://www.maysunsolar.com/blog-how-to-deal-with-the-eva-aging-problem-of-solar-panels/>
- Meteoroloji Bölge Müdürlüğü. (2025). Meteoroloji 15. Bölge Müdürlüğü. Erişim: <https://diyarbakir.mgm.gov.tr/>
- Mohammed, A., & Shakarji, A. (2022). STM32 Tabanlı Mppt Kontrollü Güneş Panelli Aydınlatma Sistemi Tasarımı. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya. Erişim: <https://l24.im/sehG>
- Mühendistan. (2020). MPPT Solar Şarj Kontrol Cihazı. 1. Erişim: <https://muhendistan.com/mppt-nedir-nasil-calisir-mppt-nerelerde-kullanilir/>
- New, E. (2021). Güneş Paneli Koruması için PV Bağlantı Kutusunun Bypass Diyodu. Erişim: <https://tr.dsisolar.com/info/pv-junction-box-s-bypass-diode-for-solar-panel-54221904.html>
- New Energy. (2019). Bifacial PERC Solar Hücreleri İçeren Bifacial Solar Paneller. 1. Erişim: <https://tr.dsisolar.com/info/more-about-bifacial-solar-panels-encapsulated-33284522.html>
- Özdem, İ. H. (2023). Güneş Paneli Hot Spot Sıcak Nokta Arızası. 1. Erişim: <https://www.atakale.com/forum/viewtopic.php?t=1009>
- Özdoğan, M. (2023). Güneş Enerjisiyle ilgili Temel Kavramlar. Erişim: <https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/muhammet.ozdogan/71124/2.%20Hafta.pdf>
- Öztürk, H. H. (2013). Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi Ve Etkili Etmenler. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Adana, Araştırma Makalesi. Erişim: https://www.emo.org.tr/ekler/3a921ffad054cb0_ek.pdf

- PurePower Engineering. (2023). Design Recommendations for 1500-Volt String Inverters. 1. Erişim: <https://www.purepower.com/blog/design-suggestions-to-take-advantage-of-1500v-inverters>
- Raven, B. (2023). Güneş Modülleri Hakkında Her Şey. Erişim: <https://blueravensolar.com/blog/all-about-solar-modules/>
- Şahin, A. (2024). Bir güneş enerjisi santralinin pvsol ve pvsyst programları aracılığıyla tasarım ve analizi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul. Erişim: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Şahin, Z. R. (2024). PVsyst ile güneş santrali simülasyonu: Detaylı inceleme ve performans analizi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş. Erişim: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Selamoğlu, H. (2023). Uydularda ve Yeryüzünde Kullanılan Güneş Hücreleri. Erişim: <https://www.linkedin.com/pulse/uydular-da-ve-yeryu-zu-nde-kullanilan-gu-neş-hu-c-re-leri-ayn%C4%B1-selamo%C4%9Flu/?originalSubdomain=tr>
- Serat, Z., Fatemi, S. A. Z., & Shirzad, S. (2023). Design and Economic Analysis of On-Grid Solar Rooftop PV System Using PVsyst Software, Research Article. Archives of Advanced Engineering Science, 1(1), 63–76. <https://doi.org/10.47852/bonviewAAES32021177>
- Seven, S. (2022). Ortam ve Panel Sıcaklık Sensörleri . 1. Erişim: <https://www.sevensensor.com/tr/ges-sartnameleri-icin-sensor-secimi>
- Sinovoltaik. (2024). Central inverters. 1. Erişim: <https://sinovoltaics.com/learning-center/inverters/central-inverters/>
- Solar Mag. (2020). Bifacial Solar Panel. Çift Yönlü Solar Panel Özellikleri, 1. Erişim: <https://solarmagazine.com/solar-panels/bifacial-solar-panels/>
- Soyoğuzpınar. (2021). Güneş Geometrisi. Erişim: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sungeometry.png>
- Üründü, M. E. (2025). Şebekeye bağlı 1 MW kurulu güçteki güneş enerji santralinin PVsyst ve PVsol ile performans analizi. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya. Erişim: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Wang, F., Li, R., Zhao, G., Xia, D., & Wang, W. (2024). Simulation test of 50 MW grid-connected “Photovoltaic+Energy storage” system based on pvsyst software, Research Article. Results in Engineering, 22, 8. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102331>
- Yiğit, F. (2023). Şebekeye bağlı 1 MW güneş enerji santralinin PVsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin değerlendirilmesi. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya. Erişim: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>

- Yildiz, G., & Ergün, A. (2019). PV Panellerin Termografi Yöntemi İle İncelenmesi. Araştırma Makalesi, (Sayfa 580-592). Erişim: <https://www.researchgate.net/publication/339136050>
- Yılmaz, E. (2021). Monokristal ve Polikristal Panel arasındaki Fark. 1–1. Erişim: <https://aydinlatma.org/monokristal-ve-polikristal-gunes-panelleri-arasindaki-fark-nedir.html>
- Yılmaz, M. (2024). Elektrik Piyasası 2023 Yılı Gelişim Raporu. Erişim: <https://www.epdk.gov.tr/>



EKLER



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı-Soyadı: Muhammed Said Ulaş

Uyruğu: TC

E-posta:

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
3.	Dicle Üniversitesi/Elektrik Elektronik Mühendisliği	08.07.2011
-	Anadolu Üniversitesi/Bilgisayar Programcılığı	26.05.2025

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

Ulaş M. S., Damarseçkin S., Taşkesen E. & Turşucu A. (2023). Çatı Ges Sistemlerinde Örnek Portal Uygulaması ve Verimli Panel Seçimi. 1st International Conference on Scientific and Innovative Studies, All Sciences Proceedings, Sayfa 370-376. Erişim: <http://as-proceeding.com/>

Ulaş M. S., Turşucu A. (2024). Performance Parameters Of Solar Energy Systems In Panel Technologies And Their Effects In Practice. Scientific Research and Evaluations 2024, Sayfa 23-41. doi: 10.5281/zenodo.14382810