

**T.C.  
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**KARASAL VE YÜZER GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN  
KARŞILAŞTIRMALI TERMOEKONOMİK ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS**

**Abdurrahman SAKA**

**HAZİRAN-2024**

**GÜMÜŞHANE**



**T.C.  
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**KARASAL VE YÜZER GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN  
KARŞILAŞTIRMALI TERMOEKONOMİK ANALİZİ**

**COMPARATIVE THERMOECONOMIC ANALYSIS OF TERRESTRIAL AND  
FLOATING SOLAR ENERGY POWER PLANTS**

**YÜKSEK LİSANS**

**Abdurrahman SAKA**

**HAZİRAN-2024  
GÜMÜŞHANE**



T.C.  
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

KARASAL VE YÜZER GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN  
KARŞILAŞTIRMALI TERMOEKONOMİK ANALİZİ

COMPARATIVE THERMOECONOMIC ANALYSIS OF TERRESTRIAL AND  
FLOATING SOLAR ENERGY POWER PLANTS

YÜKSEK LİSANS

Abdurrahman SAKA

Danışman: Doç. Dr. Meryem TERHAN

HAZİRAN-2024  
GÜMÜŞHANE



## BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

**Yüksek Lisans Tezi** olarak hazırlamış olduğum “**Karasal ve Yüzer Güneş Enerji Santrallerinin Karşılaştırmalı Termoekonomik Analizi**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi'nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlediği kıstaslara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

26/06/2024

**Abdurrahman SAKA**

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans çalışmam süresince bana en büyük desteği veren eşim Zeynep SAKA'ya, çalışmam boyunca bana bilgi ve tecrübelerini aktarıp bana yol gösteren danışman hocam Doç. Dr. Meryem TERHAN'a teşekkür ederim. Almış olduğum lisans eğitiminden itibaren yüksek lisans eğitimim boyunca bilgilerini ve tecrübelerini benden esirgemeyen aileme ve Fatih Mehmet AYDIN'a teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

**Abdurrahman SAKA**

**GÜMÜŞHANE – 2024**

## ÖZET

Fosil yakıtların çevreye verdiği zararlar nedeniyle enerjiye duyulan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Bu durum ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmektedir. Güneş enerjisinin yıllık güneşlenme oranına bakıldığında Türkiye'deki potansiyeli oldukça yüksektir. Bu potansiyel dikkate alınarak sistemlerin ilk kurulum maliyetlerinin belirlenmesi, fizibilite çalışmalarının yapılması, yatırımın planlanması açısından önem arz etmektedir.

Karasal güneş enerji santrallerinin kurulumlarında arazinin büyük bir bölümünün kullanılması dezavantaj olarak ortaya çıkmaktadır. Değerli arazi ve su kaynaklarını korumak adına yüzer güneş enerji santrallerinin kullanımı büyük önem arz etmektedir. Bu kapsamda Van bölgesinde olan karasal güneş enerji santrali ve yüzer güneş enerji santralleri için PVsyst programı kullanılarak enerji üretim değerlerinin karşılaştırılması ve ekonomik olarak analizi yapılmıştır ve yüzer güneş enerji santrallerinin karasal güneş enerji santrallerine göre %10 daha fazla enerji üretimi yaptığı görülmüştür. Ekonomik incelemeden elde edilen veriler ışığında, yüzer sistem için ilk yatırım maliyetinin, arazi tipi sisteme göre %7 daha fazla, yatırımın geri dönüş süresinin ise daha kısa sürede olduğu ortaya çıkmıştır.

Bu tez kapsamında, güneş enerji santrallerinin verimli bir şekilde çoğalması, yenilenebilir enerji alanında bilgi birikimine katkıda bulunmayı, enerji sektörünün gelecek nesillere daha temiz bir çevre bırakma hedefi ve yatırımcıların hangi santrali kurmaları konusunda doğru bir karar vermeleri için kaynak niteliği taşınması amaçlanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji üretimi, Ekonomik analiz, Karasal güneş enerji santrali, Yenilenebilir enerji, Yüzer güneş enerji santra

## SUMMARY

The need for energy is increasing day by day due to the damage caused by fossil fuels to the environment. This situation directs countries to renewable energy sources. Considering the annual insolation rate of solar energy, its potential in Turkey is quite high. Taking this potential into consideration, determining the initial installation costs of the systems, conducting feasibility studies and planning the investment are important.

The use of a large part of the land in the installation of terrestrial solar power plants is a disadvantage. The use of floating solar power plants is of great importance to protect valuable land and water resources. In this context, energy production values were compared and economically analyzed using the PVSyst program for terrestrial solar power plants and floating solar power plants in the Van region, and it was observed that floating solar power plants produced 10% more energy than terrestrial solar power plants. In the light of the data obtained from the economic analysis, it has been revealed that the initial investment cost for the floating system is 7% more than the land type system, and the return on investment is shorter.

Within the scope of this thesis, it is aimed to increase the efficiency of solar power plants, to contribute to the knowledge in the field of renewable energy, to serve as a resource for the energy sector to leave a cleaner environment to future generations and for investors to make the right decision about which power plant to establish.

**Keywords:** Energy production, Economic analysis, Of terrestrial photovoltaic systems, Renewable energy, Floating photovoltaic systems,

## İÇİNDEKİLER

|   |      |
|---|------|
| KABUL VE ONAY .....                               | III  |
| BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....               | IV   |
| TEŞEKKÜR.....                                     | V    |
| ÖZET .....  | VI   |
| SUMMARY .....                                     | VII  |
| İÇİNDEKİLER .....                                 | VIII |
| TABLolar DİZİNİ.....                              | XI   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                             | XII  |
| SİMGELER VE KISALTMALAR .....                     | XIV  |
| 1. GİRİŞ .....                                    | 1    |
| 2. GÜNEŞ ENERJİSİ .....                           | 2    |
| 2.1. Fotovoltaik Sistemlerin Tarihçesi.....       | 3    |
| 2.2. Dünya’da Fotovoltaik Sistemler .....         | 4    |
| 2.3. Türkiye’de Fotovoltaik Sistemler .....       | 6    |
| 3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER .....                    | 8    |
| 3.1. Fotovoltaik Hücrelerin Çalışma Prensibi..... | 8    |
| 3.2. Fotovoltaik Panel Eşdeğer Devresi .....      | 10   |
| 3.3. Fotovoltaik Hücre Teknolojisi .....          | 14   |
| 3.3.1. Fotovoltaik Panel Çeşitleri.....           | 15   |
| 3.3.2. Monokristal Hücreler .....                 | 18   |
| 3.3.3. Polikristal Hücreler .....                 | 19   |
| 3.3.4. Amorf Silisyum İnce Film Hücreleri .....   | 21   |
| 3.3.5. Bakır İndiyum İnce Film Hücreleri .....    | 22   |
| 3.3.6. Kadmiyum Tellür İnce Film Hücreleri .....  | 22   |
| 3.3.7. Nano Dokulu Fotovoltaik Hücreler .....     | 23   |
| 3.4. Fotovoltaik Sistem Bileşenleri.....          | 24   |
| 3.4.1. Fotovoltaik Panel .....                    | 25   |
| 3.4.3. Evirici (İnverter) .....                   | 26   |
| 3.4.4. Batarya (Akü) .....                        | 29   |
| 3.4.5. Trafolar .....                             | 30   |
| 3.4.6. Şarj Kontrol Cihazı (Regülatör).....       | 30   |

|   |    |
|---|----|
| 3.5. Kullanım Amacına Göre Fotovoltaik Tesis Türleri.....         | 32 |
| 3.5.1. Şebeke Bağlantılı (On Grid) Fotovoltaik Sistemler.....     | 32 |
| 3.5.2. Şebekeden Bağımsız (Off Grid) Fotovoltaik Sistemler.....   | 33 |
| 3.5.3. Hibrit Fotovoltaik Sistemler .....                         | 34 |
| 3.6. Fotovoltaik Sistemlerin Kurulum Tipleri .....                | 35 |
| 3.6.1. Arazi Tipi Fotovoltaik Sistemler .....                     | 35 |
| 3.6.2. Çatı Üstü Fotovoltaik Sistemler.....                       | 37 |
| 3.6.3. Kanal Üstü Fotovoltaik Sistemler.....                      | 39 |
| 3.6.4. Konut Tipi Fotovoltaik Sistemler .....                     | 40 |
| 3.6.5. Açık Deniz Fotovoltaik Sistemler.....                      | 41 |
| 4. YÜZER FOTOVOLTAİK SİSTEMLER .....                              | 42 |
| 4.1. Yüzer Fotovoltaik Sistemi Oluşturan Öğeler.....              | 42 |
| 4.1.1. Yüzdürücü Sistem (Duba) .....                              | 43 |
| 4.1.2. Panel Taşıyıcı Duba .....                                  | 43 |
| 4.1.3. Yürüme Yolu Dubası .....                                   | 44 |
| 4.1.4. Diğer Duba Türleri.....                                    | 44 |
| 4.1.5. Sabitleme Sistemi .....                                    | 45 |
| 4.1.6. Elektriksel Bağlantı.....                                  | 45 |
| 4.1.7. Diğer Bağlantı Ekipmanları .....                           | 46 |
| 4.2. Yüzer Ges Tasarım Faktörleri.....                            | 46 |
| 4.2.1. Rezervuarın/Göletin Düzeni .....                           | 47 |
| 4.2.2. Yüzdürücü Sistem Tasarımı.....                             | 47 |
| 4.2.3. Yüzer Fotovoltaik Sistemin Yönü .....                      | 48 |
| 4.3. Yüzer Fotovoltaik Sistemlerin Türkiye'deki Potansiyeli ..... | 48 |
| 5. LİTERATÜR TARAMASI .....                                       | 51 |
| 6. MATERYAL VE METOD.....   | 54 |
| 6.1. Simülasyon Programları .....                                 | 54 |
| 6.1.1. Homer .....  | 55 |
| 6.1.2. Bluesol .....  | 55 |
| 6.1.3. Sam .....  | 55 |
| 6.1.4. PVGIS.....   | 56 |
| 6.1.5. PV*SOL.....  | 56 |
| 6.1.6. Helioscope .....   | 56 |
| 6.1.7. PVsyst.....  | 56 |

|  |     |
|--|-----|
| 6.2. Fotovoltaik Sistemin Lokasyonu ve Güneş Enerji Potansiyeli..... | 57  |
| 6.2.1. Fotovoltaik Sistem Tasarımı.....                              | 61  |
| 6.3. Ekonomik Analiz Yöntemleri.....                                 | 71  |
| 6.3.1. Net Bugünkü Değer (NBD) Yöntemi.....                          | 71  |
| 6.3.2. Fayda Masraf Oranı.....                                       | 72  |
| 6.3.3. Geri Ödeme Süresi.....  | 72  |
| 7. FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ.....              | 73  |
| 7.1. Karasal Ges Tip için PVsyst Raporu.....                         | 74  |
| 7.2. Yüzer Ges İçin PVsyst Raporu.....                               | 79  |
| 7.3. Ekonomik Analiz.....  | 84  |
| 7.3.1. Karasal Ges için Ekonomik Analiz.....                         | 87  |
| 7.3.2. Yüzer Ges için Ekonomik Analiz.....                           | 91  |
| 8. SONUÇ.....  | 97  |
| KAYNAKÇA.....  | 101 |
| ÖZGEÇMİŞ.....  | 109 |

## TABLÖLAR DİZİNİ

|  |    |
|--|----|
| Tablo 1. Dünyadaki FV Sistemlerin Enerji Üretimi ve Payı (IRENA, 2024) ..... | 4  |
| Tablo 2. En yaygın Fotovoltaik panel türlerini tanımlayan bir tablo.....     | 16 |
| Tablo 3. Evirici katalog değerleri .....                                     | 69 |
| Tablo 4. Karasal sistem PVsyst üretim değerleri.....                         | 77 |
| Tablo 5. Yüzer sistem enerji üretimleri .....                                | 82 |
| Tablo 6. Yüzer tip FV sistemin maliyet tablosu .....                         | 85 |
| Tablo 7. Karasal tip FV sistemin maliyet tablosu.....                        | 86 |
| Tablo 8. Karasal sistem için kurulum maliyeti hesabı.....                    | 87 |
| Tablo 9. PVsyst karasal ges için aylara göre enerji üretimi.....             | 87 |
| Tablo 10. Karasal sistem için yıllara göre enerji üretimi.....               | 88 |
| Tablo 11. Karasal Ges yatırımının geri ödeme süresi.....                     | 89 |
| Tablo 12. Yüzer sistem için kurulum maliyeti hesabı .....                    | 91 |
| Tablo 13. PVsyst yüzer ges için aylara göre enerji üretimi .....             | 92 |
| Tablo 14. Yüzer Ges için yıllara göre elektrik üretimi .....                 | 93 |
| Tablo 15. Yüzer Ges yatırımının geri ödeme süresi .....                      | 94 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|  |    |
|--|----|
| Şekil 1. Güneşten gelen ışınımın dünyaya etkisi (URL-2, 2024) .....          | 2  |
| Şekil 2. Türkiye güneş radyasyon haritası (URL-5) .....                      | 6  |
| Şekil 3. Türkiye global radyasyon değerleri (kWh/m <sup>2</sup> -gün).....   | 7  |
| Şekil 4. Fotovoltaik hücrelerin bağlanması (Ajder, 2011).....                | 8  |
| Şekil 5. FV hücre çalışma prensibi (Öztürk, 2017) .....                      | 9  |
| Şekil 6. Fotovoltaik Panel Eşdeğer Devresi.....                              | 11 |
| Şekil 7. Fotovoltaik Panelin I-V Karakteristiği .....                        | 12 |
| Şekil 8. Işınlıma Bağlı FV Panelin I-V Eğrisi .....                          | 13 |
| Şekil 9. Sıcaklığa Bağlı FV Panelin I-V Eğrisi .....                         | 14 |
| Şekil 10 . Kristal silisyum ve ince film güneş hücreleri (URL-6, 2024) ..... | 17 |
| Şekil 11. Fotovoltaik Panel Katmanları (Hassan vd., 2020).....               | 26 |
| Şekil 12. Mikro evirici örneği (URL-7).....                                  | 27 |
| Şekil 13. Dizi evirici örneği (URL-8).....                                   | 27 |
| Şekil 14. Merkezi evirici örneği (URL-7) .....                               | 28 |
| Şekil 15. Örnek Jel Akü (URL-9, 2024).....                                   | 29 |
| Şekil 16. Hermetik tip trafo örneği (URL-10, 2024) .....                     | 30 |
| Şekil 17. Solar şarj regülatörü bağlantı şeması (Tokul, 2021).....           | 31 |
| Şekil 18. Şebeke bağlantılı güneş enerji sistemi (Çubukuçu, 2023).....       | 32 |
| Şekil 19. Şebekeden bağımsız güneş enerji sistemi (Çubukuçu, 2023).....      | 33 |
| Şekil 20. Hibrit sistem güneş enerji sistemi (URL-11, 2024).....             | 35 |
| Şekil 21. Arazi tip fotovoltaik sistem örneği (URL-12, 2024) .....           | 36 |
| Şekil 22. Çatı üstü fotovoltaik sistem örneği (URL-14, 2024).....            | 38 |
| Şekil 23. Kanal üstü fotovoltaik sistem örneği (URL-15, 2024).....           | 39 |
| Şekil 24. Konut tipi fotovoltaik sistem örneği (URL-16, 2024).....           | 40 |
| Şekil 25. Açık deniz FV sistem örneği (URL-17, 2024) .....                   | 41 |
| Şekil 26. Yüzer fotovoltaik sistem örneği (URL-18, 2024) .....               | 42 |
| Şekil 27. Yüzdürücü duba ve aksamı (Tokul, 2021) .....                       | 43 |
| Şekil 28. Keban barajı üzerine kurulan 1 MW yüzer ges (URL-21) .....         | 50 |
| Şekil 29. PVsyst simülasyonunun kullanıcı ara yüzü .....                     | 57 |
| Şekil 30. Van İli güneş enerji potansiyeli atlası (URL-24, 2024).....        | 58 |
| Şekil 31. Van ili aylara göre güneşlenme süreleri .....                      | 59 |

|  |    |
|--|----|
| Şekil 32. Van ili global radyasyon değerleri( $\text{kWh/m}^2\text{-ay}$ ) .....       | 59 |
| Şekil 33. Van ili aylara göre ortalama rüzgâr hızı grafiği (km/h).....                 | 60 |
| Şekil 34. Van ili aylara göre ortalama dış sıcaklık değerleri $^{\circ}\text{C}$ ..... | 60 |
| Şekil 35. Panel Katalog verileri (URL-25, 2024) .....                                  | 62 |
| Şekil 36. Panelin mekanik değerleri (URL-25, 2024) .....                               | 63 |
| Şekil 37. Panelin yıllara göre verim oranı (URL-25, 2024) .....                        | 63 |
| Şekil 38. Panel I-V eğrisi (URL-25, 2024).....   | 64 |
| Şekil 39. Arazi sistem için panel açısı ve ara mesafenin Autocad çizimi .....          | 65 |
| Şekil 40. Yüzer sistem için yerleşim planı Autocad çizimi .....                        | 65 |
| Şekil 41. Karasal sistem eğim açısına göre panel yüzeyine düşen ışınım .....           | 66 |
| Şekil 42. Karasal sistem eğim açısına göre yıllık enerji üretim miktarı .....          | 66 |
| Şekil 43. Yüzer sistem eğim açısına göre panel yüzeyine düşen ışınım.....              | 67 |
| Şekil 44. Yüzer sistem eğim açısına göre yıllık enerji üretim miktarı .....            | 67 |
| Şekil 45. Kullanılacak evirici görünüşü (URL-26, 2024).....                            | 68 |
| Şekil 46. Pvsyst simülasyonu ana ekranı .....  | 70 |
| Şekil 47. Pvsyst verilerinin girildiği ara yüzü.....                                   | 70 |
| Şekil 48. Karasal sistem Pvsyst özeti.....   | 74 |
| Şekil 49. Karasal sistem ufuk tanımlaması.....   | 75 |
| Şekil 50. Karasal sistem Pvsyst genel parametreler.....                                | 76 |
| Şekil 51. Pvsyst üretim grafikleri.....  | 77 |
| Şekil 52. Karasal sistem Pvsyst kayıpları .....  | 78 |
| Şekil 53. Yüzer sistem Pvsyst özeti .....  | 79 |
| Şekil 54. Yüzer sistem için ufuk çizgisi .....   | 80 |
| Şekil 55. Yüzer sistem Pvsyst genel parametreler .....                                 | 81 |
| Şekil 56. Yüzer sistem Pvsyst üretim grafikleri.....                                   | 82 |
| Şekil 57. Yüzer sistem için Pvsyst kayıplar diyagramı.....                             | 83 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

|           |  |
|-----------|--|
| A         | : Alan   |
| AC        | : Alternatif akım  |
| DC        | : Doğru akım   |
| E         | : Enerji   |
| EPDK      | : Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu                           |
| FV        | : Fotovoltaik  |
| G         | : Güneş ışınması   |
| GEPA      | : Güneş enerjisi potansiyeli atlası                          |
| GES       | : Güneş enerji santrali                                      |
| GIS       | : Coğrafi bilgi sistemleri                                   |
| GWh       | : Gigawattsaat   |
| I         | : Akım   |
| $I_0$     | : Diyot ters doyum akımı                                     |
| $I_{sc}$  | : Kısa Devre akımı   |
| K         | : Boltzmann sabitini   |
| K         | : Kelvin   |
| kW        | : Kilowatt   |
| kWh       | : Kilowattsaat   |
| MPPT      | : Maksimum güç noktası izleme (Maximum power point tracking) |
| MW        | : Megawatt   |
| MWh       | : Megawattsaat   |
| $\eta$    | : Verimlilik   |
| $P_{max}$ | : Maksimum güç noktası                                       |
| T         | : Sıcaklık   |
| V         | : Voltaj   |
| $V_{oc}$  | : Açık devre gerilimi  |
| W         | : Watt   |
| q         | : Bir elektron yükünü  |

## 1. GİRİŞ

Günümüzde, küresel enerji talebinin artması ve fosil yakıtların çevresel etkileri, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Dünyada ve ülkemizde artan nüfus, teknoloji ve sanayide yaşanan yenilikler sebebiyle enerjinin günlük hayatımızdaki değeri her geçen gün artmaktadır. Devletler artan bu enerji ihtiyacını ucuz, temiz ve sürekliliği olacak şekilde ulaşıp karşılamak istemektedirler. Fotovoltaik (FV) sistemler, sürdürülebilir enerji üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. FV sistemlerin gelişimi, enerji üretimini çeşitlendirmeye ve karbon ayak izini azaltmaya yönelik global çabalara katkı sağlamaktadır.

FV sistemler, dünya genelinde toplam enerji üretiminde önemli bir yer tutmaktadır. 2023 yılında, küresel fotovoltaik enerji üretimi yaklaşık 2000 TWh olarak gerçekleşmiş ve bu, dünya genelindeki toplam enerji üretiminin yaklaşık %4.5'ine denk gelmektedir. Bölgesel olarak, Avrupa ve Çin gibi bölgeler, fotovoltaik enerji üretimden daha yüksek paylara sahiptir (IRENA, 2024).

Karasal tipteki güneş enerji santrallerinin üzerine kurulduğu arazi sebebi ile çevreye duyarlılık ve yatırım maliyeti açısından sorgulanmaktadır. Arazi ihtiyacını göreceli olarak ortadan kaldırılması adına FV panellerin su üzerinde yüzdürme fikri gündeme gelmiştir. Bu konuda Türkiye'de yapılan çalışmalar kısıtlı olsa da Dünya'da farklı örnekleri mevcuttur.

Bu tez kapsamında FV sistemlerin gelişimi, karasal ve yüzer sistemlerde kullanılan ekipmanlardan, temel tasarım faktörlerinden, arazi kurulumuna göre avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiştir. PVsyst programı aracılığıyla karasal sistem ve yüzer sistem için enerji üretim ve ışınım değerleri hesaplanıp karşılaştırmalı analizi yapılmıştır. Yapılan bu simülasyona göre teknik anlamda ve finansal açıdan bazı yöntemlerin kullanılması ile yatırımların ekonomik olarak karşılaştırılmasına yer verilmiştir.

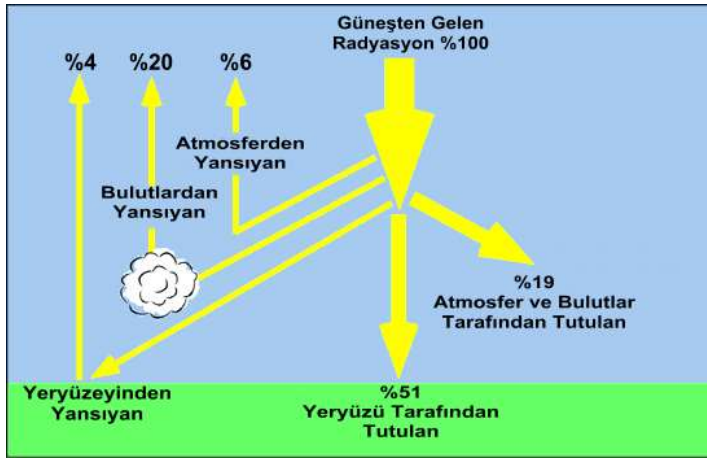
FV sistemlerin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar, enerji üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımını artırmanın yanı sıra, sistemlerin çevresel koşullara adaptasyonunu ve enerji şebekelerine entegrasyonunu geliştirmektedir. Bu inovasyonlar ve araştırmalar, FV teknolojilerin potansiyelini maksimize etmek ve sürdürülebilir bir enerji geleceğine ulaşmak için kritik öneme sahiptir.

## 2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş enerjisi, evrende sonsuz kaynakları olan ve Dünya üzerinde hayati bir öneme sahip olan kaynaktır. Bu enerji kaynağı, güneşin içerisinde gerçekleşen füzyon reaksiyonlarından kaynaklanır. Füzyon reaksiyonları, iki atom çekirdeğinin birleşerek yeni bir atom çekirdeği oluşturmasını ifade eder. Güneşin bünyesinde yaklaşık olarak %72 oranında hidrojen atomları bulunur ve bu hidrojen atomlarının birleşmesi sonucunda helyum ve büyük miktarlarda enerji açığa çıkar.

Güneş enerjisinin temelini oluşturan bu füzyon reaksiyonları, maddenin enerjiye dönüşümünün en güzel örneklerinden birini sunar. Hidrojen atomlarının bir araya gelmesi, helyum oluştururken kütle kaybına neden olur. Bu kütle kaybı, ünlü fizikçi Albert Einstein'ın denklemi olan  $\Delta E = \Delta mc^2$  ile ifade edilir (Tokul, 2021). Burada  $\Delta E$ , enerjiyi temsil ederken,  $\Delta m$  kütle ve  $c$  ise ışık hızını simgeler. Bu denklem, maddenin enerjiye dönüşümünü tanımlar ve güneşin enerji üretim sürecinde kritik bir rol oynar.

Güneş enerjisi, Dünya üzerindeki yaşamın sürdürülebilirliği için büyük bir öneme sahiptir. Güneş ışınları, Dünya atmosferinin dışında oldukça yüksek bir yoğunluğa sahip olup yaklaşık olarak  $1370 \text{ W/m}^2$  değerindedir, fakat bu enerji miktarının atmosferdeki etkiler nedeniyle yeryüzüne ulaşırken değişiklik gösterir. Soğurma, su buharı, yansıma, bulutlar ve hava kirliliği gibi faktörler, güneş radyasyonunun yüzeyimize ulaşma miktarını etkilediği Şekil 1'de verilmiştir ve bu değer genellikle  $0$  ila  $1100 \text{ W/m}^2$  arasında değişmektedir. (URL-1).



Şekil 1. Güneşten gelen ışınımın dünyaya etkisi (URL-2, 2024)

Güneş enerjisinin Dünya üzerindeki potansiyeli ve insanlığın enerji ihtiyacını karşılamak adına büyük öneme sahiptir. Dünya'nın temel enerji ihtiyacı yaklaşık olarak 170.000 terawatt saat (TWh/yıl) olarak hesaplanmaktadır. Güneş, her yıl 2,500,000 TWh enerji üreterek toplam enerji gereksinimimizin yaklaşık 15 katını karşılar (URL-3). Bu nedenle güneş enerjisi, sınırsız bir enerji kaynağı olduğundan diğer enerji kaynaklarına göre büyük bir potansiyele sahiptir.

## 2.1. Fotovoltaik Sistemlerin Tarihçesi

"Fotovoltaik" terimi, Yunanca kökenli "photos" yani ışık ve elektriğin öncüsü Alessandro Volta'dan türetilmiş "voltaic" kelimesinin birleşiminden meydana gelir. Bu terim, ilk defa 1839 yılında Alexandre Edmond Becquerel tarafından keşfedildi (URL-3). Becquerel, elektrolit içine yerleştirilmiş elektrotlar arasındaki gerilimin, elektrolit üzerine düşen ışığa bağlı olduğunu gözlemleyerek FV etkiyi ilk keşfeden kişi olarak tarihe geçti. İlerleyen yıllarda, katı cisimlerde benzer etkilerin gözlemlendiği kaydedildi. 1876'da G.W. Adams ve R.E. Day tarafından selenyum kristalleri üzerinde benzer bir etki tespit edildi.

Bu keşiflerin ardından, FV teknolojisi hızla gelişmeye başladı. Bakır oksit ve selenyum temelli foto diyotlar, fotoğrafçılık alanında ışık ölçümlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlandı. 1914 yılında, FV diyotların verimliliği %1'e ulaştı, ancak gerçek anlamda güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren FV diyotlar, ilk kez 1954 yılında silikon kristali üzerinde başarıyla uygulandı. Bu, FV güç sistemleri için dönüm noktasıydı. Bu önemli adımın ardından, FV teknolojisinin hızla gelişmesiyle birlikte ilk yapılan tasarımlar, uzay araçlarında kullanılan güç sistemleri için yapılmıştır. 1960'ların başlarından itibaren FV güç sistemleri, uzay çalışmalarında güvenilir bir enerji kaynağı olarak kabul edilmiştir (Graf, 1999).

1970'li yıllarda yaşanan enerji krizi sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının önemi artmıştır. 1980'li yıllardan itibaren FV sistemlerinin kurulumları artmıştır. 2000'li yıllara gelindiğinde küresel ısınma ve karbondioksite emisyon salınımları sebebiyle güneş enerjisinin önü açılmış olup, bu sayede güneş enerji endüstrisi hızla yükselmiş ve önemli verim artışları gerçekleşmiştir (Korkmaz, 2015).

Günümüzde ise FV güneş panellerinin, elektrik enerjisi üretimi için kullanımı yaygınlaşmıştır. Yakın geçmişe kadar diğer elektrik enerjisi üretimi yöntemleri ile karşılaştırıldığında çok pahalı olarak değerlendirilen FV güç sistemleri, artan talep ile maliyetlerinin hızla düşmesini beraberinde getirmiştir (Şençiçek, 2017).

FV teknolojinin enerji sektöründe giderek artan bir öneme sahip olması, bu sistemlerin verimliliği ve uygulanabilirliği üzerine yapılan araştırmaları daha da önemli hale getirmektedir. Enerji üretiminde güneş ışığının kullanılması hem ekonomik hem de çevresel avantajlar sunarak, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltma potansiyeline sahiptir. Bu kapsamda, FV panellerin gölgeleme koşullarında bile enerji etkinliğini koruyabilmesi, bu sistemlerin çeşitli çevresel ve fiziksel koşullarda etkili bir şekilde kullanılabilmesini sağlamaktadır. Özellikle binaların çatıları ve boş araziler gibi sınırlı alanlarda FV sistemlerin etkin kullanımı, enerji üretiminde yerel çözümler sunmaktadır (Cer, 2015).

## 2.2. Dünya’da Fotovoltaik Sistemler

Dünya çapında FV sistemlerin kullanımı, yenilenebilir enerji kaynakları arasında hızla yaygınlaşmaktadır. Bu yaygınlaşmanın temelinde, teknolojik ilerlemeler, maliyetlerdeki düşüşler ve çevresel sürdürülebilirliğe yönelik artan global talep yer almaktadır. Ülkeler arasındaki güneş enerjisi kapasitesi ve kullanımı önemli ölçüde değişmektedir.

Dünya genelinde FV sistemlerin adaptasyonu ve entegrasyonu, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan geçişin önemli bir parçası olarak görülmektedir. Bu geçiş hem enerji güvenliğini artırmakta hem de iklim değişikliğiyle mücadelede kritik bir rol oynamaktadır (Öztürk. V. 2023). FV teknolojinin gelişimi, sistem maliyetlerinin düşmesine ve enerji verimliliğinin artmasına yol açmıştır, bu da onları çeşitli coğrafi koşullar ve farklı enerji ihtiyaçlarına sahip bölgeler için cazip hale getirmektedir. Tasarım aşamasında kullanılan simülasyon programları sayesinde, çeşitli parametrelerin sistemin toplam performansı üzerindeki etkilerini anlamak adına büyük önem arz etmektedir. Bu da yatırımcıların ve mühendislerin daha bilinçli kararlar almasına olanak tanır (Akcan vd., 2020).

Tablo 1. Dünyadaki FV Sistemlerin Enerji Üretimi ve Payı (IRENA, 2024)

| Bölge     | 2022 Kurulu Güç (GW) | 2023 Yeni Eklenen Güç (GW) | 2023 Toplam Kurulu Güç (GW) | 2023 FV Enerji Üretimi (kWh) | Toplam Enerji Üretimindeki Payı (%) |
|-----------|----------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| Dünya     | 1200                 | 446                        | 1600                        | 2000                         | ~4.5%                               |
| Çin       | 427                  | 235                        | 662                         | 700                          | ~5%                                 |
| Avrupa    | 491                  | 61                         | 552                         | 500                          | ~6.7%                               |
| ABD       | 150                  | 33.2                       | 183.2                       | 210                          | ~4%                                 |
| Brezilya  | 30.3                 | 11.9                       | 42.2                        | 50                           | ~2.5%                               |
| Hindistan | 70                   | 16                         | 86                          | 100                          | ~3.6%                               |
| Türkiye   | 12                   | 0.2                        | 12.2                        | 15                           | ~4%                                 |

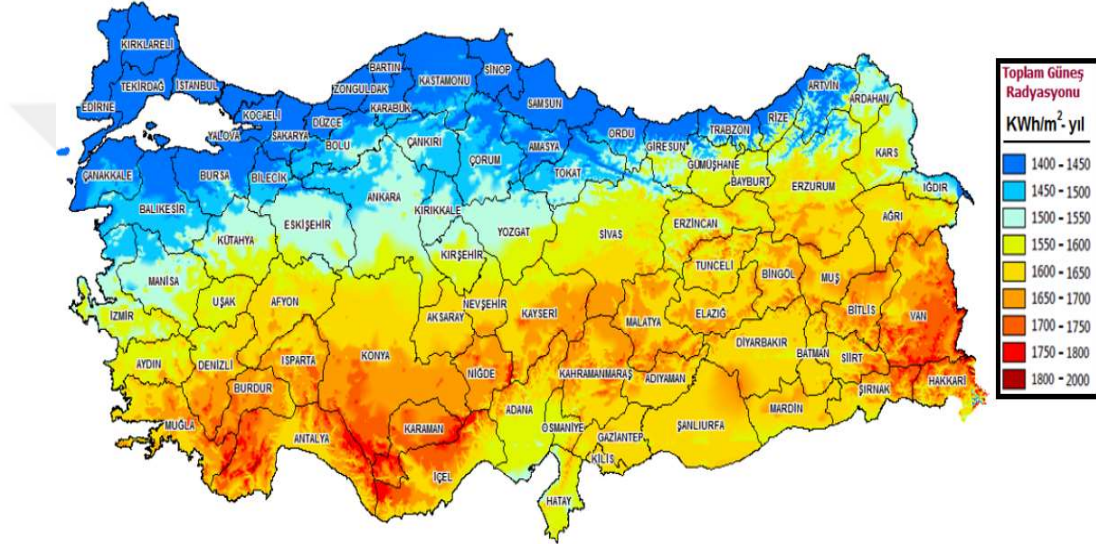
Tablo 1.'e göre bakıldığında FV sistemlerin kurulu güçlerinin her geçen yıl arttığı görülmektedir. Dünya genelinde bakıldığında 2022 yılında 1200 GW kapasitede FV kurulu gücü varken 2023 yılında 446 GW eklenmesiyle 1646 GW FV kurulu gücünün olduğu belirtilmiştir. Dünya pazarında önemli bir paya sahip olan Çin ise 2023 yılında Dünya genelinde yeni eklenen kapasitenin %60'ından fazlasını oluşturmuştur (IRENA, 2024). Çin'in fotovoltaik enerji üretimi, ülkenin toplam enerji üretiminin yaklaşık %5'ini oluşturmaktadır. Avrupa geneline bakıldığında 2022 yılı itibariyle 491 GW kurulu gücüne 2023 yılında 61 GW ekleyerek 552 GW kapasitesine ulaşmıştır. Avrupa'da 2023 yılında üretilen enerji miktarı 500 TWh olup, bu enerji, kıtanın toplam enerji üretiminin yaklaşık %6,7'sini oluşturmaktadır. Türkiye özelinde bakıldığında 12.2 GW seviyesindedir ve 2023 yılında 15 TWh enerji üretmiştir. Türkiye'nin toplam enerji üretiminde fotovoltaik enerjinin payı yaklaşık %4'tür (URL-4).

FV sistemlerin gelecek yıllarda önemli bir büyüme potansiyeline sahip olduğu öngörülmektedir. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) ve Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) gibi kuruluşlar, FV sistemlerin enerji üretiminde daha büyük bir pay alacağını ve bu sistemlerin toplam kurulu gücünün önemli ölçüde artacağını tahmin edilmektedir. 2023 yılı itibariyle dünya genelinde 1646 GW kurulu gücüne ulaşmış durumdadır ve 2050 yılına kadar bu rakamın 8-10 TW aralığında olacağı öngörülmektedir (Özbektaş vd., 2023). FV sistemlerin dünya çapında yaygınlığını ve etkinliğini değerlendiren araştırmalar, bu sistemlerin enerji üretimi konusunda karşılaştığı zorluklar ve çözüm yolları üzerine yoğunlaşmaktadır. Performans değerlendirmesi çalışmaları, FV sistemlerin çevresel koşullar ve kurulum parametreleri ile nasıl etkileşime girdiğini analiz ederek, sistemlerin optimizasyonu için gerekli verileri sağlamaktadır. Bu tür analizler, FV sistemlerin enerji verimliliğini maksimize etmeye yönelik stratejilerin geliştirilmesinde önemli bir yere sahiptir (Turhan ve Çetiner, 2012).

FV sistemlerin Dünya genelinde ve özellikle Türkiye gibi güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan ülkelerdeki kullanımı, sürdürülebilir enerji geleceğine doğru atılan önemli adımlardan biridir. Teknolojik ilerlemeler ve performans değerlendirme çalışmaları, bu sistemlerin daha verimli ve maliyet açısından etkin hale gelmesine yardımcı olmaktadır. Böylece yenilenebilir enerji kaynaklarının daha geniş bir alanda kullanımını teşvik etmektedir. Bu gelişmeler, hem global enerji piyasasında önemli bir dönüşümü işaret etmekte hem de yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunu ve kullanımını daha da önemli hale getirmektedir (Varınca ve Gönüllü, 2006).

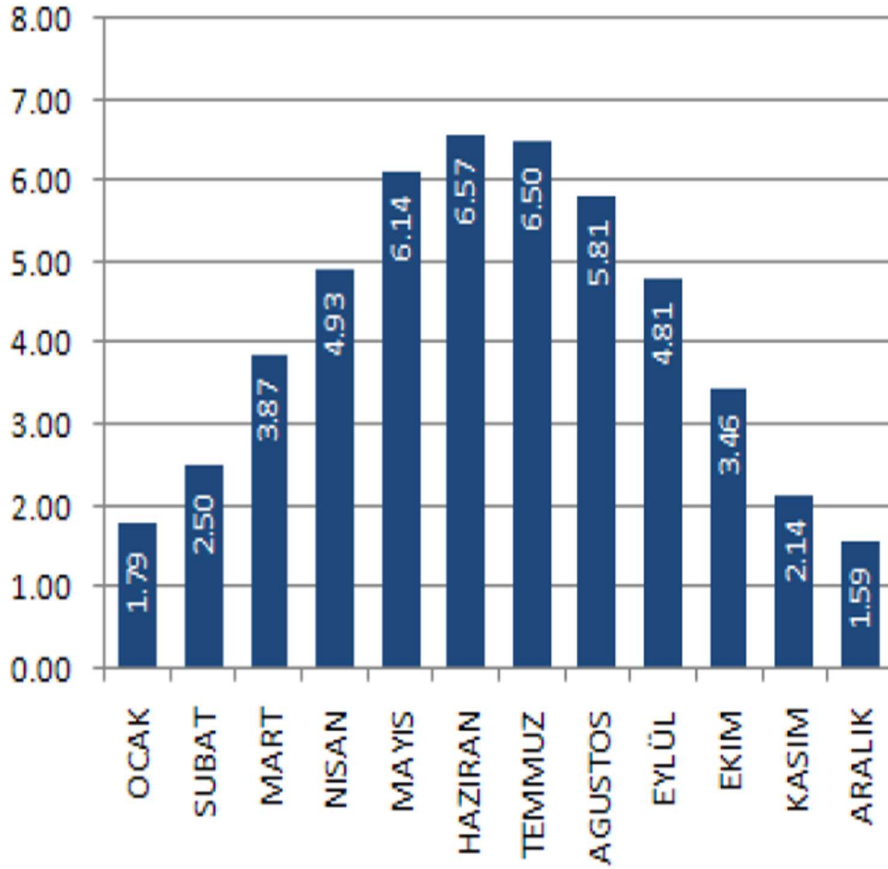
### 2.3. Türkiye’de Fotovoltaik Sistemler

Coğrafi olarak, 36° ile 42° kuzey enlemleri ve 26° ile 45° doğu boylamları arasında bulunan Türkiye, 781.000 km<sup>2</sup> yüzey alanıyla güneş kuşağı içindedir. Türkiye’nin bulunmuş olduğu coğrafi konum sebebiyle güneş enerji potansiyeli açısından birçok ülkeye göre oldukça avantajlı durumdadır. Ayrıca Güneş enerjisinden sıcak suyun elde edilmesinin kullanımı açısından Çin ve ABD’den sonra dünya üçüncüsü konumundadır (Altuntop ve Erdemir, 2013).



Şekil 2. Türkiye güneş radyasyon haritası (URL-5)

Şekil 2’de verilen Türkiye’nin güneş enerjisi radyasyon haritasına bakıldığında Ülkemizde en fazla güneş alan bölgenin doğu anadolu bölgesi olduğu görülmektedir. Diğer bölgelerin de güneş radyasyonunun azımsanmayacak kadar yüksek olduğu görülmektedir. Ortalama yıllık toplam güneşlenme süresinin 2741 saat ve günde toplam 7.5 saat olduğu, ortalama toplam ışınım şiddetinin ise 1527.46 kWh/m<sup>2</sup>-yıl ve günlük 4.18 kWh/m<sup>2</sup> değerinde olduğu verilmiştir (URL-5). Türkiye’nin bu potansiyelinin değerlendirilmesiyle birlikte enerjideki dışa bağımlılığının azaltılarak, kapasiteleri yüksek olan ve kendi öz kaynaklarımızla çalışabilen santrallerin devreye alınması gerekmektedir. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan Türkiye aylık global radyasyon ortalamaları Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Türkiye global radyasyon değerleri (kWh/m<sup>2</sup>-gün)

Türkiye'de FV sistemlerin kullanımı, son yıllarda özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının teşvik edilmesi ve enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik politikalarla önemli bir ivme kazanmıştır. Bu bağlamda, binalarda enerji verimliliği açısından FV sistemlerin kullanımına yönelik yapılan incelemeler, bu sistemlerin enerji maliyetlerini azaltma, karbon ayak izini düşürme ve yenilenebilir enerji kullanımını artırma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle, Türkiye'nin sahip olduğu yüksek güneş ışınımı değerleri, FV sistemler için elverişli bir ortam sunmakta ve bu sistemlerin binalarda kullanılmasının ekonomik ve çevresel faydalar sağladığını ortaya koymaktadır (Keleş, 2008)

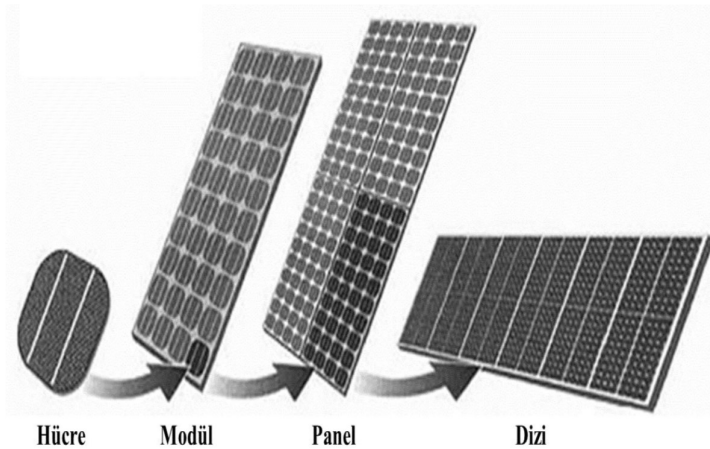
### 3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

FV hücreler, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken cihazlardır. Işık akımının etkisindeki n tipi ve p tipi yarı iletken katmanın arasındaki potansiyel farkın (gerilim) oluşmasına olayına fotovoltaik etki denir. Bu dönüşüm süreci, üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Bu katmanlar silisyum, kadmiyum tellür, galyum arsenit gibi malzemelerden oluşmaktadır (Gökce, 2020).

FV sistemlerin kullanım amacına göre şebekeden bağımsız, şebeke bağlantılı ve hibrit sistem olarak olarak üç şekilde kullanımı mevcuttur. FV sistemler uygulama alanlarına göre farklılık göstermektedir. Bunlar arasında başlıca olarak; çatı tipi FV sistemler, cephe tipi FV tesisler, arazi tipi FV sistemler, kanal üstü yüzer FV sistemler en önemli paya sahip olanlardır (Şençicek, 2017).

#### 3.1. Fotovoltaik Hücrelerin Çalışma Prensibi

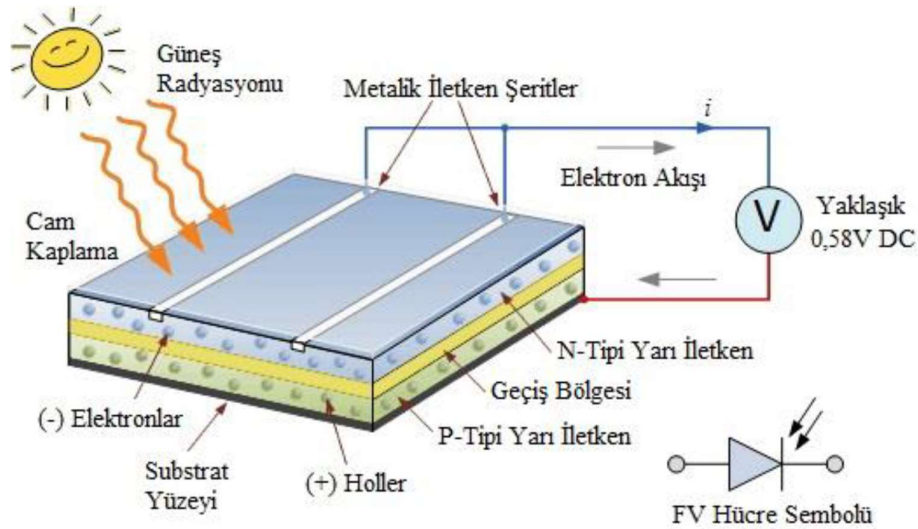
FV hücrelerin temel çalışma prensibi, yarı iletken malzemeye düşen güneş ışığının, elektronları enerji seviyelerinde harekete geçirmesi ve bu şekilde elektrik akımı üretmesi üzerine kuruludur. Güneş ışığının hücreye çarpmasıyla, fotonlar yarı iletken malzemede elektronları harekete geçirir ve bu elektronların hareketi elektrik akımını oluşturur. Hücreler genellikle silisyum gibi yarı iletken malzemelerden yapılır ve bu malzemeler, elektronların serbest bırakılmasını ve elektrik akımının üretilmesini sağlayacak özelliklere sahiptir (Alahmad vd. 2023).



Şekil 4. Fotovoltaik hücrelerin bağlanması (Ajder, 2011)

FV sistemlerde kullanılan hücreler, elde edilmek istenen değerine bağlı olarak seri bağlanarak FV paneli meydana getirirler. Şekil 4'te gösterildiği üzere gerekli akım ve gerilim değerine göre hücreler modülleri, modüller panelleri, paneller ise dizileri oluşturur (Ajder, 2011). Akımın yeterli olduğu, ancak daha yüksek gerilim seviyesinin istendiği durumlarda paneller seri bağlanarak çıkış gerilimi artırılır (Karafil, 2021). Seri bağlı FV panellerden herhangi biri gölgelendiğinde gölgeli olan hücrelerde akım sıfır olur ve sistemin toplam akımı azalır. Böylelikle çıkış gücü ve verimi de düşmüş olur. Panelin gölgelenmiş kısımlarında sıcak bölgeler oluşur. Sıcak noktalarda lehim yapılan bağlantı yerlerine ve panelin hasar görmesine sebep olur. İstenmeyen durumların giderilebilmesi için bir bypass diyotu FV panele ters paralel olarak bağlanılır (Ünlü vd. 2015). İki yönlü DC dönüştürücüler gibi yenilikçi teknolojiler, FV sistemlerin verimliliğini artırmak ve enerji üretimini optimize etmek için kullanılır. Bu dönüştürücüler, FV sistemlerden elde edilen DC (doğru akım) enerjinin, kullanım yerlerinde ihtiyaç duyulan AC (alternatif akım) enerjiye dönüştürülmesini sağlar (Karakaş, 2024).

FV hücrelerin çalışma prensibi ve FV sistemlerin tasarımındaki teknolojik ilerlemeler, güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin verimliliğini ve etkinliğini artırmada kritik rol oynamaktadır. Yenilikçi tasarım yaklaşımları ve teknolojik gelişmeler, FV sistemlerin enerji sektöründe sürdürülebilir ve çevre dostu bir alternatif olarak yerini sağlamlaştırmaktadır. Bu gelişmeler, FV teknolojinin geleceğine yönelik umut verici bir tablo çizmekte ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmekte önemli bir yere sahiptir.



Şekil 5. FV hücre çalışma prensibi (Öztürk, 2017)

Şekil 5'te verilen bir FV hücrenin çalışma prensibini özetlemektedir. Bu süreç, güneş ışığının hücreye ulaşmasıyla başlar ve elektrik enerjisinin üretilmesiyle sonuçlanır. Şekildeki adımlar şu şekildedir:

1. Güneş Işığı: Güneş ışığı, cam kaplama ve anti yansıtıcı kaplama katmanlarından geçerek, silikon tabakalara ulaşır.
2. Foton Emilimi: N-tipi silikondaki fotonlar, elektronları harekete geçirir ve bu da P-N bağlantısında elektron eksitasyonuna neden olur.
3. Elektron Eksitasyonu: Eksite olan elektronlar, enerji kazanır ve harekete geçer.
4. Elektron Akışı: Eksite olan elektronların hareketi, arka kontakta elektrik akımının oluşumuna yol açar.
5. Elektrik Akımı: Oluşan elektrik akımı, elektrik enerjisinin kullanımı için dönüştürülür veya depolanır.

Bu süreç, FV hücrelerin temelini oluşturan ve güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştüren FV etkiye dayanmaktadır. FV sistemlerin tasarım ve optimizasyonunda yapılan çalışmalar bu temel prensipleri geliştirmeye ve enerji dönüşüm verimliliğini artırmaya odaklanılır. Yenilikçi FV sistem tasarımları ve teknolojik ilerlemeler, güneş enerjisinden maksimum düzeyde yararlanılmasını sağlayarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmekte ve enerji üretiminde sürdürülebilirliği artırmaktadır.

### 3.2. Fotovoltaik Panel Eşdeğer Devresi

Panellerin karakteristik yapılarını incelemek için panele ait eşdeğer devre modeli geliştirilmiştir. FV hücre ışık enerjisi ile uyarılmadığında standart bir diyot gibi davranmaktadır. Normal şartlar sağlandığında panelin eşdeğer devresi diyot ve ona paralel bağlı bir akım kaynağı ile kurulabilmektedir. Ancak gerçek durumları karşılama için seri ve paralel bir direnç eşdeğer devreye eklenmektedir. Şekil 6'da gösterilen eşdeğer devrede üretilen akımın hesabı için Kirchoff kanunu ve Shockley diyot denklemi kullanıldığında Eşitlik 1 elde edilir (Krishan vd., 2013). Bu eşitlikte;

$I_{SC}$  = kısa devre akımını,

$V_d$  = diyot gerilimini,

$I_d$  = diyot akımını,

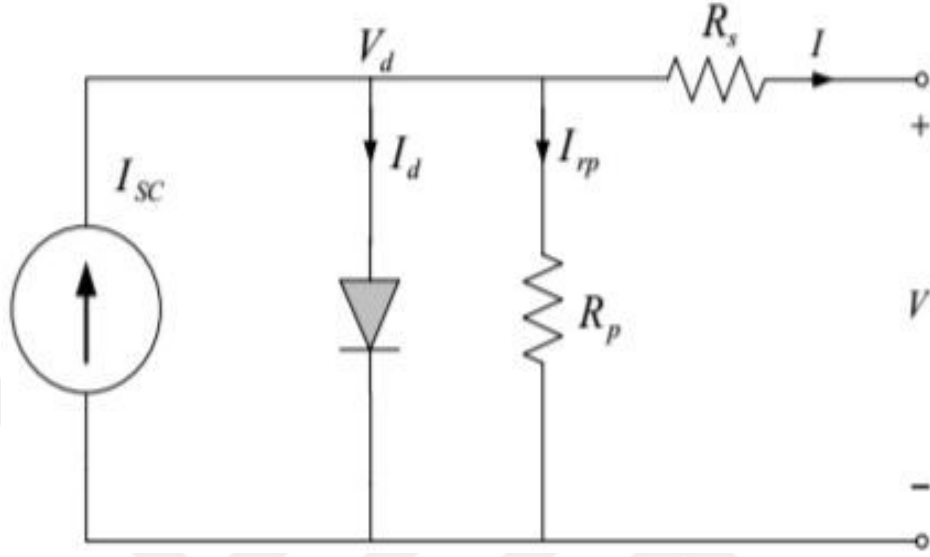
$I_{rp}$  = şönt kaçak direncinin akımını,

$R_p$  = şönt kaçak direncini,

$R_s$  = elemanların iç direncini,

I = yük akımını,

V yük gerilimini temsil etmektedir.



Şekil 6. Fotovoltaik Panel Eşdeğer Devresi

$$I = I_{sc} - I_0 \left( e^{\frac{q(V+I R_s)}{kT}} - 1 \right) - \left( \frac{V+I R_s}{R_p} \right) \quad \text{Eşitlik (1)}$$

Eşitlik (1) 'e göre;

$I_0$  = Diyot ters doyum akımı

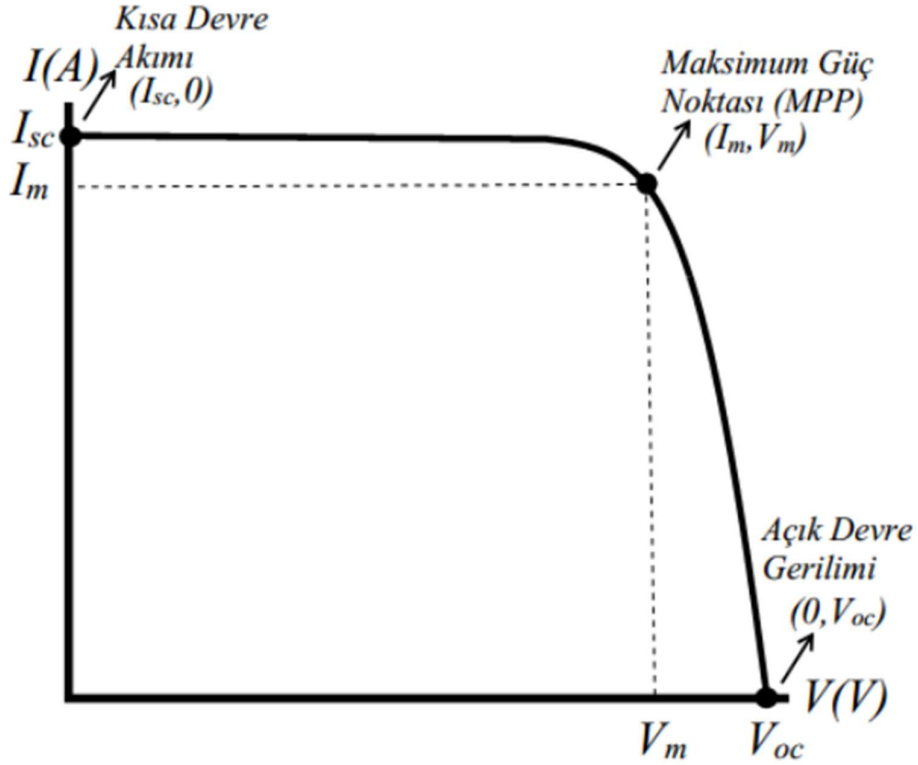
$q$  = Bir elektron yükünü ( $1.6022 \times 10^{-19}$  C)

$k$  = Boltzmann sabitini  $1.38 \times 10^{-23}$  J/K

$T$  = Mutlak sıcaklık (K)

olarak ifade edilmektedir. Panellerin verimliliklerinin tespiti için standart test koşullarında teste tabi tutulurlar. Bu koşullar TS EN60904 veya IEC 60904 standartlarına göre, 25°C, panel yüzeyine dik düşen radyasyon değerinin 1000 W/m<sup>2</sup> ve hava kütle katsayısı 1.5 olmalıdır.

FV panelin sıcaklık ve ışınım değerlerine göre akım-gerilim değerleri değişkenlik göstermektedir. Buna bağlı olarak çıkış gücünde değişmektedir. Sıcaklık değerinin panel hücre yapısına göre değişmekle olup her panel tipinin eşik sıcaklık değeri bulunmaktadır ve bu eşik değerinin aşılması durumunda panel verimini olumsuz yönde etkilemektedir (Hasar, 2016).



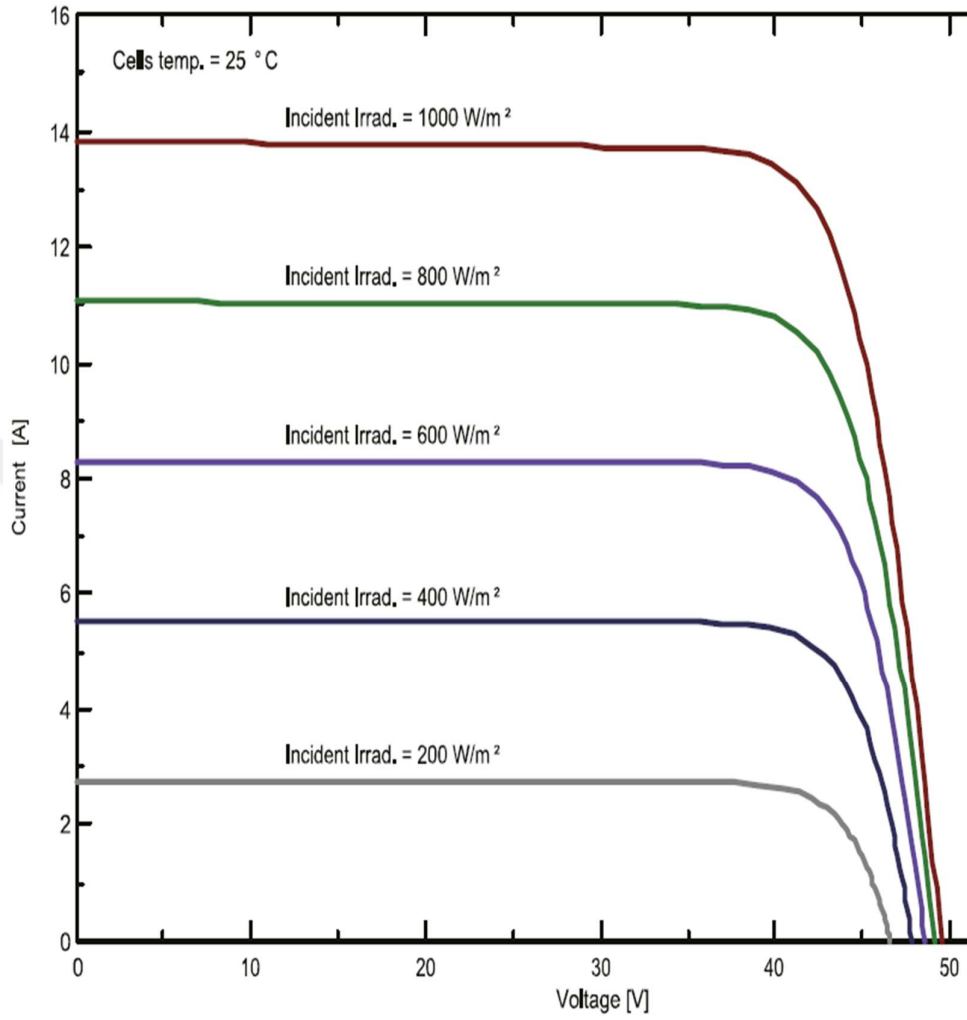
Şekil 7. Fotovoltaik Panelin I-V Karakteristiği

Şekil 7’de verilen bir panelin karakteristik eğrisinde Kısa devre akımı ( $I_{sc}$ ), açık devre gerilimi ( $V_{oc}$ ) ve maksimum güç noktası ( $P_{max}$ ) olarak üç önemli değere sahiptir. Yüke aktarılan gücün maksimum olduğu nokta Eşitlik 2 yardımıyla hesaplanır (Şahin ve Okumuş, 2013).

$$P_{max} = V_m \cdot I_m \quad \text{Eşitlik (2)}$$

Doldurma faktörü ise maksimum gücün, kısa devre akımı ile açık devre geriliminin çarpımına bölünenden elde edilen ve Eşitlik 3’te gösterilen faktördür. Bu değer 0,7 değerinden büyük olması istenir (Şahin ve Okumuş, 2013).

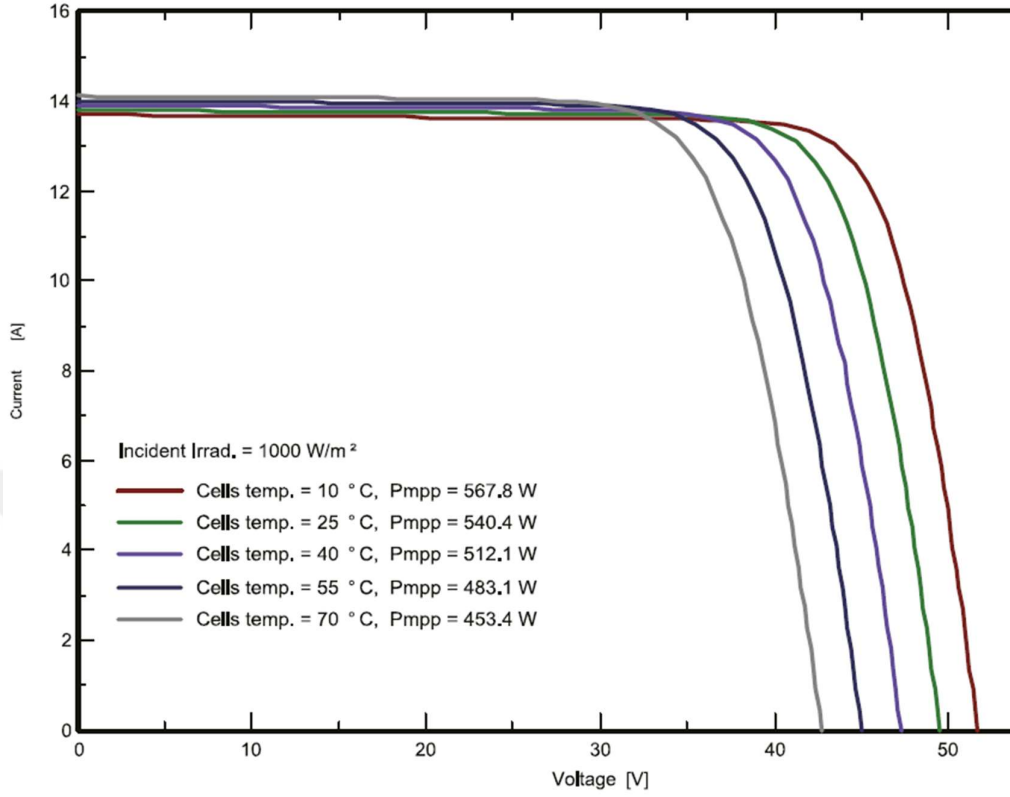
$$DF = \frac{P_{max}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} = \frac{V_m \cdot I_m}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad \text{Eşitlik (3)}$$



Şekil 8. Işınımına Bağlı FV Panelin I-V Eğrisi

Şekil 8’de verilen I-V eğrisine göre ışınım şiddetinin artması ile eğrilerin sağ üst tarafa doğru hareket etmektedir. Gelen ışınımın  $200 \text{ W/m}^2$ ’den  $1000 \text{ W/m}^2$ ’ye çıktığında, çıkış geriliminin ve çıkış akımının arttığı, buna bağlı olarak da güç çıkışının arttığı görülmektedir. Güneş panellerinin verimi, pile aktarılan güç ile emilen ışık gücü arasındaki orana bağlıdır ve Eşitlik 4’te gösterilmiştir. Burada G aydınlatma şiddeti, A ise hücrenin alanıdır.

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{V_m \cdot I_m}{G \cdot A} \quad \text{Eşitlik (4)}$$



Şekil 9. Sıcaklığa Bağlı FV Panelin I-V Eğrisi

Şekil 9’da verilen panelin hücre sıcaklıklarına bağlı olarak güç çıkış değerleri belirtilmiştir. 10°C’den 70 °C’ye çıktığında, güç çıkışının 567,8 W değerinden 453,4 W değerine düştüğü görülmüştür. Hücre sıcaklığının artması ile eğrilerin sol üst köşeye doğru hareket ettiği görülmektedir. Bu, panelin çıkış gerilimi düştüğünde çıkış akımının arttığı anlamına gelmektedir.

### 3.3. Fotovoltaik Hücre Teknolojisi

FV hücre teknolojisi, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürme sürecinde hayati bir rol oynar. Bu teknolojinin gelişimi, enerji dönüşüm verimliliğini artırma ve FV sistemlerin maliyet etkinliğini iyileştirme yönünde önemli ilerlemeler sağlamıştır.

Ayrıca, FV hücre teknolojisindeki yenilikler, güneş takip sistemlerinin geliştirilmesine de yol açmıştır. İki eksenli güneş takip sistemleri, güneşin gökyüzündeki hareketini takip ederek, FV panellerin sürekli olarak en yüksek güneş ışığına maruz kalmasını sağlar. Bu sistemler, sabit eksenli FV sistemlere kıyasla önemli oranda daha yüksek enerji üretim kapasitesi sunar. İki eksenli güneş takip sistemlerinin tasarımı ve uzaktan izlenmesi üzerine yapılan çalışmalar, bu teknolojinin FV sistemlerin verimliliğini

nasıl artırdığını ve enerji üretimini optimize etmede nasıl kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır (Sağlam ve Oy, 2024).

İki eksenli güneş takip sistemleri, sabit eksenli sistemlere kıyasla, güneş ışığını daha etkin bir şekilde yakalayarak FV sistemlerin enerji üretim kapasitesini önemli ölçüde artırır. Bu sistemler, güneşin gökyüzündeki konumunun sürekli izlenmesi ve FV panellerin bu konuma göre ayarlanması prensibine dayanır. İki eksenli takip sistemlerinin tasarımı ve uzaktan izlenmesi üzerine yapılan çalışmalar, bu teknolojinin FV sistemlerde enerji üretimini artırma potansiyelini gözler önüne sermektedir. Uzaktan izleme özelliği, sistem performansının sürekli olarak değerlendirilmesini ve gerekli ayarlamaların yapılmasını sağlayarak, enerji üretiminin maksimize edilmesine olanak tanır (Sağlam ve Oy, 2024).

Bu gelişmeler, FV sistemlerin enerji verimliliğini artırmanın yanı sıra, yenilenebilir enerji teknolojilerinin maliyet etkinliğini iyileştirme yönünde de önemli katkılarda bulunmaktadır. Yenilikçi MPPT teknikleri ile iki eksenli güneş takip sistemleri, güneş enerjisinden maksimum oranda faydalanma potansiyeline sahiptir. FV hücre teknolojisinin bu alanlardaki ilerlemesi, yenilenebilir enerji sektöründe devrim yaratan yenilikler arasında yer almaktadır ve bu teknolojilerin daha geniş kapsamlı kullanımı, yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayacaktır.

### **3.3.1. Fotovoltaik Panel Çeşitleri**

FV panel teknolojileri, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürme konusunda çeşitlilik gösterir ve bu çeşitlilik, farklı uygulama ihtiyaçlarına uygun çözümler sunar. FV panellerin ana çeşitleri arasında monokristal, polikristal (multikristal) ve ince film paneller bulunur. Bu çeşitlilik sayesinde sistem tasarımcılarına maliyet, verimlilik ve mekânsal gereksinimler gibi faktörleri göz önünde bulundurması ile en uygun FV panel türünü seçmelerine olanak tanır. Güneş enerji santral maliyetinin yaklaşık %55-60 mı oluşturan FV paneller tercih edilirken diğer panellerle karşılaştırılması yapılarak verimliliğini ortaya çıkarmak gerekmektedir.

Monokristal FV paneller, yüksek saflıkta tek bir silikon kristalinden üretilir. Bu paneller, genellikle siyah renkte olup, yüksek verimlilik oranlarına sahiptirler. Yüksek verimlilikleri ve uzun ömürleri nedeniyle, alan kısıtlamalarının olduğu durumlarda tercih edilirler. Ancak, üretim süreçlerinin karmaşıklığı bu panelleri, diğer türlere göre daha pahalı hale getirir (Çınaroğlu, 2023).

Polikristal FV paneller ise, birden fazla silikon kristal parçasının bir araya getirilmesiyle üretilir. Silikon saflığı monokristal panellere göre daha düşüktür. Bu paneller genellikle mavi renktedir ve monokristal panellere kıyasla daha düşük verimlilik oranlarına sahiptir. Ancak, üretim süreçleri daha basit olması ve maliyet açısından daha ucuz olması sebebiyle büyük ölçekli santrallerde kullanımı yaygındır (Dölek ve Arslan, 2023).

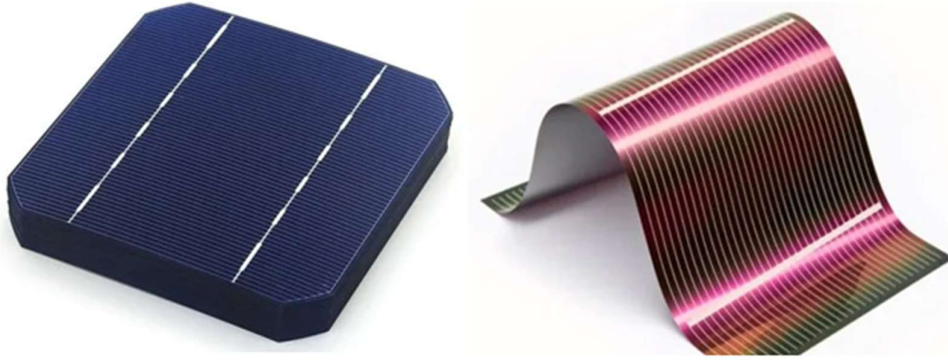
İnce film FV paneller, amorf silisyum veya diğer ince film malzemeler kullanılarak üretilir. Esnek yapıları, hafif olmaları ve düşük maliyetleriyle dikkat çekerler. İnce film paneller belirli ihtiyaçları karşılamak için farklı boyutlarda üretilebilirler. Bu paneller, düşük ışık koşullarında bile iyi performans gösterebilir ve estetik açıdan avantajlı olabilirler. Ancak, genellikle düşük verimlilik oranlarına sahip olmaları nedeniyle, az kullanılmaktadırlar (Gür, 2023).

FV panel teknolojilerinin seçimi ve kullanımı, enerji verimliliği, maliyet etkinliği ve çevresel faktörler gibi bir dizi kritik parametreye bağlıdır. Bu teknolojilerin her biri, güneş enerjisinden elektrik üretimi sürecinde benzersiz avantajlar ve potansiyel zorluklar sunmaktadır. Monokristal, polikristal ve ince film panellerin yanı sıra, bu alanlardaki yenilikler, FV sistemlerin performansını ve uygulanabilirliğini artırmaya devam etmektedir. Tablo 2.'de panel türlerinin malzeme özellikleri, verimlilikleri ve uygulama alanları verilmiştir.

Tablo 2. En yaygın Fotovoltaik panel türlerini tanımlayan bir tablo

| Panel Türü                          | Malzeme                              | Verimlilik (%) | Uygulama Alanları   |
|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------|---|
| Monokristal Silisyum (Mono-Si)      | Yüksek saflıkta tek kristal silisyum | 15-22          | Konut, ticari binalar, yüksek verimlilik gerektiren alanlar   |
| Polikristal Silisyum (Poly-Si)      | Çoklu kristal silisyum               | 13-26          | Konut, ticari binalar, maliyet hassasiyeti olan uygulamalar   |
| Amorf Silisyum (A-Si)               | İnce film silisyum                   | 10-12          | Hesap makineleri, saatler gibi küçük cihazlar, bina yüzeyleri |
| Bakır İndiyum Galyum Selenid (Cigs) | İnce film teknolojisi                | 10-12          | Esnek uygulamalar, bina yüzeyleri                             |
| Kadmiyum Tellür (CdTe)              | İnce film teknolojisi                | 9-11           | Büyük ölçekli güneş enerji santralleri, bina yüzeyleri        |

- Monokristal Silisyum (Mono-Si): Yüksek verimlilik sunarlar ve uzun ömürlüdürler. Yüksek saflıkta silisyum kristallerinden üretilirler, bu da onları daha pahalı yapar. Uzay uygulamaları ve yüksek verimlilik gerektiren projeler için idealdir.
- Polikristal Silisyum (Poly-Si): Monokristal panellere göre biraz daha düşük verimlilikte olup, üretim maliyetleri daha düşüktür. Çoklu kristal silisyum kullanılarak üretilirler ve renkleri maviye yakındır.
- Amorf Silisyum (A-Si): Esnek substratlara uygulanabilen ince film teknolojisidir. Düşük verimlilikleri nedeniyle genellikle küçük elektronik cihazlarda kullanılır.
- Bakır İndiyum Galyum Selenid (CIGS): Yüksek potansiyel verimlilik sunan ince film teknolojisidir. Esneklikleri, çeşitli yüzeylere uygulanabilir olmalarını sağlar.
- Kadmiyum Tellür (CdTe): Şu anda kullanımda olan en verimli ince film teknolojisidir. Maliyet etkinliği ve kısa enerji geri dönüş süresi nedeniyle büyük ölçekli güneş santrallerinde tercih edilir.



Şekil 10 . Kristal silisyum ve ince film güneş hücreleri (URL-6, 2024)

Şekil 10’da kristal silisyum ve ince film güneş paneli hücreleri verilmiştir. Monokristal panellerin yüksek verimlilik oranları, güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürme kapasitelerinin diğer panel türlerine göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu yüksek verimlilik, özellikle sınırlı alana sahip uygulamalarda, monokristal panellerin tercih edilmesinin ana nedenlerinden biridir. Ancak, bu panellerin yüksek maliyeti, geniş ölçekli uygulamalarda veya bütçe kısıtlamaları olan projelerde kullanımını sınırlayabilir (Çınaroğlu, 2023).

Polikristal paneller, daha uygun maliyetli üretim süreçleri sayesinde, genellikle monokristal panellere göre daha ekonomik bir seçenek sunarlar. Bu paneller, geniş alanların mevcut olduğu ve panel maliyetinin proje bütçesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu durumlarda idealdir. Ancak, monokristal panellere kıyasla daha düşük verimlilik oranları, daha geniş alan gereksinimi anlamına gelir, bu da kurulum alanının büyüklüğü ve konumu gibi faktörlerin dikkate alınmasını gerektirir (Dölek ve Arslan, 2023).

İnce film paneller, esnek kurulum seçenekleri ve estetik açıdan çekici olmaları nedeniyle öne çıkar. Bu paneller, geleneksel panel türlerine göre daha düşük verimliliklere sahip olmalarına rağmen, düşük ışık koşullarında ve yüksek sıcaklıklarda dahi iyi performans gösterebilirler. İnce film teknolojisinin geliştirilmesi, bu panellerin verimliliğini ve uygulanabilirliğini artırarak, FV sistemlerin daha geniş bir yelpazede kullanılmasını mümkün kılmaktadır (Gür, 2023).

FV panel teknolojileri üzerine yapılan araştırmalar, bu sistemlerin tasarımı, simülasyonu ve performans analizi gibi konularda önemli ilerlemeler sağlamıştır. Bu ilerlemeler, FV sistemlerin daha etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasını destekleyerek, yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelini maksimize etmekte önemli bir rol oynamaktadır.

### **3.3.2. Monokristal Hücreler**

Monokristal hücreler, FV güç sistemlerinde kullanılan en verimli hücre türlerinden biridir. Tek bir silikon kristalinden yapılan bu hücreler, yüksek saflık derecesine sahip silisyum kullanılarak üretilir. Bu yüksek saflık, monokristal hücrelerin güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürmede diğer hücre türlerine göre daha yüksek verimlilik oranlarına ulaşmasını sağlar. Monokristal panellerin karakteristik koyu siyah renkleri sayesinde kolaylıkla tanınabilirler.

Monokristal hücrelerin yüksek verimlilik oranları, daha az alan kaplayarak daha fazla güç üretebilmelerine olanak tanır. Bu özellik, özellikle alan kısıtlaması olan yerlerde, örneğin çatılar ve kentsel alanlarda ideal bir çözüm sunar. Ayrıca, monokristal hücreler uzun ömürlüdür ve yıllar boyunca yüksek performanslarını koruyabilirler, bu da onları uzun vadeli yatırımlar için uygun kılar (Erten, 2023).

Monokristal hücre teknolojisi, sürekli gelişim göstermekte olup, bu alandaki araştırmalar sistemlerin verimliliğini ve dayanıklılığını daha da artırmayı hedeflemektedir. Özellikle, FV sistemlerin bakımı ve optimizasyonu üzerine yapılan

çalışmalar, bu sistemlerin etkin bir şekilde yönetilmesi ve maksimum enerji üretimi için önemli bilgiler sunmaktadır (Nadjib & Yudha, 2023).

Ayrıca, monokristal FV sistemlerin kapasitesinin optimizasyonu, özellikle uzak ve ulaşılması zor bölgelerde güneş enerjisinden en iyi şekilde yararlanılmasını sağlamak için kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda geliştirilen algoritmalar ve analiz yöntemleri, enerji üretimini maksimize etmek ve FV sistemlerin etkinliğini artırmak için kullanılmaktadır.

Monokristal hücreler, FV sistemlerde yüksek verimlilik ve uzun ömür sağlamaları nedeniyle tercih edilen bir teknolojidir. Bu hücre türü üzerine yapılan araştırmalar, FV sistemlerin performansını iyileştirmeye ve güneş enerjisinden daha etkin bir şekilde yararlanmaya yönelik önemli katkılar sağlamaktadır. Bu ilerlemeler, sürdürülebilir enerji çözümlerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması açısından kritik öneme sahiptir.

Monokristal hücrelerin FV sistemlerdeki rolü, sadece yüksek verimlilikleri ve uzun ömürleriyle sınırlı değildir; aynı zamanda bu hücreler, enerji üretiminde tutarlılık ve güvenilirlik açısından da önem taşır. Gelişmiş üretim teknikleri sayesinde, monokristal hücreler, geniş bir sıcaklık aralığında ve çeşitli hava koşullarında etkili bir şekilde çalışabilir. Bu özellikler, monokristal FV sistemleri, enerji üretiminin kritik olduğu ve güvenilir enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulan uygulamalar için ideal hale getirir.

FV sistemlerin bakımı konusunda yapılan araştırmalar, özellikle sistem verimliliği ve enerji üretimi üzerine odaklanır. Soğutma sistemlerinin FV panellerin ısı yönetimi üzerindeki etkisi, bu alandaki önemli bir araştırma konusudur. Etkili soğutma mekanizmaları, panellerin aşırı ısınmasını önleyerek, verimlilik kayıplarını azaltabilir ve sistem ömrünü uzatabilir (Dölek ve Arslan, 2023).

Monokristal hücre teknolojisi, FV sistemlerin geliştirilmesi ve optimizasyonunda merkezi bir rol oynar. Bu teknoloji üzerine yapılan araştırmalar, enerji üretiminin verimliliğini artırmak, sistem güvenliğini sağlamak ve enerji erişimini genişletmek için önemli katkılar sunmaktadır.

### **3.3.3. Polikristal Hücreler**

Polikristal hücreler, FV endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir teknolojidir ve birden fazla silikon kristalinin bir araya gelmesiyle oluşturulur. Bu hücre türü, monokristal hücrelere göre üretim sürecinde daha az silikon kaybına neden olduğundan, genellikle daha maliyet etkin bir seçenek olarak değerlendirilir. Polikristal hücreler, mavi renkli görünüşleri ve yüzeylerinde görülebilen kristal sınırlarıyla ayırt edilir. Bu hücreler, genellikle güneş panellerinde kullanılır ve enerji üretimi için güneş ışığını

elektriğe dönüştürmede etkilidirler, ancak monokristal hücrelere göre biraz daha düşük verimlilik oranlarına sahiptirler.

Polikristal FV hücrelerin verimliliği, enerji dönüşümünde kritik bir faktördür ve bu, sistemlerin genel performansını doğrudan etkiler. Polikristal hücrelerin üretim süreci, enerji dönüşüm verimliliği ile maliyet arasında dengeli bir ilişki sağlar ve bu da onları geniş ölçekli FV uygulamalar için uygun bir seçenek haline getirir

Son yıllarda, polikristal FV hücrelerin enerji yönetimi ve optimizasyonu üzerine yapılan çalışmalar, bu teknolojinin potansiyelini daha da artırmayı amaçlamaktadır. Örneğin, elektrikli araçlar için tasarlanmış şarj otoparkları gibi yenilikçi uygulamalarda, polikristal panellere dayalı sistemler, güneş enerjisinden maksimum düzeyde yararlanarak enerji ihtiyacını karşılamada önemli bir rol oynayabilir. Bu tür sistemlerin çok amaçlı enerji yönetim stratejileri hem enerji verimliliğini artırmakta hem de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmektedir (Şafak vd., 2024).

Ayrıca, polikristal FV sistemlerin performansının, farklı coğrafi ve çevresel koşullarda nasıl değişebileceği üzerine yapılan çalışmalar, bu sistemlerin enerji üretim kapasitelerini maksimize etmek için önemli bilgiler sunmaktadır. Özellikle, dağlık ve güneş ışığının yıl boyunca değişken olduğu bölgelerde yapılan deneysel çalışmalar, polikristal FV sistemlerin adaptasyon kabiliyetini ve enerji üretimi potansiyelini ortaya koymaktadır

Polikristal FV hücreler, FV sistemlerde önemli bir yere sahiptir ve geniş ölçekli enerji üretimi projelerinde maliyet etkinliği ve adaptasyon kabiliyeti ile öne çıkarlar. Bu hücre türü üzerine yapılan araştırmalar, enerji üretimini artırma ve FV sistemlerin etkinliğini iyileştirme yönünde devam eden gelişmeleri vurgulamaktadır. Bu çalışmalar, sürdürülebilir enerji teknolojilerinin geliştirilmesi ve optimize edilmesi konusunda değerli katkılar sunmaktadır.

Polikristal FV hücrelerin enerji sektöründeki etkisi, sadece onların maliyet-etkin üretim süreçleriyle sınırlı değildir; aynı zamanda geniş bir uygulama yelpazesinde adaptasyon yetenekleriyle de ön plana çıkarlar. Bu hücreler, enerji dönüşüm sürecinde gösterdikleri dayanıklılık ve güvenilirlik sayesinde, özellikle büyük ölçekli güneş enerjisi projelerinde tercih edilir. Ayrıca, polikristal FV hücrelerin üretiminde kullanılan materyallerin çevresel sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi, bu teknolojinin yeşil enerji çözümleri arasında önemli bir yere sahip olmasını sağlar.

### 3.3.4. Amorf Silisyum İnce Film Hücreleri

Amorf silisyum ince film hücreleri, güneş enerjisi teknolojileri arasında önemli bir yer tutar ve FV sistemlerde kullanılan alternatif bir hücre tipidir. Bu hücreler, kristal yapıya sahip olmayan, yani amorf silisyumdan yapılmıştır. Amorf silisyum ince film hücrelerinin en belirgin özelliği, düşük ışık koşullarında bile enerji üretebilme kapasiteleridir. Bu hücrelerin üretimi, kristal silisyum bazlı hücrelere kıyasla daha az enerji tüketir ve genellikle daha düşük maliyetlidir, bu da onları çeşitli uygulamalar için cazip bir seçenek haline getirir.

Şebekeye bağlı güneş FV sistemlerinin gelişiminde amorf silisyum ince film hücrelerinin rolü, sistem mimarisinin, kontrol mekanizmalarının ve enerji yönetim stratejilerinin optimizasyonunda önemli bir faktördür. Bu hücreler, genel FV sistem verimliliğine katkıda bulunabilir ve enerji üretimini maksimize etmeye yardımcı olabilir. Amorf silisyum ince film hücrelerinin entegrasyonu, sistemlerin daha geniş bir çevresel koşul yelpazesinde etkili bir şekilde çalışmasını sağlar ve enerji üretimindeki dalgalanmaları azaltabilir (Morey et al., 2023).

FV sistemler üzerindeki toz birikimi gibi çevresel faktörlerin, amorf silisyum ince film hücrelerinin enerji üretim kapasitesini önemli ölçüde etkileyebilir. Bu etkilerin ve etkileşimlerin kapsamlı bir şekilde incelenmesi, FV sistemlerin tasarımında ve bakımında önemli stratejilerin geliştirilmesine olanak tanır. Elektriksel, optik ve termal modeller ile deney teknikleri, bu hücrelerin performansını etkileyen faktörleri anlamada ve FV sistemlerin genel verimliliğini artırmada önemli araçlardır (Almukhtar et al., 2023).

Amorf silisyum ince film hücreleri, FV teknolojilerin çeşitliliğini ve uygulama alanlarını genişletmektedir. Bu hücrelerin kullanımı, düşük maliyetli ve enerji verimli güneş enerjisi çözümlerinin geliştirilmesine katkıda bulunmakta, aynı zamanda bina bütünleşmiş sistemler ve şebekeye bağlı FV uygulamalar için yeni olanaklar sunmaktadır (Morey et al., 2023; Almukhtar et al., 2023). Bu hücreler üzerine yapılan araştırmalar, FV sistemlerin performansını ve çevresel adaptasyonunu iyileştirmeye yönelik devam eden gelişmeleri vurgulamaktadır.

Amorf silisyum ince film hücrelerin kullanımının yaygınlaşması, FV teknolojinin sürdürülebilirlik ve erişilebilirlik boyutlarında önemli bir ilerleme olarak görülmektedir. Bu hücreler, özellikle düşük ışık koşullarında ve geniş alan uygulamalarında, geleneksel kristal silisyum hücrelere göre belirli avantajlar sunar. Enerji üretimi süreçlerindeki bu çeşitlilik, FV sistemlerin daha geniş bir kullanım alanına yayılmasını sağlar ve yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkin kullanımına imkân tanır.

### 3.3.5. Bakır İndiyum İnce Film Hücreleri

Bakır İndiyum İnce Film Hücreleri (CIGS), FV hücre teknolojileri arasında yüksek verimlilik potansiyeline sahip olan bir grup içerisinde yer alır. Bu hücreler, bakır (Cu), indiyum (In), galyum (Ga) ve selenyum (Se) elementlerinin birleşiminden oluşan bir yarı iletken tabakası kullanılarak üretilir. CIGS hücrelerinin önemli avantajları arasında, yüksek absorpsiyon katsayıları ve geniş ışık spektrumuna duyarlılıkları bulunur, bu özellikler onları düşük ışık koşullarında bile etkili enerji üreticileri yapar. CIGS güneş hücreleri laboratuvar ortamında %23'e kadar verimlilik gösterebilmekte olup, ticari uygulamalarda ise %15-18 arası verimlilikler yaygındır (Türk, 2022).

CIGS FV hücrelerin tekno-ekonomik değerlendirmeleri, bu teknolojinin hem konut hem de çiftlik bazlı sistemlerde uygulanabilirliğini göstermiştir. Bu hücreler, özellikle enerji üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve uzun vadeli enerji verimliliğinin artırılması açısından önemli fırsatlar sunar. Yapılan çalışmalar, CIGS hücrelerinin kurulum ve bakım maliyetlerine karşın sunduğu enerji verimliliği ve maliyet-etkinlik oranlarını detaylandırmaktadır (Huda et al., 2024).

FV hücre teknolojilerinin performansı üzerinde yüksek sıcaklık gibi çevresel faktörlerin etkisi, özellikle CIGS hücreleri için önemli bir araştırma konusudur. Yüksek sıcaklıklar, FV sistemlerin verimliliğini etkileyebilir; ancak CIGS hücreleri, termal stabilite ve sıcaklık koefisientleri açısından diğer ince film hücre türlerine göre avantajlar sunar. Bu, CIGS hücrelerinin yüksek sıcaklık koşullarında bile yüksek performans gösterebileceğini işaret eder (Ebhotu & Tabakov, 2023).

Bakır İndiyum İnce Film Hücreleri, FV teknoloji alanında önemli bir yenilik olarak öne çıkar. Bu hücreler, yüksek enerji absorpsiyon kapasiteleri, geniş spektral duyarlılıkları ve çevresel faktörlere olan üstün dayanıklılıkları ile dikkat çeker. CIGS hücreleri üzerine yapılan çalışmalar, bu teknolojinin enerji sektöründe sürdürülebilir ve maliyet-etkin çözümler sunma potansiyelini ortaya koymaktadır. Bu gelişmeler, yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımı ve FV sistemlerin optimizasyonu yönünde devam eden ilerlemeleri desteklemektedir.

### 3.3.6. Kadmiyum Tellür İnce Film Hücreleri

Kadmiyum Tellür (CdTe) ince film hücreleri, FV sektörde giderek artan bir popülerliğe sahip olan bir teknolojidir. Bu hücreler, kadmiyum tellür yarı iletken malzemesinin benzersiz özelliklerinden faydalanarak, güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürme konusunda yüksek verimlilik sağlar. CdTe hücreleri, düşük maliyetli üretim

süreçleri ve iyi enerji dönüşüm oranları ile öne çıkar, bu da onları güneş enerjisi sektöründe çekici bir seçenek haline getirir.

Kadminyum Tellür ince film hücreleri, FV teknolojiler arasında maliyet-etkinlik ve yüksek verimlilik potansiyeli ile öne çıkmaktadır (Tokul, 2021). Yapay zekâ, hibrit yüzer sistemler ve gelişmiş optimizasyon tekniklerinin entegrasyonu, bu teknolojinin enerji sektöründe daha geniş bir kabul görme potansiyelini artırır. Bu ilerlemeler, CdTe FV sistemlerin performansını ve enerji üretim verimliliğini artırma yönünde önemli katkılar sağlar. Bu da sürdürülebilir enerji çözümlerine doğru önemli bir adım teşkil eder.

Hibrit yüzer güneş enerji santrallerinin geliştirilmesi, CdTe teknolojisinin uygulama alanlarını genişletir. Bu yenilikçi yaklaşım, su yüzeylerinin üzerine kurulan FV paneller aracılığıyla, kara tabanlı sistemlere kıyasla ekolojik avantajlar ve yer tasarrufu sağlar. CdTe hücrelerinin bu tür uygulamalarda kullanımı, enerji üretiminin sürdürülebilirliğini artırırken, su kaynaklarının korunmasına da katkıda bulunur (Domakonda et al., 2023).

### **3.3.7. Nano Dokulu Fotovoltaik Hücreler**

Nano dokulu FV hücreler, güneş enerjisi teknolojileri alanında son yıllarda önemli ilerlemeler kaydedilen bir yeniliktir. Bu hücreler, nano ölçekli yapılandırmaları sayesinde, ışığın absorpsiyonunu artırır ve böylece FV hücrelerin enerji dönüşüm verimliliğini önemli ölçüde iyileştirir. Nano dokulu yüzeyler, ışığın hücre içindeki yollarını uzatarak, ışığın hücre tarafından absorbe edilme süresini artırır ve bu da daha fazla elektrik enerjisi üretimi anlamına gelir.

FV sistemlerin sürdürülebilir topluluklar içindeki rolü, özellikle nano dokulu FV hücrelerin kullanımıyla yeni bir boyut kazanmaktadır. Bu teknoloji, ekolojik geçiş süreçlerini destekleyerek, yenilenebilir enerji kaynaklarının daha verimli kullanımını teşvik eder ve sürdürülebilir enerji sistemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunur.

Nano dokulu FV hücreler, yenilenebilir enerji teknolojilerinin gelişiminde önemli bir atılım temsil etmektedir. Bu hücrelerin kullanımı, FV sistemlerin enerji dönüşüm verimliliğini artırarak, yenilenebilir enerji kaynaklarından maksimum düzeyde yararlanma imkânı sunar. Bu teknoloji üzerine yapılan araştırmalar, nano dokulu FV sistemlerin performansını iyileştirme ve enerji üretim süreçlerini optimize etme yönünde devam eden ilerlemeleri desteklemektedir. Bu gelişmeler, sürdürülebilir enerji çözümlerine doğru atılan önemli adımlardır.

Nano dokulu FV hücre teknolojisi, güneş enerjisi dönüşümünde devrim yaratan bir ilerleme olarak kabul edilmektedir. Bu teknoloji, nanometre ölçekli yapıların yüzeyler üzerine uygulanması yoluyla, FV hücrelerin ışık absorpsiyon kapasitesini artırır. Bu nano yapılar, güneş ışığını hücre içine hapsederek, fotonların elektronları harekete geçirme şansını artırır ve böylece hücrenin enerji dönüşüm verimliliğini önemli ölçüde iyileştirir.

### **3.4. Fotovoltaik Sistem Bileşenleri**

FV sistemler, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için bir dizi bileşenden oluşur. Bu bileşenlerin her biri, sistemin genel performansı ve verimliliği açısından kritik öneme sahiptir. Ana bileşenler arasında FV paneller, eviriciler (invertörler), montaj donanımı, bağlantı kutuları ve enerji depolama birimleri bulunur. FV sistemlerin doğru şekilde boyutlandırılması ve ekonomik fizibilite çalışmaları, bu sistemlerin maliyet-etkinliğini ve sürdürülebilirliğini artırmak için önemlidir.

FV paneller, sistemlerin ana bileşenleridir ve güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken malzemeler içerir. Panellerin verimliliği, malzeme kalitesi ve teknolojik inovasyonlarla yakından ilişkilidir. Eviriciler ise, paneller tarafından üretilen doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) çevirir, bu da elektrik enerjisinin evlerde ve iş yerlerinde kullanılmasını sağlar. Sistem boyutlandırma ve ekonomik fizibilite analizleri, bu bileşenlerin maliyet-etkin bir şekilde entegre edilmesinde ve FV sistemlerin performansının maksimize edilmesinde önemli bir rol oynar.

Bağımsız FV sistemlerin enerji depolama ve üretim sınırlamaları, özellikle yeşil hidrojen üretimi gibi yeni uygulama alanlarında önem kazanmaktadır. Bu sistemler, güneş ışığının mevcut olmadığı zamanlarda enerji tedarikini sağlayacak enerji depolama çözümlerine ihtiyaç duyar. Bağımsız sistemlerin ekonomik fizibilitesi ve üretim kapasiteleri, enerji depolama teknolojilerinin maliyeti ve verimliliği ile doğrudan ilişkilidir.

FV sistem bileşenlerinin etkili bir şekilde entegrasyonu ve yönetimi, sürdürülebilir enerji sistemlerinin tasarımında ve uygulanmasında merkezi bir öneme sahiptir. Bu bileşenlerin optimizasyonu, FV sistemlerin enerji verimliliğini ve ekonomik fizibilitesini artırmak için yapılan çalışmalar, yenilenebilir enerji teknolojilerinin daha geniş çapta kabulünü ve uygulanmasını teşvik etmektedir. Bu çalışmalar, güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisinin etkili bir şekilde kullanılmasını ve yönetilmesini sağlayarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilir kullanımına katkıda bulunmaktadır. Bu

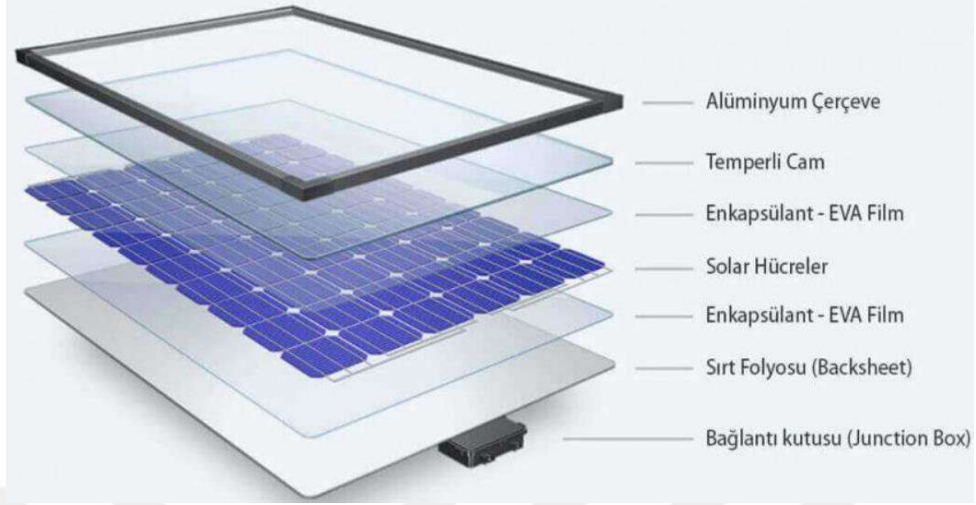
ilerlemeler, FV teknolojilerin geliştirilmesi ve optimize edilmesi konusunda devam eden çalışmaların temelini oluşturur ve sürdürülebilir enerji çözümlerinin geliştirilmesine yönelik yenilikçi yaklaşımlar sunar.

#### **3.4.1. Fotovoltaik Panel**

FV paneller, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren temel bileşenlerdir ve FV sistemlerin kalbinde yer alır. Bu paneller, yarı iletken malzemeler kullanarak güneş ışığını absorbe eder ve elektronların hareketini sağlayarak elektrik akımı üretir (Perdahlıyan, 2021). Panel tasarımı ve teknolojisi, sistemlerin enerji dönüşüm verimliliği üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Bu nedenle FV sistemlerin geliştirilmesinde sürekli yenilikler ve iyileştirmeler yapılmaktadır. Şekil 11.'de görüldüğü üzere FV paneller dıştan içe olacak şekilde;

- Alüminyum çerçeve
- Yalıtım Malzemesi
- Özel temperli cam
- Eva
- Solar hücre
- Eva
- Alt tabaka
- Bağlantı kutusu

olarak katmanlara ayrılmaktadır.



Şekil 11. Fotovoltaik Panel Katmanları (Hassan vd., 2020)

Şekil 11’de görülen bağlantı kutusu, solar kablonun girişlerinin olduğu kısımdır. Bağlantı kutusunda bypass diyotu bulunmaktadır. Arıza, gölgeleme veya kısmi tozlanma gibi negatif etkenleri engellemek adına kullanılmaktadır. Sırt folyosu, panelin yalıtımını sağlamakla beraber, panelin ısıl açıdan uygun değerde kalmasını sağlamaktadır. Solar hücreler N tipi ve P tipi malzemelerin birleşiminden meydana gelir. Akım ve gerilimin üretildiği kısımdır. Etilen vinil asetat, hücrelerin alt ve üst kısmına koyulan, ısıl işlem uygulanarak katmanların birbirine yapışmasını sağlayan özel bir malzemedir. Temperli cam, dışarıdan gelebilecek olan darbelere karşı hücreleri korumaktadır. Alüminyum çerçeve ise panelin bütün katmanlarını koruyarak bir arada toplamaktadır (Palaz, 2022).

### 3.4.3. Evirici (İnverter)

Evirici (inverter), FV sistemlerdeki en kritik bileşenlerden biridir ve güneş panelleri tarafından üretilen DC, ev veya iş yerlerinde kullanılabilen AC dönüştürme görevini görür. Eviricilerin verimliliği, güneş enerjisi sistemlerinin genel performansını doğrudan etkiler ve bu nedenle teknolojik inovasyonlar ve iyileştirmeler bu bileşenin optimizasyonuna büyük önem vermektedir.

Mikro Eviriciler: Şekil 12’de örneği gösterilen bu eviriciler ülkemizde çok kullanılsa da verimliliğin yüksek olması istenen santrallerde mikro eviriciler tercih edilmektedir. Bu eviricilerin özellikleri bir veya iki paneli birleştirilmesi ile birlikte küçük güçlerde güç çıkışı vererek herhangi bir gölgeleme veya aşırı sıcaklık sebebiyle

yaşanabilecek bir sorunun tüm diziye etkilemesine engel olmaktadır. Ayrıca bu sistemlerde panel bazında üretim değerlerinin izleme imkanı bulunmaktadır.



Şekil 12. Mikro evirici örneği (URL-7)

Dizi Eviriciler: Günümüzde en çok kullanılan evirici modelidir. Dizi eviriciler kullanılırken FV sistemler dizilere bölünerek eviriciye gelmektedir. Bu diziler panellerin seri bağlantısı yapılarak sağlanır. Dizi eviricilerde farklı cephe, sıcaklık farkı, kirlilik derecelerinden kaynaklanan kayıpları düşürmeyi sağlamaktadır. Bu teknoloji Maximum Power Point Tracking (MPPT) teknolojisidir. Bu eviriciler diyot olmadığından diyot kayıpları bulunmamaktadır. Bu eviriciler daha çok çatı uygulamalarında olmak üzere küçük çaplı arazi sistemlerinde de kullanılmaktadır. Bu eviricilerin verimleri %97-%99 arasında değişiklik göstermektedir. Dizi eviricilerin gücü 10 kW dan başlayıp 350 kW ya kadar çıkmaktadır. Şekil 13’de 100 kW dizi evirici örneği görülmektedir.



Şekil 13. Dizi evirici örneği (URL-8)

Merkezi Evirici: Bu eviriciler büyük çaplı sahalar ve lisanslı projelerde daha çok kullanılmaktadır. Bu eviricilerde panellerin paralel bağlantısı yapılarak toplama kutularında toplanır. Toplanan bu solar kablolar artı ve eksi olacak şekilde eviriciye bağlantısı yapılır. Evirici ise doğru akımı gücü alternatif akıma çevirerek şebekeye aktarımı sağlar. Bu eviricilerin verimlilikleri yüksek olup maliyetleri daha uygundur. Bu sistemlerde dezavantaj bir evirici arızalandığı zaman o eviriciye ait tüm dizilerin üretiminin devre dışı kalmasına sebep olur. Bu sebeple sistemin güvenilirliği ve hızlı servis imkanları büyük önem arz etmektedir. Merkezi eviricilerde eviriciden sonra direk trafoya bağlantısı sağlanır. Bu eviricilerin güçleri 450-4400 kW arasında değişkenlik göstermektedir. Şekil 14’de merkezi evirici örneği verilmiştir.



Şekil 14. Merkezi evirici örneği (URL-7)

Tekno-ekonomik analizler, eviricilerin maliyet-etkinliğinin ve operasyonel verimliliğinin FV sistemlerin genel ekonomik fizibilitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bu analizler, özellikle şebekeye bağlı sistemlerde eviricilerin rolünü ve bu sistemlerin genel enerji verimliliği ve maliyet yapısı üzerindeki etkilerini detaylandırır. Gelişmekte olan ülkelerde yapılan çalışmalar, eviricilerin teknolojik gelişiminin, güneş enerjisi sistemlerinin yaygınlaştırılması ve enerji erişiminin genişletilmesi açısından kritik öneme sahip olduğunu vurgular (Akpahou et al., 2023).

Eviriciler FV sistemlerin temel bir bileşeni olup, enerji dönüşüm verimliliği, maliyet-etkinlik ve teknolojik inovasyon açısından FV sistemlerin performansını doğrudan etkiler. Tekno-ekonomik analizler, yapay zekâ uygulamaları ve bütünleşmiş

sistem yaklaşımları, eviricilerin optimizasyonuna yönelik devam eden çalışmaların bir parçasıdır ve yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımını teşvik eder.

#### 3.4.4. Batarya (Akü)

Bataryalar FV sistemlerin temel bir bileşeni olup, enerji depolama ve yönetimi konusunda önemli bir rol oynar (Kocaman, 2014). Güneş enerjisinin depolanması ve talep üzerine kullanılabilmesi için kritik bir bileşen olan bataryalar, güneş panelleri tarafından üretilen enerjinin, güneş ışığının bulunmadığı zamanlarda bile kullanılabilmesini sağlar. Güneş enerji teknolojilerinde, jel bataryalar derin deşarj ve maksimum çevrim ömrü özellikleriyle, standart kuru bataryalardan daha dayanıklı olmaktadır (Li vd., 2017). Şekil 15'de jel akünün genel görüntüsü verilmiştir.



Şekil 15. Örnek Jel Akü (URL-9, 2024)

FV tesislerde kullanılan batarya teknolojilerinden biri olan lityum iyon aküler, kullanım alanlarının ve sıklıklarının artmasıyla dikkat çekmektedir. Bu aküler, hafif yapıları ve hızlı şarj edilebilme özellikleri sayesinde tercih edilmektedir. Lityum aküler, kısa şarj süresilerine sahip olup, uzun deşarj süreleri sunarlar. Düzensiz kullanıma uygun olmaları, yani istenilen zaman ve seviyede şarj veya deşarj edilebilmeleri, önemli bir avantajdır. Ayrıca, MPPT (Maximum Power Point Tracking) veya derin şarj ve yüksek şarj voltajı gibi sistem bileşenlerindeki hatalara karşı kendilerini koruma mekanizmaları bulunmaktadır. Bu aküler, özellikle çatı uygulamalarında, düşük ve yüksek sıcaklıklarda stabil çalışma ve daha az verim kaybı sağlama yetenekleri ile öne çıkar.

Batarya sistemleri, elektrikli araçların şarj edilmesi için gereken enerjiyi depolayabilir ve güneş enerjisinin daha geniş bir alanda etkili bir şekilde kullanılmasını

sağlar. Batarya teknolojilerindeki yenilikler, FV sistemlerin verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırırken, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik eder.

### 3.4.5. Trafolar

Eviriciler belirli bir gerilim seviyesinde AC elektrik üretir. Trafolar ise üretilen elektriğin daha uzak mesafelere iletilmesi ve gerilim seviyesinin değiştirilmesi amacıyla kullanılır. PV tesislerde genellikle hermetik tip veya kuru tip trafolar tercih edilmektedir.

Hermetik tip trafolar, yağlı trafolar grubuna girer ve trafo sargıları tamamen yağ içinde yer alır. Bu trafolar tamamen kapalıdır, dolayısıyla herhangi bir arıza durumunda müdahale edilemez; ancak, sorunsuz çalıştığında kısa vadeli bakım gerektirmez. Kuru tip trafolar ise tamamen kurudur ve yangın çıkma riski düşüktür. Bu trafolar soğutma fanı gibi ek donanımlara ihtiyaç duyabilir. Kuru tip trafolar, hermetik trafolarla göre daha yüksek maliyetlidir. PV tesislerde sistem sadece gün ışığında çalıştığından, trafonun boşa çalışma kayıplarının düşük olmasına dikkat edilmelidir. Şekil 16'da hermetik tip trafo örneği gösterilmiştir.

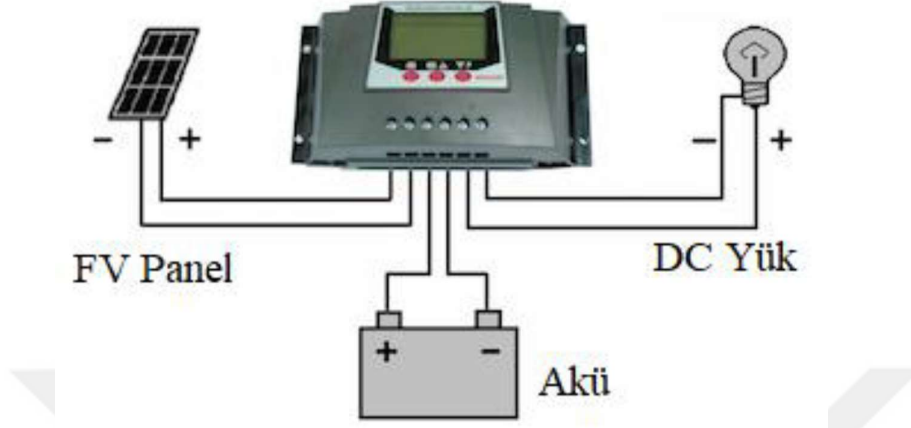


Şekil 16. Hermetik tip trafo örneği (URL-10, 2024)

### 3.4.6. Şarj Kontrol Cihazı (Regülatör)

Şarj kontrol cihazları (regülatörler), FV sistemlerde enerji yönetiminin temel bir parçasıdır ve bataryaların hem güvenli hem de verimli bir şekilde şarj edilip deşarj edilmesini sağlar. Bu cihazlar, bataryaların aşırı şarj olmasını ve enerji depolama kapasitesinin ötesinde deşarj olmasını önleyerek bataryaların ömrünü uzatır. Ayrıca, FV sistemlerinin enerji üretimini ve tüketimini optimize ederek, enerji depolama ve kullanım

süreçlerinde verimliliği artırır. Şekil 17’de şarj regülatörüne ait bağlantı şeması verilmiştir.



Şekil 17. Solar şarj regülatörü bağlantı şeması (Tokul, 2021)

Yüzen FV sistemlerde, rüzgâr ve dalga yüklerinin etkileri, şarj kontrol cihazlarının önemini daha da artırmaktadır. Bu sistemler, çeşitli giriş açılarından kaynaklanan gerilme dağılımlarına maruz kalabilir ve bu durum, enerji yönetimi sistemlerinin, özellikle şarj kontrol cihazlarının, bu dinamik koşulları dikkate alacak şekilde tasarlanması gerektiğini gösterir. Şarj kontrol cihazlarının bu koşullarda etkin bir şekilde çalışabilmesi, sistemin genel dayanıklılığını ve enerji verimliliğini artırır (Choi et al., 2023).

Süper kapasitörlerin kullanımı, şebekeye bağlı FV sistemlerinde enerji akışının yumuşatılması için yeni bir yöntem sunar ve bu durum, şarj kontrol cihazlarının rolünü daha da önemli hale getirir. Süper kapasitörler, yüksek enerji yoğunluğu ve hızlı şarj-deşarj kabiliyetleri ile bilinir ve bu özellikler, FV sistemlerinde enerji dalgalanmalarını etkili bir şekilde yönetmekte kullanılabilir. Bu tür yenilikçi yöntemler, şarj kontrol cihazlarının enerji yönetimi süreçlerinde kritik bir rol oynamasını sağlar, böylece sistem performansı ve enerji verimliliği artırılır (Benavides et al., 2023).

Şarj kontrol cihazları, FV sistemlerin enerji yönetiminde merkezi bir role sahiptir. Bu cihazlar, enerji depolama ve kullanımının optimize edilmesi, sistemin güvenliği ve verimliliğinin artırılması için kritik öneme sahiptir. Yenilikçi enerji yönetimi çözümleri ve şarj kontrol cihazlarının gelişimi, FV sistemlerin performansını, enerji verimliliğini artırmaktadır. Sürdürülebilir enerji sistemlerinin geliştirilmesine önemli katkılarda bulunmaktadır. Bu gelişmeler, enerji depolama ve yönetimi konusunda devam eden araştırmaların bir parçasıdır ve FV teknolojilerin optimizasyonu konusunda yeni ufuklar açmaktadır.

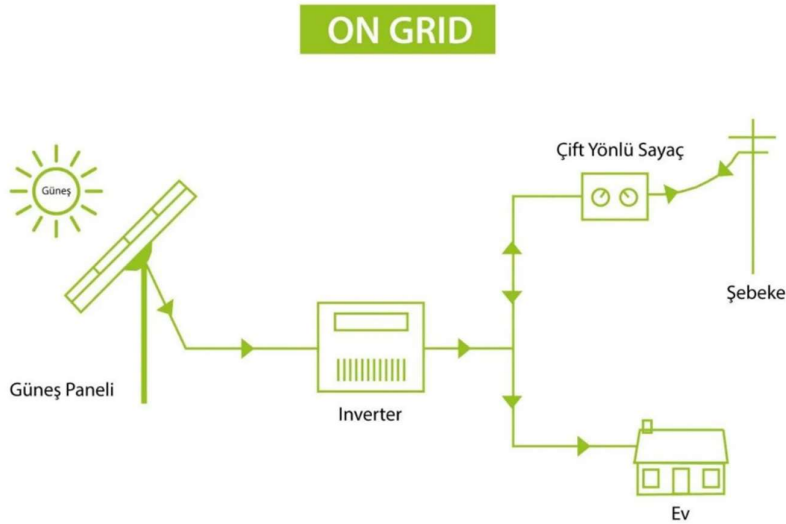
### 3.5. Kullanım Amacına Göre Fotovoltaik Tesis Türleri

FV tesisler, kullanım amaçlarına göre çeşitlilik gösterir ve bu çeşitlilik, sistem tasarımı ve uygulama alanlarına yönelik spesifik ihtiyaçları karşılamak için önemlidir. Günümüzde, güneş enerjisi sistemlerini optimize eden teknolojik ilerlemeler ve enerji yönetimi stratejileri sayesinde, FV sistemlerinin kullanımı daha da yaygınlaşmaktadır. Bu sistemler, maksimum güç noktası izleme (MPPT) teknikleri, enerji öz tüketiminin artırılması ve arıza tanımlama teknikleri gibi yenilikçi yaklaşımlarla geliştirilmektedir.

FV tesislerin kullanım amaçlarına göre çeşitlenmesi, güneş enerjisi sistemlerinin gelişiminde önemli bir faktördür. Maksimum güç noktası izleme, enerji öz tüketiminin artırılması ve arıza tanımlama teknikleri gibi yenilikçi yaklaşımlar, FV sistemlerinin enerji verimliliğini ve performansını artırmak için kritik öneme sahiptir. Bu teknolojik ilerlemeler, FV sistemlerin daha geniş bir kullanım alanına ve çeşitli kullanım amaçlarına uygun hale gelmesine olanak tanır.

#### 3.5.1. Şebeke Bağlantılı (On Grid) Fotovoltaik Sistemler

Şebeke bağlantılı (On Grid) FV sistemler, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürerek doğrudan elektrik şebekesine besleyen sistemlerdir. Bu sistemler, üretilen enerjinin anında kullanılmasını veya fazla enerjinin elektrik şebekesine geri satılmasını sağlar, böylece enerji üretimi ve tüketimi arasında bir denge kurulur. Şebeke bağlantılı FV sistemlerinin yer seçimi ve optimizasyonu, bu sistemlerin verimliliği ve etkinliği açısından kritik öneme sahiptir. Şekil 18’de şebeke bağlantılı sistemin örnek şeması gösterilmiştir.



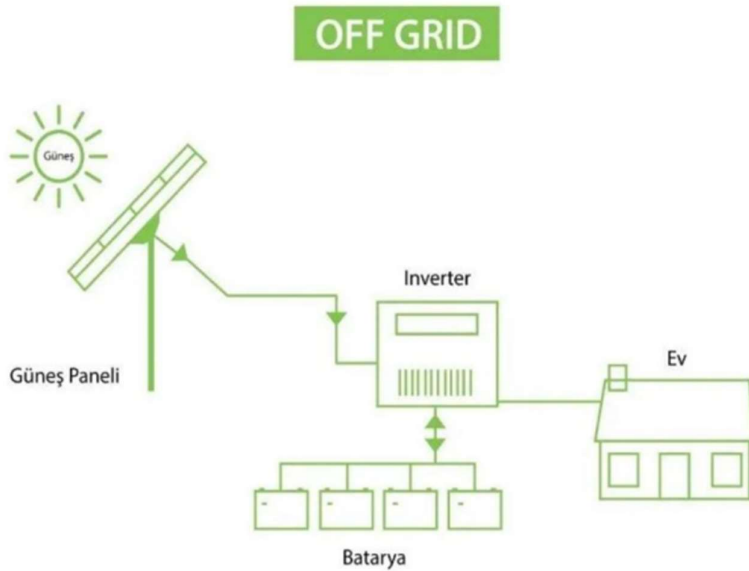
Şekil 18. Şebeke bağlantılı güneş enerji sistemi (Çubukuçu, 2023)

Şebekeye bağlı sistemler kurulurken kurulacak olan tesisin enerji ihtiyacının kapasitesi belirlenmelidir. Türkiye’de bu genel olarak faturada belirtilen sözleşme gücü kadardır. Fakat bu sözleşme gücü kadar kurma zorunluluğu bulunamamaktadır. Aynı şekilde sözleşme gücü yetersiz olması durumunda sözleşme gücünün artışı sağlayarak daha büyük bir enerji santrali kurulması mümkündür. Kurulacak olan güneş enerji santralinin yeri belirlendikten sonra açılış hesabı yapılarak verimliliğin ne kadar olacağı gözlemlenmelidir. Bu verimliliği sağlayacak şekilde ekipmanların da seçimi de büyük önem arz etmektedir.

Şebeke bağlantılı FV sistemlerin tasarımı ve uygulaması, coğrafi ve teknik optimizasyon yaklaşımlarının yanı sıra gelişmiş enerji yönetimi ve arıza tespit tekniklerini içerir. Bu sistemlerin etkin bir şekilde yönetilmesi, enerji üretim ve tüketim dengesinin sağlanmasında önemli bir rol oynar ve yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilir kullanımına katkıda bulunur.

### 3.5.2. Şebekeden Bağımsız (Off Grid) Fotovoltaik Sistemler

Şebeke bağlantısız (Off Grid) FV sistemler, merkezi elektrik şebekesine bağlanmadan enerji üretim ve tüketimini mümkün kılan bağımsız sistemlerdir. Bu sistemler, özellikle uzak bölgelerde, elektrik şebekesinin erişilemediği alanlarda veya şebeke bağlantısının maliyeti yüksek olan durumlarda tercih edilir. Aküler kullanılarak üretilen enerji depo edilmekte ve istenildiği anda aküden enerji ihtiyacını karşılanabilmektedir. Şekil 19’da şebekeden bağımsız sistem şeması gösterilmiştir.



Şekil 19. Şebekeden bağımsız güneş enerji sistemi (Çubukuçu, 2023)

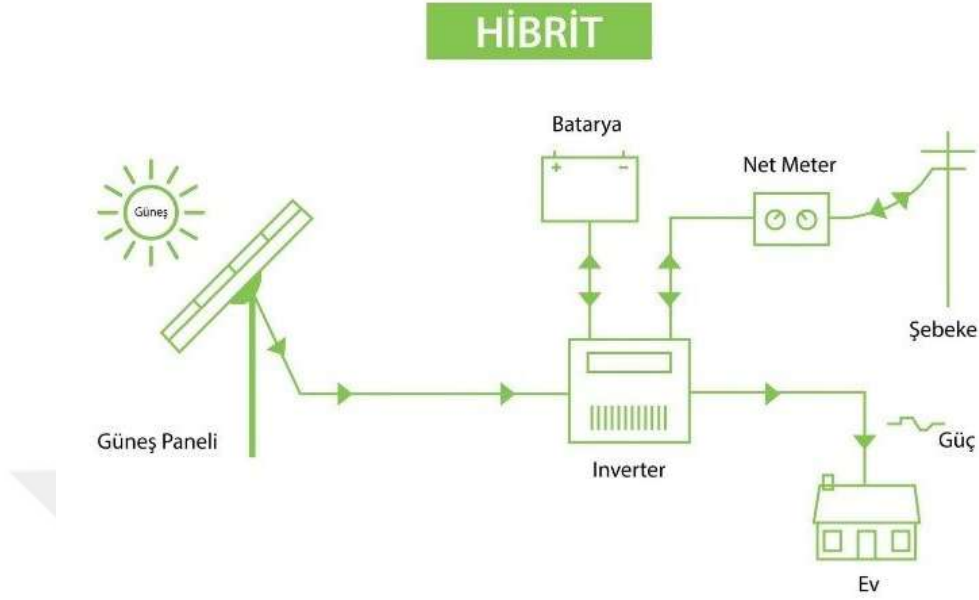
Akülerin yanında sistemin korumasının sağlanması açısından şarj kontrol cihazı kullanılması gerekmektedir. Bu tip sistemlerde çalıştırılan cihazların (özellikle motorlu olan cihazlar) demeraj akımı olması sebebiyle kurulacak olan tesisin bu akımı kaldıracak seviyede olması gerekmektedir. Off Grid FV sistemlerin etkinliği, enerji depolama çözümleri ve enerji yönetimi teknolojileri gibi bileşenlere büyük ölçüde bağlıdır.

Çift girişli çift çıkışlı dönüştürücüler, Off Grid solar FV sistemlerinin verimliliğini artırmada önemli bir role sahiptir. Bu dönüştürücüler, solar panellerden gelen enerjinin daha verimli kullanılmasını sağlayarak, enerji üretimindeki uyumsuzluk kayıplarını azaltır. Geliştirilen dinamik bir uyumsuzluk kaybı azaltma algoritması ile birleştiğinde, bu dönüştürücüler, Off Grid sistemlerin enerji yönetimini optimize eder ve böylece sistemlerin genel enerji verimliliğini ve güvenilirliğini artırır.

Şebeke bağlantısız FV sistemler, bağımsız enerji üretim ve yönetim çözümleri sunar. Bu sistemlerde kullanılan çift girişli çift çıkışlı dönüştürücüler, MPPT teknikleri ve enerji yönetimi algoritmaları gibi teknolojik ilerlemeler, Off Grid sistemlerin verimliliğini ve güvenilirliğini artırmada önemli bir role sahiptir. Bu yenilikler, Off Grid FV sistemlerinin enerji üretim kapasitesini optimize eder ve sürdürülebilir enerji kaynaklarından maksimum düzeyde yararlanılmasını sağlar. Bu ilerlemeler, FV teknolojilerin geliştirilmesi ve enerji sistemlerinin sürdürülebilirliği konusunda devam eden araştırmaların bir parçasıdır.

### **3.5.3. Hibrit Fotovoltaik Sistemler**

Hibrit FV sistemler, güneş enerjisini ve genellikle bir veya daha fazla yenilenebilir veya geleneksel enerji kaynağını entegre eden karma sistemlerdir. Bu sistemler, enerji üretiminde süreklilik ve güvenilirlik sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Birden fazla enerji kaynağının entegrasyonu ve yönetimi, sistemin tasarımı ve bakımı açısından daha karmaşıktır. Bu sistemlerin kurulumu, geleneksel FV sistemlere göre daha pahalı olabilir. Birden fazla kullanılan enerji kaynaklarının entegrasyonu ve yönetimi, sistemin tasarımı ve bakımı açısından daha karmaşıktır. Hibrit FV sistemlerinin optimal boyutlandırılması, güç kalitesi hususlarını dikkate alarak, bağımsız güneş FV sistemlerinin enerji verimliliğini ve operasyonel performansını artırma potansiyeline sahiptir. Bu yaklaşım, enerji üretimini maksimize etmek ve enerji tüketim ihtiyaçlarını karşılamak için sistem bileşenlerinin etkin bir şekilde entegre edilmesini sağlar (Hassan et al., 2023). Şekil 20’de hibrit sistem şeması gösterilmiştir.



Şekil 20. Hibrit sistem güneş enerji sistemi (URL-11, 2024)

### 3.6. Fotovoltaik Sistemlerin Kurulum Tipleri

FV sistemlerin kurulum tipleri, enerji üretiminde çeşitlilik ve uygulamanın esnekliği açısından önemli bir yelpaze sunar. Bu sistemler, çevresel koşullar, enerji talebi ve mevcut altyapıya göre farklı kurulum stratejileri kullanarak optimize edilebilir. FV sistemlerinin performansı üzerindeki kısmi gölgeleme koşulları, sıcak nokta oluşumu ve hızla değişen çalışma koşulları gibi çeşitli faktörlerin etkisi, sistem tasarımı ve yönetimi için önemli hususlardır.

FV sistemlerinin kurulum tipleri ve bu sistemlerde kullanılan yenilikçi teknolojiler, enerji üretimi ve yönetiminde önemli bir esneklik ve etkinlik sağlar. Kısmi gölgeleme koşulları, sıcak nokta oluşumu ve hızla değişen çalışma koşullarına yönelik geliştirilen çözümler, FV sistemlerinin güvenilirliğini ve performansını artırır.

#### 3.6.1. Arazi Tipi Fotovoltaik Sistemler

Arazi tipi FV sistemler, geniş araziler üzerine kurulan ve yüksek enerji üretim kapasitesine sahip sistemlerdir. Bu sistemler, genellikle büyük ölçekli enerji taleplerini karşılamak veya elektrik şebekelerine ek enerji sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Arazi tipi FV sistemlerinin performansı, hızla değişen çalışma koşullarına, çevresel faktörlere ve teknolojik optimizasyonlara bağlı olarak değişiklik gösterebilir.

Arazi tipi FV sistemler Dünya genelinde en çok tercih edilen FV sistem tipidir. Bu tesisler genelde ticari amaçlı olarak kullanıldığı için amortisman sürelerinin düşmesi ile birlikte ciddi bir yönelim olmuştur. Lisanslı ve lisanssız olarak iki şekilde yönetmeliği olup lisanslı santraller lisanssız santrallere göre daha büyük güçlerdedirler. Arazi tipi güneş enerji sistemlerinde kurulumundan önce arazi seçim aşaması büyük önem arz etmektedir. Arazinin eğimi, arazinin özellikleri, arazinin DSİ sulama alanı içerisinde olmaması gerektiği, tarıma elverişsiz olduğunu gösterecek statüde olması, enerji nakil hatlarına uzaklığı, arazinin toprak türü, gölgeleme yapacak engel bulunmaması, bölgenin iklim koşulları da büyük önem arz etmektedir. Şekil 21’de arazi tipi sistem için örnek verilmiştir.



Şekil 21. Arazi tip fotovoltaik sistem örneği (URL-12, 2024)

Arazi seçimi yapıldıktan sonra resmi sürecin olduğu kısım başlamaktadır. Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliğinin incelenerek, ilk aşama ilgili dağıtım şirketine çağrı mektubu başvurusu yapılması gerekmektedir. 21.05.2019 tarih ve 30780 sayılı resmi gazetede yayınlanan Lisanssız elektrik üretimi başvurularında sunulması gereken belgeler ile birlikte dağıtım şirketine ay sonuna kadar başvuru yapılması gerekmektedir (URL-13, 2024). Başvuru yapıldıktan sonraki süreçte ön değerlendirme ve teknik değerlendirmeden geçerek bağlantı anlaşmasına çağrı mektubunu almaya hak kazanılmaktadır. Bu süreç yaklaşık olarak 2-3 ayı bulabilmektedir. Çağrı mektubu geldikten sonra TEDAŞ veya ilgili dağıtım şirketi üzerinden tesisin uygulanacak projesinin onayı yaptırılacaktır. Daha sonrasında onaylı

projelerle birlikte bağlantı anlaşması yapılması gerekmektedir. Bağlantı anlaşması ile birlikte tesisin kurulumuna başlanılabilmektedir. Tesis kurulumu tamamlandıktan sonra TEDAŞ veya ilgili dağıtım şirketi tarafından tesisin geçici kabulü yapılması gerekmektedir. Kabulü yapılan bir tesisin son aşama olan sistem kullanım anlaşması ile birlikte artık şebekeye enerji aktarımını yapabilmektedir.

Arazi tipi FV sistemlerde zemine beton ayak veya zemine konstrüksiyon çakımı ile uygulama yapılmaktadır. Bu konstrüksiyonlar yerleşim planına göre oluşturan statik proje hesaplamalarına göre üretilmektedir. Arazi tipi uygulamalarda uzun ömürlü olmaları sebebiyle genel olarak daldırma galvaniz çelik konstrüksiyonlar kullanılmaktadır. Arazi tipi uygulamalarında sabit açılı konstrüksiyon, tek eksen kontrollü konstrüksiyon ve çift eksenli konstrüksiyon olarak üç sınıfa ayrılmaktadır.

Hibrit Maksimum Güç Noktası İzleme (MPPT) teknikleri, arazi tipi FV sistemlerinde enerji üretimini optimize etmek için kullanılır. Bu teknikler, artımlı iletkenlik-integral geri adımlama denetleyicileri gibi gelişmiş kontrol mekanizmaları ile birleştirildiğinde, sistemin hızla değişen çalışma koşullarına dinamik bir şekilde uyum sağlamasını ve enerji üretimini maksimize etmesini sağlar. Bu yaklaşım, arazi tipi FV sistemlerinin verimliliğini ve enerji üretim kapasitesini artırır (Harrison et al., 2023).

Çevresel faktörler, arazi tipi FV sistemlerinin performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kirlenme, eğim açısı ve güneş ışınımı gibi faktörler, panellerin enerji toplama kapasitesini etkileyebilir. Bu faktörlerin etkisinin değerlendirilmesi, sistem tasarımı ve bakım stratejilerinin optimizasyonunda kritik öneme sahiptir. Panellerin düzenli temizlenmesi ve optimal eğim açısının belirlenmesi, arazi tipi FV sistemlerinin uzun vadeli performansını ve enerji verimliliğini artırır (Nwokolo et al., 2023).

Arazi tipi FV sistemler, büyük ölçekli enerji üretimi için önemli bir potansiyele sahiptir. Bu sistemlerin optimizasyonu ve yönetimi, hibrit MPPT teknikleri, çevresel faktörlerin dikkate alınması ve gelişmiş invertör teknolojilerinin kullanımı gibi faktörlere bağlıdır. Bu faktörlerin etkin bir şekilde yönetilmesi, arazi tipi FV sistemlerinin enerji verimliliğini ve operasyonel performansını artırır. Bu da yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını teşvik eder.

### **3.6.2. Çatı Üstü Fotovoltaik Sistemler**

Çatı üstü FV sistemler, konut ve ticari binaların çatılarında kurularak güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten sistemlerdir. Bu sistemler, binaların mevcut altyapısını etkin bir şekilde kullanarak yenilenebilir enerji üretimine olanak tanır ve enerji

maliyetlerini azaltır. Çatı üstü FV sistemlerinin performansı ve güç kalitesi, kullanılan teknolojik çözümler ve kontrol stratejileri ile doğrudan ilişkilidir. Şekil 22’de çatı üstü FV sistemler için örnek gösterilmiştir.



Şekil 22. Çatı üstü fotovoltaik sistem örneği (URL-14, 2024)

FV senaryoların uzaktan algılanması, çatı üstü FV sistemlerinin planlanması ve yönetimi için önemli bir araçtır. Uzaktan algılama teknikleri, potansiyel kurulum alanlarının belirlenmesi, sistem tasarımının optimize edilmesi ve mevcut sistemlerin performansının izlenmesi gibi bir dizi uygulamada kullanılabilir. Bu teknikler, FV sistemlerin daha geniş bir çapta ve etkin bir şekilde kullanılmasına olanak tanırken, gelecekteki gelişim yönlerine ilişkin önemli bilgiler sunar (Chen et al., 2023).

Çatı üstü FV sistemler, yenilenebilir enerji üretimi için stratejik bir seçenektir. Bu sistemlerin optimizasyonu ve yönetimi, bulanık tabanlı invertörler, makine MPPT teknikleri ve uzaktan algılama gibi yenilikçi teknolojiler sayesinde gerçekleştirilmektedir. Bu teknolojik ilerlemeler, çatı üstü FV sistemlerinin performansını artırırken, yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını teşvik eder. Bu gelişmeler, FV teknolojilerin optimizasyonu ve enerji sistemlerinin sürdürülebilirliği konusunda devam eden araştırmaların bir parçasıdır.

### 3.6.3. Kanal Üstü Fotovoltaik Sistemler

Kanal üstü FV sistemler, su yüzeyleri üzerine monte edilen yenilenebilir enerji üretim sistemleridir. Bu sistemler, özellikle sulama kanalları, barajlar ve diğer su yapıları üzerinde kurularak, kullanılmayan su yüzeylerini etkin bir şekilde enerji üretim alanlarına dönüştürür. Kanal üstü FV sistemlerinin optimizasyonu ve yönetimi, artan enerji taleplerini karşılamak ve su kaynaklarını korumak için stratejik bir yaklaşım sunar.

FV dizisinin performans iyileştirmesi, kanal üstü sistemlerin enerji yönetimi stratejilerinde önemli bir yer tutar. Bu algoritma, sistemden elde edilen enerjinin sürekli olarak optimize edilmesini ve enerji üretim süreçlerinde verimliliğin artırılmasını sağlar. Algoritmanın uygulanması, FV sistemlerinin enerji üretim kapasitesini artırır ve genel sistem performansını iyileştirir. Şekil 23'te kanal üstü sistemler adına örnek gösterilmiştir.



Şekil 23. Kanal üstü fotovoltaik sistem örneği (URL-15, 2024)

Kanal üstü FV sistemler, su yüzeylerini etkin bir şekilde kullanarak yenilenebilir enerji üretimini artıran yenilikçi bir çözümdür. IoT izleme sistemleri, MPPT teknikleri ve performans iyileştirme algoritmaları gibi teknolojik ilerlemeler, bu sistemlerin optimizasyonu ve yönetiminde kritik öneme sahiptir. Bu teknolojik çözümler, kanal üstü FV sistemlerinin enerji verimliliğini ve operasyonel performansını artırırken, yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını teşvik eder. Bu gelişmeler, FV teknolojilerin optimizasyonu ve enerji sistemlerinin sürdürülebilirliği konusunda devam eden araştırmaların bir parçasıdır.

### 3.6.4. Konut Tipi Fotovoltaik Sistemler

Konut tipi FV sistemler, bireysel evlerde güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılan sistemlerdir. Bu sistemler, sürdürülebilir enerji kaynaklarına erişimi artırarak ve elektrik faturalarını düşürerek konut sahipleri için ekonomik ve çevresel faydalar sunar. Konut tipi FV sistemlerinin planlanması ve optimizasyonu, enerji üretimini maksimize etmek ve şehirlerdeki enerji talebini karşılamak için stratejik öneme sahiptir. Şekil 24’te konut tipi FV sistem için örnek verilmiştir.



Şekil 24. Konut tipi fotovoltaik sistem örneği (URL-16, 2024)

Yüksek yoğunluklu şehirlerde, çatı alanının kısıtlı olması, maksimum güneş enerjisi üretimi ile belediye ölçeğinde dağıtılmış çatı üstü FV sistemlerin optimum planlanmasını zorunlu kılar. Bu tür şehirlerde, çatı üstü alanın etkin kullanımı ve FV sistemlerinin enerji üretim kapasitesinin optimize edilmesi, sürdürülebilir şehir planlamasının önemli bir parçasıdır. Optimum planlama, enerji üretimini artırırken, şehirlerin enerji ihtiyaçlarını daha sürdürülebilir ve verimli bir şekilde karşılamayı amaçlar.

Net ölçüm ve Tarife Garantisi politikaları, konut tipi FV sistemlerinin ekonomik cazibesini artırabilir. Bangladeş gibi gelişmekte olan ülkelerde, bu politikalar, gelecekteki endüstriyel FV sistemleri için optimum faturalandırma planlarının geliştirilmesine olanak tanır. Net ölçüm, üretilen fazla enerjinin elektrik şebekesine satılmasını sağlar, Tarife Garantisi ise FV sistemlerinden elde edilen enerjinin satış fiyatını garanti eder. Bu politikalar, konut tipi FV sistemlerinin yaygınlaşmasını teşvik eder ve yenilenebilir enerji kullanımını artırır (Kabir et al., 2023).

Konut tipi FV sistemler, bireysel enerji üretimi ve tüketiminde devrim yaratma potansiyeline sahiptir. Bu sistemlerin planlanması ve optimizasyonu, enerji üretimini maksimize etmek, enerji maliyetlerini düşürmek ve sürdürülebilir enerji kullanımını teşvik etmek için kritik öneme sahiptir. Yüksek yoğunluklu şehirlerdeki optimum planlama, net ölçüm ve Tarife Garantisi politikaları ve MRAC-MPPT gibi yenilikçi teknolojiler, konut tipi FV sistemlerinin etkinliğini ve ekonomik değerini artırır. Bu ilerlemeler, FV teknolojilerin optimizasyonu ve enerji sistemlerinin sürdürülebilirliği konusunda devam eden araştırmaların bir parçasıdır.

### 3.6.5. Açık Deniz Fotovoltaik Sistemler

Açık deniz FV sistemler, denizlerde veya büyük su kütleleri üzerinde kurulan yenilenebilir enerji üretim sistemleridir. Bu sistemler, karasal alanların sınırlı olduğu bölgelerde veya kara üzerindeki yerleşim alanlarının korunması gereken durumlarda önemli bir alternatif enerji kaynağı sunar. Açık deniz FV sistemlerinin gelişimi, yenilenebilir enerji teknolojilerinin sınırlarını genişletir ve denizlerin büyük potansiyelini enerji üretimi için kullanmayı amaçlar.

FV sistem dönüşümü, açık deniz FV sistemlerinin tasarımı ve kurulumu konusunda önemli bilgiler sunar. Bu dönüşüm süreci, sistem bileşenlerinin seçimi, enerji dönüşüm mekanizmalarının optimizasyonu ve enerji yönetimi stratejilerinin geliştirilmesini kapsar. Etkin bir sistem, açık deniz FV sistemlerinin enerji üretim kapasitesini artırır ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik eder.

Şekil 25'te açık deniz FV sistemine ait örnek verilmiştir.



Şekil 25. Açık deniz FV sistem örneği (URL-17, 2024)

#### 4. YÜZER FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

Yüzer FV sistemler, kara üzerinde kurulu FV sistemlerin yüzdürücü bir platform aracılığıyla su üzerine yerleştirilmesi prensibine dayanan bir teknolojidir. Bu sistemler, uzun yıllardır kullanılan kara tipi FV sistemlerle aynı çalışma prensiplerini kullanır. Bu teknolojinin amacı, FV sistemlerden enerji üretirken değerli arazileri kullanmak yerine, dünyanın %70'ini kaplayan su yüzeylerini kullanarak karasal alanların daha verimli kullanılmasını sağlamaktır. Ayrıca, su yüzeylerini yüzdürücü sistemlerle kaplayarak buharlaşmayı azaltma avantajı sunar.



Şekil 26. Yüzer fotovoltaik sistem örneği (URL-18, 2024)

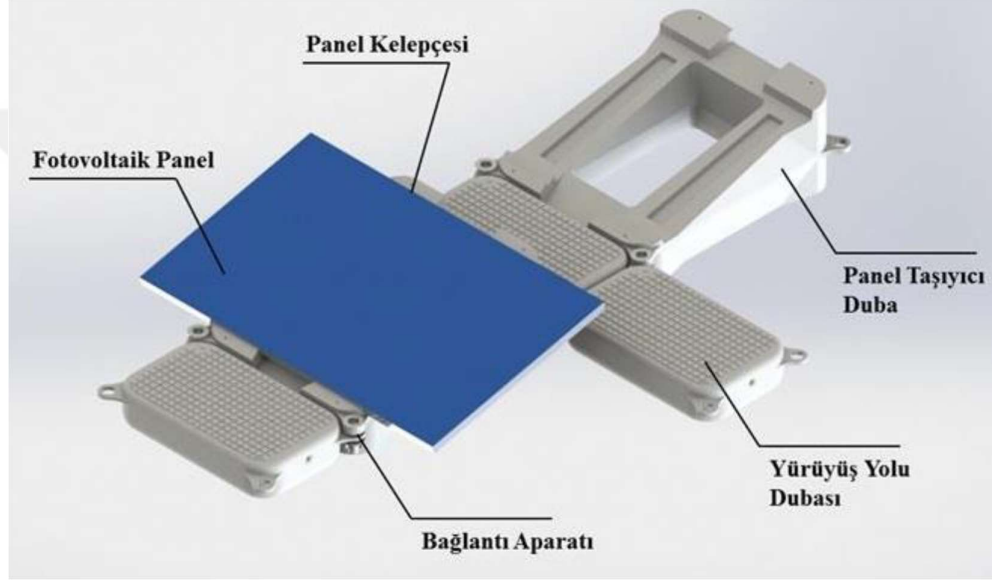
##### 4.1. Yüzer Fotovoltaik Sistemi Oluşturan Öğeler

Yüzer FV sistemlerinin temel bileşenleri arasında, güneş panellerini su yüzeyinde tutan yüzdürücü sistemler, elektriksel bağlantıları sağlayan kablolar ve enerji dönüşümü için gerekli invertörler bulunur. Yüzer sistemlerin tasarımı ve kurulumu, enerji üretimini maksimize etmek ve su yüzeyinden en iyi şekilde yararlanmak için dikkatli bir şekilde planlanmalıdır.

Yüzer FV sistemler, yenilenebilir enerji üretiminde önemli bir yenilik sunar. Bu sistemlerin başarısı, yüzdürücü yapılar, elektriksel bağlantılar ve enerji dönüşümü için gerekli ekipmanların entegrasyonuna ve sistemlerin çevresel ve teknik koşullara uygun olarak tasarlanmasına bağlıdır. Yüzer FV sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması, enerji üretiminin sürdürülebilirliğine ve verimliliğine katkıda bulunur (Tokul, 2021; Erduman et al., 2020; Göllü, 2022).

#### 4.1.1. Yüzdürücü Sistem (Duba)

Yüzdürücü sistemler, yani dubalar, yüzer FV sistemlerin temel bileşenidir ve bu sistemlerin su yüzeyinde dengeli bir şekilde kalmasını sağlar. Bu dubalar, FV panelleri, invertörler ve diğer elektriksel bileşenleri desteklemek üzere tasarlanmış olup, suyun üzerinde güvenli bir enerji üretimi ortamı sunar. Yüzdürücü sistemlerin tasarımı ve malzeme seçimi, sistemlerin verimliliği, dayanıklılığı ve operasyonel ömrü üzerinde doğrudan etkilidir.



Şekil 27. Yüzdürücü duba ve aksamı (Tokul, 2021)

Yüzdürücü sistemlerin tasarımı ve malzeme seçimi, yüzer FV sistemlerin başarısında kritik bir rol oynar. Yüzer sistemler için enerji depolama çözümleri, çift taraflı FV paneller ve çevresel faktörlerin sistem performansı üzerindeki etkileri gibi konular, bu sistemlerin verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırma potansiyeline sahiptir (Erken, 2022; Gökce, 2020).

#### 4.1.2. Panel Taşıyıcı Duba

Panel taşıyıcı dubalar, yüzer FV sistemlerde kullanılan kritik bileşenlerdir, güneş panellerini su üzerinde taşıyarak enerji üretimi için gerekli sabit platformu sağlarlar. Bu dubaların malzeme seçimi, yapısal tasarımı ve yerleşimi, sistemlerin verimliliği, dayanıklılığı ve güvenliğini doğrudan etkiler. Optimal panel taşıyıcı duba tasarımı, enerji üretim kapasitesini artırırken, aynı zamanda su ekosistemlerine olan etkileri en aza indirmeyi amaçlar.

Panel taşıyıcı dubalar ve üzerlerine monte edilen FV paneller, yüzer FV sistemlerinin temelini oluşturur. Nano yapıli kaplamalar, ekonomik değerlendirme analizleri ve enerji optimizasyon teknikleri gibi yenilikçi çözümler, bu sistemlerin verimliliğini ve ekonomik değerini artırma potansiyeline sahiptir (Sarkın, 2022).

#### **4.1.3. Yürüme Yolu Dubası**

Yürüme yolu dubaları, yüzer FV sistemlerdeki anahtar bileşenlerden biridir ve sistem bakımı, izleme ve erişim kolaylığı sağlamak amacıyla kullanılır. Bu dubalar, yüzer FV sistemlerinin güvenli ve etkin bir şekilde işletilmesi için gerekli altyapıyı oluşturur. Yürüme yolu dubalarının tasarımı, malzeme seçimi ve yerleşimi, sistemin genel güvenliğini ve erişilebilirliğini doğrudan etkiler. Dubalar, yüzer sistemin üzerinde çalışan personelin güvenliğini sağlamak için yeterince geniş ve dengeli olmalıdır. Ağırlık taşıma kapasitesi yüksek olup, aynı zamanda yüzer sistemin genel stabilitesine katkıda bulunur.

Yüzer FV sistemlerinde yürüme yolu dubalarının önemi, sadece sistem erişimi ve güvenliği açısından değil, aynı zamanda enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik açısından da büyüktür. Enerji tüketiminin azaltılması, otomatik bitki sulama sistemlerinin entegrasyonu ve biyomimetik tasarım ilhamları gibi konular, yüzer FV sistemlerinin optimizasyonu ve işletilmesinde önemli faktörlerdir (Duran, 2020).

#### **4.1.4. Diğer Duba Türleri**

Yüzer FV sistemlerin tasarımı ve uygulamasında kullanılan duba türleri, sistemlerin verimliliğini, dayanıklılığını ve çevresel uyumunu önemli ölçüde etkileyebilir. Yüzer FV sistemlerinde kullanılan duba türleri arasında, panel taşıyıcı dubaların yanı sıra, enerji üretimi, bakım ve erişim kolaylığı için özel olarak tasarlanmış diğer duba türleri de bulunur. Bu çeşitlilik, yüzer FV sistemlerinin farklı su kütleleri ve çevresel koşullara uygun olarak özelleştirilmesine olanak tanır.

Yüzer FV sistemlerde kullanılan duba türleri, sistemlerin performansı ve sürdürülebilirliği üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. FV sistemlerin çeşitli uygulama alanlarından elde edilen bilgiler, yüzer FV sistemlerinin tasarımı ve optimizasyonunda kullanılabilir. Bu bilgiler, yüzer FV sistemlerinin ekonomik ve çevresel açıdan değerlendirilmesine ve geliştirilmesine önemli katkılarda bulunur (Özkök, 2015)

#### **4.1.5. Sabitleme Sistemi**

Sabitleme sistemi, yüzer FV sistemlerin temel bileşenlerinden biri olarak su yüzeyindeki FV panel ve dubaların stabilitesini sağlar. Bu sistem, yüzer FV panellerin aşırı hava koşulları, dalgalanmalar ve diğer su hareketlerine karşı korunmasında hayati öneme sahiptir. Sabitleme sistemlerinin tasarımı, malzeme seçimi ve yerleşimi, yüzer FV sistemlerinin güvenliği, dayanıklılığı ve enerji üretim verimliliği üzerinde doğrudan etkiler yaratır.

Gölgeleme bileşeni olarak kullanılan FV panellerin enerji etkinliğinin değerlendirilmesi üzerine yapılan bir çalışma, sabitleme sistemlerinin tasarımının, yüzer FV panellerin güneş ışığına maruziyetini ve dolayısıyla enerji üretim verimliliğini nasıl etkileyebileceğine dair değerli bilgiler sunar. Yüzer sistemlerde sabitleme sistemlerinin optimizasyonu, panellerin ideal açıda ve konumda tutulmasını sağlayarak gölgeleme etkilerini minimize edebilir ve enerji üretimini maksimize edebilir (Cer, 2015).

Yüzer FV sistemlerde sabitleme sistemlerinin tasarımı ve uygulaması, çevresel koşullar, su derinliği ve taban yapısı, bakım ve dayanıklılık, yasal ve güvenlik standartları gibi şartları sağlaması gerekmektedir. Gölgeleme etkilerinin yönetimi ve uzaktan algılama teknolojileri gibi yenilikler, sabitleme sistemlerinin optimizasyonu ve yüzer FV sistemlerinin genel performansının artırılması konusunda değerli katkılarda bulunur (Benavides et al., 2023; Cer, 2015; Chen et al., 2023).

#### **4.1.6. Elektriksel Bağlantı**

Elektriksel bağlantı, yüzer FV sistemlerin temel bileşenlerinden biridir ve güneş panellerinden üretilen elektriği invertörlere ve sonrasında elektrik şebekesine veya depolama birimlerine aktarır. Bu bağlantılar, sistemlerin enerji verimliliği, güvenliği ve işletilebilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Elektriksel bağlantıların tasarımı ve yerleşimi, maksimum enerji transfer verimliliğini sağlamak ve elektrik kayıplarını minimize etmek için dikkatle planlanmalıdır.

İş güvenliği eğitimlerinde sanal gerçeklik yaklaşımının kullanılması, elektriksel bağlantıların kurulumu ve bakımı sırasında karşılaşılabilecek risklerin azaltılmasında önemli bir rol oynayabilir. Sanal gerçeklik teknolojisi, teknisyenlerin ve mühendislerin güvenli bir ortamda eğitim almasını sağlayarak, FV güç sistemlerinin kurulumu ve bakımı sırasında karşılaşılabilecek tehlikeler hakkında farkındalık yaratır. Bu yaklaşım, yüzer FV sistemlerinde elektriksel bağlantıların güvenli bir şekilde yönetilmesine katkıda bulunur (Erten, 2023).

Yüzer FV sistemlerde elektriksel bağlantıların tasarımı ve yönetimi, sistemlerin enerji verimliliği, güvenliği ve sürdürülebilirliği için kritik öneme sahiptir. Sanal gerçeklik tabanlı iş güvenliği eğitimleri, yeni arıza tanımlama teknikleri ve Perturb & Observe algoritması gibi yenilikçi çözümler, elektriksel bağlantıların optimizasyonunda ve yüzer FV sistemlerinin genel performansının artırılmasında değerli katkılarda bulunur. Bu ilerlemeler, yüzer FV sistemlerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması konusunda önemli adımlar sunar, yenilenebilir enerji teknolojilerinin etkin ve sürdürülebilir kullanımını teşvik eder.

#### **4.1.7. Diğer Bağlantı Ekipmanları**

Yüzer FV sistemlerde kullanılan diğer bağlantı ekipmanları, sistemlerin enerji üretim verimliliğini, güvenliğini ve dayanıklılığını artıran önemli unsurlardır. Bu ekipmanlar arasında invertörler, kablo bağlantıları, koruma cihazları ve izleme sistemleri bulunur. Bu bileşenlerin seçimi ve entegrasyonu, yüzer FV sistemlerinin genel performansını önemli ölçüde etkiler.

Yüzer FV sistemlerde kullanılan diğer bağlantı ekipmanları, sistemlerin performansı ve sürdürülebilirliği üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Gelişmiş kontrol algoritmaları, yenilikçi uygulama alanları ve stratejik yer seçimi yöntemleri gibi çeşitli faktörler, bu ekipmanların seçimi ve entegrasyonunda kritik rol oynar.

#### **4.2. Yüzer Ges Tasarım Faktörleri**

Yüzer güneş enerjisi santrallerinin (GES) tasarımında dikkate alınması gereken çeşitli faktörler bulunmaktadır. Yüzer Ges'lerin kurulacağı su kütesinin türü tasarım sürecinde ilk dikkate alınması gereken unsurlardır. Her su kütesi, kendine özgü avantajlar ve zorluklar sunar. Bölgedeki maksimum rüzgar hızları ve yönleri, su yüzeyindeki dalga hareketleri ve akıntılar dikkate alınarak sistemin dayanıklılığı sağlanmalıdır. Su derinliği ve taban yapısına göre uygun sabitleme yöntemleri seçilmelidir. Panellerin su yüzeyi ile optimum temasını sağlamak, enerji üretimini maksimize eder. Yüzer Ges projeleri yerel ve ulusal yasal düzenlemelere uygun olarak gerçekleştirilmelidir.

Yüzer GES tasarımı, geniş kapsamlı bir değerlendirme ve detaylı planlama gerektirir. Yer seçimi, çevresel etkiler, iklim ve hava koşulları, yüzdürme ve sabitleme sistemleri, fotovoltaik paneller ve elektrik bileşenleri, soğutma ve verimlilik, bakım ve operasyon, maliyet ve ekonomik analizler, yasal ve düzenleyici gereklilikler ile teknik ve

mühendislik hususları dikkatlice ele alınmalıdır. Bu faktörlerin doğru bir şekilde ele alınması, yüzer GES'in uzun ömürlü, verimli ve ekonomik olmasını sağlar, böylece yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı için önemli bir katkı sunar (Akcan vd., 2020).

#### **4.2.1. Rezervuarın/Göletin Düzeni**

Rezervuar ve göletlerin düzeni, yüzer FV sistemlerin kurulumu ve işletilmesi için kritik bir faktördür. Bu su kütlelerinin fiziksel özellikleri, yerleşim alanları, su seviyelerindeki değişiklikler ve çevresel etkiler, yüzer FV sistemlerinin tasarımı, kapasitesi ve enerji verimliliği üzerinde doğrudan etkiler yaratır. Rezervuar ve göletlerin düzeni, yüzer FV sistemlerin optimum yerleşimini belirlemede ve sistemlerin maksimum enerji üretim potansiyelini sağlamada kritik öneme sahiptir.

Yüzer güneş enerji santrallerinde (GES) rezervuarın düzeni, sistemin verimli çalışması ve çevresel etkilerin minimize edilmesi için kritik bir faktördür. Rezervuar düzeni, yüzer GES'in kurulacağı su kütlelerinin fiziksel ve çevresel özelliklerine göre dikkatlice planlanmalıdır. İşte bu düzenin tasarımında dikkate alınması gereken ana unsurlar: yerleşim düzeni, su yüzeyinin kullanımı, çevresel etkiler, yüzdürme ve sabitleme sistemleri, bakım ve erişim, elektriksel düzen, güvenlik ve izleme gibi unsurlar dikkate alınmalıdır (Turhan ve Çetiner, 2012).

Rezervuar ve göletlerin düzeni, yüzer FV sistemlerin tasarımı ve performansı için hayati öneme sahiptir. Bu su kütlelerinin fiziksel ve çevresel özellikleri, yüzer FV sistemlerin yerleşimini ve enerji üretim verimliliğini doğrudan etkiler. Performans değerlendirmesi, arıza teşhisi ve güneş enerjisi potansiyelinin analizi gibi çeşitli çalışmalar, bu su kütlelerinin düzeninin yüzer FV sistemlerin optimizasyonu ve işletilmesinde kritik bir rol oynadığını göstermektedir (Varınca & Gönüllü, 2006)

#### **4.2.2. Yüzdürücü Sistem Tasarımı**

Yüzer güneş enerji santralleri için tasarlanan yüzdürücü sistemler, fotovoltaik panelleri su üzerinde stabil bir şekilde tutarak enerji üretimini sağlayan önemli yapı elemanlarıdır. Bu sistemlerin tasarımı, malzeme seçimi, modüler yapı, kaldırma kapasitesi, sabitleme mekanizmaları, panel destek yapıları, elektrik bileşenleri, bakım ve erişim imkanları ile güvenlik ve izleme sistemlerini içerir. Her bir unsuru doğru şekilde planlamak, sistemin uzun ömürlü, dayanıklı ve çevre dostu olmasını sağlar. Yüzer güneş

enerji santrallerindeki başarılı tasarımlar, güneş ışığını maksimize ederek enerji verimliliğini artırır ve çevresel etkileri minimize eder.

Yüzdürücü sistem tasarımı, yüzer FV sistemlerin kurulumu ve işletilmesinde kritik bir öneme sahiptir. Bu tasarım, sistemlerin su üzerinde stabil bir şekilde durmasını sağlarken, aynı zamanda rüzgâr, dalga ve diğer çevresel faktörlerin oluşturabileceği stres ve gerilmelere karşı dayanıklılığı garanti eder. Yüzdürücü sistemlerin mühendislik ve tasarım süreçleri, yüzer FV sistemlerinin enerji verimliliğini, dayanıklılığını ve çevresel uyumunu doğrudan etkiler (Choi et al., 2023).

Yüzdürücü sistemlerin tasarımı, yüzer güneş enerji santrallerinin başarısı için kritik öneme sahiptir. Bu sistemler, su üzerinde stabil, dayanıklı ve verimli bir enerji üretimi sağlamak için dikkatle planlanmalıdır. Malzeme seçimi, modüler yapı, kaldırma kapasitesi, sabitleme mekanizmaları, panel destek yapıları, elektrik bileşenleri, bakım ve erişim ile güvenlik ve izleme sistemleri, tasarımın ana unsurlarıdır. Her bir unsur, sistemin genel performansını, dayanıklılığını ve sürdürülebilirliğini artırmaya yönelik olarak dikkatlice ele alınmalıdır (Çınaroğlu, 2023).

#### **4.2.3. Yüzer Fotovoltaik Sistemin Yönü**

Yüzer FV sistemlerin yönü, sistemlerin enerji toplama kapasitesi ve dolayısıyla enerji üretim verimliliği üzerinde doğrudan etkili bir faktördür. Güneş panellerinin güneşe olan açısı ve yönü, güneş ışınlarının panellere ulaşma miktarını belirler, bu da güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülme oranını etkiler. Optimal yön belirleme, yüzer FV sistemlerin maksimum enerji verimliliğini sağlamak için kritik bir öneme sahiptir. Panellerin eğim açısı genellikle enlem derecesine göre belirlenir. Örneğin, ekvatora yakın bölgelerde paneller daha düşük eğim açısına sahipken, daha yüksek enlem derecesine sahip bölgelerde eğim açısı daha dik olabilir. Bölgenin iklim koşulları, rüzgâr hareketleri ve yerel çevresel faktörler de yönlendirme kararını etkileyebilir (Choi et al., 2023).

#### **4.3. Yüzer Fotovoltaik Sistemlerin Türkiye'deki Potansiyeli**

Türkiye'nin yüzer FV sistemler için sahip olduğu potansiyel, ülkenin geniş güneş enerjisi kaynakları, geniş su yüzey alanları ve yenilenebilir enerjiye olan artan ihtiyaç göz önünde bulundurulduğunda önemli bir enerji üretim fırsatı sunmaktadır. Türkiye, güneş ışınımı açısından zengin bir coğrafyaya sahip olup, bu da yüzer FV sistemlerin kurulumu ve işletilmesi için elverişli koşullar oluşturur.

Çift taraflı FV güç santrallerinin Edirne ili iklim şartları için yapılan simülasyon ve ekonomik analizi, yüzer FV sistemlerin Türkiye'deki çeşitli coğrafi ve iklim koşullarında uygulanabilirliğini inceler. Bu çalışma, Türkiye'nin farklı bölgelerinde yüzer FV sistemlerin enerji üretim potansiyelini ve ekonomik verimliliğini değerlendirir. Edirne gibi güneş ışınımının yüksek olduğu bölgelerde, yüzer FV sistemlerin kurulumunun enerji üretiminde önemli katkılar sağlayabileceğini göstermektedir (Erken, 2022).

Türkiye'de 2022 yılı verilerine göre 328.9 TWh olan elektrik enerjisi üretimi, 326.2 TWh olan elektrik tüketiminin gerisinde kalmıştır (URL-19, 2024). Yer üstünde 94 milyar m<sup>3</sup> ve yer altında 18 milyar m<sup>3</sup> su potansiyeli olan Türkiye, bu potansiyelinin 44 milyar m<sup>3</sup>'ünü sulamada, 13 milyar m<sup>3</sup>'ünü ise içme, kullanma ve sanayide kullanmaktadır. Kişi başına düşen yıllık su miktarına bakıldığında 2000 li yıllarda 1652 m<sup>3</sup> iken 2022 yılında ise 1313 m<sup>3</sup> olmuştur (URL-20, 2024). Yer üstü su kaynaklarından olan barajlar enerji üretimi, içme-sulama suyu sağlama ve taşkından koruma gibi birçok amaca hizmet etmektedir. DSİ verilerine göre Türkiye'de 861 adet baraj ve 714 tane hidroelektrik santraline sahip olmasıyla birlikte toplam 31384.18 MW kurulu güce sahiptirler.

Baraj göllerinin üzerine kurulacak olan yüzer güneş enerji sistemlerinin hâlihazırda bulunan hidroelektrik santralleri ile uyumu sayesinde yenilenebilir enerji üretiminin artmasına ve çevre dostu enerji üretimi sağlanabilir. Türkiye'nin en büyük 5 baraj gölünün incelendiği çalışmada farklı yüzey alanlarının yüzer güneş enerji santrallerinin yaklaşık ne kadar enerji üretebileceği ve ne kadarlık su buharlaşmasının önlendiği hesaplanmıştır. Toplamda 2336 km<sup>2</sup> yüzey alanına sahip Atatürk barajı, Keban barajı, Ilısu barajı, Karakaya barajı ve Hirfanlı barajlarının %0.1'lik alanının kullanılmasıyla 414.47 GWh enerji üretimi yaptığı görülmüştür. Bu enerji üretimi yaklaşık olarak 112018 kişinin günlük enerji ihtiyacını karşılayabileceği kadar büyük bir kapasitedir. Bu beş barajın %0.1'lik alanının kullanılmasıyla birlikte yıllık olarak  $1.58 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl suyun buharlaşma kaybının önlenebileceği hesaplanmıştır. Bu değer DSİ verilerine göre 2022 yılı kişi başına düşen yıllık su miktarına (1313 m<sup>3</sup>) oranlandığında 1203 kişiye denk gelecek kadar su miktarının buharlaşmasının önlenebileceği öngörülmüştür (Şenli, 2023).

Türkiye'nin yüzer FV sistemler için sahip olduğu potansiyel, ülkenin yenilenebilir enerji portföyünü çeşitlendirme ve enerji ihtiyacını sürdürülebilir bir şekilde karşılama ve su buharlaşmasını önlemek adına önemli fırsatlar sunmaktadır. FV hücre teknolojileri,

iklim koşulları ve eğitim setleri gibi faktörler, bu potansiyelin gerçekleştirilmesinde kritik rol oynamaktadır. Türkiye, yüzer FV sistemlerin benimsenmesi ve geliştirilmesi yoluyla, yenilenebilir enerji kaynaklarından maksimum fayda sağlama yolunda önemli adımlar atabilir.



Şekil 28. Keban barajı üzerine kurulan 1 MW yüzer ges (URL-21)

Şekil 28’de verilen Elazığ’daki Kuzova Pompaj Sulaması için enerji sağlamak amacıyla DSİ, Keban Barajı gölünde yaklaşık 1 MW kurulu güce sahip "Yüzer Güneş Enerji Santrali (GES)" kurulumunu tamamladı. Bu proje, ülkemizde yüzer güneş enerji santralleri alanında ilk adımı oluşturuyor ve Kuzova Yüzer GES AR-GE Projesi olarak öne çıkıyor. Tarım ve Orman Bakanı İbrahim Yumaklı, proje kapsamında Keban Barajı göl alanında dört blok halinde kurulan Kuzova Yüzer GES’in, 6 dönüm alan üzerinde 1840 adet güneş panelinden oluştuğunu belirtti. Bu projenin aynı zamanda DSİ tarafından hayata geçirilen Kuzova Pompaj Sulaması için gereken enerjinin bir kısmını karşılayacağını düşünülmektedir. Proje sayesinde Kuzova Pompaj Sulaması’ndan yedi köyün faydalandığı 4 bin 783 hektarlık arazinin sulanmasına katkı sağlanacağını ve yıllık 1 milyon 806 bin kilovatsaat elektrik üretiminin ekonomik değerinin 5.6 milyon TL olduğunu belirtmiştir (URL-21, 2024).

## 5. LİTERATÜR TARAMASI

FV sistemlerin etkinliği ve adaptasyonu üzerine yapılan yenilikçi çalışmalar, bu teknolojilerin enerji üretimindeki rolünün sürekli olarak geliştirilmesini sağlamaktadır. Güneş enerji sistemlerinin kaynak potansiyelinin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve santral kurulumlarına ilişkin çeşitli akademik çalışmalar yürütülmüştür.

Yapılan bir çalışmada, (Dal, 2021) Kayseri de bulunan Yamula Barajı hidroelektrik santraline ek olarak yüzer GES kurulmasıyla alakalı bir çalışma yapılmıştır. Panellerin 13°'lik açı ile yerleştirildiklerinde maksimum verim elde edileceğini görmüştür. Ayrıca yazın kurak zamanlarda barajın su seviyesindeki azalma sebebiyle HES'in veriminin düşmesi ile GES'in ise maksimum olması ile birbirlerini dengeleyeceği ve bu nedenle HES'ler ile entegreli tesisler kurulduğunda güneşten maksimum enerji sağlayacağı sonucuna ulaşmıştır.

Amasya ili koşullarında 1 MWp değerindeki yüzer tip ve arazi tip FV sistemlerin karşılaştırması yapılmıştır. PV\*SOL programı ile sistemin tasarımı yapılmıştır. PVSyst programı ile enerji üretimlerinin aynı değerde üretim yaptığı gözlemlenmiştir. Retscreen programı aracılığıyla maliyet ve CO<sub>2</sub> emisyon miktarı hesaplanmıştır. Ayrıca panel çeşitlerine göre üretim miktarları hesaplanmıştır (Tokul, 2021).

Yapılan bir diğer çalışmada (Chen et al, 2023) yüzer geslerin daha düşük maliyet ile kurulduğu ve üretimin kolay olduğu, taşınmasının rahat olduğu, panellerin kapladığı alandan ötürü buharlaşmayı önlediği, deniz suyu sayesinde panellerin soğuyup aşırı ısınma kaynaklı arızaların önüne geçildiği, bakımının daha rahat olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır. Yüzer ges ile karasal gesler arasındaki avantaj ve dezavantajlarını geniş bir bakış açısıyla karşılaştırmıştır.

Mersin ilinde yapılan çalışmada YGES ile KGES arasındaki verimlilik karşılaştırılması yapılmıştır. Yüzer FV sistemin yıllık üretim miktarının benzer ortam koşullarındaki arazi tipi FV sistemin yıllık üretim miktarı yaklaşık olarak eşit olduğu görülmüştür. YGES' te panellerin suya tam olarak yakın olmayışından dolayı, suyun panelleri yeterince soğutamadığı gözlemlenmiştir. Yapılan ölçümlerin sonbahar aylarında yapıldığından dolayı enerji üretiminin az olduğu, yaz aylarında yapılmasına müteakip enerji üretiminin daha fazla olacağı öngörülmüştür (Şençiçek, 2017).

Edirne İli için yapılan bu çalışmada PVsyst ve PVGIS programları kullanılarak örnek bir tesisin analizi yapılmıştır. Edirne ilinin ışınım oranı Türkiye ortalamasının altında kaldığı için yapılacak bölgede güneş enerjisine dayalı sistemlerin az olduğundan bahsedilmiştir. Fakat diğer Avrupa ülkelerine göre potansiyeli yüksek olduğundan yapılacak yatırımların kısa sürede geri dönüşü olacağını ifade etmiştir (Acar, 2022).

(Ramanan, C.J. et al., 2024) Yapılan bir araştırmada yüzen güneş enerjisi sistemleri, karasal tabanlı muadil sistemlere göre hücre sıcaklığı, arazi kullanımı, su kütleindeki buharlaşmayı azalttığından dolayı yüzer sistemlerin tasarımı, geliştirilmesi ve uygulanması adına adımları anlatılmıştır. Literatürde fazla kaynak olmadığından dolayı gelecekteki çalışmalara kılavuz olmasını sağlamaktadır.

Eğirdir Gölü üzerinde Yüzer Güneş Enerji Santrali Uygulanabilirliğinin araştırılması yapılmıştır. Santralin kurulması gereken yeri hakkında detaylı bir çalışma yapılmış olup, yapılan çalışmaya göre bu tesisin kurulduğu takdire Büyükçekmece YGES' inin yaklaşık 2 katı üretim olacağı hesaplanmıştır. Bu proje sayesinde paneller gölün %75 oranındaki alanı kaplayıp göldeki su kaybını büyük derecede önleyecektir. Elde edilen yıllık 992 MW enerji sayesinde de maliyetine oranla ne kadar zamanda amorti edeceğine dair bilgilendirme yapılmıştır (Güner ve Özgür, 2023).

YGES sistemleri göle yakın bir konumda kurulan karasal GES ile elektrik üretimi konusunda karşılaştırılmış, ilk 90 kWp'lik sistem KGES ile yakın üretim değerlerine sahip olsa da 30 kWp'lik son YGES sistemi düşük üretim değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Sert dalgaların etkisiyle değişen panel açısı ve zarar gören elektrik bağlantıları düşük üretimin sebebi olduğu da değerlendirilmiştir (Kaymak, 2011).

Santrallerin verimli bir şekilde elektrik üretebilmesi için yerleşimin çok büyük etkisi olduğu, panellere gelen ışınlar dik açığa ne kadar yaklaşırsa panellerdeki soğurma olayının o kadar yüksek ve verimliliği olacağı sonucuna ulaşmıştır (Baş, 2016).

Şebekeye bağlı bir FV sisteminin boyutlandırılması ve ekonomik fizibilitesinin analizi, FV sistemlerin ticari uygulanabilirliği ve ekonomik sürdürülebilirliği hakkında değerli bilgiler sunmaktadır (Abo-Khalil et al., 2023). Bu çalışma, FV sistemlerin maliyet-etkinliğini ve enerji piyasalarındaki potansiyelini ortaya koymaktadır. Öte yandan, güneş enerjisiyle çalışan bütünleşmiş karbon yakalama ve kullanım sistemleri, FV teknolojilerin çevresel sürdürülebilirliğe olan katkısını güçlendirmektedir.

PVsyst yazılımı ile gerçekleştirilen 30 kW şebekeye bağlı FV sistemin modellenmesi ve simülasyonu, ülkenin güneş enerjisi potansiyelini ve FV sistemlerin uygulanabilirliğini göstermektedir (Akcan vd., 2020).

Süper kapasitörler kullanarak şebekeye bağlı FV sistemler için geliştirilen yeni bir güç yumuşatma yöntemi, enerji üretimindeki dalgalanmaları azaltarak sistemlerin daha stabil ve verimli çalışmasına olanak tanır (Benavides et al., 2023). Bu tür inovasyonlar, FV sistemlerin enerji şebekelerine entegrasyonunu kolaylaştırır ve yenilenebilir enerjinin güvenilir bir kaynak olarak kullanımını teşvik eder.

Gölgeleme etkisinin FV panellerin enerji etkinliği üzerindeki etkileri, sistem tasarımı ve yerleşim stratejilerinin optimizasyonu için önemli bir faktördür (Cer, 2015). Gölgeleme, paneller üzerindeki enerji toplama kapasitesini önemli ölçüde azaltabilir; bu nedenle, FV sistemlerin yerleşimi ve yönlendirilmesi, maksimum güneş ışığına maruz kalacak şekilde dikkatlice planlanmalıdır.

FV senaryoların uzaktan algılanması üzerine yapılan çalışmalar, FV sistemlerin izlenmesi ve yönetimi için gelişmiş teknikler sunar (Chen et al, 2023). Uzaktan algılama, geniş alanlardaki FV sistemlerin performansını gerçek zamanlı olarak izlemeyi ve potansiyel sorunları hızla tespit etmeyi mümkün kılar. Bu, enerji üretimindeki verimliliği artırırken, bakım ve onarım maliyetlerini azaltabilir.

Rüzgâr ve dalga yüklerinin yüzer FV sistemler üzerindeki etkileri, bu sistemlerin tasarım ve dayanıklılığının önemini vurgular (Choi et al., 2023). Yüzer FV sistemler, karasal sistemlere alternatif olarak su yüzeylerinde kurulurken, bu çevresel faktörlerin sistem stabilitesi ve güvenliği üzerindeki potansiyel etkileri dikkate alınmalıdır. Bu çalışma, yüzer sistemlerin tasarımında, rüzgâr ve dalgaların neden olduğu mekanik stresleri azaltacak yenilikçi çözümlerin geliştirilmesinin önemini ortaya koymaktadır.

Çift taraflı FV güç santralleri üzerine yapılan bir çalışma, Edirne ili iklim şartları için bu sistemlerin simülasyonunu ve ekonomik analizini sunar. Bu tür yenilikçi FV teknolojileri, yüzer sistemlerde de uygulanabilirliğe sahiptir. Çift taraflı paneller, su yüzeyinden yansıyan ışığı absorbe ederek, tek taraflı panellere kıyasla daha yüksek enerji üretim potansiyeline sahiptir, bu da yüzer FV sistemlerinin enerji verimliliğini önemli ölçüde artırabilir (Erken, 2022).

FV hücreler yardımıyla güneş enerjisinden elektrik üretimi üzerine yapılan bir diğer çalışma, FV sistemlerinin performansını etkileyen faktörleri inceler. Bu faktörler arasında hücre teknolojisi, sıcaklık, ışık yoğunluğu ve yansımaya gibi çevresel koşullar bulunmaktadır. Yüzer FV sistemlerinde, su yüzeyi, panelleri soğutma etkisi sunarak, sıcaklığın performans üzerindeki olumsuz etkisini azaltabilir. Bu özellik, yüzer sistemlerin karasal sistemlere kıyasla daha iyi performans göstermesini sağlar (Gökce, 2020).

## 6. MATERYAL VE METOD

FV sistemlerin enerji üretimlerinin hesaplanması fizibilite çalışması için büyük önem arz etmektedir. Fizibilite çalışması yapılırken santralin kurulacağı bölgenin ve arazinin seçimi en önemli aşamadır. Bu tez çalışmasında Van ili Gevaş ilçesinde 1000 kW'lık arazi tipi FV tesis ile Van gölü üzerinden 1000 kW'lık yüzer tip FV tesisin enerji üretimi ve ekonomik olarak analizi yapılmıştır. Doğu Anadolu bölgesinde yer alan Van ili 20.921 km<sup>2</sup> yüzölçümüne ve 1.127.612 nüfusa sahip olması ile Türkiye'nin nüfus yoğunluğu bakımından yirminci büyük ildir. Van ilinin ortalama rakımı 1730 metredir (URL-22). Van ili için en yüksek ortalama sıcaklık Ağustos ayında 28.5 °C iken en düşük sıcaklık ise Ocak ayında -7.5 °C olarak gerçekleşmiştir (URL-23). Güneş panelleri için standart test koşulları 25 °C ve 1000 W/m<sup>2</sup> güneş radyasyonu olarak kabul edilir. Sıcaklığın belirli değerden sonraki artışı paneller üzerinde çıkış geriliminin düşmesine, enerji üretiminin azalmasına ve panel yüzeylerinde bozulmaya sebep olabilmektedir. Güneş enerji santrallerinin kurulumu yapılırken bölge seçiminde ortalama sıcaklık değerlerinin incelenerek bölge seçimi yapılması gerekmektedir. GEPA 2022 verilerine göre Van ilinin yıllık güneşlenme süresinin 3070 saat/yıl; metrekaeye düşen yıllık radyasyon miktarının ise 1635 kWh/m<sup>2</sup>-yıl'dır. Türkiye ortalamalarının değerleri sırasıyla 2736.89 saat/yıl ve 1524.17 kWh/m<sup>2</sup>-yıl olduğu göz önünde bulundurularak Van ilinin güneş enerji santrali kurulumu için uygun bir il olduğu görülmektedir. Güneş panellerinin alçak rakımlarda çabuk ısındıkları için verimleri ciddi oranda düşmektedir. Van Gölünün de rakımının yüksek olması sebebiyle panellerin geç ısınmasıyla daha fazla enerji üretimi olacağı için Van Gölü tercih edilmiştir. Bu tez çalışmasında Van bölgesindeki karasal sistem ve Van Gölü üzerindeki yüzer ges sistemi için enerji üretimi, maliyeti, amortisman süreleri ve verimlilikleri hesaplanmıştır. Enerji üretimlerinin hesaplanmasında PVsyst yazılımının 7.4.0 sürümü kullanılmaktadır. Aynı zamanda bu program içinde meteorolojik verilerin alındığı PVGIS yazılımı üzerinden faydalanılacaktır.

### 6.1. Simülasyon Programları

Simülasyon programları, FV tesislerin ilk yatırım aşamasından öncesinde, simülasyonunda, uygulama aşamasında, mühendislik ve optimizasyonunda, finansal

aşamalarında kullanılan yazılımlardır. FV tesislerin yatırımcıları ve işletmecileri, kuracakları santraller için enerji üretim miktarı, enerji tasarruf miktarı, verim hesaplamaları, gölgeleme analizleri, amortisman süreleri gibi faktörler hakkında bilgi sahibi olmak isterler. Gerçekçi sonuçlar elde etmek için iyi bir simülasyon programınının yanında programı kullanacak mühendisin de teknik bilgisi iyi olması gerekmektedir. Çünkü yazılıma girilen farklı bir veri girişi sonuç da yanlış olacaktır. Bu nedenle yapılan simülasyon sonuçları kontrol edilerek gereken hassasiyet gösterilmelidir. Bu bağlamda maliyet, üretim, amortisman analizlerini hesaplayabilecek birden fazla simülasyon programları mevcuttur. Piyasada yaygın olarak kullanılan programlardan kısaca tanıtılıp, bu tez kapsamında kullanılan PVsyst programından en sonda bahsedilecektir.

### **6.1.1. Homer**

Hybrid Optimization Model for Electric Renewables programı A.B.D. ulusal yenilenebilir enerji laboratuvarı tarafından geliştirilen bir yazılım modelidir. Üretilen elektrik enerjisini kWh başına ortalama maliyetini hesaplar (Yılmaz vd., 2010). Rüzgâr hızı, yakıt maliyeti ve mevsimsel belirsizlikleri de dikkate alarak hesaplamaya dahil edebilir. Hassas bir analiz içerdiğinden dolayı daha çok akademik çalışmalarda, rüzgâr ve hibrit enerji santrallerinin kurulumu öncesinde sıkça kullanılmaktadır (Öztürk, 2021).

### **6.1.2. Bluesol**

Bu yazılım sayesinde FV sistemlerin fizibilite çalışmalarını hazırlamaya yardımcı olan bir programdır. Microsoft'un arayüzünü kullanan bu programda, kurulacak santralin harita üzerinden otomatik olarak seçilebilmesi, alan kayıplarını minimize etme özelliği, kullanılan ekipmanların program tarafından otomatik olarak yerleştirilmesi gibi temel özellikleri bulunmaktadır. Ancak yüzeyler üzerindeki ışınlama verilerinin kullanıcılar tarafından eklenmesi, gölgeleme analizlerinde farklılıklar meydana çıkarmaktadır.

### **6.1.3. Sam**

A.B.D. Enerji bakanlığı ve Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı tarafından geliştirilen yazılım programı konut ve ticari pazarlara yönelik FV sistemlerin maliyet ve performans analizini ve saatlik performansını modellemektedir (Gilman vd., 2008). Veri girişlerinin çoğunun manuel olarak yapılması yüzünden piyasada fazla tercih

edilmemektedir fakat akademik çalışmalarda özellikle termal santrallerin fizibilite çalışmalarında sıkça kullanıldığı görülmektedir (Öztürk, 2021).

#### **6.1.4. PVGIS**

Photovoltaic Geographic Information System (PVGIS) ücretsiz olarak sunulan yazılım modelidir. İklim verilerinin veri tabanının oluşturan bir FV enerji hesaplayıcı olarak karşımıza çıkmaktadır. 3D görsel tasarım seçeneği ile FV sistemlerin görselleştirilmesinde etkin rol oynamaktadır. Kolay bir arayüze sahip olan bu program sayesinde coğrafi bilgi sistemini kullanarak aylık ve yıllık bazda potansiyel elektrik üretim değerlerini hesaplamaktadır. Yapılacak simülasyon çalışması kapsamında, yüksek ısı, kablolama, düşük ışınım, inverter FV sistem kayıplarını sunmaktadır (Kınalı, 2019).

#### **6.1.5. PV\*SOL**

PV\*SOL programı aracılığıyla 5000 adete kadar FV modülün tasarımını ve gölgeleme analizlerini hesaplamaktadır. Güneş ışığı açıları ve süresi, iklim verileri, gölgeleme durumları, modül, inverter ve diğer montaj ekipmanlarına ait geniş bir veri tabanına sahiptir. PV\*SOL programı, FV sistemin farklı iklim koşullarına göre enerji verimini ve çıkış gücünü sonuç olarak vermektedir. Dünya çapında mühendisler, mimarlar ve teknik elamanlar tarafından yaygın olarak kullanılan bir yazılımdır (İşler, 2020).

#### **6.1.6. Helioscope**

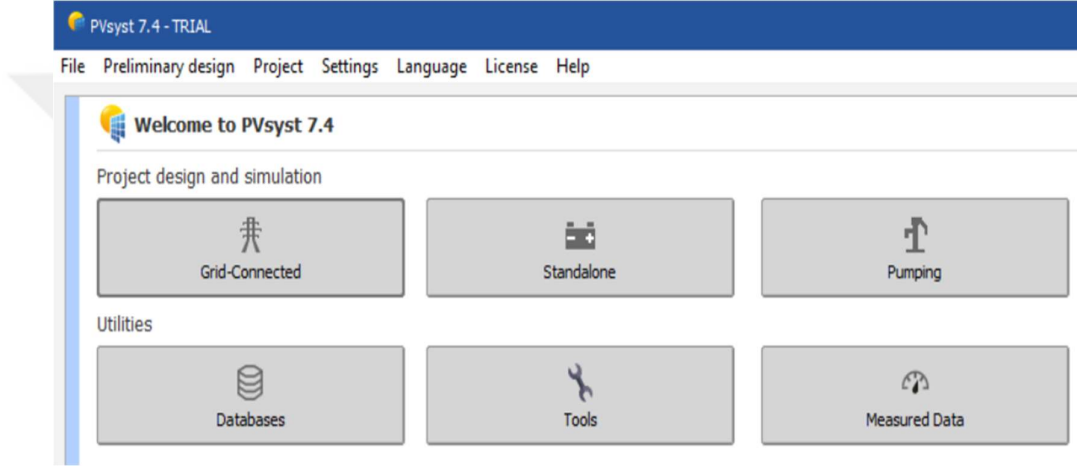
FV sistemlerin tasarımını, mühendisliğini basitleştirerek detaylı parametre seçenekleri ile Helioscope programı geliştirilmiştir. FV sistemi oluşturabilmek için harita üzerinden seçilen enlem ve boylam parametreleri, panelin teknik özelliklerini, toplam kapasiteleri ve montaj bilgilerini, evirici sayısı ve teknik özelliklerini, kullanılacak kabloların uzunluğu ve kesitleri gibi verilerin programa girilmesiyle, sistemlerin simülasyonunu yaparak performans analizini yapabilmektedir.

#### **6.1.7. PVsyst**

PVsyst yazılımı, İsviçre’de bulunan Cenevre Üniversitesi tarafından geliştirilmiş bir simülasyon yazılımıdır. Bu yazılım, FV sistemler için en çok kullanılan ve gerçek üretim değerlerine en yakın sonuç veren yazılımlardan biridir. Şebekeden bağımsız veya

şebekeye bağlı güneş enerji sistemleri ve güneş enerjili sulama sistemlerin tasarımlarını gerçekleştirmek için kullanılmaktadır (Yadav, 2015).

Bu yazılımda güneş enerji santralleri için hesaplama yapılırken meteorolojik veriler, gölgelenme analizleri, güneş ışınım değerleri, güneş paneli ve eviricinin teknik özellikleri, güneş panelinin yönü ve açısı gibi verilerin girilmesiyle enerji üretim grafiği ve raporu elde edilmektedir. Yazılımda bulunan 3D uygulaması ile FV enerji sisteminin üzerine düşecek gölgelemelerin modellenmesi yapılabilmekte ve sistem üzerine olan etkisi ve kayıp değeri de hesaplanabilmektedir.



Şekil 29. PVsyst simülasyonunun kullanıcı ara yüzü

Şekil 29. 'da kullanıcı ara yüzü gösterilen bu yazılımda şebekeye bağlı sistemlerin modellenmesi yapıldığı gibi şebekeden bağımsız sistemlerinde modellenmesi yapılabilmektedir. PVGIS yazılımı kullanılarak FV sistemlerin günlük, aylık, yıllık bazda üreteceği enerji miktarları hesaplanabilir. Bu kapsamda örnek olarak belirtilen yerde yüzer tip ve karasal tip güneş enerji santralleri için ayrı ayrı olacak şekilde iki rapor oluşturulmuştur.

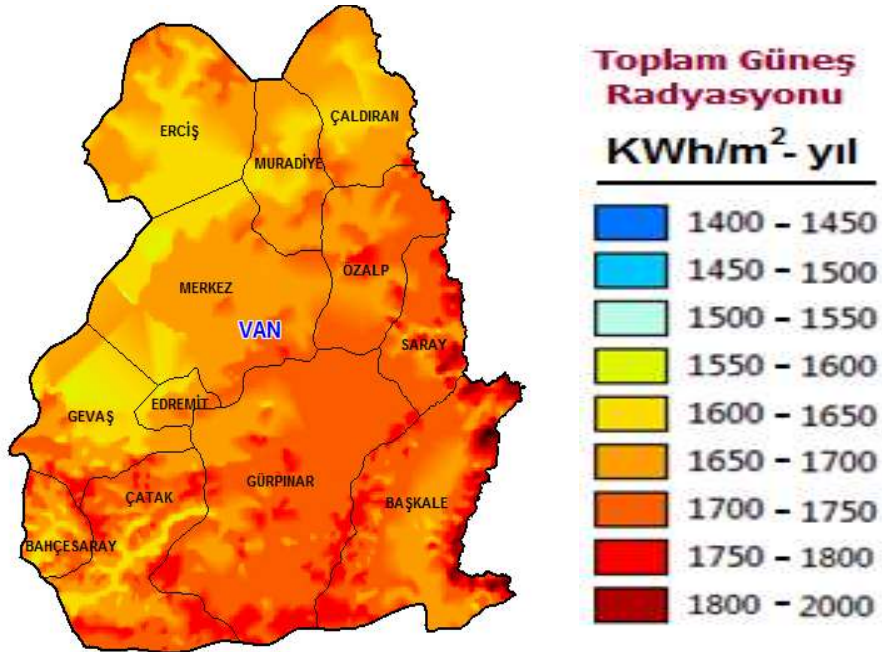
## 6.2. Fotovoltaik Sistemin Lokasyonu ve Güneş Enerji Potansiyeli

Yapılacak olan karşılaştırma Van ili sınırları içerisinde Gevaş ilçesinde ve Van gölü üzerinde bulunmaktadır. Anadoluda'ki en büyük kapalı havzaya sahip olan Van Gölü çevresinin toprakları verimli ve akarsular açısından zengin bir bölgedir. Rakımı 1730 metre civarındadır (URL-22). Rakımı yüksek olan bölgelerde panellerin ısınma durumları daha az yaşanmaktadır (Başay vd., 2019). Van, 20.921 km<sup>2</sup> yüzölçümüne sahiptir. 38.5012 enlem ve 43.3730 boylamları arasında yer almaktadır. Van ilinin ölçülen en

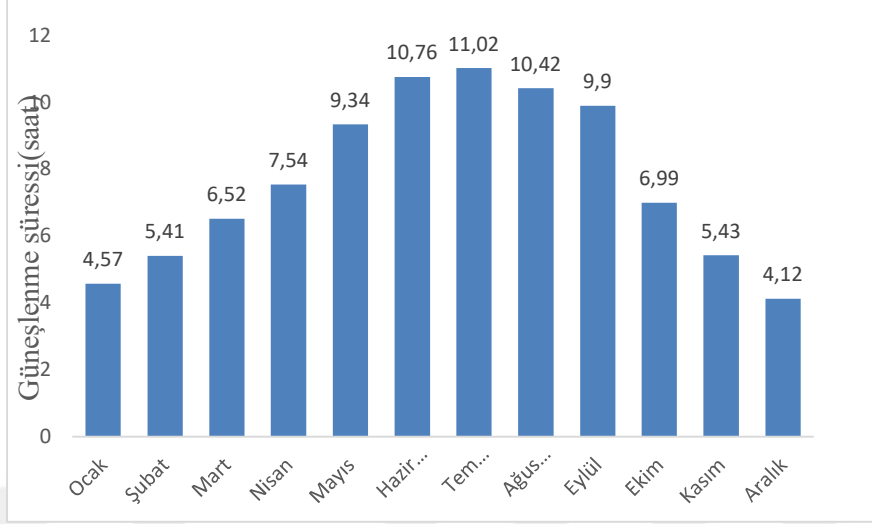
düşük sıcaklığı Ocak ayında-3.5° iken en yüksek sıcaklığı ise 22.2° olarak Temmuz ayında ölçülmüştür.

Güneş panellerin standart test koşulları olarak 25 °C, 1000 W/m<sup>2</sup> güneş radyasyonu değeri ve 1.5 AM hava kütle katsayısı olarak kabul edilmektedir. Panel yüzeyine düşen sıcaklık değerinin belirli noktadan sonra elektrik üretiminde azalmaya ve panel yüzeylerinde bozulmalara sebep olmaktadır. Dolayısıyla verim de azalmaktadır. Bu sebepten dolayı ges kurulacak alanın belirlenirken bölgedeki sıcaklık ortalaması da göz önünde bulundurulurken bölgenin seçimi yapılması gerekmektedir. Yapılmadığı takdirde paneller için harici olarak soğutma sistemleri veya doğal hava soğutma sistemleri uygulamaları gerekmektedir. Van bölgesinde çok yüksek sıcaklıklar görülmediğinden FV sistemler için elverişli bir iklime sahiptir.

Şekil 30'a göre Van'ın yıllık toplam güneş radyasyonunun değeri 1635 kWh/m<sup>2</sup>-yıl ve yıllık toplam 3068 saatlik güneşlenme süresi olduğu belirtilmiştir. Günlük olarak bakıldığında 4.48 kWh/m<sup>2</sup>'lik güneş enerjisi gücüne ve 8.4 saatlik güneşlenme süresine denk gelmektedir. Bu oran Türkiye ortalamasının üstünde olup güneş enerji potansiyeli açısından çok uygun bir iklime sahip olduğu görülmektedir. Van ilinin toplam güneş radyasyonu değeri, aylara göre global radyasyon ve güneşlenme sürelerine ait grafikler sırasıyla Şekil 30, Şekil 31 ve Şekil 32' de görülmektedir.

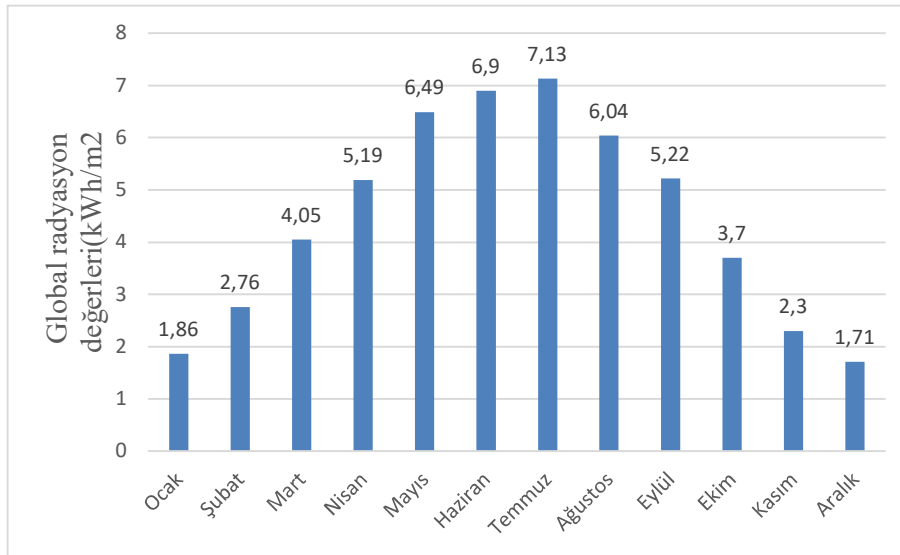


Şekil 30. Van İli güneş enerji potansiyeli atlası (URL-24, 2024)

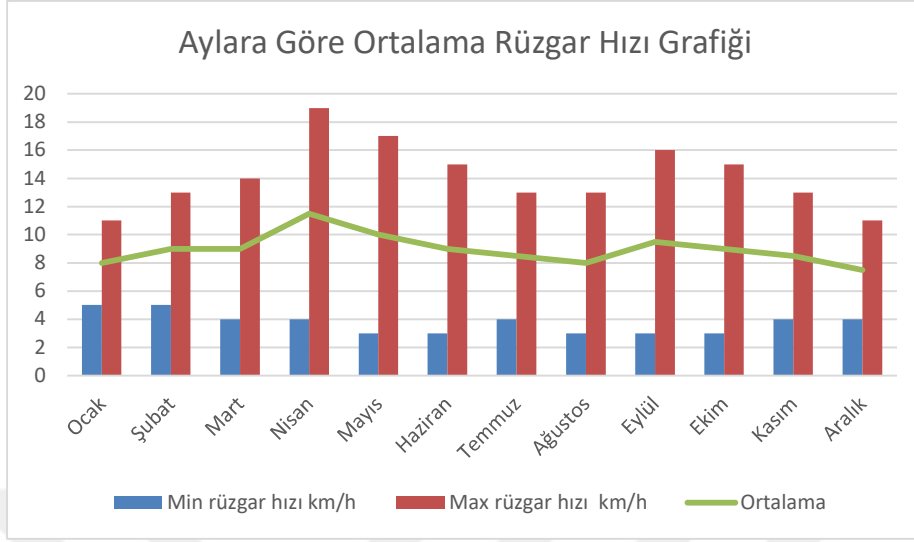


Şekil 31. Van ili aylara göre güneşlenme süreleri

Meteoroloji genel müdürlüğünden alınan veriler doğrultusunda Şekil31, Şekil 32, Şekil 33, Şekil 34 elde edilmiştir. Şekil 31'e göre bakıldığında Van ili için en yüksek güneşlenme süresinin 11,02 saat ile temmuz ayında olmuş olduğu görülmektedir. En düşük güneşlenme süresi ise 4.12 saat ile aralık ayında ölçülmüştür. Şekil 32'de global radyasyon değerleri verilmiştir. En yüksek değerinin aylık olarak 7.13 kWh/m<sup>2</sup> olduğu görülmüştür. Güneşlenme süreleri ve ışıınım değerleri incelendiğinde Van ili'nin potansiyelin yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Bu projede van ilinin seçilmesinin başlıca sebepleri arasında yüksek ışıınım değeri ve güneşlenme süresinin yüksek olması büyük önem arz etmektedir.

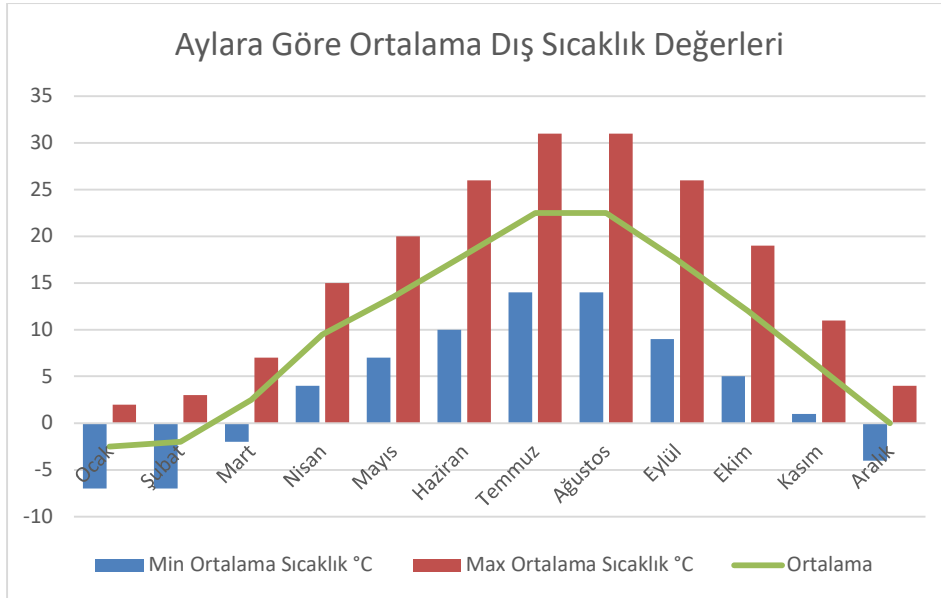


Şekil 32. Van ili global radyasyon değerleri(kWh/m<sup>2</sup>-ay)



Şekil 33. Van ili aylara göre ortalama rüzgâr hızı grafiği (km/h)

Şekil 33'te belirtildiği üzere Van ili için en yüksek rüzgâr hızı değerleri Nisan ayında 19 km/h olarak ölçülmüş, en düşük ortalama rüzgâr hızı ise Mayıs, Haziran, Ağustos, Eylül, Ekim ayında ölçüldüğü görülmüştür. Ortalamaya bakıldığında en yüksek ortalama rüzgâr hızı Nisan ayında 11.5 km/h olarak ölçülmüştür. Güneş enerjisi santralleri kurulacak bölgelerde önceden yapılan ölçümler neticesinde rüzgâr hızının önemi büyük önem arz etmektedir. Şekil 34'te Van ili için aylara göre en düşük ve en yüksek dış sıcaklık değerlerinin hangi ayda yapıldığı gösterilmiştir.



Şekil 34. Van ili aylara göre ortalama dış sıcaklık değerleri °C

### 6.2.1. Fotovoltaik Sistem Tasarımı

Van ilinde kurulması planlanan Yüzer güneş enerji santrali ve karasal güneş enerji santrali için aynı değerlerde panel giriş gücü ve evirici çıkış gücünün sağlanması ve PVsyst üzerinden yapılacak üretim değerleri ve analiz yöntemlerinin yüzer ges ve karasal ges santrallerinin karşılaştırılması amaçlanmaktadır.

Araziye kurulacak tesis için öncelikle tarıma elverişsiz bir arazi bulunması gerekmektedir. Arazi kurulumlarında;

- Güneş radyasyonu potansiyel durumu,
- Arazinin bulunduğu konum,
- Zeminin toprak yapısı,
- Arazinin fiziki yapısı, gölgelenme durumu,
- Kirlenme-tozlanma durumu,
- Hava durumu,
- Ulaşım durumu
- ENH hattına uzaklığı
- Yapısal elemanların aşınımı gibi birçok faktör göz önünde bulundurulmalıdır.

Göle kurulacak tesis için sistemdeki önemli faktörlerin başında kurulum alanı ve yüzdürücü sistem gelmektedir. Yüzer güneş enerji santrali kurulumlarında;

- Güneş radyasyonları,
- İklim koşulları,
- Kurulabilir su alanı,
- Rezervuar koşulları,
- Rezervuarın derinliği,
- Yıl içi su seviyesi değişimi,
- Rüzgâr ve dalga koşulları,
- Taşkın riski,
- Sualtı yaşamına olan ekolojik etki

gibi faktörler incelenerek kurulum alanının belirlenmesi gerekmektedir. Panellerin yüzdürücü sistemin üzerine yapılması ile kara kurulumundan farklı olacak şekilde bir tasarım ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Tesiste kullanılan FV panel olarak, FV panel sektöründe ülkemizde önemli bir pazara sahip olan ELİN marka ELNSM72M-545W panel kullanılmıştır. Bu paneli piyasada çok kullanılması ve fiyat-performans açısından iyi bir seviyede olduğu için tercih edilmiştir. FV panelin verilerini gösteren katalog bilgisi Şekil 35’ de belirtilmiştir.

Tesiste 2340 Adet 545 Watt monokristal panel kullanılmaktadır. 2340 Adet panel 18 li diziler halinde 130 diziye ayrılmaktadırlar. Bir eviriciye 13 adet dizi bağlanmaktadır.

| ELLEKTRİKSEL SPESİFİKASYONLAR  |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |  |  |
|--|--------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|--|--|
| Modül Tipi   | ELNSM72M-535-HC-HV |       | ELNSM72M-540-HC-HV |       | ELNSM72M-545-HC-HV |       | ELNSM72M-550-HC-HV |       |  |  |
|  | STC                | NOCT  | STC                | NOCT  | STC                | NOCT  | STC                | NOCT  |  |  |
| STC Maksimum Güç (Pmp)   | 535                | 402   | 540                | 406   | 545                | 412   | 550                | 416   |  |  |
| Açık Devre Gerilimi (Voc)  | 49.40              | 46.09 | 49.50              | 46.18 | 49.75              | 46.55 | 49.90              | 46.68 |  |  |
| Açık Devre Gerilimi (Isc)  | 13.70              | 11.08 | 13.81              | 11.16 | 13.93              | 11.13 | 14.00              | 11.17 |  |  |
| Maksimum Güç Gerilimi (Vmp)  | 41.29              | 38.33 | 41.55              | 38.39 | 41.80              | 39.20 | 41.96              | 38.43 |  |  |
| Maksimum Güç Akımı(Imp)  | 12.96              | 10.50 | 13.00              | 10.59 | 13.04              | 10.51 | 13.11              | 10.55 |  |  |
| STC Modül Verimi (ηm)  | 20.7               |       | 20.9               |       | 21.1               |       | 21.3               |       |  |  |
| Güç Toleransı (W)  |                    |       |                    |       | (0, +4,99 W)       |       |                    |       |  |  |
| Maksimum Sistem Gerilimi   |                    |       |                    |       | 1500V DC           |       |                    |       |  |  |
| Maksimum Seri Sigorta Değeri   |                    |       |                    |       | 25 A               |       |                    |       |  |  |
| * Ölçüm Toleransı +/- 3%   |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |  |  |
| STC: Işınım 1000W/m2, Hücre Sıcaklığı 25°C, AM=1.5                   |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |  |  |
| NOCT: Işınım 800W/m2, Ortam Sıcaklığı 20°C, AM=1.5, Rüzgar Hızı 1m/s |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |  |  |

| SICAKLIK KARAKTERİSTİKLERİ             |              |
|--|--------------|
| Pmax Sıcaklık Katsayısı                | -0.35 %/°C   |
| Voc Sıcaklık Katsayısı                 | -0.27 %/°C   |
| Isc Sıcaklık Katsayısı                 | +0.05 %/°C   |
| İşletme Sıcaklığı                      | -40 ~ +85 °C |
| Nominal Çalışma Hücre Sıcaklığı (NOCT) | 45 ± 2 °C    |

Şekil 35. Panel Katalog verileri (URL-25, 2024)

## MEKANİK SPESİFİKASYONLAR

|                  |   |
|------------------|---|
| Dış Boyutlar     | 2279 x 1134 x 35 mm                     |
| Ağırlık          | 27 kg                                   |
| Solar Hücreler   | PERC Mono Kristal (144 adet)            |
| Ön Cam           | 3.2 mm AR kaplamalı tamperli cam        |
| Çerçeve          | Eloksallı Alüminyum Alaşım              |
| Bağlantı Kutusu  | IP68,3 diyotlu                          |
| Çıkış Kabloları* | 4.0 mm <sup>2</sup> , 250mm(+)/350mm(-) |
| Mekanik Dayanım  | Ön taraf 5400Pa / Arka taraf 2400Pa     |

Şekil 36. Panelin mekanik değerleri (URL-25, 2024)

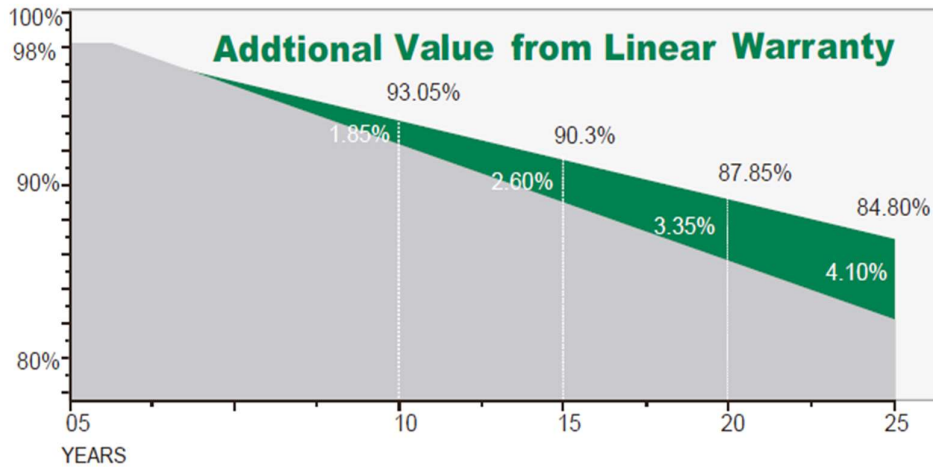
Şekil 36 'da panelin mekanik olarak değerleri belirtilmiş olup, Şekil 37'de ise panel üretici fabrikalarının sunduğu 25 yıl sonunda %84.8 verim ile panel verimliliğinin devam ettiğini gösteren garanti sunmaktadır. 10 yıl sonunda % 93.05 verim garantisi sunan ELİN marka panellerin performansının fazla oluşu sebebi ile bu tez çalışmasında kullanılmasının başlıca sebeplerinden olmuştur. Türkiye'deki panel üreticileri genel olarak 15 yıl ürün garantisi ve 25 yıl lineer performans garantisi sunmaktadır.



Ürün Garantisi

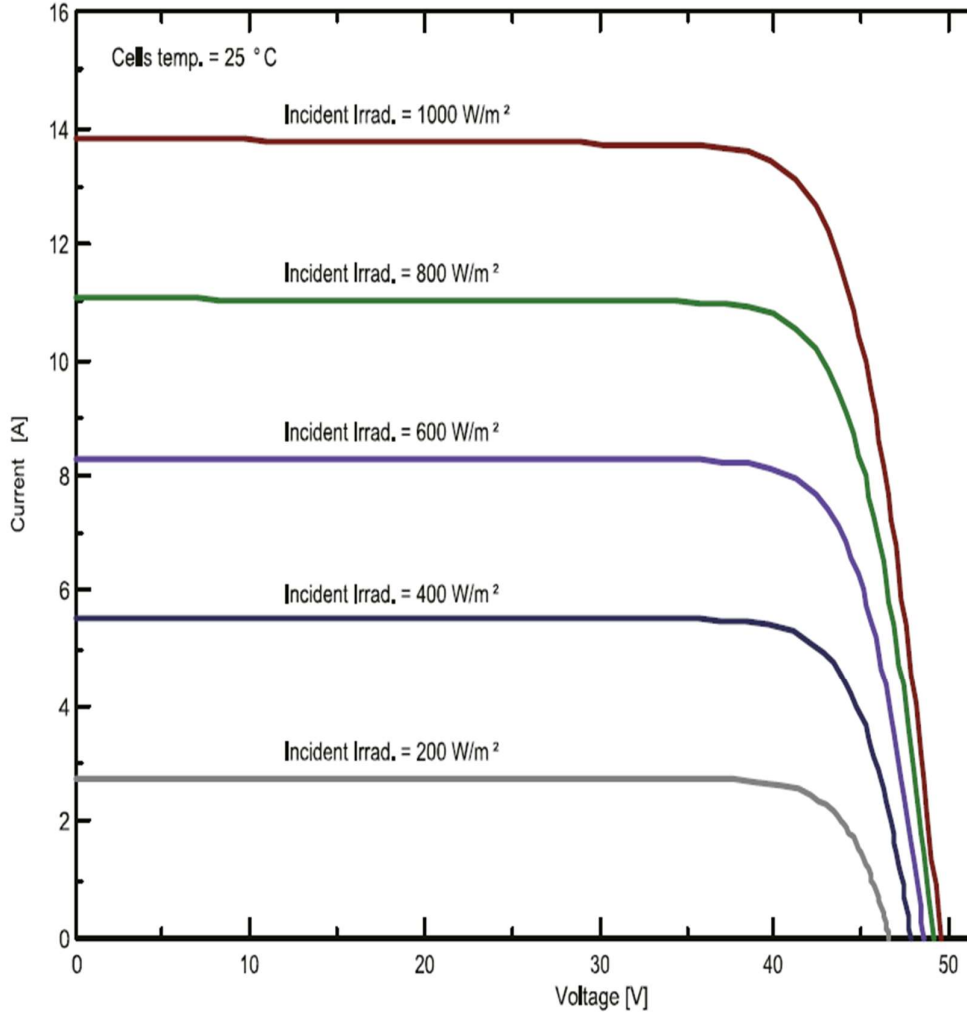


Linear Performans  
Garantisi



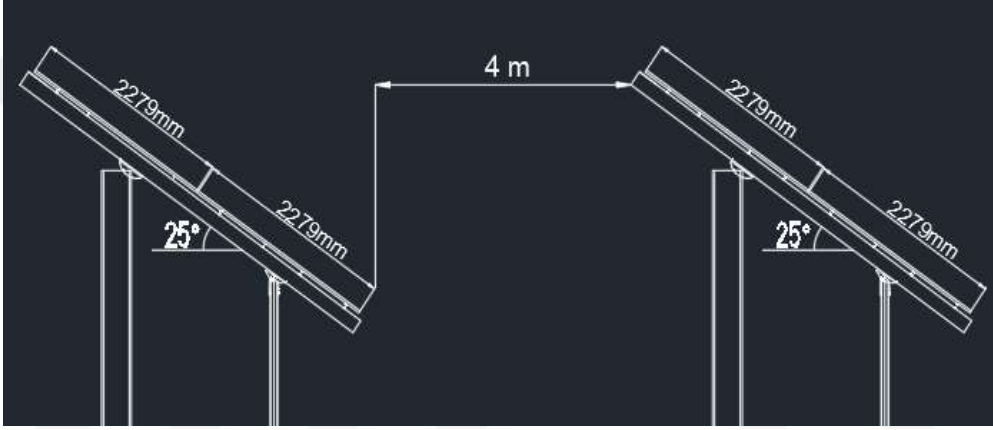
Şekil 37. Panelin yıllara göre verim oranı (URL-25, 2024)

Paneller için dış ortam sıcaklığının artması ile açık devre geriliminin yükseleceğinden dolayı evirici seçimi yapılırken en düşük ortam sıcaklıklarına göre seçim yapılması gerekmektedir. Şekil 38’de Standart test koşullarında, 25°C’de ve hava kütlesinin 1.5, ışınımın 1000 W/m<sup>2</sup> olduğu ortamdır. Bu noktada panelin maksimum olarak güç çıkışı noktasıdır. Sıcaklık değerini sabitlediğimizde ışınım değerinin düşmesi ile birlikte üretilen akım azalır ve buna bağlı olarak da panel çıkış gücünün değeri azalmış olur. Sıcaklık ve ışınım değerlerine göre panelin akım-gerilim değerleri değişkenlik göstermektedir. Ancak panellerin belirli eşik sıcaklık değerleri bulunmaktadır. Bu eşik sıcaklık değerinin aşılması durumunda panel verimi olumsuz yönde etkilenecek, yani verimi düşecektir (Hasar, 2016).

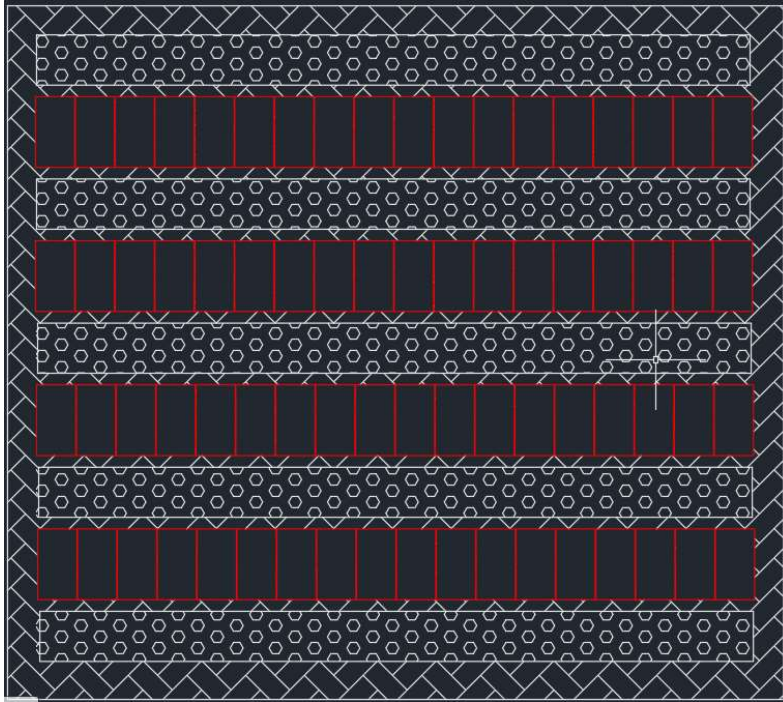


Şekil 38. Panel I-V eğrisi (URL-25, 2024)

Yapılan Pvsyst simülasyonuna göre karasal sistem için 25° açılı panel eğim açısına göre tasarım yapılmıştır. Proje sahasında 2340 adet ELİN marka 545 W panel kullanılmıştır. Paneller 18 adet olarak seri bağlı olacak şekilde bir dizi oluşturup eviriciye bağlanmaktadır. Bu kapsamda Şekil 39 'da görüldüğü üzere Autocad programı üzerinden yapılan bu tasarımın çizimi yapılmış olup paneller arasındaki ara mesafenin gölge düşmemesi adına 4 metre olarak belirlenmiştir.. Yüzer sistem için 15° açı ile sistem tasarımı yapılmıştır. Yürüme yolu dubaları 1.5 metre alınmış olup Şekil 40.'da gösterildiği üzere çizimi yapılmıştır.

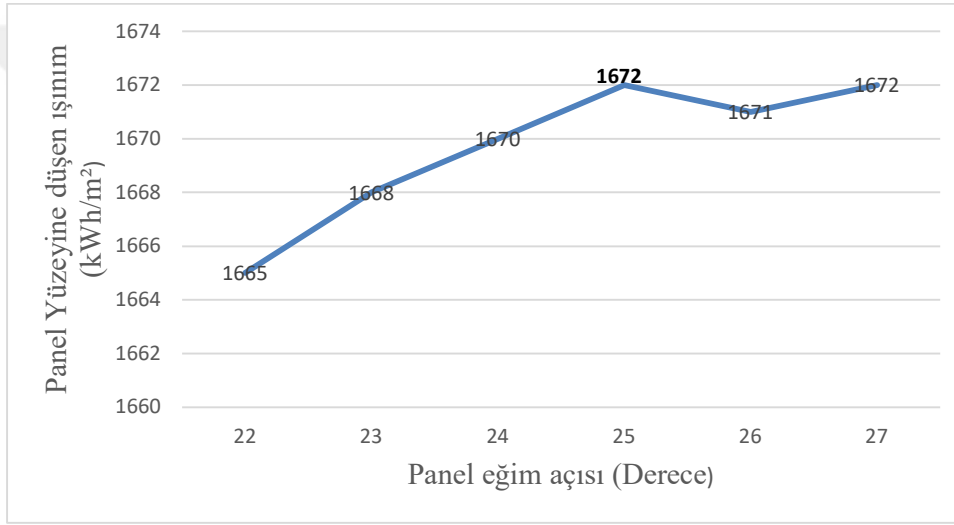


Şekil 39. Arazi sistem için panel açı ve ara mesafenin Autocad çizimi

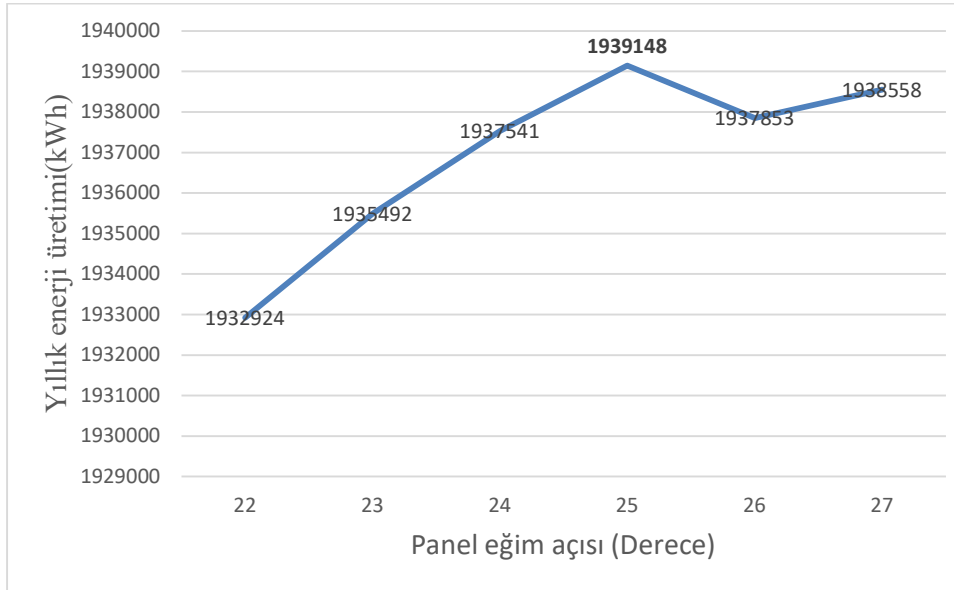


Şekil 40. Yüzer sistem için yerleşim planı Autocad çizimi

Van ili için karasal tip FV santraldeki panellerin eğim açlarına göre yıllık enerji üretim değerlerini ve optimum değer elde edildiği açının belirlenmesi adına 22° ile 27° arasında değerlerin kontrolü PVsyst programı aracılığıyla ayrı ayrı analiz edilerek Şekil 41.'de gösterilmiştir. Arazi kurulumunda panel eğim açısı 25° ve yüzer sistemde ise 15° olarak kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Azimuth açısı 2 tesiste de 0° olarak kabul edilmiştir. Şekil 41'e göre panel yüzeyine düşen ışınım miktarının 25° eğim açısında 1672 kWh/m<sup>2</sup> değeri ile maksimum düzeyde olduğu görülmektedir. Şekil 42'ye göre karasal sistemlerdeki yıllık enerji üretimi 1939148 kWh çıkması ile en optimum açının 25° olduğu anlaşılmaktadır.

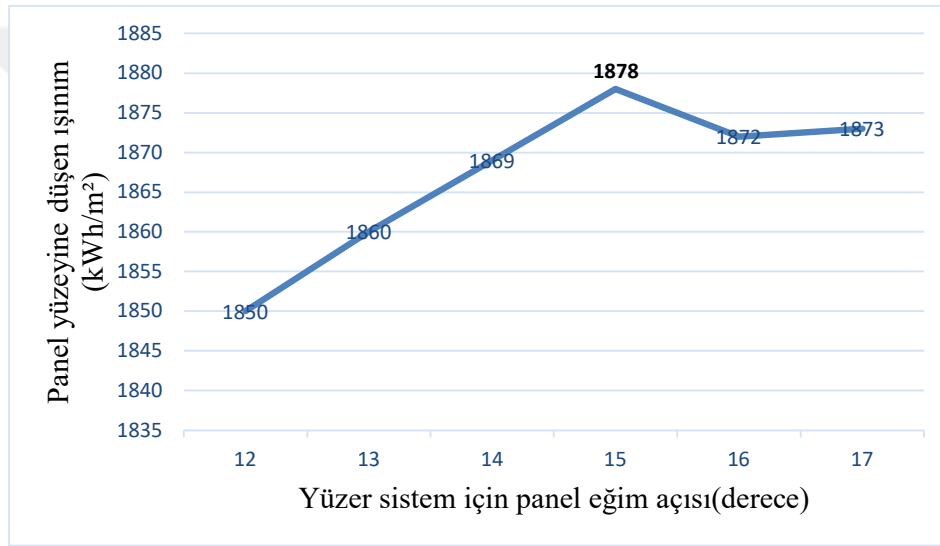


Şekil 41. Karasal sistem eğim açısına göre panel yüzeyine düşen ışınım

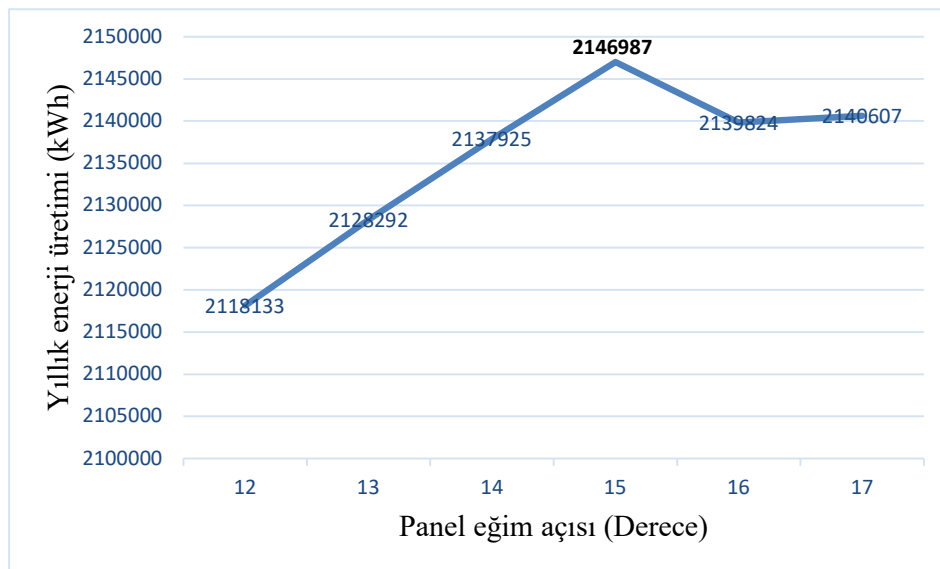


Şekil 42. Karasal sistem eğim açısına göre yıllık enerji üretim miktarı

Van ili için yüzer tip FV santraldeki panellerin eğim açlarına göre yıllık enerji üretim değerlerini ve optimum değer elde edildiği açının belirlenmesi adına 13° ile 17° arasında değerlerin kontrolü PVsyst programı aracılığıyla ayrı ayrı analiz edilerek Şekil 43 ve Şekil 44'te gösterilmiştir. Yüzer sistemlerde kullanılan panel eğim çansı 15 derecede en yüksek çıkması ile hesaplamalar bu açı üzerinden yapılmıştır. Şekil 43'e göre panel yüzeyine düşen ışınım miktarının 15° eğim açısında 1878 kWh/m<sup>2</sup> değeri ile maksimum düzeyde olduğu görülmektedir. Şekil 44'e göre yüzer sistemlerdeki yıllık enerji üretimi 2146987 kWh çıkması en optimum açının 15° olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 43. Yüzer sistem eğim açısına göre panel yüzeyine düşen ışınım



Şekil 44. Yüzer sistem eğim açısına göre yıllık enerji üretim miktarı

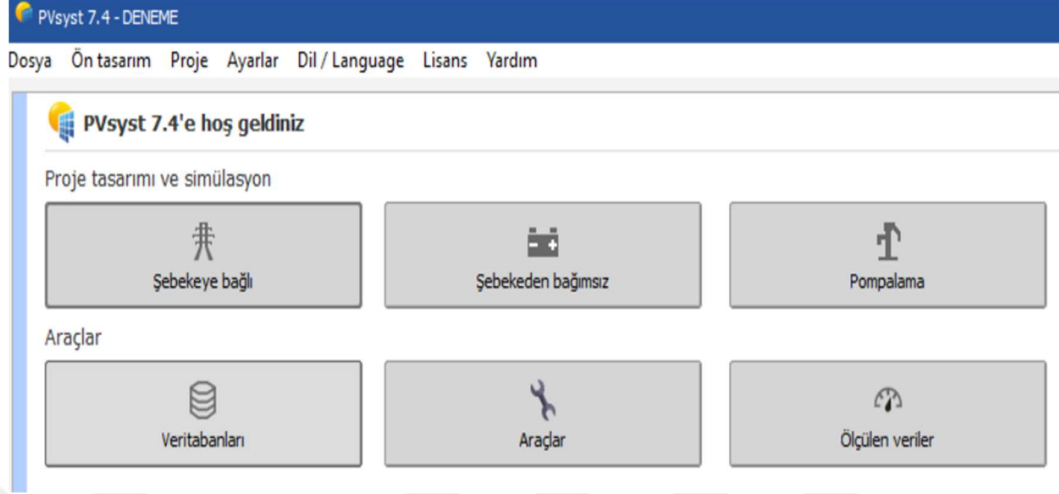
Bir FV sistemde panelden sonra en önemli malzeme olan solar eviricilerdir. Yine bu kapsamda ülkemizde en çok kullanılan ve kalitesi açısından da üst seviyede olan Şekil 45'te görülen Huawei Marka Sun 2000-100KTL-M1 modeli tercih edilmiştir. Eviriciye ait giriş ve çıkış verilerini gösteren katalog bilgisi Tablo 3'te belirtilmiştir. Bu eviricide 10 adet Maksimum güç noktası izleyici (MPPT) bulunmaktadır ve her MPPT ye ait 2 giriş bulunmaktadır. Evirici ve panelin elektriksel giriş ve çıkış verilerine göre uygun şekilde diziler oluşturulmaktadır. Bu kapsamda yapılan örnek tesiste her bir eviriciye 13 adet dizi bağlanmaktadır. Her bir dizi 18 panelden oluşmaktadır. Bir dizinin gücü 9.81 kWp' dir. Bir eviriciye bağlı toplam 234 adet panel bulunmaktadır. 234 Adet panelin Dc gücü 127.53 kWp değerindedir. Tesiste 10 adet evirici kullanılmış olup hepsine aynı şekilde panel ve dizi girişi yapılmaktadır. Tesis 1000 kWe AC güç ve 1275.3 kWp DC güç değerine sahiptir.



Şekil 45. Kullanılacak evirici görünüşü (URL-26, 2024)

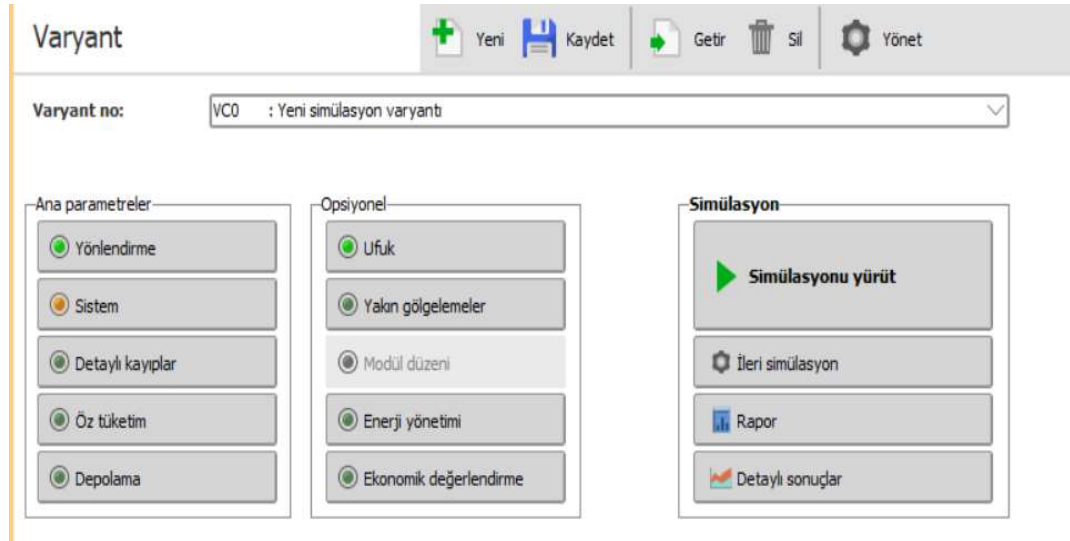
Tablo 3. Evirici katalog değerleri

| <b>Technical Specification</b>      | <b>SUN2000-100KTL-M1</b>                             |
|-------------------------------------|--|
| <b>Efficiency</b>                   |  |
| Max. Efficiency                     | 98.8% @480 V; 98.6% @380 V/400 V                     |
| European Efficiency                 | 98.6% @480 V; 98.4% @380 V/400 V                     |
| <b>Input</b>                        |  |
| Max. Input Voltage                  | 1100 V   |
| Max. Current per MPPT               | 26 A   |
| Max. Short Circuit Current per MPPT | 40 A   |
| Start Voltage                       | 200 V  |
| MPPT Operating Voltage Range        | 200 V ~ 1000 V                                       |
| Rated Input Voltage                 | 570V @380 V; 600 V @400 V; 720 V @480 V              |
| Number of Inputs                    | 20   |
| Number of MPP Trackers              | 10   |
| <b>Output</b>                       |  |
| Rated AC Active Power               | 100.000 W (380 V / 400 V / 480 V @40°C)              |
| Max. AC Apparent Power              | 110.000 VA   |
| Max. AC Active Power                | 110.000 W  |
| Rated Output Voltage                | 220V/230V, default 3W+N+PE; 380 V/400 V/480V, 3W+ PE |
| Rated AC Grid Frequency             | 50 Hz / 60 Hz  |
| Rated Output Current                | 152.0 A @380 V; 144.4 A @400 V; 120.3 A @480 V       |
| Max. Output Current                 | 168.8 A @380 V; 160.4 A @400 V; 133.7 A @480 V       |
| Adjustable Power Factor Range       | 0,8 LG ... 0,8 LD                                    |
| Max. Total Harmonic Distortion      | <3%  |
| <b>Protection</b>                   |  |
| Input-side Disconnection Device     | Yes  |
| Anti-islanding Protection           | Yes  |
| AC Overcurrent Protection           | Yes  |
| DC Reverse-polarity Protection      | Yes  |
| PV-array String Fault Monitoring    | Yes  |
| DC Surge Arrester                   | Type II  |
| AC Surge Arrester                   | Type II  |
| DC Insulation Resistance Detection  | Yes  |
| Residual Current Monitoring Unit    | Yes  |
| <b>Communication</b>                |  |
| Display                             | LED Indicators, APP                                  |
| RS485                               | Yes  |
| USB                                 | Yes  |
| MBUS                                | Yes ( isolation transformer required)                |
| <b>General Data</b>                 |  |
| Dimensions (W x H x D)              | 1035 x 700 x 365mm (40.7 x 27.6x 14.4 inch)          |
| Weight (With mounting plate)        | 90 kg (187,4 lb. )                                   |
| Operating Temperature Range         | -25°C ~ 60°C(-13°F~140°F)                            |
| Cooling Method                      | Smart Air Cooling                                    |
| Max. Operating Altitude             | 4.000 m (13.123 ft.)                                 |
| Relative Humidity                   | 0 ~ 100%   |
| DC Connector                        | Staubli MC4  |



Şekil 46. PVsyst simülasyonu ana ekranı

Şekil 46’da belirtildiği üzere şebeke bağlantılı bir tesis projesi planlandığı için ‘Şebekeye bağlı’ seçeneği üzerinden seçim yapıldıktan sonra simülasyon arayüzü açılmaktadır. Tasarlanmak istenen sisteme ait coğrafi lokasyon (Enlem ve boylam olarak), tilt açısı, azimut açısı, panel tipi ve adedi, solar evirici tipi ve adedi ve meteorolojik verilerinin Şekil 47’de gösterilen ekrana giriş yapılmasıyla birlikte simülasyon yürüt butonuna basılarak teknik analiz başlatılır ve yıllık oluşan veriler rapor halinde pdf uzantısı olarak kaydedilebilir.



Şekil 47. PVsyst verilerinin girildiği ara yüzü

### 6.3. Ekonomik Analiz Yöntemleri

Bir projenin finansal açıdan değerlendirilerek karlılığın hesaplandığı yöneteme ekonomik analiz denir. Yapılacak olan yatırımın, projenin ekonomik ömrü boyunca elde edeceği gelir ve giderleri finansal açıdan belirlenmesiyle birlikte ekonomik analiz yapılabilir. Bu kapsamda ilk yatırım maliyeti, işletme giderleri, elektrik birim fiyatı, projeden elden edilecek gelir, faiz ve iskonto oranlarının veri olarak bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada net bugünkü değer (NBD) yöntemi, fayda masraf oranı (FMO) ve geri ödeme süresi (GÖS) yöntemi kullanılacaktır.

#### 6.3.1. Net Bugünkü Değer (NBD) Yöntemi

Bu yöntemde paranın zaman değerinin dikkate alınarak yatırımın ekonomik ömrü boyunca sağladığı faydanın bugünkü değerleri toplamı ile yatırım maliyetinin bugünkü değerleri toplamı arasındaki fark olarak hesaplanmaktadır. Bu hesaplama sonucunda elde edilen sonuç pozitif ise projenin karlı bir sistem olduğu, negatif olması halinde ise kazançların ilk yatırım maliyetlerini karşılamadığını göstermektedir. Eşitlik 5'e göre NBD değerinin sıfır olması ise projede kar veya zarar durumu olmayıp projeden sağlanan kazançların ilk yatırım maliyetleri ile aynı olduğu durumu ortaya çıkmaktadır (Mehmet Ümit, 2018).

NBD = Nakit girişlerinin bugünkü değeri – Nakit çıkışlarının bugünkü değeri

NBD = GBD – MBD

$$NBD = A(F/A; \%i, n) - c$$
 Eşitlik (5)

Eşitlik 2'ye göre;

NBD : Net bugünkü değer (\$),

GBD : Gelirlerin bugünkü değeri (\$),

MBD : Maliyetlerin bugünkü değeri (\$)

P : Paranın şimdiki değeri

F : Paranın gelecekteki değeri

A : n dönem devam eden düzgün olarak artan dönem sonu değeri

i : Faiz oranı, %

n : Faiz dönem sayısı

c : İlk yatırım maliyeti

### 6.3.2. Fayda Masraf Oranı

Fayda masraf oranı, yatırımın ekonomik ömrü boyunca sağladığı getiri değerinin bugünkü değerleri toplamının yatırım maliyetlerinin bugünkü değerleri toplamına bölünmesi suretiyle aşağıda belirtilen Eşitlik 6 ile hesaplanır (Gedik T., Akyüz K.C., Akyüz İ. 2005).

$$FMO = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{M_t}{(1+i)^t}} \quad \text{Eşitlik (6)}$$

Fayda masraf oranının 1'den büyük olması durumunda yatırım karlı olarak görülmekte olup, 1 'den küçük olması durumunda yatırım kararının reddedilmesi gerekmektedir. 1 olması durumunda yatırımın ekonomik ömrü boyunca toplam kazançların maliyetlere denk geleceğini göstermektedir.

### 6.3.3. Geri Ödeme Süresi

Yatırımdaki tasarruf miktarının toplamının, ilk yatırım bedeline ulaştığı zamana geri ödeme süresi denir. Geri ödeme süresi Eşitlik 7'de belirtildiği formül ile bulunur. Bu yöntemle birlikte yapılacak olan yatırımın geri dönüş süresi hesaplanarak yatırımın uygun olup olmadığının kontrolü sağlanır. Geri ödeme süresi arttıkça yatırımcıların başka yatırımlara yönelmesine sebep olabilir. Bu sürenin az olması ile katma değerinin ve riskin az olması yatırımcı için istenen bir durumdur (Gedik T., Akyüz K.C., Akyüz İ. 2005).

$$GÖS = \sum GÖS + (YNGÖS/TYNA) \quad \text{Eşitlik (7)}$$

GÖS : Yatırım geri ödeme süresi

YNGÖS : Yılın başında yatırımın geri ödenmemiş geri ödemesi

TYNA : Takip eden yıldaki nakit akışı

## 7. FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Panel verimlilikleri açısından karasal ve yüzer tip sistemler karşılaştırıldığında suyun buharlaşmasından kaynaklanan soğutucu faktör, yüzer sistemlerin daha düşük sıcaklıklarda, yani standart test koşullarına yakın koşullarda çalıştığı için karadaki ges sistemlerindeki verimliliğe göre %10 civarında daha fazla verimli olmaktadır. Yüzer ges sistemleri için su rezervuarlarına kurulumları yapıldığından dolayı herhangi bir arazi kullanımına ihtiyaç duyulmamaktadır. Böylelikle konstrüksiyon, zemin etüdü, arazi tesviyesi gibi maliyetleri ortadan kaldırmasını sağlamıştır. Yüzölçümü açısından ve uygulanabilir ges alanının küçük olduğu ülkelerde arazinin ges için kullanılması pek uygun olmamaktadır. Bu ülkelerdeki arazilerin tarım, madencilik gibi sektörlerde kullanılması, kullanılmayan su yüzeylerinin kullanılmasıyla birlikte enerji üretimi yapılabilmektedir.

Su rezervuarlarına kurulan yüzer ges tesislerin sayesinde su altındaki bitkilerin fotosentez olayı düşecektir. Yüzer FV santrallerinin su altındaki bitkilere yapmış olduğu gölge etkisinden dolayı alg oluşumu artacak ve aynı zamanda suyun kalitesinin artmasını da sağlayacaktır. Su sıcaklığının düşmesi ile buharlaşma azalacağından dolayı doğal göllerde %33, yapay göllerde ise %50 oranında buharlaşmayı azalttığı görülmüştür (Sahu, Yadav, & Sudhakar, 2016).

Yüzer sistemlerde kullanılan montaj ekipmanları ağır olmadığından dolayı montajı karasal sistemlerdeki uygulamalara göre daha kolaydır. Montaj maliyetleri ve montaj süresi de karasal sistemlere göre daha azdır. Yüzer sistemlerde panellerin tozlanma miktarı az olacağından dolayı panel verimi artacak ve bakım maliyetlerinin de düşmesine sebep olacaktır.

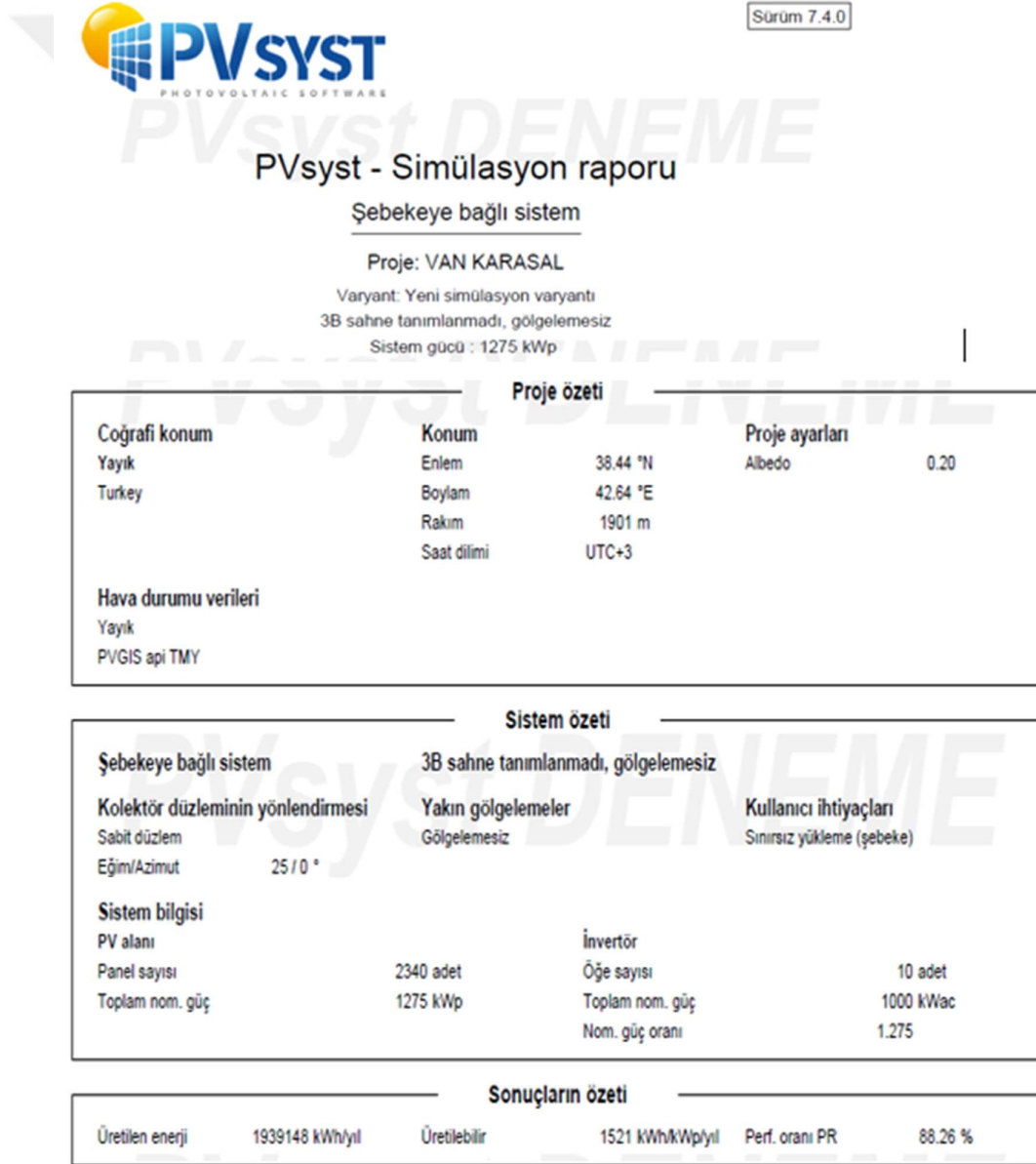
Yüzer sistemlerin ilk yatırım maliyetleri karasal sistemlerin ilk yatırım maliyetine göre % 7 daha fazladır. Yüzer sistemlerde üretilen enerjinin karaya transferinin belirli zorlukları bulunmaktadır. Yüzen sistemler için sel, dalga ve rüzgâr gibi doğal afetlerden hızlı bir şekilde etkilenme durumu olabilmektedir. Bu sebeple denizler üzerinde kurulum yapılması oldukça zor gözükmektedir. Ayrıca yüzer sistemlerin sudaki ekolojik dengenin bozulmasına sebep olabileceği ve canlı çeşitliliğine zarar vereceği hususunda olumsuz bir etki yaratacağı ileri sürülmektedir.

Yüzer FV panelleri, enerji verimliliği açısından karasal sistemlerdeki FV panellerine göre katmanlarının daha düşük sıcaklıkta olması sebebiyle daha verimlidir.

Nem oranının yüksek olması sebebi ile paneli oluşturan modüllerin enerji üretim performansları nemden etkilenebilir. Üretilen enerjinin su yüzeyinden karaya transferi için güvenlik sorunları oluşabilir. Denizlerdeki medcezirlerin solar panellerin konumu sürekli değiştirme sebebiyle deniz üzerine kurulum yapmak oldukça zordur.

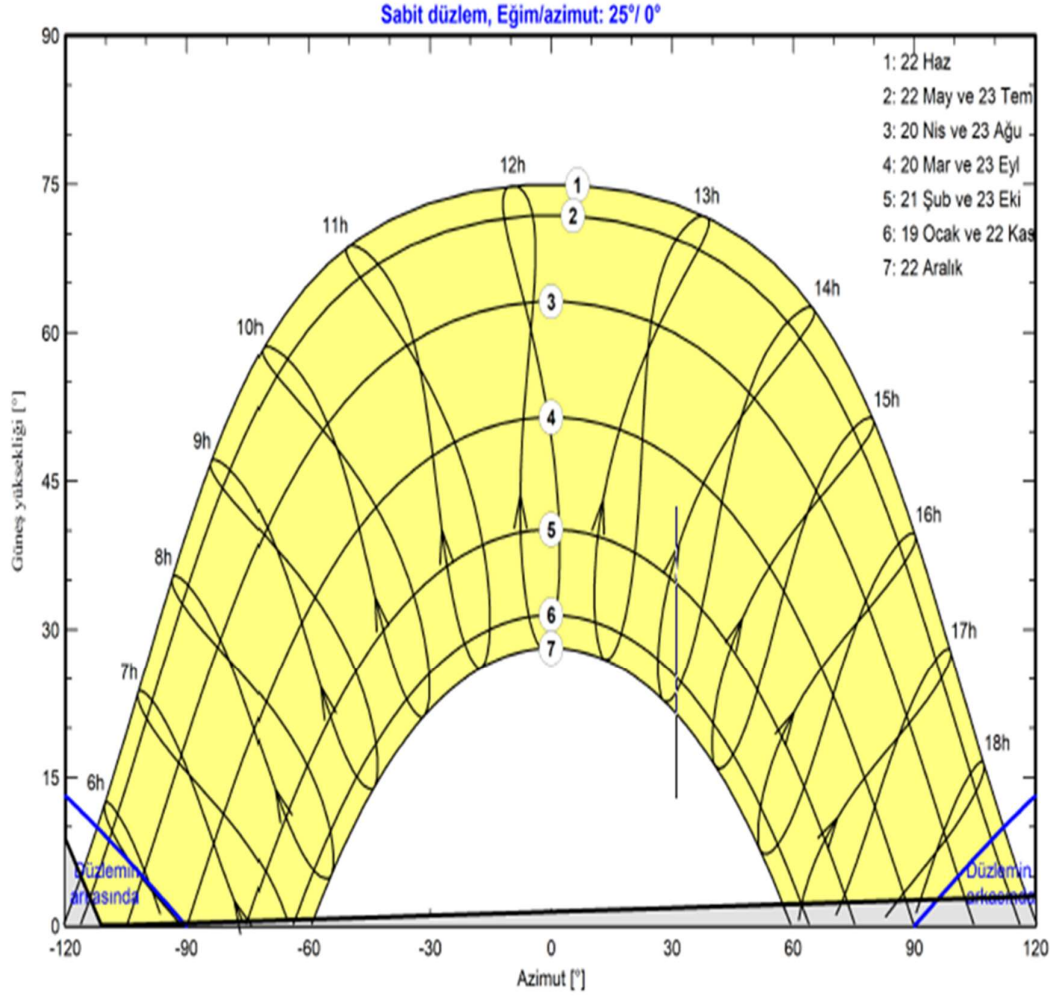
### 7.1. Karasal Ges Tip için PVsyst Raporu

Şekil 48.'de karasal sistem için PVsyst raporunun özeti çıkarılmıştır.



Şekil 48. Karasal sistem PVsyst özeti

Özet kısmında panel eviricinin sayısı ve gücü, eğim açısının değeri, azimut açısının değeri, enlem boylam değerleri, üretilen enerji miktarının değeri ve performans oranı bulunmaktadır. Tasarımda kullanılan panel sayısının 2340 adet 545 W panel kullanıldığı, eviricinin ise 10 adet 100 kW evirici kullanıldığı görülmektedir. Toplam DC gücün 1275 kWp olduğu görülmektedir. Sistemin yıllık enerji üretiminin 1939148 kWh çıktığı gözlemlenmiştir. Bu tez kapsamında eğim açısı karasal sistem için optimum açı olan 25° alınmıştır. PVsyst programında güneş enerji santralinin gölgeleme unsurları simüle edilebilmektedir. Bunun sonucunda güneş enerji santrali kapsamındaki panellerin yılın 365 günü güneşe göre konumunu gösterir ufuk çizgisi Şekil 49’da verilmiştir. PVsyst yazılımı güneş enerjisi santralinin kurulacağı alanla ilgili meteorolojik veriyi PVgis, Meteornorm, Solargis gibi farklı veri tabanlarından alır.



Şekil 49. Karasal sistem ufuk tanımlaması

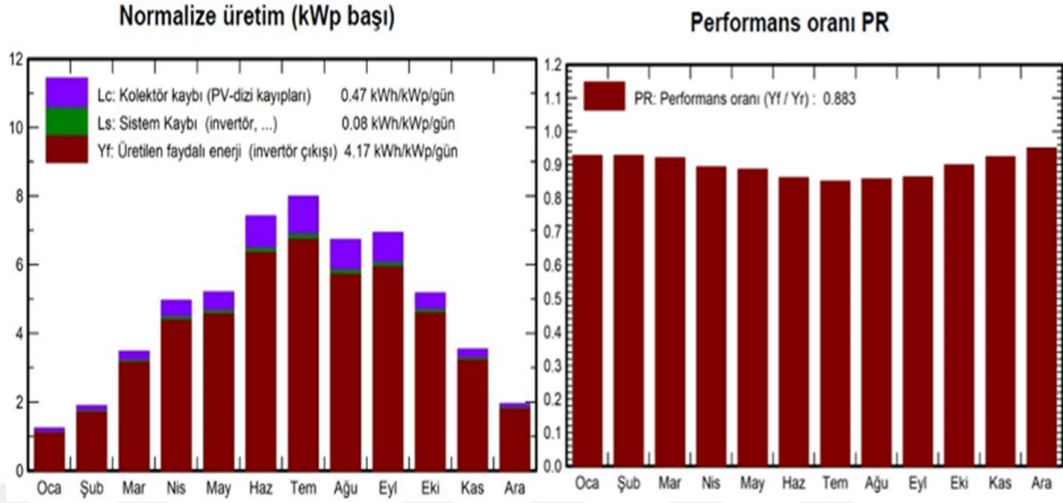
| Genel parametreler                |  |                                     |  |
|-----------------------------------|--|-------------------------------------|--|
| Şebekeye bağlı sistem             |  | 3B sahne tanımlanmadı, gölgelemesiz |  |
| Kolektör düzleminin yönlendirmesi |  |                                     |  |
| Yönlendirme                       |  | Dizi ayarları                       |  |
| Sabit düzlem                      |  | 3B sahne tanımlanmadı               |  |
| Eğim/Azım                         |  | 25 / 0 °                            |  |
| Ufuk                              |  | Yakın gölgelemeler                  |  |
| Ortalama yükseklik                |  | 4.8 °                               |  |
|                                   |  | Gölgelemesiz                        |  |
|                                   |  | Kullanılan modeller                 |  |
|                                   |  | Transpozisyon                       |  |
|                                   |  | Perez                               |  |
|                                   |  | Difüz                               |  |
|                                   |  | İndirildi                           |  |
|                                   |  | Circumsolar                         |  |
|                                   |  | ayrı                                |  |
|                                   |  | Kullanıcı ihtiyaçları               |  |
|                                   |  | Sınırsız yükleme (şebeke)           |  |

| Kolektör alanının özellikleri                  |  |                          |  |
|--|--|--------------------------|--|
| PV modül                                       |  | İnvertör                 |  |
| Üretici  |  | Üretici                  |  |
| Generic  |  | Generic                  |  |
| Model  |  | Model                    |  |
| ELNSM72M-HC-HV                                 |  | SUN2000-100KTL-M1-400Vac |  |
| (Kullanıcı tarafından belirlenen parametreler) |  |                          |  |
| (Orijinal PVsyst veritabanı)                   |  |                          |  |
| Birim gücü                                     |  | Birim gücü               |  |
| 545 Wp   |  | 100 kWac                 |  |
| PV modül sayısı                                |  | İnvertör sayısı          |  |
| 2340 adet                                      |  | 10 adet                  |  |
| Nominal (STC)                                  |  | Toplam güç               |  |
| 1275 kWp                                       |  | 1000 kWac                |  |
| Modül  |  | Çalışma gerilimi         |  |
| 130 Zincir x 18 Seri                           |  | 200-1000 V               |  |
| İşletme şartlarında (50°C)                     |  |                          |  |
| Pmpp   |  | Maks güç (=>33°C)        |  |
| 1184 kWp                                       |  | 110 kWac                 |  |
| U mpp  |  | Nom. güç oranı (DC:AC)   |  |
| 686 V  |  | 1.28                     |  |
| I mpp  |  | İnvertörde güç paylaşımı |  |
| 1726 A   |  |                          |  |
| Total PV gücü                                  |  | İnvertör toplam gücü     |  |
| Nominal (STC)                                  |  | Toplam güç               |  |
| 1275 kWp                                       |  | 1000 kWac                |  |
| Toplam   |  | Maks güç                 |  |
| 2340 modül                                     |  | 1100 kWac                |  |
| Panel yüzeyi                                   |  | İnvertör sayısı          |  |
| 6047 m <sup>2</sup>                            |  | 10 adet                  |  |
|  |  | Nom. güç oranı           |  |
|  |  | 1.28                     |  |

| Dizi kayıpları   |       |                       |       |       |       |       |       |       |
|--|-------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Termal kayıp faktörü                                   |       | DC kablolama kaybı    |       |       |       |       |       |       |
| Işınımına göre modül sıcaklığı                         |       | Global alan direnci   |       |       |       |       |       |       |
| Uc (sabit)   |       | 6.5 mΩ                |       |       |       |       |       |       |
| 20.0 W/m <sup>2</sup> K                                |       | Kayıp oranı           |       |       |       |       |       |       |
| Uv (rüzgar)  |       | 1.5 STC'de%           |       |       |       |       |       |       |
| 0.0 W/m <sup>2</sup> K/m/s                             |       |                       |       |       |       |       |       |       |
| Modül uyumsuzluk kaybı                                 |       | Dizi uyumsuzluk kaybı |       |       |       |       |       |       |
| Kayıp oranı  |       | Kayıp oranı           |       |       |       |       |       |       |
| 2.0 MPP'de%  |       | 0.2 %                 |       |       |       |       |       |       |
| IAM kayıp faktörü                                      |       |                       |       |       |       |       |       |       |
| Yansımaya etkisi (IAM): Fresnel, normal cam, n = 1.528 |       |                       |       |       |       |       |       |       |
| 0°   | 30°   | 50°                   | 60°   | 70°   | 75°   | 80°   | 85°   | 90°   |
| 1.000  | 0.998 | 0.981                 | 0.948 | 0.862 | 0.776 | 0.638 | 0.403 | 0.000 |

Şekil 50. Karasal sistem PVsyst genel parametreler

Şekil 50'de karasal sistem için oluşturulan genel tasarım bilgileri verilmiştir. Panellerin 18 li seri halinde toplam 130 adet zincir olduğu görülmektedir. İşletme şartlarında maksimum güç, akım ve gerilim değerinin hesabını program otomatik olarak çıkarmıştır. Eviriciye yüklenen panel gücü oranının evirici gücüne oranla 1.28 katı olduğu görülmektedir.

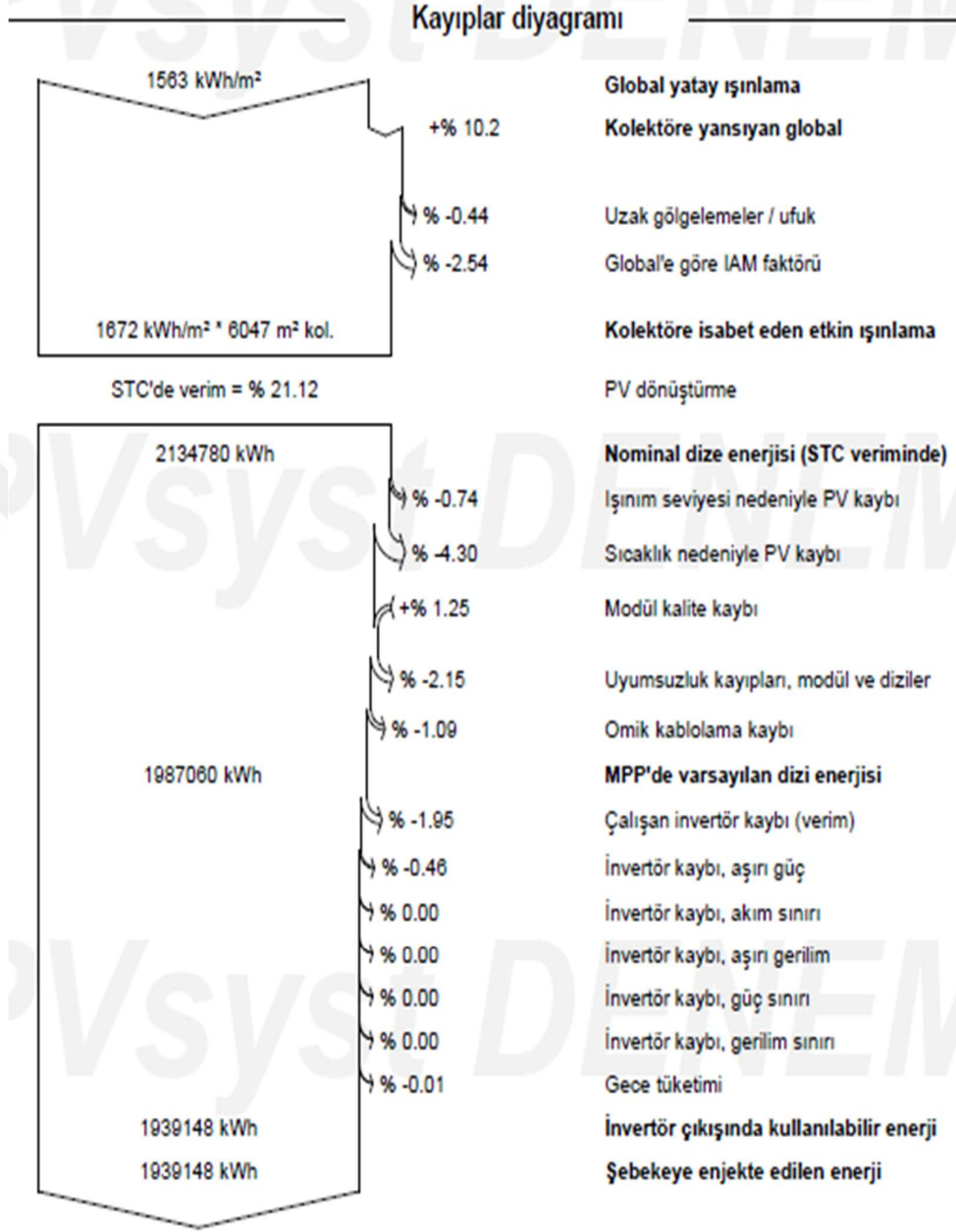


Şekil 51. PVsyst üretim grafikleri

Tablo 4. Karasal sistem PVsyst ürettiim değerleri

|          | GlobHor<br>kWh/m <sup>2</sup>                  | DiffHor<br>kWh/m <sup>2</sup> | T_Amb<br>°C | GlobInc<br>kWh/m <sup>2</sup> | GlobElf<br>kWh/m <sup>2</sup>    | EArray<br>kWh | E_Grid<br>kWh | PR<br>oran |
|----------|--|-------------------------------|-------------|-------------------------------|----------------------------------|---------------|---------------|------------|
| Ocak     | 34   | 29.39                         | -1.78       | 38.2                          | 36.2                             | 46093         | 45186         | 0.927      |
| Şubat    | 45.5   | 30.04                         | -4.69       | 52.8                          | 51.1                             | 63896         | 62520         | 0.928      |
| Mart     | 95.1   | 57.95                         | -0.09       | 107.7                         | 104.2                            | 129159        | 126571        | 0.921      |
| Nisan    | 139.3  | 70.4                          | 4.64        | 148.7                         | 144.2                            | 172992        | 169497        | 0.894      |
| Mayıs    | 160.4  | 77.47                         | 10.48       | 161.4                         | 156.4                            | 186052        | 182406        | 0.886      |
| Haziran  | 228.2  | 68.69                         | 17.2        | 222.8                         | 216.3                            | 249722        | 244800        | 0.862      |
| Temmuz   | 248.9  | 66.47                         | 21.21       | 247.7                         | 240.8                            | 274311        | 268968        | 0.851      |
| Ağustos  | 197.3  | 71.41                         | 21.56       | 208.9                         | 203.2                            | 232817        | 228365        | 0.857      |
| Eylül    | 174.7  | 54.1                          | 19.03       | 208                           | 202.8                            | 233710        | 229171        | 0.864      |
| Ekim     | 120.4  | 44.16                         | 8.22        | 160.2                         | 155.8                            | 187458        | 183731        | 0.899      |
| Kasım    | 73.8   | 32.78                         | 3.42        | 106.2                         | 102.8                            | 127543        | 125045        | 0.924      |
| Aralık   | 45.4   | 30.98                         | -4.48       | 60.2                          | 57.7                             | 74352         | 72886         | 0.95       |
| Yıl      | 1563.1   | 633.86                        | 7.96        | 1722.7                        | 1671.6                           | 1979148       | 1939148       | 0.883      |
| Açıklama |  |                               |             | EArray                        | Dizinin çıkışındaki etkin enerji |               |               |            |
| GlobHor  | Global yatay ışınlama                          |                               |             | E-Grid                        | Şebekeye enjekte edilen enerji   |               |               |            |
| DiffHor  | Yatay difüz ışınlam                            |                               |             | PR                            | Performans oranı                 |               |               |            |
| T_Amb    | Çevre sıcaklığı                                |                               |             |                               |                                  |               |               |            |
| GlobInc  | Kolektöre yansıyan global                      |                               |             |                               |                                  |               |               |            |
| GlobEff  | IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global |                               |             |                               |                                  |               |               |            |

Tablo 4'e göre karasal sistemlerdeki PVsyst programı enerji üretimine bakıldığında dizinin çıkışındaki etkin enerjinin 1978106 kWh olduğu görülmektedir. Ancak kayıplar ile birlikte bu enerji miktarı 1939148 kWh düştüğü gözlemlenmiştir. Aylık olarak bakıldığında temmuz ayında 268968 kWh değeri ile en yüksek enerji üretimi ve ocak ayında 45186 kWh değeri ile en az enerji üretimi yaptığı ay olmuştur. Şekil 51.' de santraldeki performans oranı ortalaması olarak 0.883 değer olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 52. Karasal sistem PVsyst kayıpları

Şekil 52'ye göre karasal sistem için üretilen kayıpların miktarı ve neden kaynaklandığı belirtilmiştir. Standart test koşullarına göre enerji üretimi 2134780 kWh değerinde çıkmış olduğu gözükmektedir. Sıcaklık nedeniyle (% -4.3), invertör kaybı sebebiyle (% -2.41), ışınım seviyesi nedeniyle (% -0.74), uyumsuzluk kayıpları (% -2.15) vb. sebeplerden dolayı verim düşmüştür. Şebekeye enjekte edilen enerji üretimi 1939148 kWh değerine düşmüş olduğu gözlemlenmiştir.

## 7.2. Yüzer Ges İçin PVsyst Raporu

PVsyst 7.4.0 versiyonu kullanılarak Şekil 53.'de yüzer sistem için PVsyst raporunun özeti verilmiştir.



### PVsyst - Simülasyon raporu

#### Şebekeye bağlı sistem

Proje: VAN YÜZER

Varyant: New simulation variant

3B sahne tanımlanmadı, gölgelemesiz

Sistem gücü : 1275 kWp

#### Proje özeti

| Coğrafi konum | Konum       | Proje ayarları |      |
|---------------|-------------|----------------|------|
| Kıztaşı       | Enlem       | 38.62 °N       |      |
| Türkiye       | Boylam      | 42.75 °E       |      |
|               | Rakım       | 1647 m         |      |
|               | Saat dilimi | UTC+3          |      |
|               |             | Albedo         | 0.20 |

| Hava durumu verileri |
|----------------------|
| Kıztaşı              |
| PVGIS api TMY        |

#### Sistem özeti

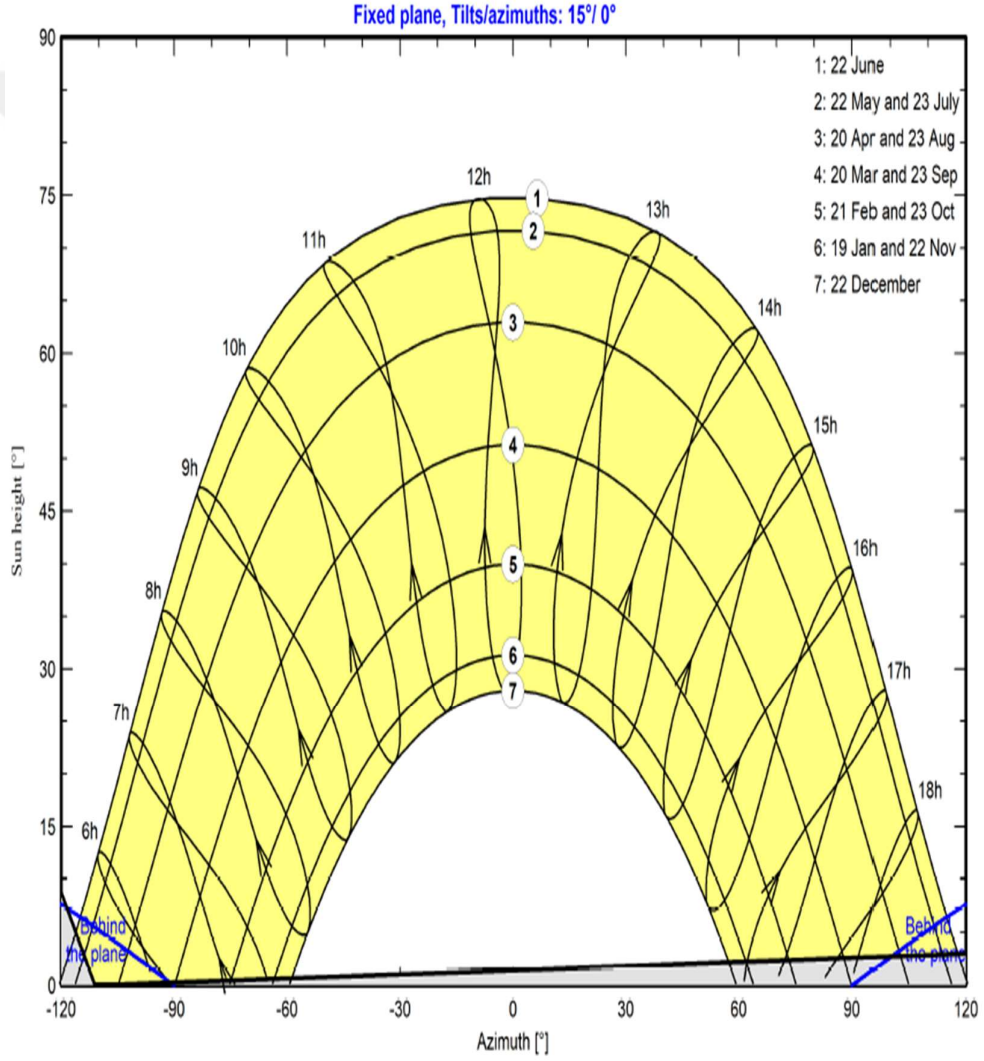
|                                   |                                     |                           |           |
|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|-----------|
| Şebekeye bağlı sistem             | 3B sahne tanımlanmadı, gölgelemesiz |                           |           |
| Kolektör düzleminin yönlendirmesi | Yakın gölgelemeler                  | Kullanıcı ihtiyaçları     |           |
| Sabit düzlem                      | Gölgelemesiz                        | Sınırsız yükleme (şebeke) |           |
| Eğim/Azım                         | 15 / 0 °                            |                           |           |
| Sistem bilgisi                    |                                     |                           |           |
| PV alanı                          |                                     | İnvertör                  |           |
| Panel sayısı                      | 2340 adet                           | Öge sayısı                | 10 adet   |
| Toplam nom. güç                   | 1275 kWp                            | Toplam nom. güç           | 1000 kWac |
|                                   |                                     | Nom. güç oranı            | 1.275     |

#### Sonuçların özeti

|                 |                 |              |                  |                |         |
|-----------------|-----------------|--------------|------------------|----------------|---------|
| Üretilen enerji | 2146987 kWh/yıl | Üretilebilir | 1684 kWh/KWp/yıl | Perf. oranı PR | 88.36 % |
|-----------------|-----------------|--------------|------------------|----------------|---------|

Şekil 53. Yüzer sistem PVsyst özeti

Özet kısmında panel eviricinin sayısı ve gücü, eğim açısının değeri, azimut açısının değeri, enlem boylam değerleri, üretilen enerji miktarının değeri ve performans oranı bulunmaktadır. Tasarımda kullanılan panel sayısının karasal sistemde kullanılan panel sayısı ile aynı olup 2340 adet 545 W panel kullanıldığı, eviricinin ise aynı şekilde 10 adet 100 kW evirici kullanıldığı görülmektedir. Sistemin yıllık enerji üretiminin 2146987 kWh çıktığı gözlemlenmiştir. Eğim açısı yüzer sistem için optimum açı olan  $15^\circ$  alınmıştır. Şekil 54'te yüzer sistem için ufuk çizgisinin oluşturulduğu görülmektedir.



Şekil 54. Yüzer sistem için ufuk çizgisi

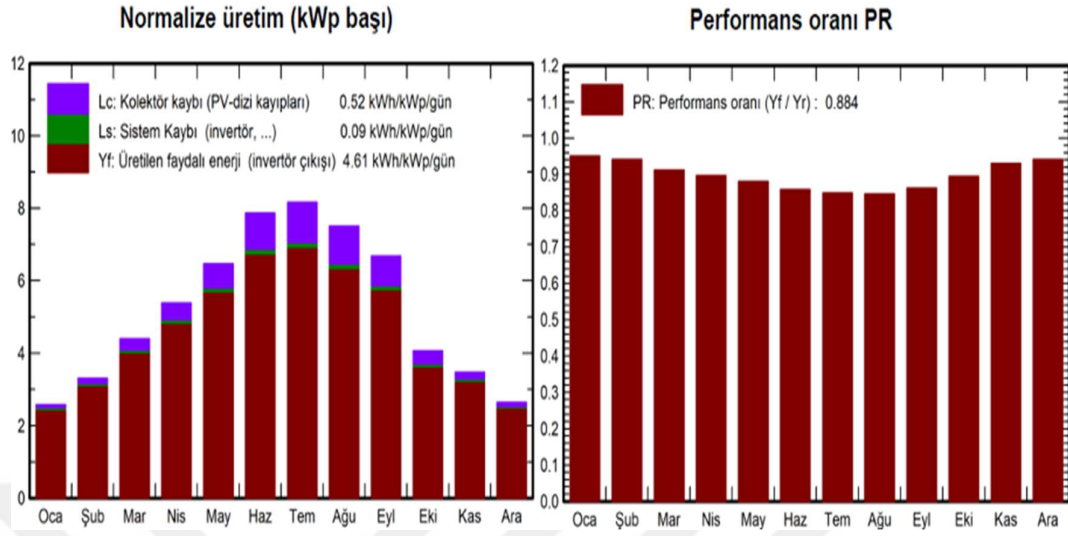
| Genel parametreler                |                                     |                           |           |
|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|-----------|
| Şebekeye bağlı sistem             | 3B sahne tanımlanmadı, gölgelemesiz |                           |           |
| Kolektör düzleminin yönlendirmesi |                                     |                           |           |
| Yönlendirme                       | Dizi ayarları                       | Kullanılan modeller       |           |
| Sabit düzlem                      | 3B sahne tanımlanmadı               | Transpozisyon             | Perez     |
| Eğim/Azimut                       | 15 / 0 °                            | Difüz                     | İndirildi |
|                                   |                                     | Circumsolar               | ayn       |
| Ufuk                              | Yakın gölgelemeler                  | Kullanıcı ihtiyaçları     |           |
| Ufuk tanımlanmadı                 | Gölgelemesiz                        | Sınırsız yükleme (şebeke) |           |

| Kolektör alanının özellikleri |                      |                              |                             |
|-------------------------------|----------------------|------------------------------|-----------------------------|
| <b>PV modül</b>               |                      |                              | <b>İnvertör</b>             |
| Üretici                       | Generic              | Üretici                      | Generic                     |
| Model                         | JAM72-S30-545-MR     | Model                        | SUN2000-100KTL-M1-400Vac    |
| (Orijinal PVsyst veritabanı)  |                      | (Orijinal PVsyst veritabanı) |                             |
| Birim gücü                    | 545 Wp               | Birim gücü                   | 100 kWac                    |
| PV modül sayısı               | 2340 adet            | İnvertör sayısı              | 10 adet                     |
| Nominal (STC)                 | 1275 kWp             | Toplam güç                   | 1000 kWac                   |
| Modül                         | 130 Zincir x 18 Seri | Çalışma gerilimi             | 200-1000 V                  |
| İşletme şartlarında (50°C)    |                      | Maks güç (=>33°C)            | 110 kWac                    |
| Pmpp                          | 1171 kWp             | Nom. güç oranı (DC:AC)       | 1.28                        |
| U mpp                         | 682 V                | İnvertörde güç paylaşımı     |                             |
| I mpp                         | 1717 A               |                              |                             |
| <b>Total PV gücü</b>          |                      |                              | <b>İnvertör toplam gücü</b> |
| Nominal (STC)                 | 1275 kWp             | Toplam güç                   | 1000 kWac                   |
| Toplam                        | 2340 modül           | Maks güç                     | 1100 kWac                   |
| Panel yüzeyi                  | 6045 m <sup>2</sup>  | İnvertör sayısı              | 10 adet                     |
|                               |                      | Nom. güç oranı               | 1.28                        |

| Dizi kayıpları                 |  |             |                           |
|--------------------------------|--|-------------|---------------------------|
| <b>Termal kayıp faktörü</b>    | <b>DC kablolama kaybı</b>                      |             | <b>Modül kalite kaybı</b> |
| Işınımına göre modül sıcaklığı | Global alan direnci                            | 6.5 mΩ      | Kayıp oranı               |
| Uc (sabit)                     | 20.0 W/m <sup>2</sup> K                        | Kayıp oranı | 1.5 STC'de%               |
| Uv (rüzgar)                    | 0.0 W/m <sup>2</sup> K/m/s                     |             |                           |
| <b>Modül uyumsuzluk kaybı</b>  | <b>Dizi uyumsuzluk kaybı</b>                   |             |                           |
| Kayıp oranı                    | 2.0 MPP'de%                                    | Kayıp oranı | 0.2 %                     |
| <b>IAM kayıp faktörü</b>       | Yansımaya etkisi (IAM): Özelleştirilmiş profil |             |                           |
|                                | 0°   | 30°         | 50°                       |
|                                | 65°  | 70°         | 75°                       |
|                                | 80°  | 85°         | 90°                       |
|                                | 1.000  | 1.000       | 0.999                     |
|                                | 0.953  | 0.910       | 0.853                     |
|                                | 0.725  | 0.448       | 0.000                     |

Şekil 55. Yüzer sistem PVsyst genel parametreler

Şekil 55'te yüzer sistem için oluşturulan tasarım bilgileri verilmiştir. Panellerin 18'li seri halinde 130 zincir olduğu görülmektedir. İşletme şartlarındaki güç, akım ve gerilim değerlerinin hesabını program otomatik olarak çıkarmıştır. Eviriciye yüklenen panel gücünün de evirici gücüne oranla 1.28 katı olduğu anlaşılmaktadır.

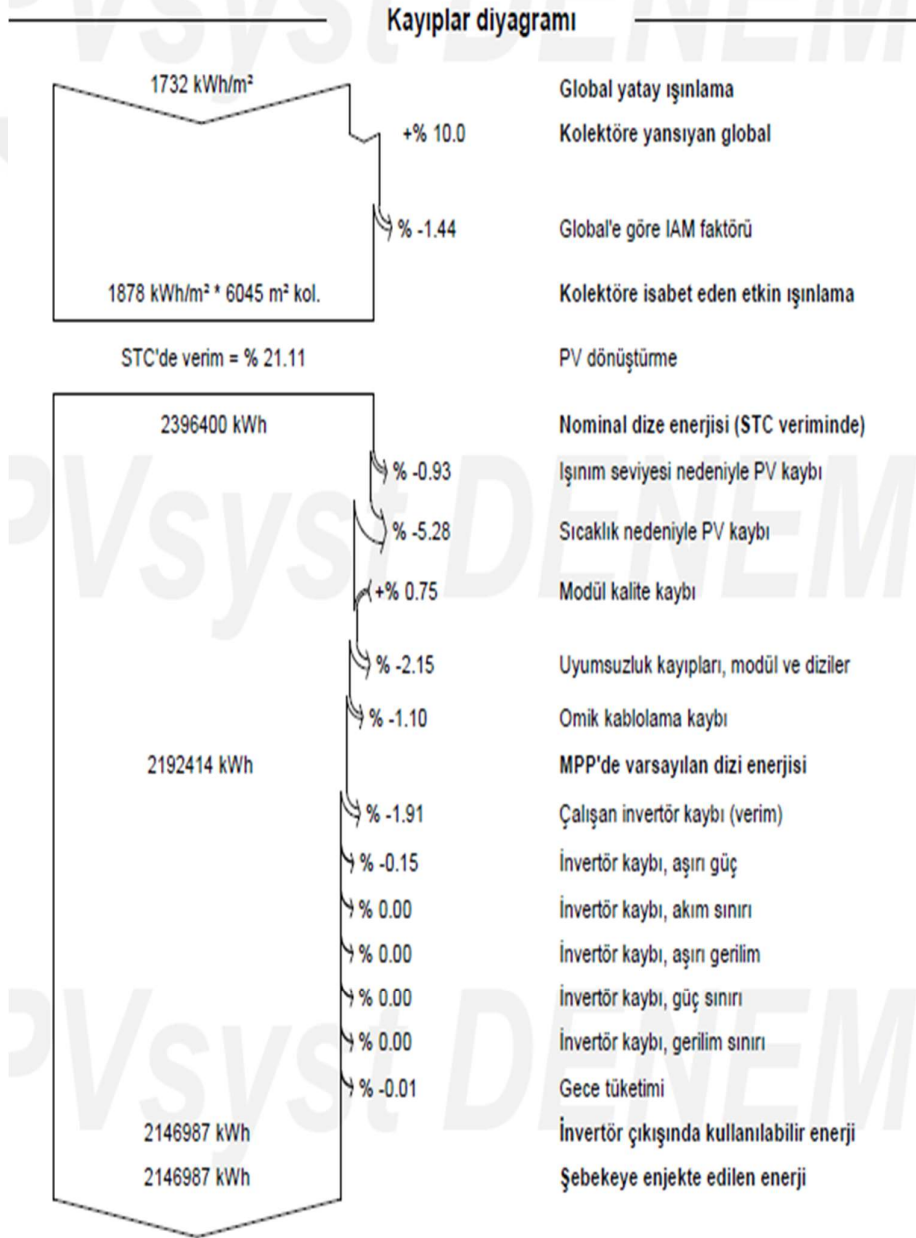


Şekil 56. Yüzer sistem PVsyst üretim grafikleri

Tablo 5. Yüzer sistem enerji üretimleri

|          | GlobHor<br>kWh/m <sup>2</sup>                  | DiffHor<br>kWh/m <sup>2</sup> | T_Amb<br>°C | GlobInc<br>kWh/m <sup>2</sup> | GlobElf<br>kWh/m <sup>2</sup>    | EArray<br>kWh | E_Grid<br>kWh | PR<br>oran |
|----------|--|-------------------------------|-------------|-------------------------------|----------------------------------|---------------|---------------|------------|
| Ocak     | 62.7   | 34.09                         | 0.52        | 80                            | 78.5                             | 98860         | 96993         | 0.951      |
| Şubat    | 76.8   | 37.08                         | 1.45        | 92.6                          | 91.1                             | 113417        | 111181        | 0.942      |
| Mart     | 121.1  | 54.37                         | 7.19        | 136.4                         | 134.4                            | 161993        | 158819        | 0.913      |
| Nisan    | 151.3  | 64.47                         | 8.06        | 161.6                         | 159.3                            | 188739        | 184947        | 0.898      |
| Mayıs    | 195.5  | 78.01                         | 13.87       | 200.4                         | 197.4                            | 229770        | 225275        | 0.881      |
| Haziran  | 235.4  | 60.03                         | 19.9        | 236                           | 232.7                            | 263316        | 258197        | 0.858      |
| Temmuz   | 248.9  | 60.41                         | 23.93       | 253.1                         | 249.8                            | 279269        | 273934        | 0.849      |
| Ağustos  | 219  | 57.72                         | 25.59       | 232.6                         | 229.7                            | 255875        | 251059        | 0.846      |
| Eylül    | 175.8  | 47.21                         | 22.32       | 200.5                         | 198.2                            | 224840        | 220602        | 0.863      |
| Ekim     | 104.8  | 43.45                         | 14.7        | 125.8                         | 123.8                            | 146470        | 143719        | 0.896      |
| Kasım    | 79.8   | 33.22                         | 6.29        | 104.3                         | 102.5                            | 126181        | 123797        | 0.931      |
| Aralık   | 60.5   | 27.28                         | 3.04        | 82                            | 80.3                             | 100366        | 98464         | 0.941      |
| Yıl      | 1731.6   | 597.35                        | 12.31       | 1905.3                        | 1877.7                           | 2189096       | 2146987       | 0.884      |
| Açıklama |  |                               |             | EArray                        | Dizinin çıkışındaki etkin enerji |               |               |            |
| GlobHor  | Global yatay ışınlama                          |                               |             | E-Grid                        | Şebekeye enjekte edilen enerji   |               |               |            |
| DiffHor  | Yatay difüz ışınlama                           |                               |             | PR                            | Performans oranı                 |               |               |            |
| T_Amb    | Çevre sıcaklığı                                |                               |             |                               |                                  |               |               |            |
| GlobInc  | Kolektöre yansıyan global                      |                               |             |                               |                                  |               |               |            |
| GlobEff  | IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global |                               |             |                               |                                  |               |               |            |

Tablo 5.'de Yüzer sistemlerdeki PVsyst programı enerji üretimine bakıldığında dizinin çıkışındaki etkin enerjinin 2189096 kWh olduğu görülmektedir. Ancak kayıplar ile birlikte bu enerji miktarı 2146987 kWh düştüğü gözlemlenmiştir. Aylık olarak bakıldığında temmuz ayında 273934 kWh değeri ile en yüksek enerji üretimi ve ocak ayında 96993 kWh değeri ile en az enerji üretimi yaptığı ay olmuştur. Şekil 56'ya bakıldığında santraldeki performans oranı ortalaması olarak 0.884 değer olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 57. Yüzer sistem için PVsyst kayıplar diyagramı

Şekil 57'ye göre yüzer sistem için üretilen kayıpların miktarı ve neden kaynaklandığı belirtilmiştir. Standart test koşullarına göre enerji üretimi 2396400 kWh değerinde çıkmış olduğu gözükmektedir. Sıcaklık nedeniyle (% -5.28), invertör kaybı sebebiyle (% -2.06), ışınım seviyesi nedeniyle (% -0.93), uyumsuzluk kayıpları (% -2.15) vb. sebeplerden dolayı verim düşmüştür. Şebekeye enjekte edilen enerji üretimi 21446987 kWh değerine düşmüş olduğu gözlemlenmiştir.

### 7.3. Ekonomik Analiz

Yapılacak ekonomik analiz ile karasal ve yüzer ges sistemlerinin PVsyst programındaki enerji üretim değerlerine göre ilk yatırım maliyeti ve geri dönüş süresinin hesaplanmasıyla yapılacak olan yatırımların yatırımcı için uygun olup olmadığı belirlenecektir.

Karasal ve yüzer sistemde kullanılacak malzemeler üzerinden maliyet hesabı verilecektir. PVsyst raporunda girdiğimiz verileri baz alınarak hesap çıkarılacaktır. Toplam kullanılan panel sayısı 2340 Adet 545 W panel olup 10 adet evirici kullanılmaktadır. İki sistemde de panel ve evirici ortak gider olarak ortaya çıkmaktadır. Örnek olarak yaptığımız arazi çalışmasında 1000 kWe değerindeki gücün sağlanabilmesi için yaklaşık olarak 15-20 dönüm alana ihtiyaç bulunmaktadır. Arazi sistemi için Tilt Açısı optimum açı olan 25° seçilmiştir. Yüzer sistem için ise tilt açısı 15° olarak seçilmiştir. Yapılacak olan hesaplamada arazinin maliyeti hesaba katılmamıştır.

Maliyet analizi yapılacak 1000 kWe FV Sistem için;

ndizi : Dizi sayısı = 130 adet

npanel : FV panel sayısı/Dizi = 18 adet

Ppanel : FV panel gücü = 545 Wp

Psistem : FV Sistem gücü

Psistem=ndizi.npanel.Ppanel

Eşitlik (8)

Eşitlik 8'de verilen formüle göre FV sistem değerleri girildiğinde;

$P_{\text{sistem}} = 130 [\text{dizi}] \cdot 18 [\text{panel/dizi}] \cdot 545 [\text{Wp/panel}] = 1275.3 \text{ kWp}$  olmaktadır.

Tablo 6.'ya göre yüzer sistemin toplam maliyetinin 888623\$ olduğu görülmektedir. Bu maliyetin en büyük payı %34 ile fotovoltaik panel oluşturmaktadır. Kullanılan malzemeler ortalama piyasa fiyatı olarak satıcılardan alınmış olup hesaba dahil edilmiştir. Yüzer sistem için kullanılan dubalar ve sabitleme sistemi Türkiye'de çok yaygın olmadığı için fiyatları ciddi oranda pahalıdır. Yüzer sistemlerdeki artış ile bu malzemelerin yerli olarak üretimine başlanması ile fiyatlarının düşeceği tahmin edilmektedir.

Yüzer FV sistemlerin baraj veya göllere kurulmasından kaynaklı olarak barajlardaki yüksek kapasiteli enerji nakil hatları (ENH) kullanıldığından dolayı arazideki gibi ek bir ENH maliyeti de olmamaktadır. Yüzer gesler arazi üzerinde olmadığı için hafriyat açısından da bir bedel ödenmediği için arazi sistemine göre avantaj sağlamaktadır. Yüzer ges sistemlerindeki panellerden sonraki en yüksek maliyeti özel yüzdürücü ve taşıyıcı sistemler oluşturmaktadır.

Tablo 6. Yüzer tip FV sistemin maliyet tablosu

| Malzeme                     | Birim         | Maliyet (\$)  |
|-----------------------------|---------------|---------------|
| Fotovoltaik Panel           | 2340          | 280566        |
| Evirici                     | 10            | 54000         |
| Taşıyıcı Duba               | 1Set          | 123644        |
| Yürüme Yolu Dubası          | 1Set          | 86490         |
| Sabitleme Sistemi           | 1Set          | 33544         |
| AC Kablo                    | 1x150mm2 NAYY | 10000         |
| DC Kablo                    | 1x6 H1Z2Z2-K  | 35000         |
| Konnektör                   | 260 Adet      | 1000          |
| AG Toplama Panosu           | 1 Adet        | 20000         |
| Trafo Köşkü                 | 1 Adet        | 170000        |
| Kablo Kanalı                | 1 Set         | 5000          |
| Otomasyon ve Scada          | 1 Set         | 10000         |
| Koruyucu Levha ve Etiketler | 1 Set         | 3000          |
| Mühendislik Hizmetleri      | 1 Set         | 13000         |
| İşçilik Hizmetleri          | 1 Set         | 35000         |
| Topraklama Sistemi          | 1 Set         | 7279          |
| Yangın Tüpü                 | 11 Adet       | 1100          |
| <b>Toplam</b>               |               | <b>888623</b> |

Tablo 7. Karasal tip FV sistemin maliyet tablosu

| Malzeme                     | Birim                     | Maliyet (\$) |
|-----------------------------|---------------------------|--------------|
| Fotovoltaik Panel           | 2340                      | 280566       |
| Evirici                     | 10                        | 54000        |
| Konstrüksiyon               | 1 Set                     | 65500        |
| Cıvata ve Somun             | 1 Set                     | 2500         |
| Çakım Makinesi Kullanımı    | 1 Adet                    | 5000         |
| AC Kablo                    | 1x150mm <sup>2</sup> NAYY | 10000        |
| DC Kablo                    | 1x6 H1Z2Z2-K              | 35000        |
| Konnektör                   | 260 Adet                  | 1000         |
| AG Toplama Panosu           | 1 Adet                    | 20000        |
| Trafo Köşkü                 | 1 Adet                    | 170000       |
| Kablo Tavası ve Kanalı      | 1 Set                     | 7000         |
| Otomasyon ve Scada          | 1 Set                     | 10000        |
| Koruyucu Levha ve Etiketler | 1 Set                     | 3000         |
| Mühendislik Hizmetleri      | 1 Set                     | 7000         |
| İşçilik Hizmetleri          | 1 Set                     | 20000        |
| Topraklama Sistemi          | 1 Set                     | 7279         |
| Yangın Tüpü                 | 11 Adet                   | 1100         |
| Hafriyat İşlemleri          | 1 Adet                    | 25431        |
| ENH İşlemleri               | 1 Set                     | 104569       |
| Toplam                      |                           | 828945       |

Tablo 7'ye göre karasal sistemin toplam maliyetinin 828945 \$ olduğu görülmektedir. Yüzer sistemde de olduğu üzere sistem maliyetinin en büyük payı %34 oranıyla FV panelden oluşmaktadır. Kullanılan malzemeler ortalama piyasa fiyatı olarak satıcılardan alınmış bu şekilde hesaba dahil edilmiştir. Karasal sistemlerde konstrüksiyon malzemesi olarak uzun süre dayanabilmesi adına sıcak daldırma galvaniz çelik kullanılmış olup maliyet hesabı buna göre yapılmıştır. Diğer ortak olan malzemelerin fiyatları iki sistem için çok farklılık göstermemektedir. Karasal sistemlerde ayrıca harfiyat ve Enerji nakil hattı işlemleri olduğu için maliyetin artmasına sebep olmaktadır. Yapılan bu karşılaştırmada bölgelerdeki arazi fiyatları değişkenlik göstereceği için arazi fiyatı hesaba dahil edilmemiştir. Karasal sistemlerin maliyeti yüzer sistemlere göre %7 oranında daha ucuz olsada yüzer sistemlerin enerji üretimi ile doğru orantılı olarak geri dönüş süresi daha kısa olmaktadır.

### 7.3.1. Karasal Ges için Ekonomik Analiz

FV sistemlerde panel, evirici ve taşıyıcı sistem vb. maliyet kalemleri sistemin maliyeti içerisinde yüksek orana sahip olduğu Tablo 6 ve Tablo 7’de görülmektedir. Yatırım kararının verilmesinde, yatırımcının kar oranı beklentisi, geri dönüş süresi, elektrik birim fiyatı, elektriğin alım garantisi gibi faktörlerin önemi büyük önem arz etmektedir. Yatırım kararının verilmesi için yaptırılan net bugünkü değer, fayda masraf oranı ve geri ödeme süresi hesabının yapılması ile paranın zaman değerini dikkate alarak yatırım kararının verilmesine esas doğru sonuçlar elde edebileceği söylenebilir. Tablo 8’de arazi için kurulum maliyeti hesabı ve Tablo 9’da ise aylara göre üretilen enerji miktarı görülmektedir.

Tablo 8. Karasal sistem için kurulum maliyeti hesabı

|  |  |        |
|--|--|--------|
| Kurulu güç                               | 1275.30  | kWp    |
| Yatırım birim bedeli                     | 650.00   | USD    |
| 1 USD                                    | 32.59  | TL     |
| Yatırım bedeli                           | 828945   | USD    |
| İşletme bakım                            | 0.4%   |        |
| İşletme bakım gideri                     | 3315.78  | \$/Yıl |
| Enerji satış bedeli                      | 0,10   | \$/kWh |
| Santralin ekonomik ömrü                  | 25   | Yıl    |
| Finansal analizde kullanılan para birimi | ABD Doları   | \$     |
| Finansal analizde kullanılan yöntemler   | Net bugünkü değer<br>Fayda masraf oranı<br>Geri ödeme süresi |        |

Tablo 9. PVsyst karasal ges için aylara göre enerji üretimi

| ENERJİ ÜRETİMİ |                            |
|----------------|----------------------------|
| AYLAR          | ENERJİ ÜRETİMİ<br>(kWh/Ay) |
| Ocak           | 45186                      |
| Şubat          | 62520                      |
| Mart           | 126571                     |
| Nisan          | 169497                     |
| Mayıs          | 182406                     |
| Haziran        | 244800                     |
| Temmuz         | 268968                     |
| Ağustos        | 228365                     |
| Eylül          | 229171                     |
| Ekim           | 183731                     |
| Kasım          | 125045                     |
| Aralık         | 72886                      |
| Yıllık Toplam  | 1939146                    |

Tablo 10. Karasal sistem için yıllara göre enerji üretimi

| Yıllar | Verim<br>Kaybı | Panel<br>Verimi | Enerji<br>Üretimi<br>kWh/yıl |
|--------|----------------|-----------------|------------------------------|
| 1      | 100%           | 100.00%         | 1939146                      |
| 2      |                | 99.00%          | 1919755                      |
| 3      |                | 98.00%          | 1900363                      |
| 4      |                | 97.00%          | 1880972                      |
| 5      |                | 96.00%          | 1861580                      |
| 6      |                | 95.00%          | 1842189                      |
| 7      |                | 94.00%          | 1822797                      |
| 8      |                | 93.00%          | 1803406                      |
| 9      |                | 92.00%          | 1784014                      |
| 10     |                | 91.00%          | 1764623                      |
| 11     | 90%            | 90.00%          | 1745231                      |
| 12     |                | 89.29%          | 1731380                      |
| 13     |                | 88.57%          | 1717529                      |
| 14     |                | 87.86%          | 1703678                      |
| 15     |                | 87.14%          | 1689827                      |
| 16     |                | 86.43%          | 1675976                      |
| 17     |                | 85.71%          | 1662125                      |
| 18     |                | 85.00%          | 1648274                      |
| 19     |                | 84.29%          | 1634423                      |
| 20     |                | 83.57%          | 1620572                      |
| 21     |                | 82.86%          | 1606721                      |
| 22     |                | 82.14%          | 1592870                      |
| 23     |                | 81.43%          | 1579019                      |
| 24     |                | 80.71%          | 1565168                      |
| 25     | 80%            | 80.00%          | 1551317                      |

Tablo 10.'da göre karasal sistem için enerji üretiminin yıllara göre azaldığı görülmektedir. Enerji üretiminin 1939146 kWh olarak başladığı ilk zamanda 25 yıl sonunda 1551317 kWh enerji üretmesiyle birlikte güneş enerji santrallerinin performanslarının ne kadar yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 11. Karasal Ges yatırımının geri ödeme süresi

| Yıllar | Panel Verimi | Enerji Üretimi(kWh/yıl) | Yıllık Gelir(\$) | Yıllık Gelirin Bugünkü Değeri(\$) | Yıllık Gider(\$) | Yıllık Giderin Bugünkü Değeri(\$) | Yatırımın Geri Dönüşü (\$) |
|--------|--------------|-------------------------|------------------|-----------------------------------|------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| 1      | 100.00%      | 1.939.146               | 190.230          | 172.937                           | -3.316           | -3.014                            | -642.031                   |
| 2      | 99.00%       | 1.919.755               | 188.328          | 155.643                           | -3.316           | -2.740                            | -457.018                   |
| 3      | 98.00%       | 1.900.363               | 186.426          | 247.946                           | -3.316           | -2.493                            | -273.909                   |
| 4      | 97.00%       | 1.880.972               | 184.523          | 126.386                           | -3.316           | -2.271                            | -92.701                    |
| 5      | 96.00%       | 1.861.580               | 182.621          | 113.429                           | -3.316           | -2.059                            | 86.604                     |
| 6      | 95.00%       | 1.842.189               | 180.719          | 102.101                           | -3.316           | -1.873                            | 264.007                    |
| 7      | 94.00%       | 1.822.797               | 178.816          | 91.795                            | -3.316           | -1.702                            | 439.508                    |
| 8      | 93.00%       | 1.803.406               | 176.914          | 82.554                            | -3.316           | -1.547                            | 613.106                    |
| 9      | 92.00%       | 1.784.014               | 175.012          | 74.252                            | -3.316           | -2.638                            | 784.802                    |
| 10     | 91.00%       | 1.658.745               | 162.723          | 62.755                            | -3.316           | -1.280                            | 944.209                    |
| 11     | 90.00%       | 1.745.231               | 171.207          | 60.010                            | -3.316           | -1.163                            | 1.112.101                  |
| 12     | 89.29%       | 1.731.380               | 169.848          | 54.126                            | -3.316           | -1.060                            | 1.278.633                  |
| 13     | 88.57%       | 1.717.529               | 168.490          | 48.809                            | -3.316           | -961                              | 1.443.807                  |
| 14     | 87.86%       | 1.703.678               | 167.131          | 44.098                            | -3.316           | -875                              | 1.607.622                  |
| 15     | 87.14%       | 1.689.827               | 165.772          | 39.687                            | -3.316           | -794                              | 1.770.078                  |
| 16     | 86.43%       | 1.675.976               | 164.413          | 35.789                            | -3.316           | -722                              | 1.931.176                  |
| 17     | 85.71%       | 1.662.125               | 163.054          | 32.262                            | -3.316           | -657                              | 2.090.915                  |
| 18     | 85.00%       | 1.648.274               | 161.696          | 29.087                            | -3.316           | -596                              | 2.249.295                  |
| 19     | 84.29%       | 1.634.423               | 160.337          | 26.220                            | -3.316           | -542                              | 2.406.316                  |
| 20     | 83.57%       | 1.620.572               | 158.978          | 23.633                            | -3.316           | -493                              | 2.561.978                  |
| 21     | 82.86%       | 1.606.721               | 157.619          | 21.300                            | -3.316           | -448                              | 2.716.282                  |
| 22     | 82.14%       | 1.592.870               | 156.261          | 19.197                            | -3.316           | -407                              | 2.869.226                  |
| 23     | 81.43%       | 1.579.019               | 154.902          | 17.307                            | -3.316           | -373                              | 3.020.812                  |
| 24     | 80.71%       | 1.565.168               | 153.543          | 15.590                            | -3.316           | -337                              | 3.171.039                  |
| 25     | 80.00%       | 1.551.317               | 152.184          | 14.047                            | -3.316           | -306                              | 3.319.908                  |

Tablo 11.'deki sonuçlara göre yıllık gelirin bugünkü değerinin toplamı 25 yıl sonunda 1.710.959\$ olup masrafların bugünkü değer toplamı ise 25 yıl sonunda 31.353\$ değerindedir. Ayrıca ilk yatırım tutarı 828945 \$ değerindedir. Yatırımın net bugünkü değeri faydaların bugünkü değerinden masrafların bugünkü değerleri çıkartılarak hesaplanmıştır.

NBD = Nakit girişlerinin bugünkü değeri – Nakit çıkışlarının bugünkü değeri

NBD = GBD – MBD

$$NBD = A(F/A; \%i, n) - c$$

Eşitlik (5)

Bu eşitlikte;

NBD : Net bugünkü değer (\$),

GBD : Gelirlerin bugünkü değeri (\$),

MBD : Maliyetlerin bugünkü değeri (\$)

P : Paranın şimdiki değeri

F : Paranın gelecekteki değeri

A : n dönem devam eden düzgün olarak artan dönem sonu değeri

i : Faiz oranı, %

n : Faiz dönem sayısı

c : İlk yatırım maliyeti

Faiz oranı %10 olup, ilk yatırım maliyeti de hesaplandığı üzere denkleme yerleştirildiğinde;

$$NBD = 1.710.959\$ - 860298 = 850.661\$ \text{ olduğu görülmektedir.}$$

FV sistemlerde panel üreticilerinin de kataloglarında belirttiği gibi yıldan yıla verimi düşmektedir. Arazi tipi FV sistemin ilk yatırım maliyeti, yıllık enerji üretim miktarı, yıllık gelir-gider maliyetleri ve yatırımın geri dönüş süresi durumu Tablo 6'da belirtilmiştir. Bu finansal tablo hazırlanırken mevcut elektrik birim fiyatı hesaplamalara dahil edilmiştir. Yıllık bakım gideri olarak tesis maliyetinin % 4'ü olarak öngörülmüştür. Çizelgeden de anlaşılacağı üzere 5. Yılda sistem kendini amorti ederek kar durumuna geçtiği görülmektedir. Arazinin maliyeti bölgeden bölgeye farklılık göstereceğinden dolayı arazi maliyeti hesaplamalarda kullanılmamıştır.

$$GÖS = \sum GÖS + (YNGÖS/TYNA) \quad \text{Eşitlik (7)}$$

GÖS : Yatırım geri ödeme süresi

YNGÖS : Yılın başında yatırımın geri ödenmemiş geri ödemesi

TYNA : Takip eden yıldaki nakit akışı

Denkleme yerleştirildiğinde;

$GÖS = 828945\$ / 172937\$ = 4.79$  çıkmıştır. Yani yaklaşık olarak 5 yılda kendini amorti ederek kazanç sağlamaya başladığı görülmüştür.

$$FMO = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+i)^n}}{\sum_{t=0}^n \frac{Mt}{(1+i)^n}} \quad \text{Eşitlik (6)}$$

Eşitlik 6'ya göre fayda masraf oranını hesapladığımızda;

$$FMO = YGT/YMT$$

YGT : Yatırımın getiri tutarlarının bugünkü değerleri toplamı

YMT : Yatırım maliyetlerinin bugünkü değerleri toplamı

$$FMO = 1710959\$/860298\$\$$$

FMO = 1.988 çıktığı için bu yatırım uygulanması gerekmektedir.

### 7.3.2. Yüzer Ges için Ekonomik Analiz

Yatırım yapılmadan finansal analiz yöntemleri aracılığıyla doğru bir şekilde sonuçlar elde edilmesiyle yatırım kararının verilmesi gerekliliği yüzer sistemler için de geçerlidir. Tablo 14.'de yüzer sistem maliyet hesabı bulunmaktadır.

Tablo 12. Yüzer sistem için kurulum maliyeti hesabı

|  |   |        |
|--|---|--------|
| Kurulu güç                               | 1275.30   | kWp    |
| Yatırım birim bedeli                     | 696.8   | USD    |
| 1 USD                                    | 32.59   | TL     |
| Yatırım bedeli                           | 888629.04   | USD    |
| İşletme bakım                            | 0.40%   |        |
| İşletme bakım gideri                     | 3554.52   | \$/Yıl |
| Enerji satış bedeli                      | 0.1   | \$/kWh |
| Santralin ekonomik ömrü                  | 25  | Yıl    |
| Finansal analizde kullanılan para birimi | ABD Doları  | \$     |
| Finansal analizde kullanılan yöntemler   | Net bugünkü değer,<br>Fayda masraf oranı<br>Geri ödeme süresi |        |

1275.30 kWp değerindeki santral için kWp başına 696.8 \$ alınmış olup toplam maliyetin 888629.04 \$ olduğu anlaşılmaktadır. 1 dolar kuru 32.59 TL olarak alınmıştır. Enerji satış bedeli ticarethaneler için 3.2 TL olarak alınmıştır. Yıllık işletme bakım giderleri %0.4 olarak alınmış olup 115840.85 TL tekabül etmiştir.

Tablo 13. PVsyst yüzer ges için aylara göre enerji üretimi

| ENERJİ ÜRETİMİ |                |
|----------------|----------------|
| AYLAR          | ENERJİ ÜRETİMİ |
|                | (kWh/Ay)       |
| Ocak           | 96993          |
| Şubat          | 111181         |
| Mart           | 158819         |
| Nisan          | 184947         |
| Mayıs          | 225275         |
| Haziran        | 258197         |
| Temmuz         | 273934         |
| Ağustos        | 251059         |
| Eylül          | 220602         |
| Ekim           | 143719         |
| Kasım          | 123797         |
| Aralık         | 98464          |
| Yıllık Toplam  | 2146987        |

Tablo 13'e göre enerji üretiminin en yüksek olduğu ay temmuz ayında 273.934 kWh olarak hesaplanmıştır. En düşük üretim ise ocak ayında 96.993 kWh olarak hesaplandığı görülmüştür. Bu üretimler karasal sisteme oranla %10 daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Yaz aylarında ışınlanmanın artması ile doğru orantılı olarak elektrik enerjisi üretimi de artmaktadır. Ancak panellerdeki eşik sıcaklıklarının üstüne çıkılması durumunda sıcaklık ile verim ters orantı olacaktır. Verimin düşmesi ile enerji üretiminin de azalacağı kaçınılmazdır. Bu sebepten dolayı yüzer sistemlerde suyun soğutma etkisiyle beraber panellerin yüksek sıcaklıklara ulaşılması engellenmektedir. Yüzer sistemlerin enerji üretiminin karasal sisteme göre daha fazla enerji üretmesinin başlıca sebepleri arasında suyun soğutma etkisi gelmektedir.

Tablo 14. Yüzer Ges için yıllara göre elektrik üretimi

| Yıllar | Verim<br>Kaybı | Panel<br>Verimi | Enerji<br>Üretimi<br>kWh/yıl |
|--------|----------------|-----------------|------------------------------|
| 1      | 100%           | 100,00%         | 2146987                      |
| 2      |                | 99,00%          | 2125517                      |
| 3      |                | 98,00%          | 2104047                      |
| 4      |                | 97,00%          | 2082577                      |
| 5      |                | 96,00%          | 2061108                      |
| 6      |                | 95,00%          | 2039638                      |
| 7      |                | 94,00%          | 2018168                      |
| 8      |                | 93,00%          | 1996698                      |
| 9      |                | 92,00%          | 1975228                      |
| 10     |                | 91,00%          | 1953758                      |
| 11     | 90%            | 90,00%          | 1932288                      |
| 12     |                | 89,29%          | 1916953                      |
| 13     |                | 88,57%          | 1901617                      |
| 14     |                | 87,86%          | 1886281                      |
| 15     |                | 87,14%          | 1870946                      |
| 16     |                | 86,43%          | 1855610                      |
| 17     |                | 85,71%          | 1840275                      |
| 18     |                | 85,00%          | 1824939                      |
| 19     |                | 84,29%          | 1809603                      |
| 20     |                | 83,57%          | 1794268                      |
| 21     |                | 82,86%          | 1778932                      |
| 22     |                | 82,14%          | 1763596                      |
| 23     |                | 81,43%          | 1748261                      |
| 24     |                | 80,71%          | 1732925                      |
| 25     | 80%            | 80,00%          | 1717590                      |

Tablo 14.'e göre yüzer sistem için enerji üretiminin yıllara göre azaldığı görülmektedir. Enerji üretiminin 21466987 kWh olarak başladığı ilk zamanda 25 yıl sonunda 1717590 kWh enerji üretmesiyle birlikte güneş enerji santrallerinin performanslarının ne kadar yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 15.'deki sonuçlara göre yıllık gelirin bugünkü değerinin toplamı 25 yıl sonunda 1.710.959\$ olup masrafların bugünkü değer toplamı ise 25 yıl sonunda 31.353\$ değerindedir. Ayrıca ilk yatırım tutarı 828.945,00 \$ değerindedir.

Tablo 15. Yüzer Ges yatırımının geri ödeme süresi

| Yıllar | Panel Verimi | Enerji Üretimi (kWh/yıl) | Yıllık Gelir (\$) | Yıllık Gelirin Bugünkü Değeri (\$) | Yıllık Gider (\$) | Yıllık Giderin Bugünkü Değeri (\$) | Yatırımın Geri Dönüşü (\$) |
|--------|--------------|--------------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------|------------------------------------|----------------------------|
| 1      | 100,00%      | 2.146.987                | 210.619           | 191.472                            | -3.555            | -3.231                             | -681.564                   |
| 2      | 99,00%       | 2.125.517                | 208.513           | 172.325                            | -3.555            | -2.938                             | -476.605                   |
| 3      | 98,00%       | 2.104.047                | 206.407           | 274.521                            | -3.555            | -2.673                             | -273.753                   |
| 4      | 97,00%       | 2.082.577                | 204.301           | 139.932                            | -3.555            | -2.435                             | -73.007                    |
| 5      | 96,00%       | 2.061.108                | 202.195           | 125.587                            | -3.555            | -2.208                             | 125.634                    |
| 6      | 95,00%       | 2.039.638                | 200.088           | 113.044                            | -3.555            | -2.008                             | 322.167                    |
| 7      | 94,00%       | 2.018.168                | 197.982           | 101.634                            | -3.555            | -1.825                             | 516.595                    |
| 8      | 93,00%       | 1.996.698                | 195.876           | 91.403                             | -3.555            | -1.659                             | 708.917                    |
| 9      | 92,00%       | 1.975.228                | 193.770           | 82.210                             | -3.555            | -2.828                             | 899.132                    |
| 10     | 91,00%       | 1.836.533                | 180.164           | 69.481                             | -3.555            | -1.372                             | 1.075.741                  |
| 11     | 90,00%       | 1.932.288                | 189.557           | 66.441                             | -3.555            | -1.247                             | 1.261.744                  |
| 12     | 89,29%       | 1.916.953                | 188.053           | 59.928                             | -3.555            | -1.136                             | 1.446.243                  |
| 13     | 88,57%       | 1.901.617                | 186.549           | 54.041                             | -3.555            | -1.030                             | 1.629.237                  |
| 14     | 87,86%       | 1.886.281                | 185.044           | 48.824                             | -3.555            | -938                               | 1.810.727                  |
| 15     | 87,14%       | 1.870.946                | 183.540           | 43.941                             | -3.555            | -851                               | 1.990.712                  |
| 16     | 86,43%       | 1.855.610                | 182.035           | 39.625                             | -3.555            | -774                               | 2.169.193                  |
| 17     | 85,71%       | 1.840.275                | 180.531           | 35.720                             | -3.555            | -704                               | 2.346.169                  |
| 18     | 85,00%       | 1.824.939                | 179.027           | 32.205                             | -3.555            | -639                               | 2.521.641                  |
| 19     | 84,29%       | 1.809.603                | 177.522           | 29.031                             | -3.555            | -581                               | 2.695.609                  |
| 20     | 83,57%       | 1.794.268                | 176.018           | 26.166                             | -3.555            | -528                               | 2.868.072                  |
| 21     | 82,86%       | 1.778.932                | 174.513           | 23.583                             | -3.555            | -480                               | 3.039.031                  |
| 22     | 82,14%       | 1.763.596                | 173.009           | 21.254                             | -3.555            | -437                               | 3.208.485                  |
| 23     | 81,43%       | 1.748.261                | 171.504           | 19.163                             | -3.555            | -399                               | 3.376.435                  |
| 24     | 80,71%       | 1.732.925                | 170.000           | 17.261                             | -3.555            | -361                               | 3.542.880                  |
| 25     | 80,00%       | 1.717.590                | 168.496           | 15.552                             | -3.555            | -328                               | 3.707.821                  |

Yatırımın net bugünkü değeri faydaların bugünkü değerinden masrafların bugünkü değerleri çıkartılarak Eşitlik 5 yardımı ile hesaplanmıştır.

NBD = Nakit girişlerinin bugünkü değeri – Nakit çıkışlarının bugünkü değeri

NBD = GBD – MBD

$$NBD = A(F/A; \%i, n) - c \quad \text{Eşitlik (5)}$$

Bu eşitlikte;

NBD : Net bugünkü değer (\$),

GBD : Gelirlerin bugünkü değeri (\$),

MBD : Maliyetlerin bugünkü değeri (\$)

P : Paranın şimdiki değeri

F : Paranın gelecekteki değeri

A : n dönem devam eden düzgün olarak artan dönem sonu değeri

i : Faiz oranı, %

n : Faiz dönem sayısı

c : İlk yatırım maliyeti

Faiz oranı %10 olup, ilk yatırım maliyeti de hesaplandığı üzere denkleme yerleştirildiğinde;

$$NBD = 1.894.343\$ - 922239\$ = 972.104\$ \text{ olduğu görülmektedir.}$$

FV sistemlerde panel üreticilerinin de kataloglarında belirttiği gibi yıldan yıla verimi düşmektedir. Arazi tipi FV sistemin ilk yatırım maliyeti, yıllık enerji üretim miktarı, yıllık gelir-gider maliyetleri ve yatırımın geri dönüş süresi durumu Tablo 6'da belirtilmiştir. Bu finansal tablo hazırlanırken mevcut elektrik birim fiyatı hesaplamalara dahil edilmiştir. Yıllık bakım gideri olarak tesis maliyetinin % 4'ü olarak öngörülmüştür. Çizelgeden de anlaşılacağı üzere 5. Yılda sistem kendini amorti ederek kar durumuna geçtiği görülmektedir.

$$GÖS = \sum GÖS + (YNGÖS/TYNA) \quad \text{Eşitlik (7)}$$

GÖS : Yatırım geri ödeme süresi

YNGÖS : Yıllık başında yatırımın geri ödenmemiş geri ödemesi

TYNA : Takip eden yıldaki nakit akışı

Denkleme yerleştirildiğinde;

GÖS= 888629\$/191472\$ = 4,64 çıkmıştır. Yani yaklaşık olarak 5 yılda kendini amorti ederek kazanç sağlamaya başladığı görölmüştür.

$$FMO = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+i)^n}}{\sum_{t=0}^n \frac{Mt}{(1+i)^n}}$$

Eşitlik (6)

Eşitlik 6'ya göre fayda masraf oranını hesapladığımızda;

$$FMO = YGT/YMT$$

YGT : Yatırımın getiri tutarlarının bugünkü değerleri toplamı

YMT : Yatırım maliyetlerinin bugünkü değerleri toplamı

$$FMO = 1894343\$/922239\$\$$

FMO = 2,054 çıktığı için bu yatırım uygulanması gerekmektedir.

## 8. SONUÇ

Tez çalışması kapsamında Van ili için yüzer ve karasal tipi FV sistemler incelenmiş olup, bu sistemler ile ilgili olarak enerji üretim ve ekonomik olarak analizleri yapılmıştır. Yüzer FV sistemlerin karasal ve geleneksel FV sistemlerle karşılaştırmalı termoekonomik analizi, yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir kullanımı için önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu çalışma, yüzer FV sistemlerin enerji üretim verimliliği, çevresel etkileri ve ekonomik sürdürülebilirliği üzerine detaylı bir bakış açısı sağlamıştır. Yüzer FV sistemlerin, su yüzeylerinin kullanımı yoluyla karasal sistemlere kıyasla ek avantajlar sunduğu ve özellikle su kaynaklarının bol olduğu bölgelerde yenilenebilir enerji portföyünü çeşitlendirmede kritik bir rol oynayabileceği görülmüştür.

Çalışmamızın bulgularına göre, yüzer FV sistemlerin kurulumu, su buharlaşmasını azaltma, su kalitesini koruma ve çevresel etkiyi minimize etme gibi ekolojik avantajlar sunmaktadır. Ayrıca, bu sistemlerin yüksek güneş ışınımı alan su yüzeylerinde kurulması, enerji üretim verimliliğini artırmakta ve güneş enerjisinden maksimum fayda sağlanmasına olanak tanımaktadır. Yüzer FV sistemlerin yönü, yüzdürücü sistem tasarımı ve rezervuar/göletin düzeni gibi faktörlerin, sistemlerin enerji toplama kapasitesi ve dolayısıyla enerji üretim verimliliği üzerinde doğrudan etkisi bulunmaktadır.

1. İlk olarak bölgenin güneş enerjisi potansiyeli değerlendirilerek yatırım için uygun arazi seçimi yapılmış, sonrasında PVGIS çevrim içi veri tabanından faydalanılarak seçilen arazinin koordinat bilgilerine göre yıllık elektrik üretim miktarları hesaplanmıştır. Ayrıca piyasa araştırmaları sonucunda içinde bulunduğumuz yıla ilişkin ekipman ve diğer maliyet unsurları belirlenmiştir.
2. PVSyst programı üzerinden açılı panel eğim açısının değiştirilerek hangi açının en optimum seviyede olduğu gözlemlenmiştir. Bu kapsamda Van ilindeki karasal sistem için en optimum açı olan 25 derecede panel yüzeyine düşen ışınım miktarının 1672 kWh/m<sup>2</sup> ve 1939148 kWh enerji üretimi ile diğer açılardan daha fazla enerji üreteceği ortaya çıkmıştır. Aynı şekilde Van ili için yüzer sistem için en optimum açı olan 15 derecede panel yüzeyine düşen ışınım miktarının 1878 kWh/m<sup>2</sup> ve 2146987 kWh enerji üretimi yaptığı gözlemlenmiştir.

3. Van bölgesi içinde kurulan karasal tipi güneş enerji santralının PVsyst raporuna göre yıllık enerji üretim miktarının Van gölü üzerinde kurulacak olan yüzer güneş santralının yıllık enerji üretim değerine göre %10 oranında daha az enerji üretimi yaptığı gözlemlenmiştir.
4. Yüzer güneş enerji santrallerindeki panel sıcaklıklarının, karasal tip güneş enerji santrallerindeki panel sıcaklıklarına oranla daha düşük olması sebebiyle enerji kayıplarının azaldığı sonucuna varılmıştır.
5. Yapılan finansal değerlendirme neticesinde, karasal ve yüzer güneş enerji santrallerinin karasal sistem için yatırımın net bugünkü değerinin 850.661\$ değeri ile pozitif olduğu, yüzer sistem için yatırımın net bugünkü değerinin 972.104\$ çıkması ile yatırımın uygulanabilirliği ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda fayda masraf oranının birden büyük olup karasal sistem için 1,988 ve yüzer sistem için 2,054 değerinin çıkmış olduğu görülmüş ve iki yatırımında kârlı olacağı tespit edilmiştir.
6. Karasal güneş enerji santrali için yatırımın geri dönüş süresi 4,79 yıl olarak çıkmıştır. Yüzer güneş enerji santrali için ise geri ödeme süresi 4,64 yıl olarak hesaplanmıştır. Ges yatırımının arazi, göl gibi uygulama farklılıklarına, lisanslı veya lisanssız üretim kapsamında yapılıp yapılmamasına, tesisin kurulduğu gücüne veya kurulduğu yere göre geri ödeme süresi farklılık gösterebilir. Ges yatırımı için 4 ila 7 yıl arasındaki geri ödeme süreleri günümüz koşulları için yatırım yapılabilir olarak nitelendirilmektedir.
7. Yüzer güneş enerji santralının ilk yatırım maliyeti karasal sisteme göre daha yüksek olmasına karşın ürettiği enerjinin fazla oluşu ile geri dönüş süresinin karasal sisteme göre daha hızlı olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada arazinin maliyetinin hesaplamalara dahil edilmediği de göz önünde bulundurularak yapılacak çalışmaların bu kapsamda değerlendirilmesi gerektiğini ortaya çıkarmıştır.
8. Göllerin üzerlerinin örtülmesi ile yüzer sistemlerin enerji üretimine ek olarak suyun buharlaşmasını da engellediği için sudan da kazanç sağlanmaktadır. Bu tez kapsamında buharlaşma ile ilgili bir çalışma yapılmadığından yüzer sistemin buharlaşmayı hangi oranda engellediği bilinmemektedir. İlerleyen zamanda su probleminin artması ile, yüzer sistemlerin enerji üretimi ile birlikte su kazancı sağlanması da öngörülmektedir.

Van bölgesi özelinde yapılan analiz, Van gölünün yüzer FV sistemler için önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir. Güneş enerjisi kaynaklarının zenginliği ve geniş su yüzey alanları, yüzer FV sistemlerin geniş çapta benimsenmesi ve geliştirilmesi için sağlam bir temel oluşturmaktadır. Ancak, bu potansiyelin tam olarak gerçekleştirilmesi, teknolojik inovasyon, uygun maliyetli finansman mekanizmaları ve etkili politika ve düzenlemelerin geliştirilmesi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır.

FV sistemler, yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanma, enerji güvenliğini artırma ve karbon ayak izini azaltma hedeflerine ulaşmada önemli bir rol oynayabilir. FV sistemlerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması, sürdürülebilir bir enerji geleceği için stratejik bir yaklaşım olarak değerlendirilmelidir. Bu nedenle, FV teknolojilerine yapılan yatırımların artırılması, araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin teşvik edilmesi ve bu alandaki politika ve düzenlemelerin güçlendirilmesi gerekmektedir.

## ÖNERİLER

Yüzer FV ve karasal FV sistemlerin karşılaştırmalı termoeconomik analizinin sonuçları göz önünde bulundurulduğunda, bu yenilikçi teknolojinin potansiyelini maksimize etmek ve sürdürülebilir bir enerji geleceğine doğru ilerlemek için bir dizi öneri sunulabilir:

1. Araştırma ve Geliştirmeyi Teşvik Etme: FV sistemlerin verimliliğini ve dayanıklılığını artırmak için sürekli araştırma ve geliştirme çalışmalarına yatırım yapılmalıdır. Özellikle, yüksek sıcaklıkların ve çevresel koşulların sistem performansı üzerindeki etkilerini azaltacak malzeme ve teknolojilerin geliştirilmesine odaklanılmalıdır.
2. Finansman ve Teşvik Mekanizmaları: FV sistemlerin kurulumu ve işletilmesini desteklemek için uygun finansman seçenekleri ve hükümet teşvikleri geliştirilmelidir. Bu, özellikle yenilenebilir enerji projelerine başlangıç sermayesi sağlama ve uzun vadeli yatırım getirisini artırma konusunda kritik öneme sahiptir.
3. Politika ve Düzenlemeler: FV sistemlerin yaygınlaştırılması için etkili politika ve düzenlemelerin oluşturulması gerekmektedir. Bu, su yüzeylerinin kullanımı, çevresel etkilerin azaltılması ve enerji üretiminde sürdürülebilirlik standartlarının belirlenmesi gibi konuları içermelidir.

4. Eğitim ve Farkındalık Programları: FV sistemlerin avantajları ve potansiyeli hakkında kamuoyu bilincini artırmak için eğitim ve farkındalık programları düzenlenmelidir. Bu, teknolojinin kabulünü hızlandırabilir ve geniş çapta benimsenmesini sağlayabilir.
5. Yerel Koşullara Uygun Tasarım: Yüzer FV sistemlerin tasarımı, yerel iklim koşulları, su yüzey alanlarının özellikleri ve güneş ışınımı gibi faktörlere göre özelleştirilmelidir. Bu, sistemlerin enerji toplama verimliliğini maksimize etmeye yardımcı olur.
6. Çok Disiplinli Yaklaşımlar: FV sistemlerin tasarımı ve uygulaması, mühendislik, çevre bilimi, ekonomi ve sosyal bilimler gibi farklı disiplinler arasında iş birliği gerektirir. Bu, sistemlerin teknik, çevresel ve sosyoekonomik açılardan optimizasyonuna katkıda bulunur.
7. Uluslararası İş birliği: FV teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanması konusunda uluslararası iş birliği ve bilgi paylaşımı teşvik edilmelidir. Bu, en iyi uygulamaların ve yenilikçi çözümlerin paylaşılmasına olanak tanır.
8. Yenilikçi Uygulama Alanlarının Keşfi: Yüzer FV sistemlerin turizm, balıkçılık ve sulama gibi farklı sektörlerle entegrasyonu gibi yenilikçi uygulama alanları keşfedilmelidir. Bu, sistemlerin çok yönlü faydalarını artırabilir.

FV sistemlerin geliştirilmesi ve uygulanması, yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımını teşvik ederek, enerji güvenliği, çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik büyüme hedeflerine ulaşmada önemli bir rol oynamaktadır. Bu öneriler, FV teknolojisinin potansiyelini gerçekleştirmek ve sürdürülebilir bir enerji geleceğine doğru adımlar atmak için bir yol haritası sunmaktadır.

## KAYNAKÇA

- Abo-Khalil, A. G., El-Sharkawy, II, Radwan, A. ve Memon, S. (2023). Hibrit MPPT tekniği SA-P&O'nun kısmi gölgeleme koşullarında FV sistem performansına etkisi. *Energiler*, 16(2), 577.
- Acar, M. (2022). *Edirne ili güneş enerji potansiyelinin araştırılması ve örnek bir güneş enerji santrali analizi*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne.
- Ajder, A. (2011). *Fotovoltaik Güneş Enerji Sistemleri için optimum eğim açısının hesaplanması*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Akcan, E., Kuncan, M. ve Minaz, M. R. (2020). PVsyst yazılımı ile 30 kw şebekeye bağlı FV sistemin modellenmesi ve simülasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 248-261.
- Akphou, R., Odoi-Yorke, F. ve Osei, L. K. (2023). Benin cumhuriyetinde şebekeye bağlı güneş FV sisteminin şebeke ölçüğünde tekno-ekonomik analizi. *Temiz Mühendislik ve Teknoloji*, 13, 100633.
- Alahmad, H., Taşkesen, E. ve Bilen, E. N. (2023). Şırnak üniversitesi yerleşkesinde bulunan mühendislik fakültesi bina çatılarının örnek şebekeye bağlı (on-grid) bir FV sistem tasarımı. *International Conference on Scientific and Innovative Studies*, ss. 245-257.
- Almukhtar, H., Lie, T. T., Al-Shohani, W. A., Anderson, T. ve Al-Tameemi, Z. (2023). Toz özelliklerinin ve bunların FV sistemler üzerindeki etkisinin kapsamlı bir incelemesi: Elektriksel, optik, termal modeller ve deney teknikleri. *Energiler*, 16(8), 3401.
- Altuntop, N. ve Erdemir, D. (2013). Dünyada ve Türkiye’de güneş enerjisi ile ilgili gelişmeler. *Mühendis ve Makina*, 54(639), 69-77.
- Başay, V., Akyüz, C. ve Yılmaz, G. (2019). Uludağ çevresinde ormanlık ve orta yükseklikte dağlık bölgelerde kurulan güneş enerjisi santralinin verimliliğini belirleyen etkenler. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(1).
- Benavides, D., Arévalo, P., Aguado, J. A. ve Jurado, F. (2023). Süper kapasitörler kullanan şebekeye bağlı FV sistemler için yeni bir güç yumuşatma yönteminin deneysel olarak doğrulanması. *Uluslararası Elektrik Güç ve Enerji Sistemleri Dergisi*, 149, 109050.

- Cer, S. T. (2015). *Gölgeleme bileşeni olarak kullanılan FV panellerin enerji etkinliğinin değerlendirilmesi*. Yayınlanmamış doktora tezi.
- Chen, Q., Li, X., Zhang, Z., Zhou, C., Guo, Z., Liu, Z. ve Zhang, H. (2023). FV senaryoların uzaktan algılanması: Teknikler, uygulamalar ve geleceğe yönelik yönelimler. *Uygulamalı Enerji*, 333, 120579.
- Choi, S. M., Park, C. D., Cho, S. H. ve Lim, B. J. (2023). Rüzgâr ve dalga yüklerinin çeşitli giriş açılarının yüzen FV sistem üzerindeki gerilme dağılımları dikkate alınarak etkileri. *Temiz Üretim Dergisi*, 387, 135876.
- Çınaroğlu, H. (2023). *Bağımsız bir fotovoltaik sistemin PVsyst yazılımı kullanılarak tasarımı ve simülasyonu*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik.
- Çubukucu, E. (2023). *Katar 2030 yılı elektrik üretim kapasitesinin güneş enerjisi ile arttırımı: Çatı üstü güneş sistemi tasarımı ve çevreye katkısı*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi.
- Dal, A. R. (2021). Investigation of the potential of using lakes and dams as solar power plants: The case of yamula dam. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 9(4), 726-738.
- Demirbaş, H. (2021). *Güneş enerjili otomatik bitki sulama sistemi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Domakonda, V. K., Farooq, S., Chinthamreddy, S., Puviarasi, R., Sudhakar, M. ve Boopathi, S. (2023). *Hibrit yüzer güneş enerjisi santrallerinde sürdürülebilir gelişmeler: FV sistem*. İşletme ve Endüstri için İnsan Tarımsal Enerji Optimizasyonu içinde (ss. 148-167). IGI Küresel.
- Dölek, S. ve Arslan, G. (2023). Soğutma debisinin fotovoltaik ısı sistem verimine etkisi. *Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 7(6), 206-213.
- Duran, M. S. (2020). *BRICS-T ülkelerinde enerji tüketiminin belirleyicileri: Ekonometrik bir uygulama*. Yayınlanmamış doktora tezi. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya.
- Erduman, A., Yüzer, E. Ö., Durusu, A. ve Yıldız, F. (2020). An educational kit to promote teaching of photovoltaic systems. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 916-922.

- Erken, C. (2022). *Çift taraflı fotovoltaik güç santrallerinin Edirne ili iklim şartları için simülasyonu ve ekonomik analizi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne.
- Erten, B. (2023). *İş güvenliği eğitimlerinde Sanal gerçeklik yaklaşımı: Fotovoltaik güç sistemleri*. Yayınlanmamış doktora tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Gedik T., Akyüz K. C. ve Akyüz İ. (2005). Yatırım projelerinin hazırlanması ve değerlendirilmesi (İç karlılık oranı ve net bugünkü değer yöntemlerinin incelenmesi). *ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 7(7), 51-61.
- Gilman, P., Blair, N., Mehos, M., Christensen, C., Janzou, S. ve Cameron, C. (2008). *Solar advisor model user guide for version 2.0* (No. NREL/TP-670-43704). Golden, CO (United States): National Renewable Energy Lab. (NREL).
- Gökce, İ. (2020). Fotovoltaik hücreler yardımıyla güneş enerjisinden elektrik üretimi ve performansını etkileyen faktörlerin incelenmesi. *Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 39, 1.
- Göllü, K. (2022). *Site selection for floating photovoltaic (PV) panels on 8 HEPP reservoirs in Turkey by using analytical hierarchical process (AHP)*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Middle East Technical University, Ankara.
- Görgün, T. (2009). *Yenilenebilir enerjiler ve teknolojileri*. İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi.
- Graf, R. F. (1999). *Modern dictionary of electronics*. Elsevier.
- Güner, S. ve Özgür, A. E. (2023). Eğirdir gölü üzerinde yüzer güneş enerji santrali uygulanabilirliğinin araştırılması. *Yekarum*, 8(2), 80-93.
- Gür, S. (2023). *Şebekeden bağımsız fotovoltaik güneş enerji sistemlerinin batarya otonomu ve sistemin ekonomik analizi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya.
- Harrison, A., Alombah, N. H. ve de Dieu Nguimfack Ndongmo, J. (2023). Hızla değişen çalışma koşulları altında bir FV sistemine uygulanan artımlı iletkenlik-integral geri adımlama denetleyicisine dayanan yeni bir hibrit MPPT. *Uluslararası Fotoenerji Dergisi*, 2023, 1-17.
- Hasar, Ş. (2016). *Güneş kollektörlerinin ısıl değişiminin verimlilik üzerine etkileri*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik.
- Hassan, A., Bass, O., Al-Abdeli, Y. M., Masek, M. ve Masoum, M. A. (2023). Bağımsız güneş FV sistemlerinin güç kalitesi hususları dikkate alınarak optimum

- boyutlandırılmasına yönelik yeni bir yaklaşım. *Uluslararası Elektrik Güç ve Enerji Sistemleri Dergisi*, 144, 108597.
- Hassan, Y., Orabi, M., Alshreef, A., M. Al-Rabghi, O., Habeebullah, B. A., El Aroudi, A. ve A. Ismeil, M. (2020). Improvement of extracted power of pole mounted solar panels by effective cooling using aluminum heat sink under hot weather and variable wind speed conditions. *Energies*, 13(12), 3159.
- Huda, A., Kurniawan, I., Purba, K. F., Ichwani, R. ve Fionasari, R. (2024). Konut ve çiftlik bazlı FV sistemlerin tekno-ekonomik değerlendirmesi. *Yenilenebilir Enerji*, 222, 119886.
- IRENA (2024). *Renewable capacity statistics 2024*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency,
- İşler, Y. S. (2020). Şebeke bağlantılı, depolamalı fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri için performans analizi ve verim artırılması.
- Kabir, M. A., Farjana, F., Choudhury, R., Kayes, A. I., Ali, M. S. ve Farrok, O. (2023). Bangladeş'te gelecekteki endüstriyel FV sistemleri için optimum faturalandırma planı için net ölçüm ve tarife garantisi politikaları. *İskenderiye Mühendislik Dergisi*, 63, 157-174.
- Kahraman, M. Ü. (2018). *Kütahya bölgesi güneş ve rüzgâr enerji potansiyellerinin tekno-ekonomik analizi*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.
- Karakaş, E. (2024). *Fotovoltaik sistemlerde iki yönlü DC/DC dönüştürücülü bir diferansiyel güç işleyicisi tasarımı ve gerçekleştirilmesi*. Yayımlanmamış doktora tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Karafil, A. (2021). Kısmi gölgelenme durumundaki seri bağlı Fotovoltaik (FV) Panellerde Bypass diyotunun kullanılmasının sistem gücü üzerine etkisi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 23(68), 621-630.
- Kaymak, M. K. (2011). *İstanbul iklim şartlarında rüzgar ve güneş sistemlerinin modellenmesi ve ekserji analizi*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Keleş, C. Ö. (2008). *Türkiye’de binalarda enerji verimliliği açısından fotovoltaik sistemlerin kullanılmasına yönelik bir inceleme*. Yayımlanmamış doktora tezi.

- Kınalı, M. Y. (2019). *Güneş enerjisi simülasyon programlarının gerçek verilerle doğruluk analizi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Konya.
- Kocaman, B. (2014). Mikro şebekeler için örnek bir enerji yönetimi uygulaması. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(1), 35-52.
- Korkmaz, M. S. (2015). *Buharlaştırma kayıplarının yüzer fotovoltaik paneller ile azaltılması*. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Krishan, R., Sood, Y. R. ve Kumar, B. U. (2013). The simulation and design for analysis of photovoltaic system based on MATLAB. 2013 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability, Nisan, IEEE, ss. 647-651.
- Li, C., Guo, Z., Yang, B., Liu, Y., Wang, Y. ve Xia, Y. (2017). A rechargeable Li-CO<sub>2</sub> battery with a gel polymer electrolyte. *Angewandte Chemie International Edition*, 56(31), 9126-9130.
- Morey, M., Gupta, N., Garg, M. M. ve Kumar, A. (2023). Şebekeye bağlı güneş FV sisteminin kapsamlı bir incelemesi: Mimari, kontrol ve yardımcı hizmetler. *Yenilenebilir Enerji Odağı*, 45, 307-330.
- Nadjib, M. ve Yudha, F. A. K. (2023). Pemeliharaan sistem fotovoltaik di sekolah menengah kejuruan muhammadiyah 2 turi. Sleman. *Berdikari: Jurnal Inovasi dan Penerapan Ipteks*, 11(1).
- Nwokolo, S. C., Obiwulu, A. U., Amadi, O. ve Ogbulezie, J. C. (2023). Kirletmenin, eğitim açısının ve güneş ışınımının güneş FV sistemlerinin performansı üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi. *Yenilenebilir Enerjide Eğilimler*, 9(2), 121-137.
- Özbektaş, S., Şenel, M. C. ve Sungur, B. (2023). Dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji durumu ve kurulum maliyetleri. *Mühendis ve Makina*, 64(711), 317-351.
- Özkök, A. (2015). *Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesinde evsel elektrik ihtiyacının çatı üstü Fotovoltaik sistemler ile karşılanmasının ekonomik analizi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi.
- Öztürk, H. (2021). *Bir güneş enerji santralinin üretim ile simülasyon değerlerinin karşılaştırılması ve kayıp analizi: Beştepe enerji örneği*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi.
- Öztürk, H. H. (2017). Güneş enerjisinden fotovoltaik yöntemle elektrik üretiminde güç dönüşüm verimi ve etkili etmenler. *Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri, 1*, 1-14.

- Öztürk, V. (2023). *Yenilenebilir enerji santrallerinin coğrafi bilgi sistemleri ve yapı bilgi modellemesi ile entegrasyonu*. Yayınlanmamış doktora tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul.
- Palaz, Ö. (2022). *Coğrafi güneş ışınım verilerinin analizi ve şebekeden bağımsız güneş enerji sistemi kurulumu*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik.
- Perdahlıyan, E. ve Öztuna, S. (2021). *Endüstriyel bir tesis çatısına fotovoltaik sistem kurulumu için tasarım ve hesaplamaları edirne örneği*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne.
- Ramanan, C. J., Lim, K. H., Kurnia, J. C., Roy, S., Bora, B. J. ve Medhi, B. J. (2024). Towards sustainable power generation: Recent advancements in floating photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 194, 114322.
- Sağlam, S. ve Oy, S. A. (2019). İki eksenli güneş takip sistemi ile sabit eksenli fotovoltaik (PV) sistemlerinin tasarımı ve uzaktan izlenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 12(1), 348-364.
- Sahu, A., Yadav, N. ve Sudhakar, K. (2016). Floating photovoltaic power plant: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 815-824.
- Sarkın, A. S. (2022). *Fotovoltaik panellerde verim artırıcı nano yapıları kaplamalar*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Şafak, B., Özekinci, D. ve Çiçek, A. (2024). Üzerinde fotovoltaik panele sahip olan elektrikli araçları içeren bir şarj otoparkının çok amaçlı optimum enerji yönetim stratejisi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(1), 1-9.
- Şahin, M. ve Okumuş, H. (2013). Güneş pili modülünün matlab/simulink ile modellenmesi ve simülasyonu (Modeling and simulation of solar cell module in matlab/simulink). *EMO Bilimsel Dergi*, 3(5), 17-25.
- Şençiçek, H. (2017). *Yüzer ve arazi kurulumu fotovoltaik sistemlerin teknik ve ekonomik açıdan incelenmesi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Şenli, H. (2023). Yüzen güneş enerjisi sistemlerinin incelenmesi, çevresel katkıları ve Türkiye'deki barajların yüzen güneş enerjisi potansiyeli. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 35(4), 418-427.

- Tokul, A. (2021). *Amasya ili koşullarında 1 MWP Kurulu gücünde yüzer tip ve arazi tipi enerji santrallerinin karşılaştırmalı analizi ve optimizasyonu*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Amasya Üniversitesi, Amasya.
- Turhan, S. V. ve Çetiner, İ. (2012). Fotovoltaik sistemlerde performans değerlendirmesi. *6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, 12(13), 1-4.
- Türk, S. (2022). Fotovoltaik panellerde sıcaklığın etkisi ve panel sıcaklığının düşürülmesi için farklı soğutma yöntemlerinin incelenmesi.
- URL-1, [https://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g\\_enj\\_tekno.aspx](https://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx).
- URL-2, <https://www.mgm.gov.tr/Genel/meteorolojiyegir.aspx?s=7>
- URL-3, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Güneş>
- URL-4, <https://iea-pvps.org/snapshot-reports/snapshot-2024/>
- URL-5, <https://gepa.enerji.gov.tr/>
- URL-6, <https://www.kooplog.com/gunes-hucreleri-panelleri-nedir-ve-cesitleri/>
- URL-7, <https://solarcati.com/fv-inverterler-ve-son-teknolojiler/>
- URL-8, <https://tamsolar.com.tr/huawei-100-kw-trifaze-on-grid-inverter-sun2000l-100ktl>
- URL-9, <https://azkarbon.com/orbus-100-amper-12v-solar-jel-aku-nano-carbon>
- URL-10, <https://evaelektromekanik.com/hermetik-trafo/>
- URL-11, <https://www.elseroof.com/hizmetlerimiz/hibrit-solar-sistemler/>
- URL-12, <https://tr.euronews.com/2021/09/09/abd-enerji-bakanl-g-2050-ye-kadar-enerji-arz-n-n-yar-s-gunes-ten-kars-lanmal>
- URL-13, <https://www.myenerjisolar.com/ges-icin-cagri-mektubu-sureci-nedir/>
- URL-14, <https://www.investenerji.com/jaa-industrial-solar-roof-power-plant>
- URL-15, <https://www.orbitenerji.com/hizmetlerimiz/solar-sulama-sistemleri-akulu-akusuz-off-grid-hibrit-sebekeye-entegre-uzak-kontrollu>
- URL-16, <https://blog.eurekosigorta.com.tr/bireysel-cati-tipi-gunes-panelleri/>
- URL-17, <https://medium.com/ieeee-trsb-pes/y%C3%BCzer-g%C3%BCne%C5%9F-enerji-sistemleri-7db928b9590>
- URL-18, <https://mc2haber.com/yuzer-ges-barajlardaki-su-kaybinin-cozumu-olacak>
- URL-19, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>
- URL-20, <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/754>
- URL-21, <https://www.dsi.gov.tr/Haber/Detay/12128>
- URL-22, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Van>
- URL-23, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=VAN>

URL-24, <https://gepa.enerji.gov.tr/pages/65.aspx>

URL-25, <https://siriuspv.com/tr/urunler/pv-moduller>

URL-26, <https://solar.huawei.com/tr/professionals/all-products>

Ünlü, M., Çamur, S. ve Arifoğlu, B. (2015). Fotovoltaik enerji dönüşüm sistemlerinde parçalı gölgelenme durum analizi. *Elektrik Enerji, Elektrik, Aydınlatma, Elektronik ve Otomasyon Mühendisliği Dergisi*, 314, 83-87.

Varınca, K. B. ve Gönüllü, M. T. (2006). Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, 21-23.



## ÖZGEÇMİŞ

Abdurrahman SAKA Lise öğrenimini Bursa'da tamamladıktan sonra Karadeniz Teknik Üniversitesi Of Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümünden 2019 yılında mezun oldu. 2020 yılında Kütahya Dumlupınar Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği bölümünde tezsiz Yüksek Lisans programından mezun oldu. 2021 yılından itibaren Gümüşhane Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Programına başladı. 2019 yılından beri Güneş Enerji sektöründe proje, danışmanlık, kurulum yapan Selman Saraç Mühendislik'te çalışmaktadır.