



**FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE YAPAY ZEKA  
YÖNTEMLERİ KULLANILARAK SİSTEM PERFORMANS  
ANALİZLERİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**EREN GÜLTEKİN**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**MERSİN  
HAZİRAN - 2023**

**FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE YAPAY ZEKA  
YÖNTEMLERİ KULLANILARAK SİSTEM PERFORMANS  
ANALİZLERİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**EREN GÜLTEKİN**  
**ORCID ID: 0009-0005-4878-5147**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN**  
**PROF. DR. HÜSEYİN ERİŞTİ**  
**ORCID ID: 0000-0003-1474-9170**

**MERSİN**  
**HAZİRAN - 2023**

## ÖZET

### FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİ KULLANILARAK SİSTEM PERFORMANS ANALİZLERİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Dünyada nüfusun hızla çoğalması ve sanayileşmenin de giderek artmasıyla elektrik enerjisine olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Artan bu talebi karşılamak için genellikle nükleer ve fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Fosil yakıtların kullanımındaki artış, CO<sub>2</sub> salınımının artması ve bunlara bağlı olarak hava kirliliğinin artmasına sebep olmuştur. Hava kirliliği sonucunda asit yağmurlarının yağması, ozon tabakasının delinmesi ve küresel ısınmasının etkilerinin artması doğanın dengesini bozmakta ve insan yaşamını olumsuz yönde etki etmektedir. Ayrıca fosil yakıtların kullanımı ülkelerin dışa bağımlılığını artırmıştır. Ortaya çıkan bu olumsuzlukları azaltmak için alternatif enerji kaynaklarına yönelme olmuştur. Alternatif enerji kaynağı olarak kullanılabilen en temiz ve çevreye duyarlı olan kaynaklar yenilenebilir enerji kaynakları olarak öne çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde özellikle güneş enerjisi yüksek potansiyeli, güvenilir olması, kullanım kolaylığı ve çevre dostu olması gibi özellikleri ile hızlı bir şekilde yaygınlaşmaktadır. Fotovoltaik güneş enerjisine dayalı santral sayıları gün geçtikçe artmaktadır. Santrallerin artmasıyla birlikte fotovoltaik sistem performansına etki eden parametrelerin incelenmesi önem kazanmıştır.

Bu tez çalışmasında mevcutta kurulu durumdaki fotovoltaik santralde yapılacak olan ölçümlerle sistem performansını etkileyen tozlanma, gölgelenme ve fotovoltaik modül eğim açısı konuları hakkında analizler yapılmıştır. Yapılan analizlerde akım ve gerilim ölçüm işlemleri gerçekleştirilmiştir. Tozlanan, tozlanmayan, gölge alan, gölge almayan panellerdeki durumlar için çıkış gücü hesaplanmış ve farklı fotovoltaik modül eğimi açılarındaki çıkış gücü farklılıkları grafiklerle açıklanmıştır. Bu analizler farklı hava koşullarında, farklı gölgelenme ve farklı fotovoltaik eğim açısı durumları için ayrı ayrı analiz edilmiştir. Ayrıca tez kapsamında kurulumu yapılan 3 kW fotovoltaik sistemden alınan güneş ışınlamı, hava sıcaklığı, hücre sıcaklığı, çıkış gücü, rüzgâr hızı ve yönü verileri kullanarak Matlab programında yapay sinir ağlarıyla güç tahminleri yapılmıştır. Güç tahminleri yapılırken yapay sinir ağındaki giriş verileri değiştirilerek farklı sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. İki farklı lokasyondan alınan ışınlam verileri kullanarak güç tahmini farklılıkları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar beş aylık ve farklı hava durumlarına göre günlük olarak grafiklerle açıklanmıştır. Böylece fotovoltaik sistemlerde üretime katkısı olan parametreler ve sistem performansını etkileyen durumlar hakkında yapılan analizler yeni kurulacak sistemlere yol gösterici olacaktır. Fotovoltaik sistem tasarımlarında üretim tahmini, tahminleri etkileyen değişkenlerin analizinde ve sistem yapısı hakkında önemli sonuçlar elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Fotovoltaik Sistemler, Fotovoltaik Ölçümler, Performans Analizi, Yapay Sinir Ağları, Üretim Tahmini.

**Danışman:** Prof. Dr. Hüseyin ERİŞTİ, Mersin Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı, Mersin.

## ABSTRACT

### PERFORMING SYSTEM PERFORMANCE ANALYSIS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS IN PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

With the rapid increase in population and the increasing industrialization in the world, the need for electrical energy is increasing. Nuclear and fossil fuels are generally used to meet this increasing demand. The increase in the use of fossil fuels has led to an increase in CO<sub>2</sub> emissions and consequently an increase in air pollution. As a result of air pollution, the precipitation of acid rain, the depletion of the ozone layer and the increase in the effects of global warming disrupt the balance of nature and affect human life negatively. In addition, the use of fossil fuels has increased the foreign dependency of countries. To reduce these negativities, there has been a tendency towards alternative energy sources. The cleanest and most environmentally friendly sources that can be used as alternative energy sources stand out as renewable energy sources. Renewable energy sources, especially solar energy is spreading rapidly with features such as high potential, reliability, ease of use and environmental friendliness. The number of photovoltaic solar power plants is increasing day by day. With the increase in power plants, it has gained importance to examine the parameters affecting the photovoltaic system performance.

In this master's thesis study, analysis were made about dusting, shading, and photovoltaic module tilt angle, which affect the system performance, with the measurements to be made in the photovoltaic plant that is currently installed. In the analyzes made, current and voltage measurements were carried out. Output power is calculated for dusty, non-dusted, shaded and shaded panels and the output power differences in different photovoltaic module tilt angles are explained with graphics. These analyzes were analyzed separately for different weather conditions, different shading and different photovoltaic tilt angle situations. In addition, power estimations were made with artificial neural networks in the Matlab program using solar radiation, air temperature, cell temperature, output power, wind speed and direction data from the 3 kW photovoltaic system installed within the scope of the thesis. While making power estimations, different results were tried to be obtained by changing the input data in the artificial neural network. The power estimation differences were investigated using the radiation data from two different locations. The results obtained are explained with graphs for five months and daily according to different weather conditions. Thus, the analysis made about the parameters that contribute to the production of photovoltaic systems and the situations that affect the system performance will guide the new systems to be established. Significant results have been obtained about the production estimation in photovoltaic system designs, the analysis of the variables affecting the estimations and the system structure.

**Keywords:** Photovoltaic Systems, Photovoltaic Measurements, Performance Analysis, Artificial Neural Networks, Production Estimation.

**Advisor:** Prof. Dr. Hüseyin ERİŞTİ, Department of Electrical-Electronics Engineering, Mersin University, Mersin.

## TEŞEKKÜR

Başta sevgili eşim Çağrı ve küçük kızım Defne'ye yüksek lisans eğitimim her aşamasında bana verdikleri katkı ve desteklerden ötürü sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Danışman hocam Prof. Dr. Hüseyin ERİŞTİ'ye yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve birikimlerini benimle paylaştığı için teşekkürlerimi sunarım. Tiryaki Agro Gıda A.Ş.'ye tez çalışmam için vermiş oldukları her türlü maddi ve manevi katkılardan dolayı teşekkür ederim. Tiryaki Agro Gıda A.Ş. Enerji Projeleri Müdürü Rüştü ATAMAN'a tez aşamasında vermiş olduğu teknik ve manevi destekten dolayı teşekkürlerimi sunarım.



## İÇİNDEKİLER

|                                                                       | Sayfa      |
|-----------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>İÇ KAPAK</b>                                                       | <b>i</b>   |
| <b>ONAY</b>                                                           | <b>ii</b>  |
| <b>ETİK BEYAN</b>                                                     | <b>iii</b> |
| <b>ÖZET</b>                                                           | <b>iv</b>  |
| <b>ABSTRACT</b>                                                       | <b>v</b>   |
| <b>TEŞEKKÜR</b>                                                       | <b>vi</b>  |
| <b>İÇİNDEKİLER</b>                                                    | <b>vii</b> |
| <b>TABLolar DİZİNİ</b>                                                | <b>ix</b>  |
| <b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b>                                                | <b>x</b>   |
| <b>ŞİMGELER VE KISALTMALAR</b>                                        | <b>xii</b> |
| <b>1.GİRİŞ</b>                                                        | <b>1</b>   |
| 1.1.Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli                             | 3          |
| 1.2. Fotovoltaik Sistemlerin Avantajları                              | 6          |
| 1.3. Fotovoltaik Sistemlerin Dezavantajları                           | 6          |
| 1.4. Güneş Radyasyonu                                                 | 6          |
| 1.5. Güneş Açıları                                                    | 7          |
| 1.6. Güneş Işınımı Ölçümleri                                          | 9          |
| <b>2.KAYNAK ARAŞTIRMALARI</b>                                         | <b>11</b>  |
| <b>3.MATERYAL VE YÖNTEM</b>                                           | <b>15</b>  |
| 3.1. Fotovoltaik Güç Santrali Bilgileri                               | 15         |
| 3.1.1. Konum-1’de Bulunan Fotovoltaik Güç Santrali Bilgileri          | 15         |
| 3.1.2. Konum-2’de Bulunan Fotovoltaik Güç Santrali Bilgileri          | 17         |
| 3.2. Fotovoltaik Sistemlerde Performans Analizi                       | 22         |
| 3.2.1. Fotovoltaik Sistemlerde Toz Etkisi                             | 23         |
| 3.2.2. Fotovoltaik Sistemlerde Gölge Etkisi                           | 25         |
| 3.2.3. Fotovoltaik Sistemlerde Eğim Açısı Etkisi                      | 26         |
| 3.3. Fotovoltaik Sistemlerde Üretim Tahmini                           | 28         |
| 3.4. Yapay Sinir Ağları                                               | 28         |
| 3.4.1. Yapay Sinir Ağının Biyolojik Yapısı                            | 28         |
| 3.4.2. Yapay Sinir Ağı Hücresi                                        | 29         |
| 3.4.3. Yapay Sinir Ağı Yapısı ve Modelleri                            | 34         |
| 3.4.3.1. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları                           | 34         |
| 3.4.3.2. Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları                            | 35         |
| 3.4.4. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri                              | 35         |
| 3.4.5. Yapay Sinir Ağlarının Kullanım Alanları                        | 36         |
| <b>4.BULGULAR VE TARTIŞMA</b>                                         | <b>38</b>  |
| 4.1. Konum-1 Fotovoltaik Sistemde Performans Analiz Sonuçları         | 38         |
| 4.1.1. Fotovoltaik Sistemde Tozlanma Etkisi Analiz Sonuçları          | 38         |
| 4.1.1.1. Yük Altında Tozlanma Etkisi Analiz Sonuçları                 | 39         |
| 4.1.1.2. Yüksüz Durumda İken Tozlanma Etkisi Analiz Sonuçları         | 46         |
| 4.1.2. Fotovoltaik Sistemdeki Gölge Etkisi Analiz Sonuçları           | 49         |
| 4.1.2.1. Yük Altında İken Gölge Etkisi Analiz Sonuçları               | 50         |
| 4.1.2.2. Yüksüz Durumda İken Gölge Etkisi Analiz Sonuçları            | 51         |
| 4.1.3. Fotovoltaik Sistemde Modül Eğim Açısı Etkisi Analiz Sonuçları  | 56         |
| 4.1.3.1. Yük Altında İken Modül Eğim Açısı Etkisi Analiz Sonuçları    | 57         |
| 4.1.3.2. Yüksüz Durumda İken Modül Eğim Açısı Etkisi Analiz Sonuçları | 59         |
| 4.2. Konum-2 YSA Tahmin Sonuçları                                     | 61         |
| 4.2.1. 5 Aylık Tahmin Sonuçları                                       | 62         |
| 4.2.2. Çalışma-1 Analiz Sonuçları                                     | 63         |
| 4.2.3. Çalışma-2 Analiz Sonuçları                                     | 64         |
| 4.2.4. Çalışma-3 Analiz Sonuçları                                     | 65         |

|                                    |           |
|------------------------------------|-----------|
| 4.2.5. Çalışma-4 Analiz Sonuçları  | 66        |
| 4.2.6. Çalışma-5 Analiz Sonuçları  | 67        |
| 4.2.7. Çalışma-6 Analiz Sonuçları  | 68        |
| 4.2.8. Çalışma-7 Analiz Sonuçları  | 69        |
| 4.2.9. Çalışma-8 Analiz Sonuçları  | 70        |
| 4.2.10. Çalışma-9 Analiz Sonuçları | 71        |
| <b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b>     | <b>73</b> |
| <b>KAYNAKLAR</b>                   | <b>76</b> |
| <b>EKLER</b>                       | <b>82</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                    | <b>87</b> |



## TABLÖLER DİZİNİ

|                                                                                                                                            | Sayfa |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>Tablo 1.1.</b> 2022 Ocak – 2023 Ocak Elektrik Kurulu Güçleri (MW).                                                                      | 4     |
| <b>Tablo 1.2.</b> 2022 Ocak – 2023 Ocak Elektrik Üretim Miktarları (MWh).                                                                  | 5     |
| <b>Tablo 3.1.</b> Fotovoltaik güç santraline ait genel bilgiler.                                                                           | 15    |
| <b>Tablo 3.2.</b> Modül ve evirici bilgileri.                                                                                              | 16    |
| <b>Tablo 3.3.</b> Fotovoltaik modül teknik özellikleri.                                                                                    | 16    |
| <b>Tablo 3.4.</b> Evirici teknik özellikleri.                                                                                              | 16    |
| <b>Tablo 3.5.</b> Fotovoltaik güç santralinin genel özellikleri.                                                                           | 17    |
| <b>Tablo 3.6.</b> Fotovoltaik güç sistemine ait genel bilgiler.                                                                            | 18    |
| <b>Tablo 3.7.</b> Modül ve evirici bilgileri.                                                                                              | 18    |
| <b>Tablo 3.8.</b> Modül teknik özellikleri.                                                                                                | 18    |
| <b>Tablo 3.9.</b> Evirici teknik özellikleri.                                                                                              | 18    |
| <b>Tablo 3.10.</b> Fotovoltaik güç sisteminin genel özellikleri.                                                                           | 19    |
| <b>Tablo 4.1.</b> 06.12.2022 tarihinde yük altında temiz ve kirli panellerden elde edilen ölçümler.                                        | 40    |
| <b>Tablo 4.2.</b> 07.12.2022 tarihinde yük altında temiz ve kirli panellerden elde edilen ölçümler.                                        | 43    |
| <b>Tablo 4.3.</b> 07.12.2022 tarihinde yük altında iken kirli ve temiz panellerden elde edilen ölçümler.                                   | 45    |
| <b>Tablo 4.4.</b> 09.12.2022 tarihinde yükte iken kirli ve temiz panellerden elde edilen ölçümler.                                         | 46    |
| <b>Tablo 4.5.</b> 07.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken kirli ve temiz panellerden elde edilen ölçümler.                                | 46    |
| <b>Tablo 4.6.</b> 09.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken kirli ve temiz panellerden elde edilen ölçümler.                                | 48    |
| <b>Tablo 4.7.</b> 07.12.2022 tarihinde yük altında iken gölgeli ve gölgesiz panellerden elde edilen ölçümler.                              | 50    |
| <b>Tablo 4.8.</b> 09.12.2022 tarihinde yükte iken gölgeli ve gölgesiz panellerden elde edilen ölçümler.                                    | 51    |
| <b>Tablo 4.9.</b> 07.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken gölgeli ve gölgesiz panellerden elde edilen ölçümler.                           | 51    |
| <b>Tablo 4.10.</b> 09.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken gölgeli ve gölgesiz panellerden elde edilen ölçümler.                          | 54    |
| <b>Tablo 4.11.</b> 09.12.2022 tarihinde yük altında iken modül eğim açısı 6°, 14° ve 25° olan dizilerden elde edilen akım ölçümleri.       | 57    |
| <b>Tablo 4.12.</b> 09.12.2022 tarihinde yük altında iken modül eğim açısı 6°, 14° ve 25° olan dizilerden elde edilen gerilim ölçümleri.    | 58    |
| <b>Tablo 4.13.</b> 09.12.2022 tarihinde yük altında iken modül eğim açısı 6°, 14° ve 25° olan dizilerden elde edilen güç ölçümleri.        | 58    |
| <b>Tablo 4.14.</b> 09.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken modül eğim açısı 6°, 14° ve 25° olan dizilerden elde edilen akım ölçümleri.    | 59    |
| <b>Tablo 4.15.</b> 09.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken modül eğim açısı 6°, 14° ve 25° olan dizilerden elde edilen gerilim ölçümleri. | 60    |
| <b>Tablo 4.16.</b> 09.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken modül eğim açısı 6°, 14° ve 25° olan dizilerden elde edilen güç ölçümleri.     | 60    |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                 | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 1.1. Türkiye'nin güneş potansiyeli.                                                                                       | 3     |
| Şekil 1.2. Türkiye'de güneş enerjisinin toplam kurulu güç içerisindeki oranı.                                                   | 5     |
| Şekil 1.3. Isıl çiftli piranometre.                                                                                             | 10    |
| Şekil 1.4. Fotovoltaik piranometre.                                                                                             | 10    |
| Şekil 3.1. Çatı ve arazi sistem görüntüsü.                                                                                      | 17    |
| Şekil 3.2. Fotovoltaik güç sistemine ait genel sistem şeması.                                                                   | 19    |
| Şekil 3.3. Fotovoltaik güç sistemi.                                                                                             | 20    |
| Şekil 3.4. Evirici.                                                                                                             | 20    |
| Şekil 3.5. Evirici mobil arayüzü.                                                                                               | 21    |
| Şekil 3.6. Ortam Sıcaklık ve nem sensörü.                                                                                       | 21    |
| Şekil 3.7. Piranometre.                                                                                                         | 22    |
| Şekil 3.8. Rüzgâr sensörü.                                                                                                      | 22    |
| Şekil 3.9. Bypass diyot bağlantı şekli.                                                                                         | 26    |
| Şekil 3.10. Yapay sinir ağlarının biyolojik yapısı.                                                                             | 29    |
| Şekil 3.11. Yapay sinir ağı blok şeması.                                                                                        | 29    |
| Şekil 3.12. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu.                                                                                     | 30    |
| Şekil 3.13. Basamak aktivasyon fonksiyonu.                                                                                      | 31    |
| Şekil 3.14. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu.                                                                                      | 31    |
| Şekil 3.15. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu.                                                                           | 32    |
| Şekil 3.16. Sinüs aktivasyon fonksiyonu.                                                                                        | 32    |
| Şekil 3.17. İleri beslemeli nöron ağı.                                                                                          | 35    |
| Şekil 3.18. Geri beslemeli nöron ağı.                                                                                           | 35    |
| Şekil 4.1. 06.12.2022 tarihinde yük altında temiz ve kirli panel güç kıyaslaması.                                               | 41    |
| Şekil 4.2. 06.12.2022 tarihinde yük altında temiz ve kirli panel yüzdesel güç kıyaslaması.                                      | 41    |
| Şekil 4.3. Temiz ve kirli panel saha görseli.                                                                                   | 42    |
| Şekil 4.4. 07.12.2022 tarihinde yük altında temiz ve kirli panel güç kıyaslaması.                                               | 44    |
| Şekil 4.5. 07.12.2022 tarihinde yük altında temiz ve kirli panel yüzdesel güç kıyaslaması.                                      | 44    |
| Şekil 4.6. 07.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken temiz ve kirli panel güç kıyaslaması.                                       | 47    |
| Şekil 4.7. 07.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken temiz ve kirli panel yüzdesel güç kıyaslaması.                              | 47    |
| Şekil 4.8. 09.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken temiz ve kirli panel güç kıyaslaması.                                       | 49    |
| Şekil 4.9. 09.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken temiz ve kirli panel yüzdesel güç kıyaslaması.                              | 49    |
| Şekil 4.10. 07.12.2022 tarihinde yüksüz iken gölgeli ve gölgesiz panel güç kıyaslaması.                                         | 52    |
| Şekil 4.11. 07.12.2022 tarihinde yüksüz iken gölgeli ve gölgesiz panel yüzdesel güç kıyaslaması.                                | 53    |
| Şekil 4.12. Modül sıra gölge etkisi saha görseli.                                                                               | 53    |
| Şekil 4.13. Aydınlatma direği gölgesi saha görseli.                                                                             | 54    |
| Şekil 4.14. 09.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken gölgeli ve gölgesiz panel güç kıyaslaması.                                 | 55    |
| Şekil 4.15. 09.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken gölgeli ve gölgesiz panel yüzdesel güç kıyaslaması.                        | 56    |
| Şekil 4.16. Çatı ve arazi modül eğim açıları.                                                                                   | 56    |
| Şekil 4.17. 09.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken modül eğim açısı 6°, 14° ve 25° olan dizilerden elde edilen güç ölçümleri. | 61    |
| Şekil 4.18. Güç tahmininde kullanılan yapay sinir ağı topolojisi.                                                               | 62    |
| Şekil 4.19. YSA Matlab tahmin algoritmasına ait genel yapı.                                                                     | 63    |
| Şekil 4.20. Işınım-1 YSA test ve tahmin verisi çıkışları.                                                                       | 64    |
| Şekil 4.21. 11 Aralık 2022 çok bulutlu hava durumu için ışıınım-1 YSA test ve tahmin verisi çıkışları.                          | 65    |
| Şekil 4.22. 28 Aralık 2022 güneşli ve açık hava durumu için ışıınım-1 YSA test ve tahmin verisi çıkışları.                      | 66    |
| Şekil 4.23. Işınım-1 YSA test ve tahmin verisi çıkışları.                                                                       | 67    |
| Şekil 4.24. 20 Aralık 2022 çok bulutlu hava durumu için ışıınım-1 YSA test ve tahmin verisi çıkışları.                          | 68    |

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.25.</b> 9 Ocak 2023 güneşli ve açık hava durumu için ışınlm-1 YSA test ve tahmin verisi çıkışları. | 69 |
| <b>Şekil 4.26.</b> Işınım-2 YSA test ve tahmin verisi çıkışları.                                              | 70 |
| <b>Şekil 4.27.</b> Işınım-2 YSA test ve tahmin verisi çıkışları.                                              | 71 |
| <b>Şekil 4.28.</b> Işınım 1 ve 2, YSA test ve tahmin verisi çıkışları.                                        | 72 |

---



## SİMGELER VE KISALTMALAR

| Kısaltma /Simge | Tanım                            |
|-----------------|----------------------------------|
| W               | Watt                             |
| kW              | Kilo Watt                        |
| MW              | Mega Watt                        |
| kVA             | Kilo Volt Amper                  |
| EPDK            | Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu |
| kWh             | Kilo Watt Saat                   |
| MWh             | Mega Watt Saat                   |
| m <sup>2</sup>  | Metrekare                        |
| J               | Joule                            |
| YSA             | Yapay Sinir Ağı                  |
| W <sub>p</sub>  | Watt Peak                        |
| DC              | Doğru Akım                       |
| AC              | Alternatif Akım                  |
| I               | Akım                             |
| V               | Gerilim                          |
| A               | Amper                            |
| P               | Güç                              |
| I <sub>kd</sub> | Kısa Devre Akımı                 |
| V <sub>ad</sub> | Açık Devre Gerilimi              |
| V <sub>ac</sub> | Alternatif Voltaj                |
| DF              | Dolum Faktörü                    |
| km              | Kilometre                        |
| K               | Kelvin                           |
| RMSE            | Ortalama Karekök Sapması         |
| MSE             | Ortalama Hata Karesi             |
| R <sup>2</sup>  | Kolerasyon Katsayısı             |

## 1.GİRİŞ

Enerji günlük hayatta yaşamın her aşamasında gerekli olan insanlar için temel bir ihtiyaçtır. Çevresel dengeyi bozmadan gerektiği kadar enerji sağlama ve kullanma toplum için önemli bir konudur. Enerji sağlamada faydalanılan kaynaklar; fosil yakıtlar ve yenilenebilir enerji kaynakları olmak üzere başlıca iki gruba ayrılabilir (Doğan, 2012).

Fosil yakıtlar, dünyada gerekli olan enerjinin çoğunluğunun karşılandığı kaynaklardır. Milyonlarca sene toprak altında biriken bitki ve hayvan kalıntılarının çeşitli reaksiyonlar geçirmesiyle fosil yakıtlar oluşmaktadır. Fosil yakıtlar doğada belirli bölgelerde ve sınırlı bir şekilde bulunmaktadır. Düşük fiyatlı olması ve teknolojik gelişmelerden dolayı fosil yakıtların kullanım alanları yaygınlaşmıştır. 1973 yılında yaşanan petrol kriziyle rezervlerdeki sorunlar ve fosil yakıtların fazla tüketimiyle havadaki karbondioksit miktarının artmasına bağlı olarak havada artan zararlı gazlar evrenin ısınmasına neden olmuştur (Gül, 2021). Yenilenemeyen fosil yakıtların kullanılmasıyla doğanın dengesi bozulmaktadır. Fosil yakıtların kullanılmasıyla hava kirliliğinin artırması, asit yağmurlarının oluşması, ozon tabakasının delinmesi, küresel ısınmaya sebep olması enerjiyi önemli bir sorun haline getirmiştir. Fosil yakıtların olumsuz birçok etkisine karşı yenilenebilir enerji kaynakları, doğaya zarar vermeyen, çevre kirliliğine sebep olmayan, doğada yaşayan canlıların yaşamlarını olumsuz yönde etkilemeyen, güvenli ve temiz kaynaklardır. Yenilenebilir enerji kaynakları, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji, hidrojen enerjisi, biyokütle enerjisi, dalga enerjisi ve füzyon enerjisi olmak üzere doğada bulunan kaynaklardır (Özcan, 2020).

Yenilenebilir kaynaklar içerisinde tezin ana konusu olan güneş enerjisi üzerinde durulacaktır. Yenilenebilir enerji kavramı kendini tekrar eden güneş ve dünya var oldukça bitmeyecek olan enerji anlamına gelmektedir (Kılıç, 2015). Yenilenebilir kaynaklar incelendiğinde güneş enerjisi diğer yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en hızlı büyüyen ve yatırım alan kaynak olarak öne çıkmaktadır. Güneş enerjisi füzyon tepkimeleri sonucu oluşur ve bu füzyon tepkimeleriyle hidrojen çekirdeklerinin helyum çekirdeklerine dönüşmesi sonucunda büyük miktarda ısıma enerjisi oluşur. Güneşin en tepede olduğu sürede, bulutsuz açık bir günde Dünya yüzeyine düşen güneş enerjisi 25°C sıcaklıkta 1000 Wp/m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. Günlük ve yıllık olarak güneşten yeryüzüne çok yüksek miktarlarda bir enerji ulaşmasına rağmen bu enerjinin kullanılacak kısmı tahmin edildiği kadar yüksek bir oranda değildir. Ayrıca güneş enerjisi, yeryüzünde bölgelere eşit olarak dağılmaz. Yeryüzündeki ışıınım değerleri için belirleyici kriterler güneş ışınlarının geliş açısı, aydınlanma süresi, dünyanın günlük hareketinin sıcaklığa etkisi, dünyanın eksen eğiminin ve yıllık hareketinin sıcaklığa etkileri, bakı, yüzey şekilleri, denizlere göre konum, bitki örtüsü, bulutlu gün sayısı gibi coğrafi özellikler oldukça belirleyici olmaktadır (Oral, 2020).

Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli coğrafi konumu sebebiyle yüksektir. Bu yüksek potansiyeli, kullanım kolaylığı, yenilenebilir ve çevre dostu özellikleri ile diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha hızlı olarak yaygınlaşabilecek kapasitededir. Yaygınlaşma kapasitesini

engelleyen bazı durumlar vardır. Bunlar, güneş enerjisinin diğer enerji kaynaklarına göre kurulum maliyetlerinin yüksek olması, veriminin ve kapasite faktörünün kısmen düşük olması gibi bazı teknolojik ve ekonomik kaynaklı durumlardır. Güneş enerjisinin daha fazla yaygınlaşabilmesi için bu sorunların çözülmesi gerekmektedir (Kılıç, 2015).

Güneş enerjisi sistemleri için teknik terimsel ifade olarak fotovoltaik kelimesi kullanılmaktadır. Fotovoltaik, Yunanca ışık kelimesi (Phos) ile Alessandro Volta'nın soyadının birleşimi olarak tanımlanmıştır (Majizade, 2018). Fotovoltaik, güneş fotonları tarafından aydınlatılan özel yarı iletken malzemelerden doğrudan elektrik enerjisi üretebilen, hareketli ve mekanik parçası olmayan, bakımı kolay ve uzun ömürlü elektronik sistemlerdir. Günümüzde güneş enerji sistemlerinin kullanım alanı kapsamı giderek artmaktadır. Ana elektrik şebekesine uzak bölgelerdeki telefon vericileri, aydınlatmalar, ışıklı uyarı levhalarının elektrik ihtiyacı, evsel ya da endüstriyel enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılmaktadır (Çolak, 2010).

Binalarda, sitelerde, okullarda, işletmelerde, besi çiftlikleri, yaylalarda, tarımsal sulama alanları, seralarda kullanılmaktadır. Tanıtım panoları, dış cephe aydınlatmaları, bahçe ve sokak aydınlatmaları, elektrik ve su dağıtım sistemlerinde, hava gözlem istasyonları, deniz feneri gibi alanlarda faydalanılmaktadır.

Fotovoltaik sistemlerin kurulumu tamamlandıktan sonra performans analizleri ve verimliliği etkileyen faktörlerin uzun vadede incelenmesi gerekmektedir. Sistemin ömrü boyunca en yüksek verimi alabilmek için sürekli sistem takibi ve analizlerinin yapılması gerekmektedir. Fotovoltaik sistemlerin performansını etkileyen birçok parametre vardır. Bu parametreler sistem konfigürasyonları, sistemin coğrafik konumu, ışıınım, modül düzlem açısı, gölgelenme, tozlanma, yansıma, kablo, termal, uyumsuzluk gibi parametrelerdir. Üzerinde ciddi çalışmalar ve yatırımlar yapılan güneş enerjisi sistemlerinde üretilen ürünlerin bazılarında etiket değerleriyle gerçek sahadaki performans değerleri arasında farklılıklar olabilmektedir. Bu farklılıklar, yapılan yatırımlarda ışıınım, tozlanma, sıcaklık, rüzgâr, nem ölçümü ve diğer test istasyonları ile ürünlerin gerçek saha koşullarındaki performans değerleri ile tespit edilebilmektedir (Turhan, 2011).

Bu yüksek lisans tez çalışmasında mevcutta kurulumu yapılmış olan bir fotovoltaik güç santralinde performans analizleri yapılmıştır. Ayrıca yeni kurulumu yapılan 3 kW fotovoltaik güç sisteminden sağlanan veriler ile ileri beslemeli yapay sinir ağı (YSA) algoritması kullanılarak güç tahmin çalışmalarına yer verilmiştir. Performans analizleri kapsamında fotovoltaik santralde yapılacak olan ölçümlerle sistem performansını etkileyen tozlanma, gölgelenme ve fotovoltaik modül eğim açısı konuları hakkında analizler yapılmıştır. Yapılan analizler kapsamında akım ve gerilim ölçümleri yapılmıştır. Tozlanan, tozlanmayan, gölge alan, gölge almayan panellerdeki durumlar için çıkış gücü hesaplanmış ve farklı fotovoltaik modül eğimi açılarındaki çıkış gücü farklılıkları grafiklerle açıklanmıştır. Kurulumu yeni yapılan 3 kW fotovoltaik sistemde ise ölçümü yapılan güneş ışıınımı, hava sıcaklığı, hücre sıcaklığı, çıkış gücü, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü verileri kullanılarak Matlab programında YSA ile güç tahminleri yapılmıştır. Güç tahminleri yapılırken YSA'daki giriş verileri değiştirilerek



**Tablo 1.1.** 2022 Ocak – 2023 Ocak Elektrik Kurulu Güçleri (MW).

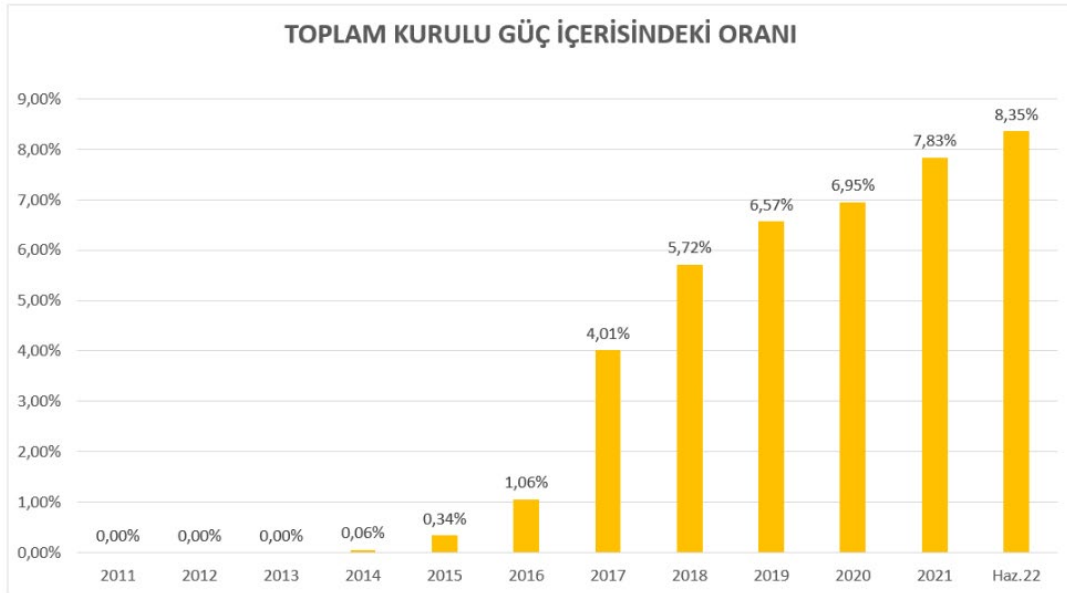
| <b>Kaynak Türü</b>   | <b>2022 Ocak</b> | <b>Oran</b>  | <b>2023 Ocak</b>  | <b>Oran</b>  |
|----------------------|------------------|--------------|-------------------|--------------|
| Hidrolik             | 31.497,98        | 31,58        | 31.571,48         | 30,35        |
| Rüzgâr               | 10.682,85        | 10,71        | 11.404,97         | 10,96        |
| <b>Güneş</b>         | <b>7.881,06</b>  | <b>7,9</b>   | <b>9.596,28</b>   | <b>9,22</b>  |
| Jeotermal            | 1.657,97         | 1,66         | 1.957,44          | 1,88         |
| Biyokütle            | 1.676,17         | 1,68         | 1.691,34          | 1,63         |
| <b>Yenilenebilir</b> | <b>53.396,03</b> | <b>53,54</b> | <b>56.221,51</b>  | <b>54,04</b> |
| Doğal gaz            | 25.696,20        | 25,76        | 25.745,30         | 24,75        |
| Linyit               | 8.993,80         | 9,02         | 10.373,80         | 9,97         |
| İthal kömür          | 10.142,52        | 10,17        | 10.191,52         | 9,8          |
| Taş kömürü           | 840,77           | 0,84         | 840,77            | 0,81         |
| Asfaltit             | 405              | 0,41         | 405               | 0,39         |
| Fuel oil             | 251,93           | 0,25         | 251,93            | 0,24         |
| Nafta                | 4,74             | 0            | 4,74              | 0            |
| Lng                  | 1,95             | 0            | 1,95              | 0            |
| Motorin              | 1,04             | 0            | 1,04              | 0            |
| <b>Termik</b>        | <b>46.337,95</b> | <b>46,46</b> | <b>47.816,05</b>  | <b>45,96</b> |
| <b>Toplam</b>        | <b>99.733,98</b> | <b>100</b>   | <b>104.037,56</b> | <b>100</b>   |

Toplam elektrik üretimleri dağılımında 2022 yılı Ocak Ayı ve 2023 yılı Ocak Ayı karşılaştırması Tablo 1.2.'de verilmiştir. 2022 Ocak Ayında güneş enerjisinden 561905,69 MWh enerji sağlanırken 2023 Ocak Ayında güneş enerjisinden 881066,82 MWh enerji sağlanmıştır. Toplam sağlanan elektrik enerjisi içindeki güneş enerjisinin payı %1,97'dan %3,28'e yükselmiştir. Bu hesaplama lisanslı ve lisanssız santraller de dahildir. 2023 yılı Ocak Ayında sağlanan toplam enerji 26889945,17 MWh olarak hesaplanmıştır (EPDK,2023).

**Tablo 1.2.** 2022 Ocak – 2023 Ocak Elektrik Üretim Miktarları (MWh).

| Kaynak Türü          | 2022 OCAK            | Oran          | 2023 Ocak            | Oran          |
|----------------------|----------------------|---------------|----------------------|---------------|
| Hidrolik             | 4.738.164,19         | 16,59         | 2.966.544,45         | 11,03         |
| Rüzgâr               | 3.149.908,32         | 11,03         | 2.720.646,72         | 10,12         |
| <b>Güneş</b>         | <b>561.905,69</b>    | <b>1,97</b>   | <b>881.066,82</b>    | <b>3,28</b>   |
| Jeotermal            | 723.363,64           | 2,53          | 833.207,85           | 3,1           |
| Biyokütle            | 1.031.040,08         | 3,61          | 1.008.949,51         | 3,75          |
| <b>Yenilenebilir</b> | <b>10.204.381,92</b> | <b>35,72</b>  | <b>8.410.415,35</b>  | <b>31,28</b>  |
| Doğal gaz            | 7.192.275,82         | 25,18         | 7.118.019,22         | 26,47         |
| Linyit               | 6.002.619,44         | 21,01         | 7.033.772,11         | 26,16         |
| İthal kömür          | 4.105.926,30         | 14,37         | 3.923.513,38         | 14,59         |
| Taş kömürü           | 250.972,73           | 0,88          | 232.488,18           | 0,86          |
| Asfaltit             | 206.996,09           | 0,72          | 120.118,83           | 0,45          |
| Fuel oil             | 54.409,93            | 0,19          | 51.618,10            | 0,19          |
| Nafta                | 0                    | 0             | 0                    | 0             |
| Lng                  | 0                    | 0             | 0                    | 0             |
| Motorin              | 551.362,67           | 1,93          | 0                    | 0             |
| <b>Termik</b>        | <b>18.364.562,98</b> | <b>64,28</b>  | <b>18.479.529,82</b> | <b>68,72</b>  |
| <b>Toplam</b>        | <b>28.568.944,89</b> | <b>100,00</b> | <b>26.889.945,17</b> | <b>100,00</b> |

Enerji işleri Genel Müdürlüğü verilerine göre Haziran 2022 sonu itibariyle güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu güç miktarı 8479 MW'a ulaşmış olup toplam kurulu güç içerisindeki oranı %8,35 olmuştur. Türkiye'nin yıllara göre güneş enerjisinin toplam kurulu güç içerisindeki oranı aşağıda Şekil 1.2.'de gösterilmiştir.

**Şekil 1.2.** Türkiye’de güneş enerjisinin toplam kurulu güç içerisindeki oranı.

## 1.2. Fotovoltaik Sistemlerin Avantajları

Sınırsız, temiz ve çevre dostudur. Hava kirliliği yaratmaz, sessiz çalışır. Uzun ömürlü, işletme ve bakım maliyetleri düşüktür. Yakıt maliyeti yoktur. Ülkemizdeki gelişimi sebebiyle istihdama önemli katkıları vardır. Enerjide tekelleşmeyi önleyerek ülkenin enerji bağımsızlığını elde etmesi açısından önemli katkıları bulunmaktadır. Enerji üretiminde enerjinin tek merkezden üretilip dağıtılması yerine yerel enerji üretimi ile elektrik iletim ve dağıtım kayıplarını önlenmektedir. Elektrik şebekesinin olmadığı uzak bölgelerde elektrik enerjisi imkânı sağlamaktadır. Kırsal alanların enerji ihtiyacını sağlayarak göç ve çarpık kentleşmeyi engelleyebilir. Güneydoğu Anadolu gibi kurak bölgelerde sulamada kullanılarak tarımın gelişmesine katkı sağlayabilir (Kılınç, 2019).

## 1.3. Fotovoltaik Sistemlerin Dezavantajları

Fotovoltaik sistemler gece elektrik üretimi yapmamaktadır. Bu zamanlarda batarya veya elektrik şebekesinden destek alarak süreklilik sağlanmaktadır. Kış aylarında da elektrik üretimi düşük olacağı için benzer şekillerde çözüm sağlanması gerekmektedir. Bu durum ise depolama maliyeti doğurmaktadır. Güneş enerjisinde sürekliliğin sağlanması için gölgelenme olmamalı, sistemin çevresi açık olmalıdır. İhtiyaç duyulan güce ulaşabilmek için çok geniş alanlara ihtiyaç vardır. Güneşlenme süresi uzun ve güneşlenme miktarı yüksek bölgelerde kurulması uygundur (Kılınç, 2019).

## 1.4. Güneş Radyasyonu

Güneş radyasyonu veya ışınlama, belirli bir zamanda (saat veya gün) bir alana sahip bir yüzeye düşen enerjidir. Güneş radyasyonu  $\text{kWh/m}^2$  veya  $\text{J/m}^2$  olarak ölçülür. Güneş ışıınımı ise  $\text{W/m}^2$  cinsinden ölçülmektedir. Bir yüzeyin birim alanına düşen enerjinin alınma hızıdır (Tahir ve Asim, 2017).

İşınımın türleri mevcuttur. Doğrudan güneş ışıınımı, atmosfer tarafından saçılmadan güneşten alınan ışıınımı ifade etmektedir (Tahir ve Asim, 2017). Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin tamamı kullanabilecek enerjiye çevrilememektedir. Güneş ışıınlarının bir kısmı atmosferde soğurulur ki buna yani yeryüzüne gelen güneş ışıınım miktarına direkt veya doğrudan güneş ışıınımı denilmektedir. Direkt ışıınım, güneş kaynağından ayrıldıktan sonra herhangi bir engele uğramadan gelmektedir (Özcan, 2020).

Atmosfer tarafından saçıldıktan sonra güneşten alınan güneş ışıınımı ise dağınık güneş ışıınımı olarak tanımlanmaktadır (Tahir ve Asim, 2017). Güneş ışıınlarının bir kısmı ise bulutlar, aerosoller, kuru hava ve toz molekülleri tarafından dağılıp, saçılır ve sonra geri yansımaktadır. Bu şekilde atmosferde difüzyona uğramış olan güneş ışıınımına yayılı güneş ışıınımı denilmektedir. Bulutluluk oranının yüksek olduğu günlerde yeryüzüne düşen ışıınım miktarı daha düşüktür. Bulutsuz günlerde ise yeryüzüne ulaşan güneş ışıınlarının çoğu doğrudan gelen ışıınlardır (Pazikadin vd., 2020; Yenisey, 2015).

Küresel güneşlenme veya küresel yatay ışınlama olarak adlandırılan ışınlım, küresel güneş ışınlımıdır ve yatay bir yüzey üzerinden alınan ışınlım ile dağınık ışınlımın toplamını ifade etmektedir. Güneşe dik olan bir yüzeyden alınan radyasyon direkt normal ışınlama iken global eğimli ışınlama, eğimli bir yüzeyden alınan toplam radyasyondur (Tahir ve Asim, 2017).

Güneş radyasyonu güneşten elektromanyetik dalgalar halinde yayılmaktadır. Işınlar atmosfer dışına gelmektedir. Sonrasında yeryüzüne ulaşana kadar çeşitli parametrelere bağlı olarak azalma gösterir. Yıl boyunca atmosfer dışına gelen radyasyon miktarı değişmemektedir (Yenisey, 2015).

Direkt ve yayılı ışınlımlar yeryüzüne gelen toplam ışınlım değerini oluşturmaktadır. Bu toplam ışınlım değeri küresel veya global ışınlım olarak adlandırılmaktadır. Küresel ışınlım denklem 1.1.'de verilmiştir. Denklemden yer alan  $\theta_z$  güneş azimut açısını ifade etmektedir (Özcan, 2020).

$$GHI = DNI \cdot \cos(\theta_z) + DHI \quad (1.1.)$$

Yüzeylerin yatay ve eğik olması gelen radyasyon miktarını etkilemektedir. Yüzey eğik eğimli ise gelen enerji yaz ayları dışında daha yüksektir. Yatay yüzeylere gelen ışınlım miktarı ölçülebilmektedir. Eğimli yüzeylerdeki ışınlım miktarlarının ise hesaplanması gerekmektedir. Bir proje tasarlanırken güneşlenme süresi, global güneş radyasyonu ve bileşenlerinin şiddeti gibi bilgiler projenin fizibilite aşamalarında önemli bir yere sahiptir. Güneş enerji sistemlerinin performans analizleri ve tahmin algoritmaları yapılırken günlük direkt, difüz ve global radyasyon değerlerinin aylık ortalaması, gibi bilgiler gerekmektedir (Yenisey, 2015).

### 1.5. Güneş Açıları

Panel yüzeyine gelen güneş ışınlarının değeri bazı etkenlere göre değişkenlik göstermektedir. Bu etkenler düzlemin sabit veya hareketli olması, panelin bulunduğu coğrafi konumu, tarih ve zaman dilimi olarak ifade edilebilir (Şenpınar, 2006). Güneş enerjisi sistemleri açısından önemli olan güneş açıları açıklanacaktır.

**Enlem açısı ( $\phi$ ):** Yeryüzündeki herhangi bir noktanın ekvator ile arasında oluşan açısal mesafedir. Kuzey yarım kürede pozitif, güney yarım kürede ise negatif olarak belirlenmiştir. Enlem açısı  $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$  arasında değişmektedir. Türkiye  $36-42^\circ$  enlemleri arasında yer almaktadır (Donuk, 2014).

**Deklinasyon açısı ( $\delta$ ):** Sapma açısıdır. Dünya'nın  $23^\circ 27''$ lık eksen eğikliğinden kaynaklanmaktadır. Yeryüzüne gelen güneş ışınları güneşin doğrultusu ile ekvator düzlemi arasındaki açıdır. Deklinasyon açısı  $-23,45^\circ$  ile  $+23,45^\circ$  değerleri arasında değişmektedir. Kuzey pozitif kabul edilmektedir. 21 Mart – 23 Eylül gece gündüz eşitliği olan durumlarda güneş ışınları ekvatora paralel olduğu için sıfır, 21 Haziran'da  $23,45^\circ$ , 21 Aralık'ta ise  $-23,45^\circ$  değerindedir (Donuk, 2014). Deklinasyon açısı, n, yılın gününü ve 1 Ocak başlangıç olarak  $n = 1$  kabul edilecek şekilde aşağıdaki Cooper formülü ile hesaplanmaktadır (Şenpınar, 2006).

$$\delta = 23,45. \sin [360. ((284 + n) / 365)] \quad (1.2.)$$

**Zenit açısı ( $\theta_z$ ):** Yatay düzlem ile güneş ışınlam değeri arasındaki açıdır. Güneşin doğuş ve batış saatlerinde zenit açısı  $90^\circ$ , öğlen saat 12:00'da  $0^\circ$  olmaktadır (Çingir, 2019). Zenit açısı denklem 1.3.'te verilen formüller ile hesaplanmaktadır (Karafil vd., 2015).

$$\cos\theta_z = \cos\delta . \cos\varphi . \cos\omega + \sin\delta \quad (1.3.)$$

**Güneş yükseklik açısı ( $\alpha$ ),** Güneşin doğrultusu ile yatay düzlem arasında kalan açıdır. Tüm mevsimlerde yükseklik açısı saat 12:00'da en yüksek değerdedir (Donuk, 2014). Yükseklik açısı Zenit açısını  $90^\circ$ 'ye tamamladığı için güneş yükseklik açısı;  $\alpha_s = 90^\circ - \theta_z$  olmaktadır (Şenpınar, 2006). Güneş yükseklik açısı aşağıdaki Denklem 1.4.'te ile hesaplanmaktadır (Donuk, 2014).

$$\alpha = \sin^{-1}(\cos(\delta). \cos(\varphi). \cos(\omega) + \sin(\delta). \sin(\varphi)) \quad (1.4.)$$

**Güneşin geliş açısı ( $\theta$ ):** Doğrudan yüzeye düşen güneş radyasyonu ile aynı yüzeyin normali arasında kalan açıdır. Güneşin geliş açısı güneş ışınlarına dik olduğu yani güneş ışınlarının yüzeye dik gelmesi durumunda  $\theta = 0^\circ$ , paralel gelmesi durumunda ise  $\theta = 90^\circ$  olmaktadır. Güneş enerjisi sistem tasarımlarında kullanılmaktadır. Güneşin geliş açısı Denklem 1.5'te verildiği şekilde hesaplanmaktadır (Karafil vd., 2015).

$$\theta = \cos^{-1} [\cos(\delta) . \cos(\varphi) . \cos(\omega) + \sin(\delta) . \sin(\varphi)] \quad (1.5.)$$

**Eğim açısı( $\beta$ ):** Modüller ile yatay düzlem arasında kalan açıdır. Eğim açısı güney yarım kürede kuzeye, kuzey yarım kürede güneye yöneliktir. Eğim açısı  $0^\circ$  ile  $180^\circ$  arasında değişmektedir (Karafil vd., 2015).

**Saat açısı ( $\omega$ ):** Güneş ışınlarının bulunduğu boylam değeri ile konumu belirtilen boylam arasındaki açı olarak ifade edilmektedir. Saat açısı saat 12:00'da sıfır olarak kabul edilmektedir. Günün herhangi bir saati için saat açısı hesaplanırken, öğlen 12:00'da saat açısı sıfır olduğu için saat 12:00 ile farkı alınıp 15 sabit sayı ile çarpılmaktadır. Bir saat  $15^\circ$ 'ye denk gelmektedir. Bu değer dünyanın güneş etrafında dönmesi ile bir tam tur boyunca yaptığı  $360^\circ$ 'nin 24 saat dilimine bölünmesi ile elde edilmektedir. Öğleden önceki açı değerleri (-), öğleden sonraki açı değerleri (+) olarak kabul edilmektedir (Karafil vd., 2015).

**Azimut açısı (Y):** güneş azimut açısı ve yüzey azimut açısı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Güneş azimut açısı güneş ışınlarının kuzey ve güney konumu ile doğrudan güneş radyasyonu ile yaptığı açıyı ifade etmektedir (Karafil vd., 2015). Güneş ışınlarının saat yönünde kuzeye göre sapmasını veren açıdır. Azimut açısı güneyden doğuya doğru (-), güneyden batıya doğru (+) olarak kabul edilmektedir. Azimut açısı öğlen saatlerinde  $180^\circ$  olmaktadır (Çingı, 2019). Azimut açısı aşağıdaki denklem 1.6. ile hesaplanmaktadır (Karafil vd., 2015).

$$\gamma_s = \cos^{-1} [(\sin(\alpha) \cdot \sin(\phi) - \sin(\delta)) / \cos(\alpha) \cdot \cos(\phi)] \quad (1.6.)$$

$$\alpha = 90 - \theta_z \quad (1.7.)$$

Yüzey azimut açısı ise yüzeyin dikinin yerel boylam ile olan sapmasını gösteren açıdır. Güney yönünde sıfır, doğuya doğru (-), batıya doğru ise (+) değerine sahiptir. Aşağıda yüzey azimut açısına ait denklem verilmiştir (Çıngı, 2019).

$$180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ \quad (1.8.)$$

## 1.6. Güneş Işınımı Ölçümleri

Güneş ışınımı ölçen aletler pirheliometre, pirradiometre, pirgeometre ve piranometre gibi cihazlardır. Pirheliometre normal doğrultuda gelen direkt güneş ışınımını, Pirradiometre kısa ve uzun dalga boylu toplam ışınımı, Pirgeometre yer ışınımını ölçmektedir (Ajder, 2011).

Piranometreler ise güneş ışınının tümünü ölçektir. Ayrıca gölgelenme aparatı vasıtasıyla yaygın ışınım ölçme amacıyla da kullanılmaktadır (Ajder, 2011). Bu cihazlar güneş enerjisi sistemlerinde performans ölçümlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Güneş enerjisi izleme sistemlerinde IEC 61724-1 standartlarına uygun olarak güneş ışınımını ölçmeye yarayan sensörler üç çeşittir. Bunlar, termopil piranometreler, referans hücreli fotovoltaiik ışınım sensörlü piranometreler ve fotodiyot sensörlerdir.

Piranometreler, ısıl çiftli piranometreler ve fotovoltaik piranometreler olarak iki grupta incelenebilmektedir.

**Isıl çiftli piranometreler:** Genleşme prensibine göre global ya da yayılma ışınlamını ölçmek için kullanılmaktadır. Kubbeli bir yapısı vardır. Bu piranometreler birbirinden farklı iki metalin ısı karşındaki davranış farkı prensibiyle üretilmiştir. Temel çalışma prensibi, iki bağlantı noktası mevcuttur. Birisi güneş ışınlamını soğuran siyah bir yüzey ile temas eder. Diğeri ise güneş ışınlamını soğurmeyen bir yüzeyle temas eder. Bu iki yüzey arasındaki sıcaklık farkından yararlanılarak dolaylı olarak ışınlam ölçümü sağlanmaktadır. Şekil 1.4.'te ısıl çiftli piranometre görseli verilmiştir.



Şekil 1.3. Isıl çiftli piranometre.

**Fotovoltaik piranometreler:** Hücreli ışınım sensörleri olarak da bilinmektedir. Güneş ışınımını ölçmek için kullanılmaktadır. Üç parçası bulunmaktadır. Bunlar fotovoltaik hücre, koruyucu kutu ve elektronik karttır. Güneş enerjisi sistemlerinde performans ölçümlerinde kullanılmaktadır. Tasarımında fotovoltaik güneş panellerinden esinlenilmiştir ve düzlemseldir.

Çalışma sistemi güneşten gelen fotonları fotovoltaik etki prensibiyle elektronlara dönüştürmekte ve sonuçta ölçülebilir bir elektrik akımı üretmektedir. Referans hücre akımı üzerinde bulunan bir direnç üzerindeki voltajın ölçülmesiyle hesaplanır.  $1000 \text{ W/m}^2$ ,  $25^\circ\text{C}$ 'de referansına göre kalibre edilir. Referans hücreler güneş ışınımını ölçmek için ekonomik, sağlam ve güvenilir cihazlardır. Spektral hassasiyeti yüksektir. Performans sapmalarını saptamak için hassas ölçümler alınmasını sağlar. Tepki süresi milisaniye mertebesindedir. Referans hücresi güneş ışınımı sensörü 3 girişe sahiptir. Modül sıcaklık sensörü, ortam sıcaklığı sensörü ve rüzgâr hızı sensörlerinin tek bir uzaktan izleme birimi çıkışı ile doğrudan veri kaydediciye bağlantısına imkân tanır.

Piranometre ölçüm cihazlarından sağlıklı sonuçlar alabilmek için cam kısımlarının düzenli temizliği yapılması gerekmektedir (Ajder, 2011). Şekil 1.5.'te piranometre görseli verilmiştir.



Şekil 1.4. Fotovoltaik piranometre.

## 2.KAYNAK ARAŞTIRMALARI

Fotovoltaik sistemler enerji ihtiyacının sürekli artmasıyla günümüzde popüler bir hale gelmiştir. Evsel ve endüstriyel kullanımları günden güne artış göstermektedir. Şebekeden uzak yerlerde enerji ihtiyacının sağlanması, endüstriyel kullanımlarda ise sürekli artan enerji maliyetlerinin karşılanması için önemli bir çözüm odağı haline gelmiştir. Gelişen teknoloji ile birlikte fotovoltaik sistem bileşenlerinin maliyetlerinin düşmesi, kurulum firmalarının da deneyim kazanmasıyla hemen her yerde kullanılmaya başlanmıştır. Sistemin yaygınlaşmasının paralelinde yapılan yatırımlardan en yüksek faydayı sağlamak için performans analizlerinin yapılması gereksinimi ortaya çıkarmıştır. Sistemin performans analizleri kapsamında bu yüksek lisans tez çalışmasında fotovoltaik sistemler üzerinde toz, gölgelenme ve panel açısının etkileri hakkında kaynak araştırması yapılmıştır. Fotovoltaik sistemden alınan üretim verileri ve güneş ışıınım sensörleri verilerinden faydalanılarak oluşturulacak yapay zekâ tahmin metotları hakkında literatür taraması yapılmıştır.

Sarioğlu (2012) çalışmasında fotovoltaik sistemlerde gölgelenme etkisi altında sistem performansını incelemiştir. Farklı gölgelenme durumları için bypass diyot kullanıldığı ve kullanılmadığı durumlar için fotovoltaik modülün akım ve gerilim ölçümlerini yaparak gölgelenme etkisini analiz etmeyi amaçlamıştır.

Hotspots ve yaprak veya kir nedeniyle oluşan fotovoltaik panel arızalarını tespit edebilen modül tasarımı yapılması amaçlanmıştır. Hall etkisi sensörlerini fotovoltaik modüle entegre ederek iki makine öğrenimi sınıflandırıcısı ile dizilerdeki çıkış akımlarını ve arıza türlerini tespit eden ve fotovoltaik modülün toplam voltajını analiz eden bir sistem üzerinde çalışılmıştır (Raslan, 2020).

Gürbüz (2018) çalışmasında farklı açılarda konumlandırılan fotovoltaik modüller üzerinde sistem verimine etki eden kir ve tozlanma durumlarını incelemiştir. Performans analizi yapılırken modüller gruplara ayrılarak farklı zaman periyotlarına göre temizliği yapılmıştır. 6 ay boyunca panellerin günlük olarak açık devre gerilimleri ve kısa devre akımları ölçülmüştür. Temizleme periyoduna ve güneşin geliş açısına göre panellerin verimleri hesaplanarak en uygun temizleme periyodu hesaplanmaya çalışılmıştır.

Turhan (2011) çalışmasında gerçek saha ortamında farklı tip ve güçlerdeki fotovoltaik modüllerin test edilebileceği test platformu tasarlayıp performans ölçümü yapmayı amaçlamıştır. Performans ölçümleri kapsamında sıcaklığın, ışıınım yoğunluğunun panel gücü ve verimi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemde Google Sketchup ve PVsyst programları kullanılarak ayrıntılı gölge analizleri ve YSA yöntemleri kullanarak performans analizleri yapılmıştır. Çalışmanın amacı mono kristal panellerden oluşan sistemde performans analizleri yapmaktır (Özcan, 2020).

Fotovoltaik panel ölçüm istasyonu kurularak panelin bulunduğu konuma ait sıcaklık, nem ve güneş radyasyonu etkilerini baz alarak sistemin ürettiği akım, gerilim ve güç değerlerinin uzaktan

takibini yapan bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Veri seti oluşturularak aşırı öğrenme makinaları algoritmalarına kullanılarak güç tahmini yapılması amaçlanmıştır (Gül, 2021).

Akanalçı (2019) yapmış olduğu çalışma ile fotovoltaik teknolojisi kullanarak üretim yapan bir santralde yüksek hassasiyetteki veri toplama ve kayıt elemanları ile tozlanmaya bağlı kayıp miktarlarının hesaplanması ve ortaya çıkacak temizleme maliyetlerini incelemiştir. Elde edilen veriler ışığında performans oranına etkilerini analiz eden bir çalışma gerçekleştirmiştir.

Hammad ve arkadaşları (2017) toz birikiminin ve ortam sıcaklığının fotovoltaik performansı üzerindeki etkileriyle ilgili olarak Orta Doğu ve Kuzey Afrika bölgesinde yürütülen çalışmaların bölgesel odaklı bir incelemesini sunmaktadır. Bu etkileri simüle etmek için modeller önerir ve Ürdün'deki bir vaka çalışması için temizleme sıklığını belirlemek için bir finansal metodoloji önerir. Doğal toza ve ortam sıcaklığına maruz kalma süresinin deneysel verilerine dayalı olarak fotovoltaik sistem dönüşüm verimliliğini tahmin etmek için çok değişkenli doğrusal regresyonu ve yapay sinir ağını kullanmıştır.

Joshi ve arkadaşları (2009) fotovoltaik ve fotovoltaik termal sistemlerin kapsamlı bir incelemesi, termal çıktının yanı sıra elektriksel çıktıya dayalı performansı incelenmiştir. Çeşitli fotovoltaik sistemlerin uygulanması, elektrik, termal, enerji ve enerji verimliliği gibi tüm yönleri içeren performans analizi sunulmuştur.

Ferrada ve arkadaşları (2015) Kuzey Şili'deki Antofagasta kıyı bölgesindeki fotovoltaik sistemlerin güneş radyasyonu ve ortam sıcaklığının ölçüldüğü 16 aylık bir süre içinde fotovoltaik sistemlerin performans oranını incelemiştir. Performans oranının bu yerle ilişkili toz birikimi ve ortam sıcaklığından nasıl etkilendiğini analiz etmeyi amaçlamıştır.

Seme ve arkadaşları (2019) performans analizi dünyadaki diğer ülkelerle karşılaştırılıp fotovoltaik sistemlerin performans analizleri farklı mevsim ve hava koşullarında incelenmiştir. Bu makalenin temel amacı, Slovenya'daki son teknoloji fotovoltaik sistemleri ve performans analizlerini gözden geçirmektir.

Yiğit ve arkadaşları (2019) güneş enerjisi santrallerinin projelendirilmesi, kurulması ve işletilmesi aşamalarına dikkat çekerek projelendirme esnasında yer seçimi, panel doğrultusu, panel açısı ve gölgelenme parametrelerinin önemini vurgulamıştır. Güneş santrallerinin panel açısı, panel yönü, gölgelenme, sıcaklık, nem, rüzgâr, kirlilik gibi parametrelerin panel verimine etkilerini incelemiştir.

Adak ve arkadaşları (2019) fotovoltaik sistemin çıkış gücünün sıcaklık ve güneş ışınımına bağlı değişimi incelenmiştir. Fotovoltaik sistemin Matlab/simülasyon programı kullanılarak modellenmesi yapılarak farklı sıcaklık ve ışıyım değerleri için fotovoltaik sistemin çıkış gücü analiz edilmiştir.

Fotovoltaik panellerin güç karakteristikleri, çalışma prensibi, panellerin güneş ile olan açısal ilişkileri, ışıyım hesaplamaları incelenmiştir. Fotovoltaik sistemden elde edilecek enerjinin tahmini için YSA kullanılmıştır. Çalışmada fotovoltaik bir sistemin ürettiği günlük enerji miktarını meteorolojik verileri de kullanarak YSA ile tahmin etmek amaçlanmıştır (Donuk, 2014).

YSA kullanılarak fotovoltaik panellerin ürettiği güç değeri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Tahmin hassaslığını sağlam için güneş ışıınım miktarı, hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, bağıl nem oranı ve güneş yükseklik açısı değişkenleri ve fotovoltaik panellerin güç değerleri ölçülüp kaydedilmiştir. Çalışmada geliştirilen yapay sinir ağı modelleri ile elde edilen tahmini değerlerin karşılaştırılması amaçlanmıştır (Kayri, 2017).

Çevresel faktörler göz önüne alınarak YSA algoritmaları kullanılarak fotovoltaik sistemin üreteceği gücün tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında sekiz değişik yapay sinir ağı eğitim algoritması oluşturulmuş ve yapay sinir ağının performansı Çoklu Regresyon Analizi ile hesaplanmıştır (İzmirli Ayan, 2018).

Mejia ve arkadaşları (2013) fotovoltaik sistemlerdeki kirlenme etkisi ve verim analizleri yapılmıştır. Sistemdeki kirlenme kayıpları kurak ve yağmurlu durumlara göre ayrı ayrı incelenmiştir. Toz birikiminin neden olduğu kayıplar tahmin edilmiştir.

Güneş ışıınım şiddeti tahmini amacıyla YSA ve regresyon analiz yöntemlerinin etkinliğini araştırmıştır. Ölçülen ve hesaplanan değerleri kıyaslayarak hata oranını hesaplamayı amaçlamıştır (Deniz ve Atik, 2007).

Arslan ve arkadaşları (2019) YSA algoritmaları ile ölçülen günlük toplam küresel güneş ışıınım değerlerinin tahmini ve modellemesini yapmak amaçlanmıştır. Güneş ışıınım tahmini için oluşturulan yapay sinir ağı modelinde belirlilik katsayısı hesaplanarak iyi sonuç elde edebilmek için geliştirilecek modellerde güneş ışıınımı etkileyen parametrelerin sayısının artırılması ve mümkün olduğunda uzun süreli ölçüm verilerinin kullanması gerektiği önerilmiştir.

Fotovoltaik hücreler için rüzgâr hızı, sıcaklık, nem ve açı faktörlerine göre YSA kullanarak verimlilik tahmini modellemesi yapılmıştır. Matlab programı yardımıyla fotovoltaik hücrelerin verimli çalışmasını sağlayan yapay sinir ağı modellemek ve fotovoltaik sistemlerden daha iyi seviyede enerji elde etmek amaçlanmıştır (Özkişi ve Topaloğlu, 2017).

Solar radyasyon miktarının belirlenmesi için meteorolojik veriler kullanılarak yapay sinir ağı tabanlı tahmin algoritması sunulmuştur. Hava istasyonundan ölçülen meteorolojik veriler ve zaman serisi verileri analiz edilerek ileri yönlü çok katmanlı algılayıcı yapay sinir ağı modeli ile solar radyasyon tahmininin doğruluk düzeyini açıklayan bir çalışma yapılmıştır (Şeker, 2021).

Geriye yayılım algoritması ve sezgisel yöntem kullanılarak bir yapay sinir ağı modeli oluşturularak farklı eğim açılarında konumlandırılan fotovoltaik panellerin güç çıkışlarının, akım ve gerilim değerlerine bağlı olarak tahmin edilmesine yönelik bir çalışma geliştirilmiştir. Gerçek güç değerleri ile geriye yayılım algoritması, parçacık sürü optimizasyonu, klonal seçim algoritmalarıyla elde edilen güç değerleri kıyaslanarak gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki yüzdelik hata sonuçları analiz edilmiştir (Dandıl ve Gürgeç, 2019).

Kazem ve arkadaşları (2019) şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem performansını incelemek amacıyla yıl boyunca sistem verileri toplanıp sıcaklık, güneş ışıınım verileri ve hava durumu verileri kullanılarak derin öğrenme yaklaşımı ile fotovoltaik sistemlerde tahmin algoritması geliştirilmiştir.

Huang ve arkadaşları (2016) fotovoltaik güç çıkışını hesaplamak ve tahmin doğruluğunu artırmak için güneş zenit açısı ve güneş azimut açılarını da hesaba katan bir yaklaşım sunmuşlardır. Önerilen ağın iyi performans gösterdiğini anlamak için, düzlem ışıınımı ve modül sıcaklığı gibi çevresel verileri kullanan mevcut YSA modeli ile cebirsel ve polinom model karşılaştırılmıştır. Fotovoltaik güç çıkışı tahmin edilmesinde destek vektör makine regresyonu ve Gauss metotlarının da yararlı olabileceği gösterilmiştir.



### 3.MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışmasının bu bölümünde, Mersin ili içerisinde bulunan Konum-1 ve Konum-2’de bulunan iki farklı fotovoltaik güç santralinde analizler yapabilmek için ölçümler gerçekleştirilmiştir. Konum-1’de Mersin Tarsus Organize Sanayi’de bulunan bir fabrikaya ait ticari amaçlı işletilmekte olan fotovoltaik güç santrali bulunmaktadır. Konum-2’de ise Mersin Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bina çatısında, tez kapsamında kurulumu yapılan fotovoltaik güç sistemi bulunmaktadır.

Konum-1’de yapılan ölçümler sonucunda performansı etkileyen parametrelerden tozlanma, gölgelenme ve farklı fotovoltaik modül açısı durumları analiz edilmiştir. Yapılan analizler öncesinde bu bölümde mevcutta bulunan fotovoltaik güç santraline ait konum bilgileri, kullanılan fotovoltaik modül ve evirici özellikleri gösterilmiştir. Santrale ait uygulama türü, fotovoltaik modül ve evirici sayıları, kurulu güç bilgileri, modül eğim açıları gibi sistem dizaynı bilgileri verilmiştir. Konum-1 analizleri kapsamında son olarak ise performansı etkileyen parametreler olan tozlanma, gölgelenme ve modül eğim açısı etkileri hakkında literatür bilgileri açıklanmıştır.

Konum-2’de yapılan ölçümler sonucunda Matlab programında ileri beslemeli YSA tahmin algoritması kullanılarak ileriye yönelik fotovoltaik güç sistemine ait güç tahminleri yapılmıştır. Yapılan analizler öncesinde bu bölümde yeni kurulumu yapılan fotovoltaik güç sistemine ait konum bilgileri, kullanılan fotovoltaik modül ve evirici özellikleri gösterilmiştir. Sisteme ait uygulama türü, fotovoltaik modül ve evirici sayıları, kurulu güç bilgileri, sistemde kullanılan evirici uzaktan izleme arayüzü, sıcaklık, nem ve rüzgâr sensörü gibi sistem dizaynı bilgileri verilmiştir. Konum-2 analizleri kapsamında son olarak ise fotovoltaik sistemlerde üretim tahmini, YSA, YSA’nın biyolojik yapısı, ileri beslemeli ve geri beslemeli YSA modelleri ile YSA’nın kullanım alanları açıklanmıştır.

#### 3.1. Fotovoltaik Güç Santrali Bilgileri

Yapılacak analizler kapsamında Konum-1 ve Konum-2’de bulunan fotovoltaik güç santraline ait konum bilgileri, santral bileşenleri, sistemlere ait dizayn bilgileri açıklanacaktır.

##### 3.1.1. Konum-1’de Bulunan Fotovoltaik Güç Santrali Bilgileri

Tablo 3.1’de incelemesi yapılan fotovoltaik güç santraline ait konum ve genel özellikler gösterilmiştir.

**Tablo 3.1.** Fotovoltaik güç santraline ait genel bilgiler.

| Bölge           | Koordinatlar       | Tipi | Eğim Açıları |
|-----------------|--------------------|------|--------------|
| Mersin, Türkiye | 36°54' N 34° 45' E | Çatı | 6°, 14° 25°  |

Tablo 3.2.'de fotovoltaik güç sistemine ait ana bileşenlerden fotovoltaik modül ve eviriciye ait marka ve model bilgileri verilmiştir.

**Tablo 3.2.** Modül ve evirici bilgileri.

| <b>Fotovoltaik Modül</b> | <b>İnverter</b> |
|--------------------------|-----------------|
| CSUN 270-60P             | Sunny Tripower  |

Tablo 3.3.'te fotovoltaik güç sistemine ait ana bileşenlerden fotovoltaik modül etiket bilgileri verilmiştir.

**Tablo 3.3.** Fotovoltaik modül teknik özellikleri.

| <b>Fotovoltaik Modül Etiket Bilgileri</b> | <b>Fotovoltaik Modül Özellikleri</b> |
|-------------------------------------------|--------------------------------------|
| Modül Modeli                              | 270-60P                              |
| Üretici                                   | CSUN                                 |
| Hücre Tipi                                | Çoklu Kristal                        |
| Nominal Güç (Wp)                          | 270                                  |
| V <sub>mpp</sub> (V)                      | 30,7                                 |
| I <sub>mpp</sub> (A)                      | 8,8                                  |
| Açık devre gerilimi                       | 37,9                                 |
| Kısa devre akımı (A)                      | 9,07                                 |
| Maksimum sistem gerilimi (V)              | 1000                                 |
| Gerilim sıcaklık katsayısı (%/K)          | -0,29                                |
| Akım sıcaklık katsayısı (%/K)             | 0,045                                |
| Nominal güç toleransı (%)                 | 0/+3                                 |

Tablo 3.4.'te fotovoltaik güç sistemine ait ana bileşenlerden eviriciye ait bilgiler verilmiştir.

**Tablo 3.4.** Evirici teknik özellikleri.

| <b>İnverter Etiket Bilgileri</b> | <b>İnverter Özellikleri</b> |
|----------------------------------|-----------------------------|
| İnverter Modeli                  | Sunny Tripower 60           |
| Üretici                          | SMA                         |
| AC Nominal Güç (kVA)             | 60                          |
| Maksimum DC Güç (kW)             | 58,8                        |
| Maksimum DC Gerilim (V)          | 61,2                        |
| MPPT Gerilimi Aralığı (V)        | 1000                        |
| Maksimum DC Akım (A)             | 570- 800                    |
| Faz Farkı [ $\cos(\varphi)$ ]    | 1                           |
| Maksimum Verim                   | 98,8                        |
| %10 Yükte Maksimum Verim (%)     | 97,9                        |
| %50 Yükte Maksimum Verim (%)     | 98,4                        |
| %100 Yükte Maksimum Verim (%)    | 98                          |

Tablo 3.5.'te Mersin'de bulunan fotovoltaik güç santraline ait fotovoltaik modül ve evirici sayıları, güç dağılımları ve fotovoltaik modül eğimleri hakkında bilgiler verilmiştir.

**Tablo 3.5.** Fotovoltaik güç santralinin genel özellikleri.

| Fotovoltaik Güç Santrali Bilgileri      | Özellikler        |
|-----------------------------------------|-------------------|
| Uygulama türü                           | Şebeke bağlantılı |
| Modül sayısı (Çatı)                     | 15990             |
| Modül sayısı (Arazi)                    | 44444             |
| Modül Sayısı (Toplam)                   | 60434             |
| Modül Verimi ( $\eta$ ) (%)             | 16,63             |
| Toplam fotovoltaik gücü                 | 16462,42          |
| Arazi uygulaması güç dağılımı (AC) (kW) | 10000             |
| Arazi uygulaması güç dağılımı (DC) (kW) | 12010,02          |
| Çatı uygulaması güç dağılımı (AC) (kW)  | 4000              |
| Çatı uygulaması güç dağılımı (DC) (kW)  | 4452,45           |
| Arazi modül eğimi ( $^{\circ}$ )        | 25                |
| Çatı modül eğimi ( $^{\circ}$ )         | 6 / 6,5 / 10 / 14 |
| Dizi başına modül sayısı                | 18 / 22           |
| Arazide kullanılan evirici sayısı       | 170               |
| Çatıda kullanılan evirici sayısı        | 64                |

Şekil 3.1.'de Mersin'de bulunan fotovoltaik güç santraline ait çatı ve arazi sistem görüntüsü verilmiştir.

**Şekil 3.1.** Çatı ve arazi sistem görüntüsü.

### 3.1.2. Konum-2'de Bulunan Fotovoltaik Güç Santrali Bilgileri

Tez çalışmasının bu bölümünde Mersin Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bina çatısında kurulumu yapılan 3 kW fotovoltaik sisteme ait bilgiler verilecektir. Kurulan bu sistemden evirici mobil arayüzü üzerinden sisteme ait üretilen güç değerleri elde edilmiştir. Giriş verisi olarak hava sıcaklığı, hücre sıcaklığı, nem, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, ışıınım verileri alınarak çıkış verisi olarak ise evirici çıkış güç verisi kullanılıp YSA güç tahmini yapılmıştır. Giriş verileri 2 farklı lokasyondan elde edilmiştir. İlki Mersin Üniversitesi fakülte çatısında bulunan referans hücreler, sıcaklık sensörleri, nem sensörleri ve rüzgâr sensörleri ile ikinci olarak 35 km uzaklıkta bulunan güneş enerji santrali referans

hücreleri, sıcaklık ve nem sensörleri aracılığıyla bulut üzerinden alınıp Excel'e kaydedilmiştir. Her iki sistemde de veriler 5 dakika aralıklarla alınmıştır.

Tablo 3.6'da incelemesi yapılan fotovoltaik güç santraline ait konum bilgisi, kurulum tipi ve eğim açıları verilmiştir.

**Tablo 3.6.** Fotovoltaik güç sistemine ait genel bilgiler.

| Bölge           | Koordinatlar        | Tipi | Eğim Açıları |
|-----------------|---------------------|------|--------------|
| Mersin, Türkiye | 36°47' N, 34° 34' E | Çatı | 11°          |

Tablo 3.7.'de fotovoltaik güç sistemine ait ana bileşenlerden fotovoltaik modül ve evirici marka ve model bilgileri verilmiştir.

**Tablo 3.7.** Modül ve evirici bilgileri.

| Fotovoltaik Modül | İnverter         |
|-------------------|------------------|
| CSUN 270-60P      | Max. / VMII-3000 |

Tablo 3.8.'de fotovoltaik güç sistemine ait fotovoltaik modül etiket bilgileri verilmiştir.

**Tablo 3.8.** Modül teknik özellikleri.

| Fotovoltaik Modül Etiket Bilgileri | Fotovoltaik Modül Özellikleri |
|------------------------------------|-------------------------------|
| Modül Modeli                       | 270-60P                       |
| Üretici                            | CSUN                          |
| Hücre Tipi                         | Çoklu Kristal                 |
| Nominal Güç (Wp)                   | 270                           |
| V <sub>mpp</sub> (V)               | 30,7                          |
| I <sub>mpp</sub> (A)               | 8,8                           |
| Açık devre gerilimi                | 37,9                          |
| Kısa devre akımı (A)               | 9,07                          |
| Maksimum sistem gerilimi (V)       | 1000                          |
| Gerilim sıcaklık katsayısı (%/K)   | -0,29                         |
| Akım sıcaklık katsayısı (%/K)      | 0,045                         |
| Nominal güç toleransı (%)          | 0/+3                          |

Tablo 3.9.'da fotovoltaik güç sistemine ait evirici etiket bilgileri verilmiştir.

**Tablo 3.9.** Evirici teknik özellikleri.

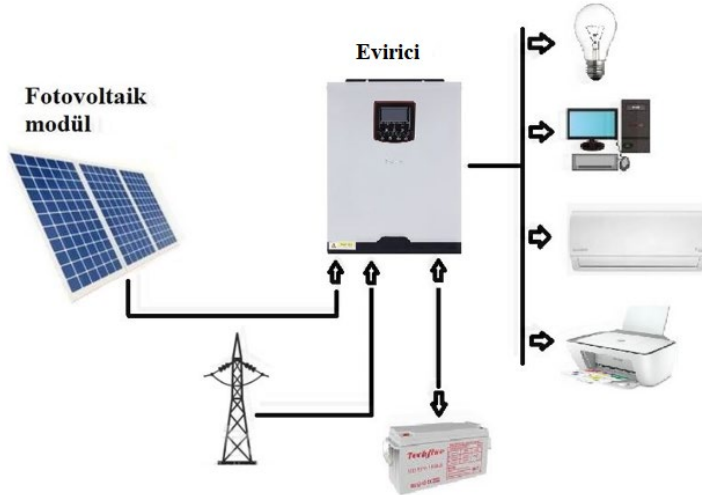
| İnverter Etiket Bilgileri         | İnverter Özellikleri |
|-----------------------------------|----------------------|
| İnverter Modeli                   | VM II-3000           |
| Üretici                           | Max Reliable Power   |
| AC Anma Gücü (VA)                 | 3000                 |
| DC Giriş Voltajı (VDC)            | 24                   |
| DC Giriş Akımı (A)                | 142                  |
| AC Çıkış Gerilimi (VAC)           | 230                  |
| AC Çıkış Akımı (A)                | 13                   |
| Faz Farkı (cos(φ))                | 1                    |
| Operasyonel Sıcaklık Aralığı (°C) | 10 – 50              |

Tablo 3.10.'da fotovoltaik güç sistemine ait uygulama türü, sistem gücü, modül ve evirici sayısı bilgileri verilmiştir.

**Tablo 3.10.** Fotovoltaik güç sisteminin genel özellikleri.

| Fotovoltaik Güç Sistemi Bilgileri | Özellikler                          |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Uygulama türü                     | Hibrit (şebeke + fotovoltaik modül) |
| Modül sayısı                      | 10                                  |
| Fotovoltaik gücü (AC)             | 3000 W                              |
| Fotovoltaik gücü (DC)             | 2700 W                              |
| Dizi modül sayısı                 | 10                                  |
| Kullanılan evirici sayısı         | 1                                   |

Kurulumu yapılan 3 kW fotovoltaik sisteme ait genel sistem şeması Şekil 3.2.'de verilmiştir. Fotovoltaik sistemde 10 adet polikristal güneş paneli ve 1 adet hibrit evirici kullanılmıştır. Güneş panelleri eğim açısı  $11^\circ$  olarak çatı eğimine göre monte edilmiştir. Paneller güney yönlü olarak konumlandırılmıştır. Sistemde hibrit evirici tercih edilmesinin sebebi güneş panellerinden sağlanan enerjinin yeterli olmadığı durumlarda şebekeden sağlanacak enerji ile sistemin devamlılığını sağlamaktır. Bu sayede sistemden 24 saat enerji alınması sağlanmıştır. Şebeke bağlantısı yerine akü bağlantısı da yapılabilir. Şekil 3.2.'de kurulumu yapılan 3 kW fotovoltaik sistem yapısı özetlenmiştir. Güneş panellerinden sağlanan elektrik enerjisi şebekeye aktarılmamaktadır. Eviricinin yükleri karşılayamadığı durumlarda ise geri kalan talep yük miktarı şebekeden karşılanmaktadır. Evirici çıkışına lamba, bilgisayar, klima ve yazıcı gibi yükler bağlanmıştır.



**Şekil 3.2.** Fotovoltaik güç sistemine ait genel sistem şeması.

Kurulumu yapılan fotovoltaik güç sistemine ait görsel Şekil 3.3.'te verilmiştir. 10 adet polikristal güneş paneli seri olarak bağlanmıştır. Güneş panelleri, uçmasını engelleyecek aparatlar ile sabitlenmiştir.



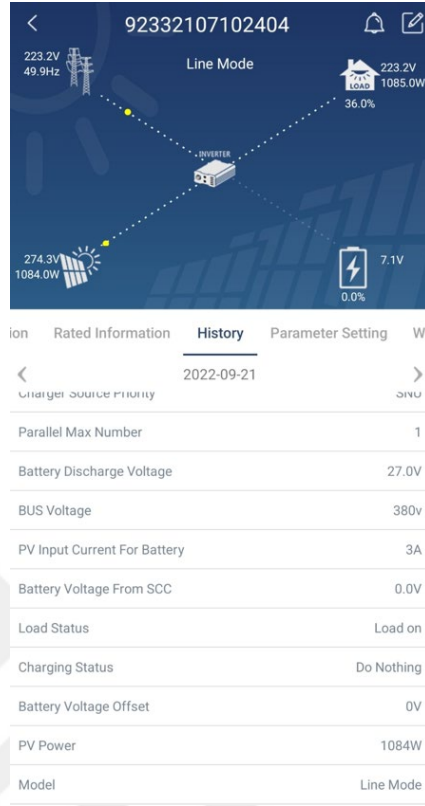
**Şekil 3.3.** Fotovoltaik güç sistemi.

Kurulumu yapılan fotovoltaik güç sistemine ait kullanılan evirici görseli Şekil 3.4.'te verilmiştir. 3 kW hibrit evirici tercih edilmiştir. İnverter giriş çıkış verilerinin uzaktan takip edebilmek için uzaktan izleme modülü entegre edilmiştir. Bu sayede mobil uygulama üzerinden 5 dakika aralıklarla veri takibi yapılabilmektedir. Evirici üzerinden panellerden elde edilen güç miktarı, sistem üzerinde bağlı cihazlar için harcanan güç miktarı, panellerin ihtiyacı karşılamadığı durumlarda şebekeden karşılanan güç miktarı, şebeke frekansı, şebeke voltajı, fotovoltaik sistemden sağlanan giriş DC voltajı ve çıkış AC voltajı gibi bilgiler elde edilmiştir.



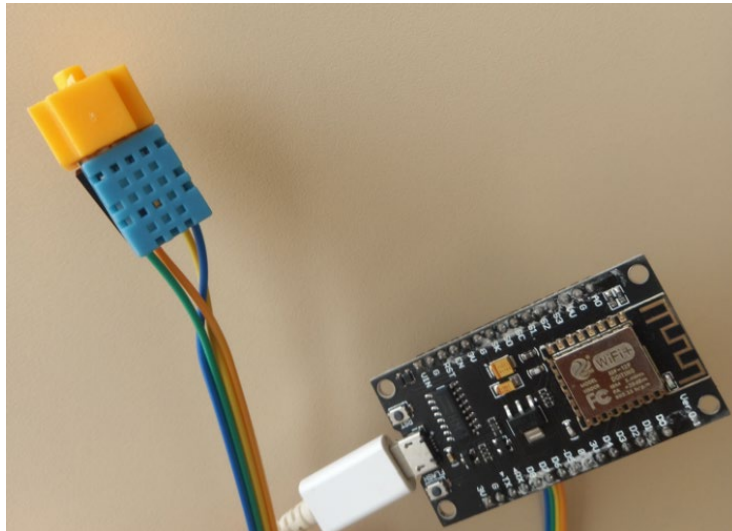
**Şekil 3.4.** Evirici.

Kurulumu yapılan fotovoltaik güç sistemine ait kullanılan evirici mobil uygulama arayüzüne ait görsel Şekil 3.5.'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Evirici mobil arayüzü.

Kurulumu yapılan fotovoltaik güç sistemine ait kullanılan DHT11 ortam sıcaklık ve nem sensörüne ait görsel Şekil 3.6.'da verilmiştir. Sensörlere ait veriler ESP82 modülü sayesinde bilgisayar üzerinden takip edilebilmektedir.



Şekil 3.6. Ortam Sıcaklık ve nem sensörü.

Kurulumu yapılan fotovoltaik güç sistemine ait ışı nım verilerinin alınmasını sağlayan piranometreye ait görsel Şekil 3.7.'de verilmiştir. Yatay düzleme gelen global ışı nımı beş dakikalık periyotlarla analiz yapılan süre boyunca ölçüm belirsizliği  $\pm 2\%$  olan CM11 model Kipp & Zonen marka piranometre ile ölçülmüştür.



Şekil 3.7. Piranometre.

Kurulumu yapılan fotovoltaik güç sistemine ait rüzgâr yönü ve rüzgâr hızı verilerinin alınmasını sağlayan rüzgâr sensörüne ait görsel Şekil 3.8.'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Rüzgâr sensörü.

### 3.2. Fotovoltaik Sistemlerde Performans Analizi

Bu tez çalışmasında Konum-1'de bulunan fotovoltaik sistem üzerinden bazı performans analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu analiz çalışmalarında fotovoltaik sistemlerde tozlanma, gölgelenme

ve farklı modül eğim açısı durumlarında sistemin elektriksel açıdan parametrelerine dayalı analizler yapılmış ve sonuçları elde edilmiştir.

Fotovoltaik sistemlerde amaç olabildiğince yüksek verim elde etmektir. Yüksek verim elde edebilmek için en iyi seviyede çıkış gücü alınması gerekmektedir. Fotovoltaik panellerin ömrü genellikle garanti süresi kapsamında panel üreticileri tarafından 25 yıl olarak verilmektedir. Panellerin ömrü bu çerçevede yıllık olarak doğrusal olarak azalma göstermektedir.

Fotovoltaik panellerin performansını değerlendirirken I-V ve P-V eğrileri dikkate alınmaktadır. I-V eğrisiyle değerlendirme yapılırken kısa devre akımı ( $I_{kd}$ ), açık devre gerilimi ( $V_{ad}$ ), verim ( $\eta$ ) ve dolum faktörü (DF) parametreleri kullanılmaktadır (Genç, 2018).

**Kısa devre akımı ( $I_{kd}$ ):** Fotovoltaik panelin uçları arasında potansiyel fark sıfır olduğunda ölçülen akım değeridir.

**Açık devre gerilimi ( $V_{ad}$ ):** Fotovoltaik panelden akım geçmediği durumda ölçülebilen gerilim değeridir.

**Verim ( $\eta$ ):** Fotovoltaik panelden elde edilen nihai enerjinin, güneşten gelen enerjiye oranıdır.

**Dolum faktörü (DF):** Fotovoltaik panelden elde edilebilen maksimum gücün, panelin ürettiği güce oranıdır. Dolum faktörü aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$Dolum\ faktörü = \frac{Alan\ (A)}{Alan\ (B)} = \frac{V_{mp}\ I_{mp}}{V_{ad}\ I_{kd}} \quad (3.1.)$$

Fotovoltaik paneller yatay düzlemde bir eğim açısı ile yerleştirilmektedir. Amaç güneş ışınlarını dik açı ile alıp panellerden en yüksek seviyede performans almaktır. Alınabilecek ışınım seviyesinin miktarı yerleşim yapılan yerin enlem ve boylam değerlerine göre değişkenlik göstermektedir (Karafil vd., 2015).

Fotovoltaik panellerin performansı kendi iç yapısı, bulunduğu konum ve çevresel faktörlerden etkilenmektedir. Malzeme bozulması, güneş ışınımı, panel sıcaklığı, gölge, kirlenme ve eğim açısı gibi faktörler performansa etki eden parametrelerdir (Vidyanandan, 2017).

Bu yüksek lisans tez çalışmasında fotovoltaik sistemin performansına etki eden faktörlerden toz, gölge ve modül eğim açısı etkisi incelenmiştir.

### 3.2.1. Fotovoltaik Sistemlerde Toz Etkisi

Çeşitli doğal ve insan faktörlü sebeplerden dolayı oluşan rüzgâr aracılığıyla taşınan çapı 500  $\mu m$ 'den küçük olan katı parçacıklara toz denilmektedir. Tozlar rüzgâr ile taşınıp yağmur aracılığıyla panele yapışıp sistemin performansına etki etmektedir (Genç, 2018).

Fotovoltaik modül üzerinde zamanla biriken tozlar güneş ışınlarının miktarını azalmaktadır (Gürbüz, 2018). Tozlanma fotovoltaik sistemin performansına önemli ölçüde etki etmektedir. Yapılan

araştırmalar sonucunda özellikle az yağış alan bölgelerde tozlanmadan dolayı oluşan kayıplar %15 seviyelerine çıkabilmektedir (Piliouge, 2008). Yüksek oranlarda oluşan tozlanma durumunda fotovoltaik modülleri temizlemek gerekmektedir. Fotovoltaik modülleri temizlemek için oluşan maliyetler sahanın büyüklüğü, temizleme yöntemi ve temizlik ekipmanlarının seçimine göre değişkenlik göstermektedir (Akanalçı, 2019).

Fotovoltaik modüller üzerinde biriken tozlar sistemin performansına doğrudan etki etmektedir. Fotovoltaik panellerde toz birikmesine panellerin eğim açısı, rüzgâr hızı, nem, yağış, kaplama, temizleme, mevsimsel etki, cam karakteristiği ve karlanma gibi etkiler sebep olmaktadır.

**Fotovoltaik panellerin eğim açısı:** Fotovoltaik paneller üzerinde toz birikmesine sebep olan ana faktörlerden birisidir. Panelin eğim açısı arttıkça yerçekimi etkisiyle tozun yuvarlanması ile birlikte toz birikimi azalacaktır (Tanesab, 2018). Fotovoltaik modülün eğim açısı 15°'den büyük olması durumunda yağmur etkisi gibi doğal yollarla tozun temizlenmesi kolaylaşacaktır (Bayar, 2022).

**Rüzgâr Hızı:** Havada bulunan tozlar panel yüzeyine yapışmadan önce havada asılı durumdadır (Tanesab, 2018). Rüzgârın etkisiyle tozun taşınabilmesi için tozun büyüklüğü ve rüzgârın hızı önemlidir. Rüzgârın hızına göre etkisi değişmektedir. Rüzgâr hızı yüksek ise panel üzerindeki tozu süpürme ve rüzgâr hızı düşükse panel üzerine tozları biriktirme etkilerine sebep olabilir (Genç, 2018).

**Nem:** Nem yoğunlaşmasıyla, eğimli fotovoltaik modülün alt kısmında toz yapışması durumunda kirlenme kalıcı hale gelebilmektedir. Nem etkisiyle alt kısımlarda biriken tozlar zamanla kısmi gölgelenmeye sebep olup kaplamaya zarar verebilmektedir (Vidyanandan, 2017).

**Yağış:** Yağış etkisi fotovoltaik sistemlerde doğal temizlik etkisi sağlamaktadır. Sağanak şeklinde yağın yağmurlar modüllerde ciddi oranda temizlik etkisi sağlarken hafif yağın, çiseleyen yağmur toz taneciklerinin modül üzerinde toz tabakası oluşmasına neden olmaktadır (Sarver vd., 2013). Yapılan çalışmalarda modüller üzerinde biriken tozlardan kaynaklı kayıpların yağışsız dönemlerde %15 seviyelerine kadar çıktığı tespit edilmiştir (Piliouge, 2008). Yağışın az olduğu dönemlerde oluşan bu kayıpları engellemek için modüllerin belirli periyotlarla temizlenmesi gerekmektedir.

**Kaplama:** Fotovoltaik modüllerde tozun yapışmasını engellemek için kullanılmaktadır (Sarver vd., 2013). Modül yüzeyinde oluşan yansımayı en az seviyeye indirmek için yüzey kaplama yapılması önem arz etmektedir. Ayrıca kaplamalı panellerde oluşan kir kaybının %2,5, kaplamasız panellerde oluşan kir kaybının %3,3 olduğu tespit edilmiştir (Piliouge vd., 2013).

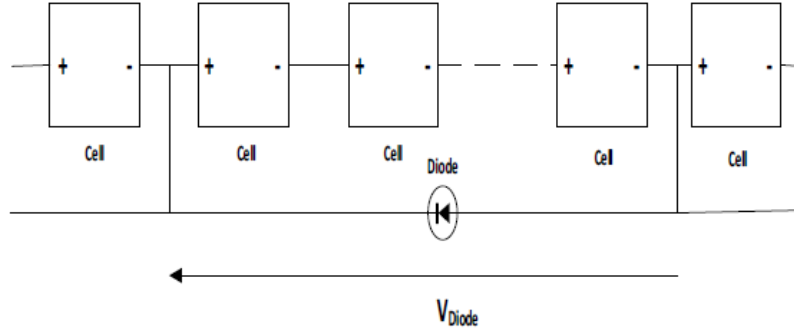
**Temizleme:** Panellerin düzenli aralıklarla temizlenmesi gerekmektedir. Temizlenmediği takdirde paneller kullanılamaz duruma gelebilmektedir. Çöl bölgesinde kurulu olan bir tesiste kum fırtınası sonrasında oluşan toz tabakası panel verimini %70-80 oranında azaltabilmektedir (Ghazi vd., 2014). Tozu temizlemek için çeşitli araştırmalar ve deneyler yapılmıştır. Temizleme suyuna kimyasal eklenmesiyle yapılan temizlik sonucunda musluk ve yağmur suyuyla yapılan temizlikten daha iyi sonuç verdiği, fırça kullanarak yapılan temizlikten fırça kullanmadan yapılan temizliğe göre daha iyi sonuç alındığı belirlenmiştir. Panellerin temiz ve kirli durumları için güç değişimleri incelenmiş, I-V grafikleri çizdirilmiş ve çalışma sonucunda temiz panellerden daha iyi sonuçlar alınmıştır (Genç, 2018).

### 3.2.2. Fotovoltaik Sistemlerde Gölge Etkisi

Gölge etkisi panel performansını etkileyen önemli parametrelerden birisidir. Ağaç, direk, bulut, bina, yapraklar, baca vb. çevresel etkiler nedeniyle modül üzerinde gölge oluşmaktadır (Genç, 2018). Gölgeleme etkisi, seri bağlı olan bir modül grubunda gelen güneş ışıyım seviyesini tüm panellerin eşit oranda almasını engelleyen bir sebepten kaynaklanır (Veerapen, 2016). Gölge, fotovoltaik modülde hücrelerin ürettiği akımlarda uyumsuzluklara neden olur (Vidyanandan, 2017). Seri bağlı olan güneş panellerinden bazıları belirli bir oranda güneş ışıyımını alırken gölge etkisinde kalanlar daha düşük güneş ışıyımını alacağı için üretecekleri fotoakım miktarı da farklı olacaktır (Veerapen, 2016). Gölgeleme bir hücre gölgesiz bir hücreden daha az akım üretecektir (Vidyanandan, 2017). Bu durum sonucunda seri bağlı olan güneş panelleri tüm seriyi aynı çıkış akımı üretmeye zorlayacaktır (Veerapen, 2016). Başka bir deyişle bir hücrede meydana gelen gölgeleme durumu tüm hücreler gölge etkisine maruz kalmış gibi modülün tamamının güç çıkışını önemli ölçüde azaltabilmektedir (Vidyanandan, 2017).

Güneş ışıyım seviyesine göre kısa devre akımı değerleri değişkenlik göstermektedir. Düşük ışıyım seviyelerinde kısa devre akımı da düşük ölçülecektir. Eğer bir fotovoltaik modül dizisinde devrenin çıkış akımı gölgeli modülün kısa devre akımından büyükse hücrenin aynı akımı taşıyabilmesi için ters polarma bölgesine geçmesi gerekmektedir. Bu durumda gerilim negatif olacağı için akım pozitifdir. Gerilim negatif akım pozitif olunca fotovoltaik modül artık güç üretmek yerine güç tüketecektir. Fotovoltaik modülün güç tüketme durumu modülün sıcaklığını artırıp ısıya dönüşmesine sebep olacaktır. Eğer fotovoltaik modülün çıkış akımı, gölgeli hücrenin kısa devre akımından daha büyükse gölgeli hücredeki voltaj düşüşü arıza voltajına yaklaşmasına ve hücre tarafından daha yüksek miktarda güç emilmesine neden olacaktır. Fotovoltaik panelin ısınması bir süre sonra kalıcı hasara ve panelin kullanılamaz duruma gelmesine neden olacaktır (Veerapen, 2016).

Fotovoltaik sistemlerde gölgeleme etkisine karşı korumak amacıyla bypass diyotları kullanılmaktadır (Veerapen, 2016). Bypass diyotlar fotovoltaik hücrelerde sıcak nokta ısınmasını önlemek için ideal bir çözümdür. Fotovoltaik modülde hücreler ışıyım altında normal çalışmaları esnasında bypass diyot açık anahtar işlevi görecektir. Gölgeleme olması durumunda ise akım uyumsuzluğu oluşur. Gölgeleme hücrelere bağlanan diyot kapalı bir anahtar görevi görerek bu hücreleri atlamasını sağlayacaktır. 60 ve 72 hücreli modüllerde genellikle 3 bypass diyot vardır (Vidyanandan, 2017). Şekil 3.9'da bypass diyot bağlantı şekli gösterilmiştir (Veerapen, 2016).



Şekil 3.9. Bypass diyot bağlantı şekli.

Fotovoltaik hücreler güç üretimi yaparken  $V_{Diode}$  pozitif olacak ve diyot ters polarma olduktan sonra açık devre durumuna geçecektir. Hücrelerin bazıları yük durumuna geçip güç tüketecek şekilde gölgelenirse  $V_{Diode}$  negatif olacak. Son durumda bypass diyodu ileri yönlü olacak ve kısa devre durumuna geçecektir. Fotovoltaik modülde akan akım hücrelerden akmak yerine bypass diyotundan akacaktır. Gölge hücreleri içeren dizinin kendisine seri bağlı başka hücreler tarafından ürettiği gücün tüketilmesini engelleyecektir. Bypass diyotlar arıza durumunda oluşan ters voltajı, karşısındaki hücrelerin üretebileceği en yüksek voltajdan daha büyük olacak şekilde seçilmesi gerekmektedir.

Fotovoltaik modüllerde her bir hücreye bypass diyot bağlanması durumunda hücreler güç tüketmeye başlamadan diyot üzerinden kısa devre olur. Bypass diyot seriyi kısa devre durumuna geçirmeden önce bir miktar güç düşümüne izin verecektir. Fotovoltaik modüllerde gölgelenme etkisini azaltmak için her hücreye bir bypass diyot takılması önerilmektedir (Veerapen, 2016).

### 3.2.3. Fotovoltaik Sistemlerde Eğim Açısı Etkisi

Dünya'nın kendi eksenini etrafında dönmesi neticesinde güneş ışınları herhangi bir yüzeye farklı açılarla ulaşmaktadır. Dünya'da belirlenen herhangi bir nokta için ışınlama değerleri değişkenlik göstermektedir. Fotovoltaik sistemlerde modül yerleşimi yapılırken bu değişimler dikkate alınmalıdır. En yüksek seviyede performans elde edilmek için bölgenin coğrafik bilgilerine ihtiyaç vardır. Sistemden en üst seviyede yararlanabilmek için modülün eğim açısı en fazla verimin alındığı dönemi baz alarak konumlandırılmalıdır (Çağlar, 2017). Fotovoltaik sistemlerde modüllerin yatay düzlemle yaptığı açı üretilen elektrik enerjisi bakımından önemli bir konudur. Güneş enerjisinden fotovoltaik modüller sayesinde en yüksek seviyede faydalanabilmek için modüllerin belirli bir açıda konumlandırılması gerekmektedir. Panellerin konumlandırılması güney yönlü ve enleme bağlı olarak en doğru açıyla montajı yapılmalıdır. Türkiye'de fotovoltaik modüller yaz ve kış ortalaması dikkate alınarak en uygun yönelme açısı  $30^\circ$  olarak hesaplanmıştır. Ayrıca genel olarak  $10^\circ$  ve  $30^\circ$  arasında yapılan kurulumlarda yıl bazında performans farkı %15'i geçmeyeceği belirlenmiştir (Turhan ve Çetiner, 2012). Fotovoltaik modüllerde tozlanmadan kaynaklanan güç kaybı tozun cinsine, yağmura ve temizlik periyoduna

bağlıdır. Panelin yatayla yaptığı eğim açısı  $15^\circ$ 'den büyükse yağmurun paneli temizleyeceği öngörülür. Eğim açısı  $15^\circ$ 'den küçükse, yağış az alan bir bölgeyse, tarımsal veya endüstriyel sebeplerden kaynaklı çevresel tozlanma etkileri varsa bu değer daha yüksek çıkabilmektedir (Deniz, 2013). Meydana gelebilecek olumsuzlukları gidermek için uygun açı belirlenmesi konusunda araştırmacılar çeşitli modeller geliştirmişlerdir. Literatürde enlem derecesinin güneş ışıınımı ile birlikte dikkate alınması gereken konulardan birisi olduğu belirtilmiştir. En uygun eğim açısının belirlenmesi için yapılan çalışmalarda tavsiye edilen kurallar aşağıda belirtilmiştir (Bilgili ve Dağtekin, 2017).

- Yıl boyunca yaklaşık olarak eğim = enlem değeri
- Yaz aylarında eğim = enlem –  $10^\circ$
- Kış aylarında eğim = enlem +  $10^\circ$

Başka bir çalışmada ise yıllık en uygun verimi elde edilmek için “eğim =  $0.9 \times$  enlem” şeklinde eğim hesabı yapılmıştır (Arınç, 1986). Ayrıca literatürde en uygun eğim açısının belirlenmesi için aşağıdaki kurallara göre hesaplamalar geliştirilmiştir (Bilgili ve Dağtekin, 2017).

- Yıl boyunca en ideal verimi elde etmek için eğim açısı:  $\beta = 0.9 \times$  enlem
- Kış mevsiminde en ideal verimi elde etmek için eğim açısı:  $\beta =$  enlem +  $25^\circ$
- Yaz mevsiminde en ideal verimi elde etmek için eğim açısı:  $\beta =$  enlem-  $25^\circ$

Öğle vaktinde güneş radyasyonu en yüksek seviyededir. Diğer saatlerde güneş radyasyonu daha küçük açılarla gelmektedir. Açının küçülmesiyle enerji daha geniş alanlara yayıldığı için yoğunluğu azalmaktadır. Güneşin kapladığı yüzey alanı, fotovoltaik modüle  $45^\circ$  açı ile gelmesi durumunda  $90^\circ$ 'lik açıyla gelmesi durumunda göre %40 fazladır fakat yoğunluğu %30 azalmaktadır. Optimum güneş enerjisini elde etmek için güneş ışıınlarının yüzeye dik açıyla gelmesi ve güneşin yönüne dönük olmalıdır. Fakat bu durum güneşin konumundaki günlük ve mevsimsel değişimlerden dolayı her zaman gerçekleşmemektedir. Güneşin konumundaki saatlik değişimlere göre optimize etmek için tek eksenli güneş takip sistemi, günlük ve mevsimsel değişimlere göre optimize etmek için de çift eksenli güneş takip sistemi kullanılmaktadır. Küçük ölçekli fotovoltaik sistemlerde modüllerde eğim sabit olarak ayarlanmaktadır. Güneş takip sistemi olan sistemlerde ise Mart ve Eylül aylarında eğimi açısı enlem açısına yakın olmaktadır. Yaz aylarında eğim azaltılır, kış aylarında ise eğim artırmaktadır. Modül eğimini yıl içerisinde aylara ve mevsimlere göre iki ve daha fazla kez güneşin geliş açısına göre ayarlamak sistemin daha fazla enerji üretmesini sağlayacaktır (Vidyanandan, 2017).

### 3.3. Fotovoltaik Sistemlerde Üretim Tahmini

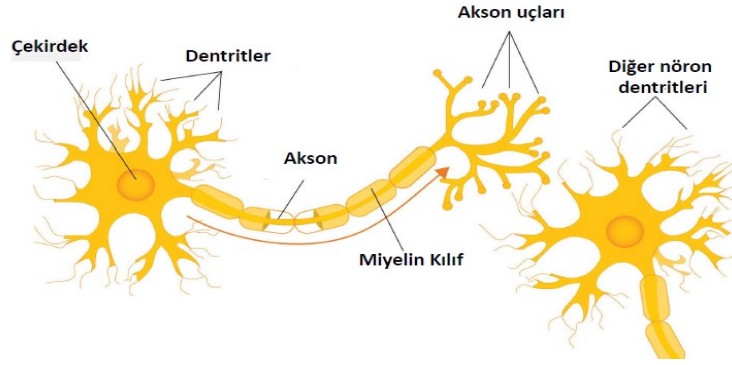
Belirlenen bir bölgedeki güneş enerjisi potansiyelini belirlemek için yapılan meteorolojik ölçümler, yetişmiş insan gücü ve ciddi maddi yatırımlar gerekmektedir. Ölçüm cihazlarının pahalı olması, sürekli bakım gerektirmesi, düzenli bir şekilde kalibrasyonlarının yaptırılması, veri depolama ihtiyacı, tecrübeli çalışanların yeteri kadar yetişmemesi gibi sorunlar sebebiyle gözlem istasyonlarının kurulması ve yaygınlaşması yeterli seviyede olmamaktadır. Fotovoltaik sistemlerin tasarımında, fizibilite çalışmalarının hazırlanmasında önemli bir yere sahip olan güneş ışınım verilerinin ölçülmesi her zaman mümkün olamamaktadır. Güneş ışınım verilerinin ölçülemediği durumlarda çeşitli algoritmalar ve modellerle bu değerleri tahmin etme ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Güneş ışınımı, meteorolojik ve coğrafik birçok parametreye bağlı olduğu için tahmin algoritmaları geliştirilmesine imkân tanımaktadır. Bu yüksek lisans tez çalışmasında ise fotovoltaik sistemlerde tahmin algoritmaları içerisinde yaygın olarak kullanılan YSA algoritması tercih edilmiştir (Arslan vd., 2019).

### 3.4. Yapay Sinir Ağları

YSA insan beyninin fonksiyonları model alınarak çeşitli karmaşık problemleri çözmek amacıyla oluşturulmuştur (Donuk, 2014). YSA'nın çalışma şekli insan beynindeki sinir hücrelerine benzetilmiştir (Şeker, 2021). YSA kendiliğinden öğrenme yapısına sahip çok sayıda bilgi arasında bağlantılar kurabilen sistemlerdir. YSA veri sınıflandırma, uygun model belirleme, işlev tahmini, doğru değer bulma, algoritma hesaplamaları, kesin aritmetik işlem gibi konularda kolaylık sağlamaktadır. YSA eğitildikleri taktirde doğrusal ve doğrusal olmayan denklemlerin çözümünde güçlü bilgisayarların yapacağı işi daha kısa sürede ve hızlı bir şekilde yüksek doğrulukta yapabilmektedir. YSA'nın en önemli özelliği öğrenme işlevidir. Öğrenme işlevi çevresel etkileşimler sonucu oluşur. YSA'nın temeli öğrenilen tüm yeni bilgilerin beyin tarafından davranışa etki ettirilmesi özelliğinden esinlenilerek oluşturulmuştur (Donuk, 2014).

#### 3.4.1. Yapay Sinir Ağının Biyolojik Yapısı

Biyolojik sinir ağının temelini sinir ağı hücresi nöronlar oluşturmaktadır. Nöronların en önemli özelliği elektrokimyasal işaretleri algılama ve işlemedir. Sinir hücreleri 3 kısımdan oluşmaktadır. Dış ortamdan ulaşan bilgiler dendrit bölümü tarafından toplanarak çekirdeğe iletilir. Çekirdekte toplanan bilgiler işlenmek üzere aksona ve daha sonra bağlantı uçlarına geçer. Bağlantı uçları ile diğer sinir hücresinin dendrit bölümü birleşmektedir. Birleşen bölgeye sinaps denilmektedir. Sinir hücrelerinin kendi arasında haberleşmesi sinaps bağlantı noktaları sayesinde gerçekleşmektedir (Donuk, 2014). Biyolojik sinir ağı hücresi Şekil 3.10.'da gösterilmiştir (Turan ve Tektas, 2021).

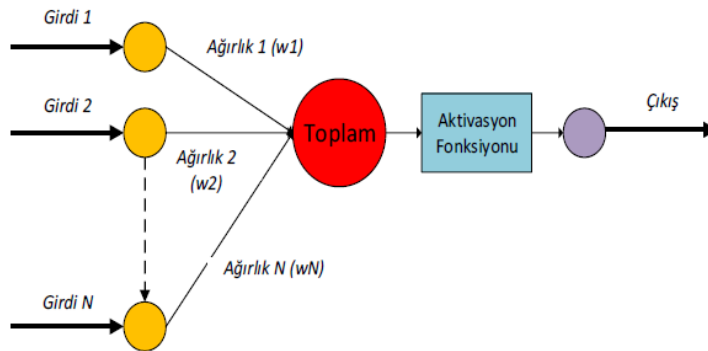


**Şekil 3.10.** Yapay sinir ağlarının biyolojik yapısı.

Biyolojik sinir sistemi temel olarak üç katmandan oluşmaktadır. Merkezinde bilgiyi sürekli alan, yorumlayan ve bilgiye uygun bir şekilde karar üreten merkezi sinir ağının (beyin) bulunduğu bir sistemdir. Katmanlardan ilki organizmanın içinden veya dış ortamdan aldığı uyarıları, merkezi sinir sistemine bilgi olarak ileten elektriksel sinyale dönüştüren alıcılardır. Diğer bir katman beyin tarafından üretilen elektriksel darbeleri organizmanın çıktısı olarak algılanacak şekilde tepkilere dönüştüren tepki sinirleridir. Merkezi sinir ağı katmanı ise alıcı ve tepki sinirleri ileri ve geri beslemeli olarak değerlendirip doğru tepkilerin üretilmesini sağlar (Ayan, 2018).

### 3.4.2. Yapay Sinir Ağı Hücresi

Yapay sinir hücreleri girdiler ( $x_i$ ), ağırlıklar ( $w_i$ ), toplam (birleştirme fonksiyonu), aktivasyon (transfer) fonksiyonu ve çıkış (tahmin) parametresi olmak üzere 5 bileşenden oluşur (Şeker, 2021). Veri ilk aşamada ağırlıklar vasıtasıyla nörona bağlanır. Nörona bağlanmasıyla ilgili girişin etkisi belirlenmiş olur. Veri ve ağırlıkların çarpımını oluşturan net girişi hesaplayan toplam fonksiyonudur. Eşik değeri olarak tanımlanan ve toplam fonksiyonunda yer alan değer bias ( $b$ ) değeridir. Bias değeri bir sabittir ve net giriş ile toplanmaktadır. Aktivasyon fonksiyonu ise doğrusal değildir ve işlem boyunca net çıkışı hesaplamaktadır. Nöron çıkışı bu işlem sonucunda oluşmaktadır (Donuk, 2014). Şekil 3.11.'de YSA'nın blok şeması verilmiştir.



**Şekil 3.11.** Yapay sinir ağı blok şeması.

**Girişler:**  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  şeklinde olup dışarıdan ve kendinden önceki yapay sinir ağı hücresinden gelen bilgiler girdi olarak ifade edilmektedir. Bu bilgiler sonrasında ağırlıklarla hesaplanıp sonraki birime iletilir (İzmirli Ayan, 2018).

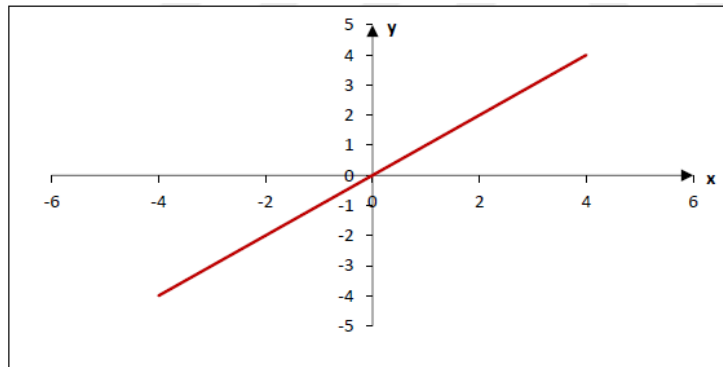
**Ağırlıklar:**  $w_1, w_2, w_3, \dots, w_m$  şeklinde katsayılardır. Girişlerin yapay sinir ağı üzerindeki etkisini belirlemektedir (Donuk, 2014). Bilgiler girdiler üzerinden çekirdeğe ulaştırılmadan önce geldikleri bağlantılardaki ağırlıklar ile çarpıldıktan sonra çekirdeğe iletilmektedir. Girdilerin çıktı üzerine etkisi bu şekilde sağlanmaktadır (İzmirli Ayan, 2018). Girişlerin kendine ait bir ağırlığı bulunmaktadır. Çalışılan probleme göre ağırlıklarda güncelleme yapılmaktadır. Girişin yapay sinir ağındaki önemi o girişin ağırlığının büyük veya küçük olmasına göre değişmektedir. Girişe ait ağırlık büyükse yapay sinir ağı için etkisi büyük, küçükse etkisi küçüktür (Donuk, 2014).

**Toplama İşlevi:** YSA'da girdiler kendi ağırlıkları ile çarpılıp toplanmaktadır. Sonrasında elde edilen sonuç eşik değeri ile toplanıp aktivasyon fonksiyonu ile işleme alınarak çıkış değeri elde edilir (Şeker, 2021).

**Aktivasyon Fonksiyonları:** Hücreye gelen net girişi işleyerek hücrenin bu girdiye karşılık olarak oluşturacağı çıkışı belirleyen fonksiyondur. YSA doğrusal olmamasının kaynağı aktivasyon fonksiyonlarının doğrusal olmamasıdır. Aktivasyon fonksiyonunun seçiminde kolay türevi alınabilir olmasına dikkat edilmektedir (İzmirli Ayan, 2018). Aktivasyon fonksiyonları YSA'da nöronların çıkış aralığını sınırlama işlemini gerçekleştirmektedir. Nöronların çıkış aralığı genellikle  $[0,1]$  veya  $[-1,1]$  olmaktadır. YSA'da başlıca kullanılan aktivasyon fonksiyonları doğrusal, basamak, sigmoid, hiperbolik tanjant ve sinüster (Çolak, 2020).

**Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu:** doğrusal problemlerin çözümünde tercih edilmektedir. Nöronun girişi doğrudan işlemci elemanın çıkışı olarak işleme alınmaktadır. Denklem. 3.1.'de doğrusal aktivasyon fonksiyon denklemi verilmiştir. Doğrusal aktivasyon grafiği Şekil 3.12.'de gösterilmektedir (Çolak, 2020).

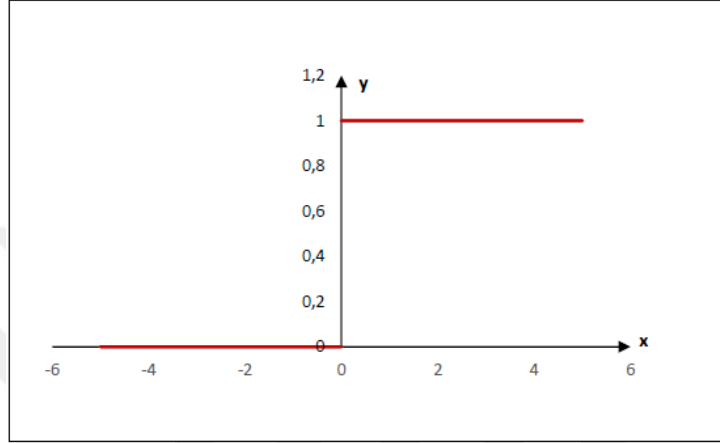
$$y = A \cdot x \quad (3.1.)$$



**Şekil 3.12.** Doğrusal aktivasyon fonksiyonu.

**Basamak Aktivasyon Fonksiyonu:** Bu fonksiyonda gelen işlemci elemanı sıfır veya sıfırdan büyük olma durumu için hücre çıktısı 1 olmaktadır. Eğer gelen işlemci sıfırdan küçükse de hücrenin çıktı değeri 0 olmaktadır. Denklem 3.2.'de basamak aktivasyon denklemi gösterilmektedir. Şekil 3.13.'te basamak aktivasyon grafiği verilmiştir (Çolak, 2020).

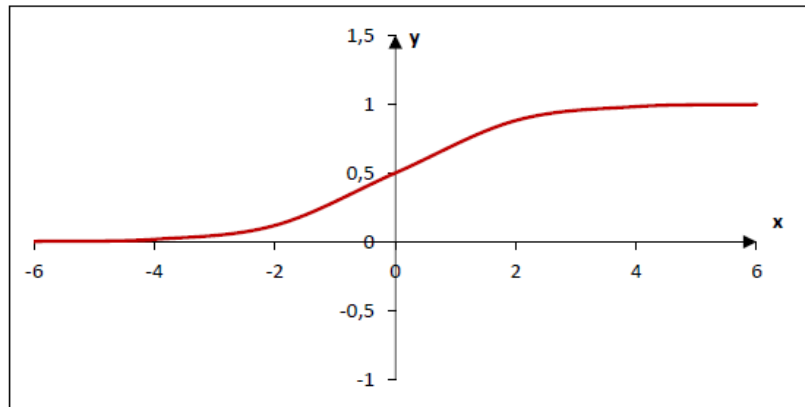
$$y = F(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad (3.2.)$$



Şekil 3.13. Basamak aktivasyon fonksiyonu.

**Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu:** Bir diğer adı lojistik işlevdir. Doğrusal olmadığı için türevi alınabilmektedir (Yaşar, 2004). Geri yayılım öğrenme algoritmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu, giriş değerlerinin büyüklüğünü önemsemeden çıkış değerini 0 ve 1 olarak vermektedir. Denklem 3.3.'te sigmoid aktivasyon fonksiyon denklemi verilmiştir. Şekil 3.14.'te sigmoid aktivasyon fonksiyonu grafiği verilmiştir (Çolak, 2020).

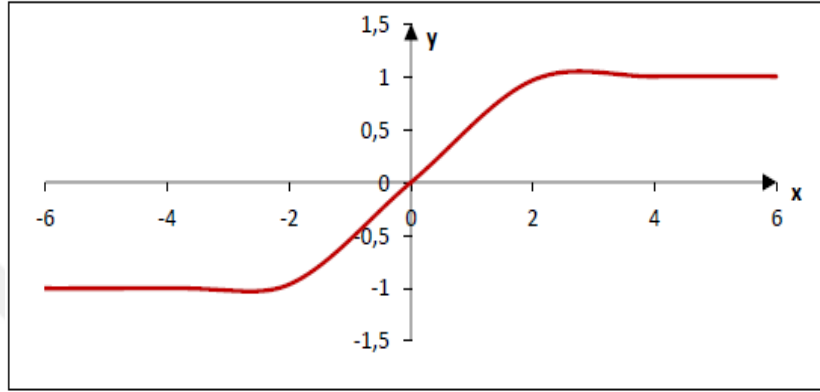
$$y = \frac{1}{1 + e^{-x}} = \frac{1}{2} \left( \tanh\left(\frac{x}{2}\right) + 1 \right) \quad (3.3.)$$



Şekil 3.14. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu.

**Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu:** Sigmoid fonksiyonuna benzemektedir. Girdi değerleri sigmoid fonksiyonundan farklı olarak -1 ile 1 arasında değişmektedir. Denklem 3.4.'te hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna ait denklem verilmiştir. Şekil 3.15.'te hiperbolik tanjant fonksiyonu grafiği gösterilmiştir (Çolak, 2020).

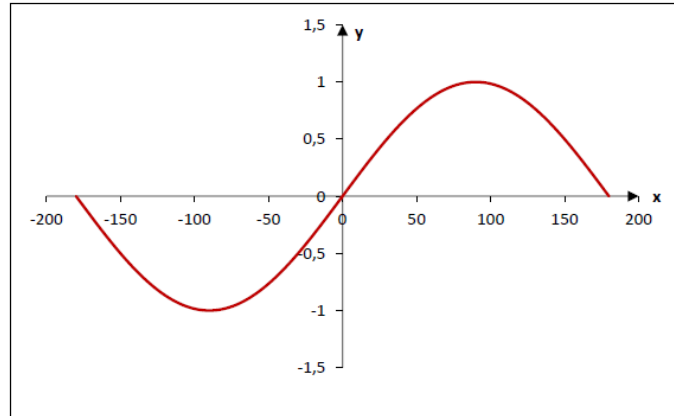
$$y = \frac{1 - e^{-2x}}{1 + e^{2x}} = \tanh(\beta x) \quad (3.4.)$$



Şekil 3.15. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu.

**Sinüs aktivasyon fonksiyonu:** x sayısını  $\sin(x)$ 'e dönüştüren ve -1 ile 1 arasında değerler üreten aktivasyon fonksiyonudur. Denklem 3.5.'te sinüs aktivasyon fonksiyonu verilmiştir. Şekil 3.16.'da sinüs aktivasyon fonksiyonu gösterilmektedir.

$$y = \sin(\beta x) \quad (3.5.)$$



Şekil 3.16. Sinüs aktivasyon fonksiyonu.

YSA'da tasarımı yapılan sistemin doğru sonuç verip vermediğini hesaplamak için çeşitli katsayılar ve metodlar kullanılmaktadır. Bunlar ortalama karesel hata (MSE), ortalama mutlak yüzde hatası (MAPE), belirlilik katsayısı  $R^2$  ve ortalama hata kareleri kökü (RMSE) gibi matematiksel katsayılardır.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2 \quad (3.6.)$$

Denklem 3.6.'daki denklemde  $Y_i$ ,  $n$  sayıda tahmin ve  $X_i$ ,  $n$  sayıda gerçek değeri ifade etmektedir. Kolerasyon katsayısı, hesaplanan değişkenin diğer değişkenlerden tahmin edilebilen varyans oranını vermektedir.

Tahminlerin doğruluğunu hesaplamak için mutlak yüzde hata (MAPE) metodu kullanılmaktadır. MAPE ölçeğe duyarlı bir metottur. Veri miktarı çok küçük veya sıfır olduğu durumlarda tanımsız olmaktadır.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^N \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \quad (3.7.)$$

Denklem 3.7.'de  $A_t$ , gerçek değeri,  $F_t$  tahmin değerini temsil etmektedir (Yousif vd., 2019). Yapay sinir ağı modellerinden kullanılan bir diğer hesaplama yöntemi ise  $R^2$ 'dir.  $R^2$  belirlilik katsayısıdır. Bu katsayı oluşturulan ağı tahminleme başarısını gösterir.  $R^2$  katsayısı, birden çok girdi verisinin çıktı verisini açıklama oranını ifade eder. Bu katsayı 0 ile 1 arasında değişmektedir. Sıfıra yaklaşması oluşturulan modelin çıktıyı iyi açıklamadığını gösterirken, 1'e yaklaşması modelin iyi oluşturulduğunu göstermektedir.  $R^2$  hesaplama denklemi denklem 3.8.'de gösterilmiştir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - g_i)^2}{\sum_{i=1}^n (g_i - \bar{g}_i)^2} \quad (3.8.)$$

$R^2$  ile hesaplama yapılırken verilerin hatalarının kareler toplamının, ortalama toplam hataların kareler toplamına bölünerek bulunmaktadır. Denklemde yer alan  $t_i$  değeri tahmin değeri,  $g_i$  değeri gerçek değeri,  $\bar{g}_i$  gerçek değerlerin ortalamasını ifade etmektedir (İzmirli Ayan, 2018).

Ortalama hata kareleri kökü (RMSE), ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki sapma miktarını göstermektedir. Ayrıca incelenen yapay sinir ağı modelinin kısa dönem performansını analiz etmek için kullanılmaktadır. RMSE değeri sıfıra yaklaştıkça modelin performansı iyileşmektedir (Arslan vd., 2019).

$$RMSE = \left[ \frac{1}{n} \sum (Q_{iö} - Q_{ih})^2 \right]^{0,5} \text{ (kWhm}^{-2}\text{gün}^{-1}) \quad (3.9.)$$

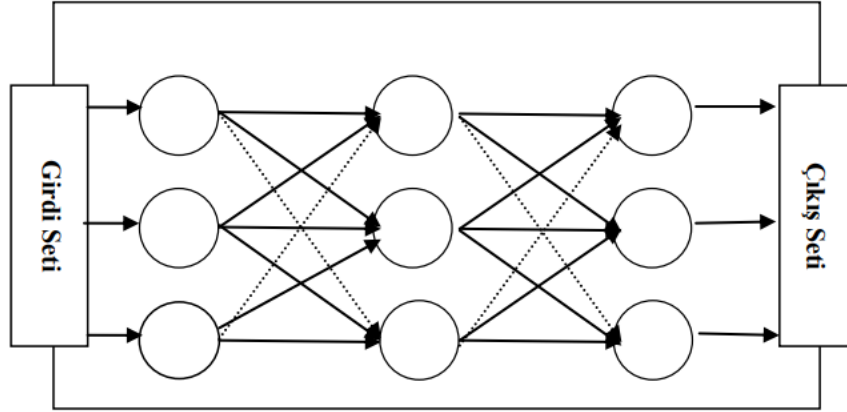
### 3.4.3. Yapay Sinir Ağı Yapısı ve Modelleri

YSA tek katmanlı ve çok katmanlı olarak iki bölümde incelenmektedir. Sadece girdi ve çıktı katmanlarından oluşuyorsa tek katmanlı bir ağıdır. Bu şekilde oluşan ağlar karmaşık işlemleri gerçekleştirememektedir. Karmaşık işlevleri gerçekleştirebilmesi için en az bir tane ara katman olması gerekmektedir. Girdi, birden fazla gizli ve çıkış katmanı olan ağlar ise çok katmanlı ağlar olarak tanımlanmaktadır. Çok katmanlı ağlardaki katmanlarda nöron, bağlantılar ve ağırlıklar bulunur. Eğitim ve test aşamaları vardır. Eğitim aşamasında bir öğrenme algoritması seçilir ve ağırlıklar hesaplanır. Sonrasında elde edilen değerlere göre çıktı hesaplanır. Test aşamasında ise ağın görmediği örnekler kullanılarak sistemin testi yapılmaktadır. Öğrenme algoritması yöntemleri, girdi verilerine karşılık gelen uygun çıktıların elde edilmesinde ve ağın hızlandırılmasında önemli bir yere sahiptir. Bir yapay sinir ağında birbirini ile ilişkili olan sinir hücrelerinin bulunduğu girdi katmanı, çıktı katmanı ve gizli katman bulunmaktadır. Girdi katmanı dışarıdan gelen verilerin yapay sinir ağına alır. Gizli katmanda yer alan nöronların dış ortamla ilişkisi yoktur ve girdi katmanı ile çıktı katmanı arasında bulunur. Sadece girdi katmanından gelen sinyalleri alıp çıktı katmanına iletirler. En son katman çıktı katmanıdır. Çıktı katmanı bilgilerin dışarıya iletilmesinde görevlidir (Yavuz ve Deveci, 2013).

Yapay sinir ağı modelleri temel olarak ileri beslemeli YSA ve geri beslemeli YSA olarak iki grupta incelenebilir.

#### 3.4.3.1. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

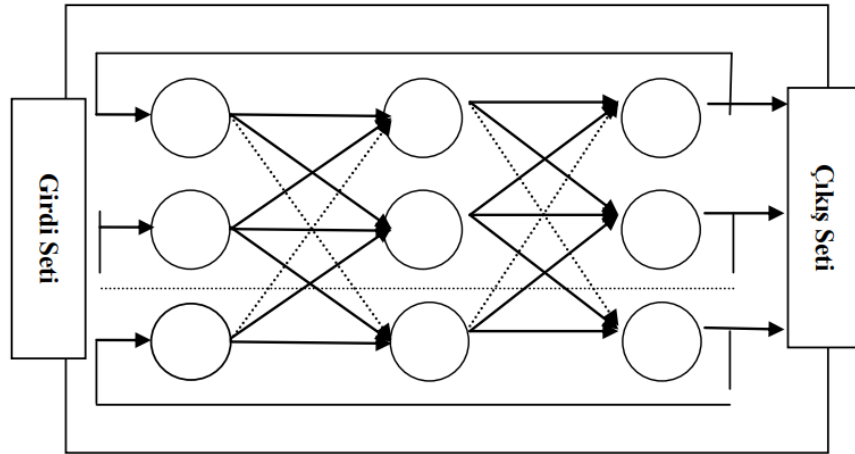
İleri beslemeli YSA'da gelen veriler (nöronlar) öncelikle giriş katmanına sonrasında ara (gizli) katmana ve çıktı katmanlarına doğru ilerlemektedir. Gizli katman, giriş katmanı ile çıkış katmanı arasında bulunan bölgedir. Yönelme daima giriş katmanından çıkış katmanına doğrudur geriye doğru bir yönelme durumu yoktur. İleri beslemeli YSA'da bir katmandaki yapay sinir hücreleri kendisinden önceki yapay sinir hücreleri tarafından beslenir (Yavuz ve Deveci, 2013). Yapay sinir ağı girişine ulaşan veriler herhangi bir değişme uğramadan gizli katmadaki hücrelere iletilmektedir. En son aşamada sırayla çıkış katmanından işlenerek dış ortama aktarılır (Öztürk ve Şahin, 2018). Şekil 3.17.'de ileri beslemeli yapay sinir ağına ait nöron ağı verilmiştir (Yavuz ve Deveci, 2013).



Şekil 3.17. İleri beslemeli nöron ağı.

### 3.4.3.2. Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

Geri beslemeli YSA'da bir nöronun çıktısı sadece kendisinden sonraki nöron katmanına girdi olarak verilmez. Kendisinden önceki katmanda veya kendi bulunduğu katmanda herhangi bir nörona girdi olarak da bağlanabilir. Bu sebeple geri beslemeli YSA doğrusal olmayıp dinamik bir davranış sergilemektedir (Öztürk ve Şahin, 2018). Geri beslemeli YSA'da en az bir hücre sonraki katmanlardaki hücreler tarafından da beslenir. Veri akışı hem ileri hem de geriye doğru da olabilmektedir (Yavuz ve Deveci, 2013). Şekil 3.18.'de geri beslemeli yapay sinir ağına ait nöron ağı verilmiştir (Yavuz ve Deveci, 2013).



Şekil 3.18. Geri beslemeli nöron ağı.

### 3.4.4. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri

YSA, paralel dağıtılmış yapısı, öğrenme ve genelleme yeteneğinden dolayı hesaplama ve bilgi işleme gücü yüksektir. Eğitim ve öğrenme sürecinde YSA ilk defa karşılaştığı durumlar için genelleme yeteneği sayesinde uygun tepkiler verebilmektedirler. Bu özellikler, YSA'nın problemleri analiz edip çözmedeki başarısını göstermektedir (Çakır vd., 2009).

**Doğrusal Olmama:** Hücre YSA'da temel elemandır ve doğrusal değildir. Hücreler doğrusal olmadığı için hücre birleşiminden oluşan YSA da doğrusal değildir ve bu durum tüm ağ boyunca yayılmıştır. Bu özelliği sayesinde doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılabilir.

**Öğrenme:** Hücreler arasında uygun bağlantıların sağlanması ve bağlantıların uygun ağırlıklara sahip olması durumunda YSA istenilen davranışı göstermektedir. YSA'nın yapısı karmaşık olduğu için bağlantılar ve ağırlıkları önceden ayarlamak zordur. YSA eğitim örneklerinden faydalananak problemi öğrenme özelliğine sahiptir.

**Genelleme:** YSA öğrendikten sonra giriş verilerinden çıkarım yapabilmektedir. Eğitim ve öğrenme aşamasında giriş örneklerinden çıkarımlar yaparak test safhasında eğitim ve öğrenme aşamalarında olmayan ilk kez karşılaştığı giriş verileri için uygun ve makul tepkiler verebilmektedir.

**Uyarlanabilirlik:** YSA problemdeki değişikliklere göre ağırlıklarını güncelleyip problemi çözmek için değişimlere göre tekrar eğitilebilir ve değişimlerin sürekliliği varsa gerçek zamanda da eğitime devam edebilir.

**Hata Toleransı:** Programlama ile bilgisayarlar yoluyla yapılan hesaplamalardaki gibi YSA'da bir parametrenin eksikliği problemin çözümünde ciddi bir sapma meydana getirmez. YSA'da çok sayıda hücre değişik şekillerde bağlı ve ağdaki bilgi tüm bağlantılara dağılmıştır. Diğer yöntemler içerisinde hata toleransı daha yüksektir (Çakır, 2009).

### 3.4.5. Yapay Sinir Ağlarının Kullanım Alanları

YSA'nın çok geniş kullanım alanları bulunmaktadır. YSA'nın kullanım alanları ağ topolojileri ile birlikte aşağıdaki gibi sıralanabilir.

**Tahmin ve Öngörü Amaçlı:** Çok Katmanlı Ağlar, Yönlendirilmiş Rastsal Tarama, Yüksek Dereceli Sinir Ağları, Radyal Tabanlı Fonksiyon, Elma Ağı, Jordan Ağı

**Desen (Örüntü) Sınıflandırma:** LVQ, ART, Olasılık Tabanlı Sinir Ağları, Tek veya Çok Katmanlı Algılayıcı, Boltzman Makinesi,

**Veri İlişkilendirme Amaçlı:** Kohonen's SOM, Hopfield Ağları, Boltzman Makinesi, Humming Ağları, Çift Yönlü İlişkili Hafıza, ART

**Kavramlaştırma – Kümeleme:** LVQ, SOM, ART

**Veri Filtreleme Amaçlı:** Yeniden Dolaşım

**Optimizasyon Amaçlı:** Geri Yayılım, Olasılık Tabanlı Sinir Ağları, RBF

**Kontrol Amaçlı:** Geri Yayılım, LVQ, RBF (İzmirli Ayan, 2018).

YSA'nın pratikteki kullanım alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Donuk, 2014).

- Denetim
- Sistem modelleme
- Ses tanıma
- Parmak izi tanıma

- Elektrik işareti tanıma
- Meteorolojik yorumlama
- Otomatik araç denetimi
- Fizyolojik işaretleri izleme, tanıma ve yorumlama



## 4.BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez çalışmasının bu bölümünde Konum-1 ve Konum-2’de bulunan fotovoltaik güneş enerji sistemlerine ilişkin gerçekleştirilen ölçümler ve elde edilen veriler ışığında değerlendirmeler yapılmıştır. Konum-1’de bulunan fotovoltaik sistemde performans analizleri kapsamında mevcutta kurulu olan sistem üzerinde ölçümler yapılmıştır. Yük altında ve yüksüz durumlar için farklı hava koşullarında, farklı ışıınım değerlerinde ölçümler yapıp tozlanma, gölgelenme ve farklı modül eğim açıları için analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda tozlanan ve tozlanmayan, gölge alan ve gölge almayan durumlar için çıkış güçleri grafiklerle yorumlanmıştır. Farklı modül eğim açılarındaki durumlar için çıkış güçleri karşılaştırılmıştır. Konum-2’de bulunan kurulumu yeni yapılan fotovoltaik sistemde ileriye yönelik güç tahminleri yapabilmek amacıyla ölçümler yapılmıştır. Analizler kapsamında giriş verisi olarak hava sıcaklığı, hücre sıcaklığı, nem, ışıınım, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü ölçümleri, çıkışta ise güç ölçümleri alınarak Matlab programında ileri beslemeli YSA tahmin algoritması ile güç tahminleri elde edilmiştir. Gerçek güç ölçümü ile tahmin edilen güç değerleri kıyaslamaları grafiklerle açıklanmıştır. Ölçüm alınıp kaydedilen veriler 5 aylık süreyi kapsamaktadır. Analizler farklı hava koşullarında farklı ışıınım değerleri için gerçekleştirilmiştir. Yapay sinir ağı güç tahminlerinde Konum-1 ve Konum-2’den alınan ışıınım verileri ayrı ayrı ve birlikte analiz edilerek sonuçlar değerlendirilmiştir.

### 4.1. Konum-1 Fotovoltaik Sistemde Performans Analiz Sonuçları

Performans analiz sonuçları bölümünde tozlanma, gölgelenme ve fotovoltaik eğim açısı farklılıklarına göre sistemin performans değişimi analiz edilmiştir. Performans analizleri yapılırken fotovoltaik güç santralinden iki farklı şekilde ölçümler alınmıştır. İlk olarak yük altında ölçümler alınmıştır. İkinci olarak ise yüksüz durumda ölçümler alınmıştır. Her iki ölçümde de fotovoltaik güç santralindeki güneş ışıınım sensörlerinden alınan ışıınım şiddeti değerleri ve hava sıcaklığı ölçüm değerleri dikkate alınarak fotovoltaik modüller üzerinden akım, gerilim, güç ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm periyodu yük altında iken 15 dakika, yüksüz durumda iken 1 saat olarak seçilmiştir. Veri alma zaman aralığı 08:00 – 17:00 saatleri arasındadır.

#### 4.1.1. Fotovoltaik Sistemde Tozlanma Etkisi Analiz Sonuçları

Tozlanma analizleri Konum-1’de bulunan fotovoltaik güç santralinde yapılmıştır. Tesis organize sanayi bölgesinde yer almaktadır. Tesis kendi bünyesinde oluşan ve çevre fabrikaların çalışmaları sırasında meydana getirdiği tozlanmaya yoğun bir şekilde maruz kalmaktadır. Fotovoltaik güç santralinde 18 adet ve 22 adet panelin seri bağlanmasıyla dizi adı verilen modül grupları oluşturulmuştur. Tezin bu bölümünde amaç fotovoltaik güç santralinde arazi bölümünde eş güçte, aynı modül eğim açısında, bulunduğu konumları aynı olan iki dizinin aynı gün ve saatlerdeki yük altında ve

yüksüz durumda iken ölçülen çıkış güç değerlerine göre tozlanma analizlerini yapmaktır. Belirlenen dizilerden birisi temizlenmiş diğeri mevcut toz durumunda bırakılmıştır.

#### **4.1.1.1. Yük Altında Tozlanma Etkisi Analiz Sonuçları**

Yük altında yani sistem elektrik üretimi yapıyorken, şebekeye enerji veriyorken yapılan ölçümlerde 08:00 – 17:00 saatleri arasında 15 dakika ve 1 saatlik periyotlarla akım ve gerilim değerleri ölçülerek güç değerleri hesaplanmıştır. Ölçümler yapılırken ışıınım değerleri önemli olduğu için hava durumu dikkate alınmıştır. Fotovoltaik modül eğim açısı  $25^{\circ}$  ve diziler 18 adet panelin seri bağlanmasıyla oluşturulmuştur.

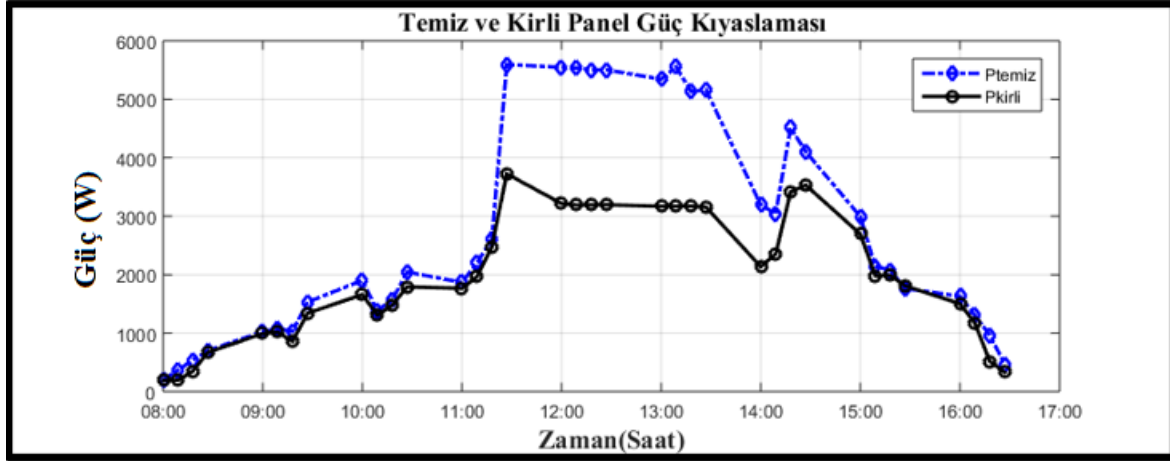
Panellerin temiz ve kirli durumlarına göre güneş ışıınım şiddeti ve hava sıcaklığı bilgileri dikkate alınarak ölçülen akım, gerilim, güç değerleri ile yüzdesel güç farkları Tablo 4.1.'de verilmiştir. Ölçüm 06.12.2022 tarihinde az bulutlu bir havada yapılmıştır. Tablo 4.1. incelendiğinde tüm zamanlarda temiz paneller kirli panellere göre önemli üretim avantajı sağlamaktadır. Analizler yapılırken ölçümlerde tozlanan panellerdeki tozlar yağlı, yapışkan tozlardır. Bu nedenle tozlanan ve tozlanmayan paneller arasındaki güç farklarında normalden yüksek sapmalar meydana gelmiştir. Özellikle güneş ışıınım şiddetinin yüksek olduğu 12:00 – 14:00 saatleri arasında anlık olarak %40'lara varan güç farklılıkları olduğu görülmektedir. Ölçüm Aralık ayında yapılmasına rağmen ışıınım değerleri  $700 \text{ W/m}^2$  seviyelerine ulaşmıştır.

**Tablo 4.1.** 06.12.2022 tarihinde yük altında temiz ve kirli panellerden elde edilen ölçümler.

| Zaman<br>(Saat) | Temiz<br>Akım<br>(A) | Kirli<br>Akım<br>(A) | Temiz<br>Gerilim<br>(V) | Kirli<br>Gerilim<br>(V) | Temiz<br>Güç<br>(W) | Kirli<br>Güç<br>(W) | Temiz<br>Kirli<br>Güç<br>Farkı<br>(%) | Güneş<br>Işınım<br>Şiddeti<br>(W/m <sup>2</sup> ) | Hava<br>Sıcaklığı<br>(°C) |
|-----------------|----------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------|
| 08:00           | 0,27                 | 0,25                 | 739,50                  | 771,50                  | 199,67              | 192,88              | 3,40%                                 | 27,00                                             | 18,80                     |
| 08:15           | 0,35                 | 0,28                 | 758,00                  | 786,20                  | 265,30              | 220,14              | 17,02%                                | 41,00                                             | 19,00                     |
| 08:30           | 0,69                 | 0,60                 | 783,70                  | 783,40                  | 540,75              | 470,04              | 13,08%                                | 69,80                                             | 19,30                     |
| 08:45           | 0,89                 | 0,85                 | 789,90                  | 791,20                  | 703,01              | 672,52              | 4,34%                                 | 198,70                                            | 19,60                     |
| 09:00           | 1,29                 | 1,25                 | 795,50                  | 794,50                  | 1026,20             | 993,13              | 3,22%                                 | 140,20                                            | 19,70                     |
| 09:15           | 1,29                 | 1,25                 | 831,90                  | 814,10                  | 1073,15             | 1017,63             | 5,17%                                 | 230,30                                            | 20,40                     |
| 09:30           | 1,30                 | 1,05                 | 795,90                  | 818,70                  | 1034,67             | 859,64              | 16,92%                                | 130,20                                            | 20,90                     |
| 09:45           | 1,91                 | 1,65                 | 801,90                  | 813,40                  | 1531,63             | 1342,11             | 12,37%                                | 219,00                                            | 21,30                     |
| 10:00           | 2,40                 | 2,07                 | 792,10                  | 801,40                  | 1901,04             | 1658,90             | 12,74%                                | 224,40                                            | 21,30                     |
| 10:15           | 1,79                 | 1,67                 | 774,50                  | 783,40                  | 1386,36             | 1308,28             | 5,63%                                 | 164,40                                            | 21,40                     |
| 10:30           | 2,00                 | 1,87                 | 783,90                  | 789,50                  | 1567,80             | 1476,37             | 5,83%                                 | 194,80                                            | 21,60                     |
| 10:45           | 2,61                 | 2,27                 | 783,40                  | 789,40                  | 2044,67             | 1791,94             | 12,36%                                | 241,70                                            | 21,90                     |
| 11:00           | 2,40                 | 2,27                 | 777,90                  | 777,90                  | 1866,96             | 1765,83             | 5,42%                                 | 230,80                                            | 22,10                     |
| 11:15           | 2,81                 | 2,49                 | 783,40                  | 788,60                  | 2201,35             | 1963,61             | 10,80%                                | 273,40                                            | 22,40                     |
| 11:30           | 3,27                 | 3,09                 | 795,80                  | 800,70                  | 2602,27             | 2474,16             | 4,92%                                 | 333,50                                            | 23,00                     |
| 11:45           | 7,02                 | 4,79                 | 796,70                  | 777,40                  | 5592,83             | 3723,75             | 33,42%                                | 768,20                                            | 23,40                     |
| 12:00           | 7,24                 | 4,14                 | 765,90                  | 776,80                  | 5545,12             | 3215,95             | 42,00%                                | 710,60                                            | 24,00                     |
| 12:15           | 7,24                 | 4,14                 | 764,30                  | 770,80                  | 5533,53             | 3191,11             | 42,33%                                | 695,40                                            | 24,40                     |
| 12:30           | 7,24                 | 4,14                 | 759,80                  | 770,90                  | 5500,95             | 3191,53             | 41,98%                                | 698,90                                            | 24,90                     |
| 12:45           | 7,24                 | 4,14                 | 759,90                  | 771,90                  | 5501,68             | 3195,67             | 41,91%                                | 693,50                                            | 25,80                     |
| 13:00           | 7,03                 | 4,14                 | 760,00                  | 765,40                  | 5342,80             | 3168,76             | 40,69%                                | 690,40                                            | 32,00                     |
| 13:15           | 7,31                 | 4,11                 | 759,60                  | 771,40                  | 5552,68             | 3170,45             | 42,90%                                | 698,10                                            | 32,60                     |
| 13:30           | 6,81                 | 4,11                 | 753,80                  | 772,00                  | 5133,38             | 3172,92             | 38,19%                                | 655,30                                            | 24,70                     |
| 13:45           | 6,76                 | 4,06                 | 763,50                  | 777,40                  | 5161,26             | 3156,24             | 38,85%                                | 626,00                                            | 24,60                     |
| 14:00           | 4,19                 | 2,75                 | 761,70                  | 776,90                  | 3191,52             | 2136,48             | 33,06%                                | 383,70                                            | 24,30                     |
| 14:15           | 3,98                 | 3,03                 | 764,30                  | 776,90                  | 3041,91             | 2354,01             | 22,61%                                | 288,70                                            | 22,60                     |
| 14:30           | 5,67                 | 4,36                 | 796,00                  | 782,80                  | 4513,32             | 3413,01             | 24,38%                                | 534,90                                            | 22,10                     |
| 14:45           | 5,01                 | 4,41                 | 819,80                  | 801,30                  | 4107,20             | 3533,73             | 13,96%                                | 619,70                                            | 30,20                     |
| 15:00           | 3,76                 | 3,39                 | 796,00                  | 794,90                  | 2992,96             | 2694,71             | 9,97%                                 | 488,00                                            | 24,00                     |
| 15:15           | 2,71                 | 2,47                 | 789,90                  | 801,80                  | 2140,63             | 1980,45             | 7,48%                                 | 326,00                                            | 22,70                     |
| 15:30           | 2,65                 | 2,48                 | 783,90                  | 801,90                  | 2077,34             | 1988,71             | 4,27%                                 | 361,90                                            | 22,00                     |
| 15:45           | 2,25                 | 2,15                 | 783,90                  | 800,90                  | 1763,78             | 1721,94             | 2,37%                                 | 303,70                                            | 21,70                     |
| 16:00           | 2,05                 | 1,86                 | 795,80                  | 807,90                  | 1631,39             | 1502,69             | 7,89%                                 | 249,70                                            | 20,80                     |
| 16:15           | 1,65                 | 1,46                 | 789,90                  | 801,90                  | 1303,34             | 1170,77             | 10,17%                                | 187,30                                            | 21,20                     |
| 16:30           | 1,25                 | 0,64                 | 771,90                  | 807,90                  | 964,88              | 517,06              | 46,41%                                | 122,20                                            | 22,70                     |
| 16:45           | 0,64                 | 0,44                 | 735,70                  | 753,40                  | 470,85              | 331,50              | 29,60%                                | 34,80                                             | 22,80                     |

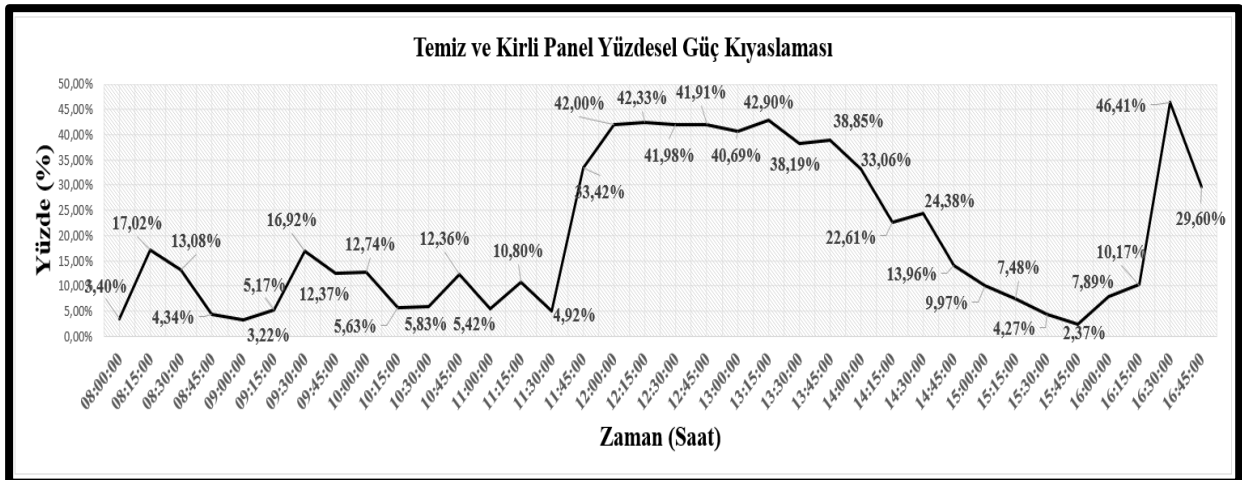
Şekil 4.1.'de 06.12.2022 tarihinde temiz ve kirli olan dizilerin yük altında ölçülmesiyle elde edilen güç değerlerinin grafiği Matlab programında çizdirilmiştir. Grafikten anlaşılabacağı üzere güneş ışınım şiddetinin yoğun olduğu saatlerde temiz panellerden elde edilen güç miktarı daha üst seviyede olmaktadır. Grafikten gün boyunca en yüksek güç değerinin elde edildiği Saat 11:45'te temiz diziden ölçülen güç değeri 5592,83 W iken kirli diziden elde edilen güç değeri 3723,75 W olduğu

anlaşılmaktadır. Bu saatte temiz dizi kirli diziyeye göre %33,42 daha iyi üretim gerçekleştirmiştir. Temiz ve kirli diziler arasındaki yüzdelik sapma değerleri ışınım ve çevresel faktörlere bağlı olarak anlık akım, gerilim değerleri farklılığından dolayı değişkenlik gösterebilmektedir. Bu ölçümden aşağıdaki grafiğe göre güneş ışınım şiddetinin düşük olduğu saatlerde temiz ve kirli dizilerde ölçülen akım ve gerilim değerleri arasındaki farkın düşük olmasından dolayı güç farklarının diğer saatlere göre daha az olduğu gözlemlenebilmektedir.



Şekil 4.1. 06.12.2022 tarihinde yük altında temiz ve kirli panel güç kıyaslaması.

Aşağıda Şekil 4.2.'de 06.12.2022 tarihinde grafik olarak temiz ve kirli diziler arasındaki sapma miktarları net bir şekilde görülmektedir. Güneş ışınım şiddetine bağlı olarak temiz ve kirli panellerde oluşan en yüksek güç farkı 13:15'te 2380 W olarak ölçülmüştür. Temiz ve kirli diziler arasındaki üretim farkı %46 seviyelerine kadar ulaşmıştır. Gün sonunda temiz ve kirli diziler arasındaki güç farkı ortalaması %19,66 olarak hesaplanmıştır. Grafikteki anlık artış ve azalışların sebebi güneş ışınım seviyesindeki değişimdir.



Şekil 4.2. 06.12.2022 tarihinde yük altında temiz ve kirli panel yüzdesel güç kıyaslaması.

Şekil 4.3.'te ölçümün yapıldığı fotovoltaiik diziye ait saha görseli verilmiştir. Kıyaslama kurulum açısından aynı hizada olan temiz ve kirli paneller arasında yapılmıştır. Işınım seviyelerini alma dereceleri sahanın fiziksel durumu göz önünde bulundurularak aynı kabul edilmiştir.



**Şekil 4.3.** Temiz ve kirli panel saha görseli.

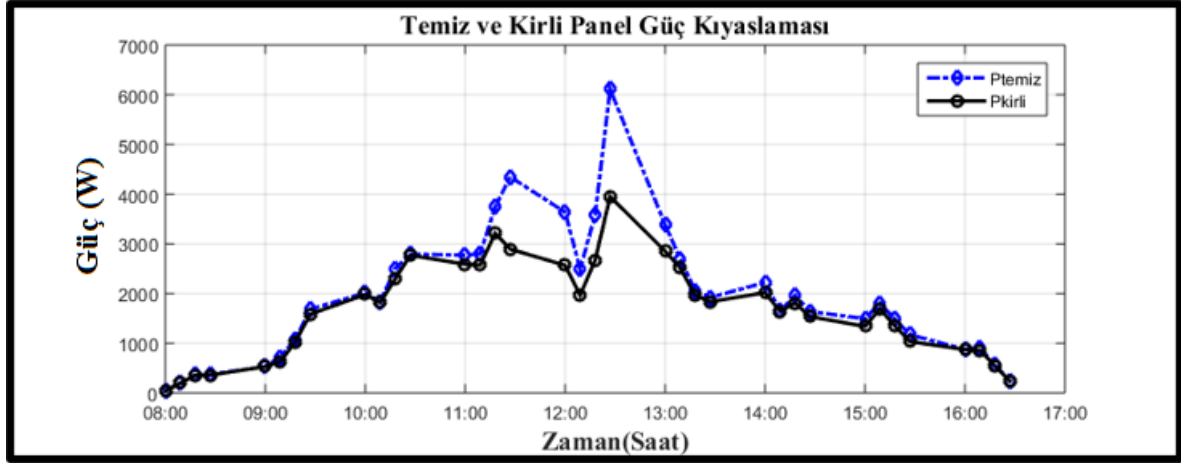
Yük altında yapılan ikinci ölçüm ise ilk yapılan ölçümünden bir gün sonra yapılmıştır. Ölçümler Aralık ayında yapıldığı için hava parçalı bulutlu geçmiştir. Fotovoltaiik modül eğim açısı  $25^\circ$  ve diziler 18 adet panelin seri bağlanmasıyla oluşturulmuştur. Hava durumundan dolayı önceki güne göre güneş ışınım şiddeti daha düşük olduğu için temiz ve kirli dizi güçleri arasında daha az güç farkı oluşmuştur. Ölçümler aynı zaman aralıklarında yapılmıştır. Panellerin temiz ve kirli durumlarına göre güneş ışınım şiddeti ve hava sıcaklığı bilgileri dikkate alınarak ölçülen akım, gerilim, güç değerleri ile yüzdesel güç farkları Tablo 4.2.'de verilmiştir. Tablo 4.2. incelendiğinde tüm zamanlarda temiz paneller kirli panellere göre önemli üretim avantajı sağlamaktadır. Analizler yapılırken ölçümlerde tozlanan panellerdeki tozlar yağlı, yapışkan tozlardır. Bu nedenle tozlanan ve tozlanmayan paneller arasındaki güç farklarında normalden yüksek sapmalar meydana gelmiştir. Güneş ışınım şiddetine bağlı olarak temiz ve kirli panellerde oluşan en yüksek güç farkları 12:00 – 13:00 saatleri arasında anlık olarak %35'lere ulaşmıştır.

**Tablo 4.2.** 07.12.2022 tarihinde yük altında temiz ve kirli panellerden elde edilen ölçümler.

| Zaman<br>(Saat) | Temiz<br>Akım<br>(A) | Kirli<br>Akım<br>(A) | Temiz<br>Gerilim<br>(V) | Kirli<br>Gerilim<br>(V) | Temiz<br>Güç<br>(W) | Kirli<br>Güç<br>(W) | Temiz<br>Kirli<br>Güç<br>Farkı<br>(%) | Güneş<br>Işınım<br>Şiddeti<br>(W/m <sup>2</sup> ) | Hava<br>Sıcaklığı<br>(°C) |
|-----------------|----------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------|
| 08:00           | 0,07                 | 0,06                 | 710,00                  | 703,30                  | 49,70               | 42,20               | 15,09%                                | 17,00                                             | 18,30                     |
| 08:15           | 0,27                 | 0,26                 | 746,70                  | 753,80                  | 201,61              | 195,99              | 2,79%                                 | 34,00                                             | 18,50                     |
| 08:30           | 0,47                 | 0,46                 | 772,20                  | 772,00                  | 362,93              | 355,12              | 2,15%                                 | 45,80                                             | 18,80                     |
| 08:45           | 0,47                 | 0,46                 | 794,30                  | 783,90                  | 373,32              | 360,59              | 3,41%                                 | 188,50                                            | 19,10                     |
| 09:00           | 0,67                 | 0,66                 | 796,20                  | 803,00                  | 533,45              | 529,98              | 0,65%                                 | 249,20                                            | 19,50                     |
| 09:15           | 0,87                 | 0,77                 | 828,30                  | 820,00                  | 720,62              | 631,40              | 12,38%                                | 293,00                                            | 20,00                     |
| 09:30           | 1,34                 | 1,25                 | 802,20                  | 820,00                  | 1074,95             | 1025,00             | 4,65%                                 | 320,10                                            | 20,50                     |
| 09:45           | 2,10                 | 1,87                 | 802,30                  | 847,60                  | 1684,83             | 1585,01             | 5,92%                                 | 326,60                                            | 20,90                     |
| 10:00           | 2,50                 | 2,47                 | 805,30                  | 801,90                  | 2013,25             | 1980,69             | 1,62%                                 | 416,40                                            | 21,30                     |
| 10:15           | 2,29                 | 2,27                 | 802,30                  | 802,00                  | 1837,27             | 1820,54             | 0,91%                                 | 369,30                                            | 21,60                     |
| 10:30           | 3,12                 | 2,88                 | 802,30                  | 795,90                  | 2503,18             | 2292,19             | 8,43%                                 | 481,10                                            | 22,00                     |
| 10:45           | 3,52                 | 3,48                 | 793,90                  | 795,90                  | 2794,53             | 2769,73             | 0,89%                                 | 577,20                                            | 22,00                     |
| 11:00           | 3,51                 | 3,28                 | 790,20                  | 789,90                  | 2773,60             | 2590,87             | 6,59%                                 | 547,60                                            | 22,40                     |
| 11:15           | 3,52                 | 3,28                 | 795,70                  | 784,00                  | 2800,86             | 2571,52             | 8,19%                                 | 530,30                                            | 22,60                     |
| 11:30           | 4,53                 | 4,10                 | 826,20                  | 783,90                  | 3742,69             | 3213,99             | 14,13%                                | 679,90                                            | 22,80                     |
| 11:45           | 5,46                 | 3,75                 | 796,30                  | 771,80                  | 4347,80             | 2894,25             | 33,43%                                | 632,30                                            | 22,90                     |
| 12:00           | 4,71                 | 3,31                 | 772,20                  | 775,70                  | 3637,06             | 2567,57             | 29,41%                                | 481,30                                            | 23,10                     |
| 12:15           | 3,25                 | 2,49                 | 766,80                  | 789,80                  | 2492,10             | 1966,60             | 21,09%                                | 321,10                                            | 23,60                     |
| 12:30           | 4,53                 | 3,33                 | 790,20                  | 801,90                  | 3579,61             | 2670,33             | 25,40%                                | 448,80                                            | 24,30                     |
| 12:45           | 7,94                 | 5,04                 | 769,50                  | 783,90                  | 6109,83             | 3950,86             | 35,34%                                | 793,50                                            | 24,80                     |
| 13:00           | 4,32                 | 3,57                 | 784,20                  | 799,70                  | 3387,74             | 2854,93             | 15,73%                                | 417,40                                            | 24,50                     |
| 13:15           | 3,47                 | 3,14                 | 778,30                  | 802,00                  | 2700,70             | 2518,28             | 6,75%                                 | 333,80                                            | 23,90                     |
| 13:30           | 2,65                 | 2,53                 | 778,30                  | 777,90                  | 2062,50             | 1968,09             | 4,58%                                 | 230,60                                            | 23,70                     |
| 13:45           | 2,45                 | 2,33                 | 784,30                  | 787,60                  | 1921,54             | 1835,11             | 4,50%                                 | 239,40                                            | 23,60                     |
| 14:00           | 2,85                 | 2,53                 | 779,90                  | 798,20                  | 2222,72             | 2019,45             | 9,15%                                 | 277,60                                            | 23,50                     |
| 14:15           | 2,12                 | 2,11                 | 778,20                  | 778,00                  | 1649,78             | 1641,58             | 0,50%                                 | 197,20                                            | 24,20                     |
| 14:30           | 2,52                 | 2,31                 | 778,30                  | 783,90                  | 1961,32             | 1810,81             | 7,67%                                 | 243,30                                            | 24,00                     |
| 14:45           | 2,12                 | 1,98                 | 772,30                  | 775,70                  | 1637,28             | 1535,89             | 6,19%                                 | 180,70                                            | 24,00                     |
| 15:00           | 1,92                 | 1,71                 | 778,30                  | 783,90                  | 1494,34             | 1340,47             | 10,30%                                | 179,50                                            | 23,80                     |
| 15:15           | 2,32                 | 2,14                 | 778,30                  | 789,90                  | 1805,66             | 1690,39             | 6,38%                                 | 208,10                                            | 23,70                     |
| 15:30           | 1,91                 | 1,73                 | 776,00                  | 778,00                  | 1482,16             | 1345,94             | 9,19%                                 | 153,00                                            | 23,60                     |
| 15:45           | 1,51                 | 1,33                 | 776,30                  | 777,90                  | 1172,21             | 1034,61             | 11,74%                                | 114,40                                            | 23,60                     |
| 16:00           | 1,14                 | 1,12                 | 768,60                  | 780,30                  | 876,20              | 873,94              | 0,26%                                 | 95,30                                             | 23,60                     |
| 16:15           | 1,14                 | 1,12                 | 792,80                  | 769,50                  | 903,79              | 861,84              | 4,64%                                 | 81,80                                             | 23,50                     |
| 16:30           | 0,78                 | 0,72                 | 730,60                  | 759,90                  | 569,87              | 547,13              | 3,99%                                 | 42,20                                             | 23,40                     |
| 16:45           | 0,34                 | 0,32                 | 708,70                  | 741,10                  | 240,96              | 237,15              | 1,58%                                 | 10,40                                             | 23,20                     |

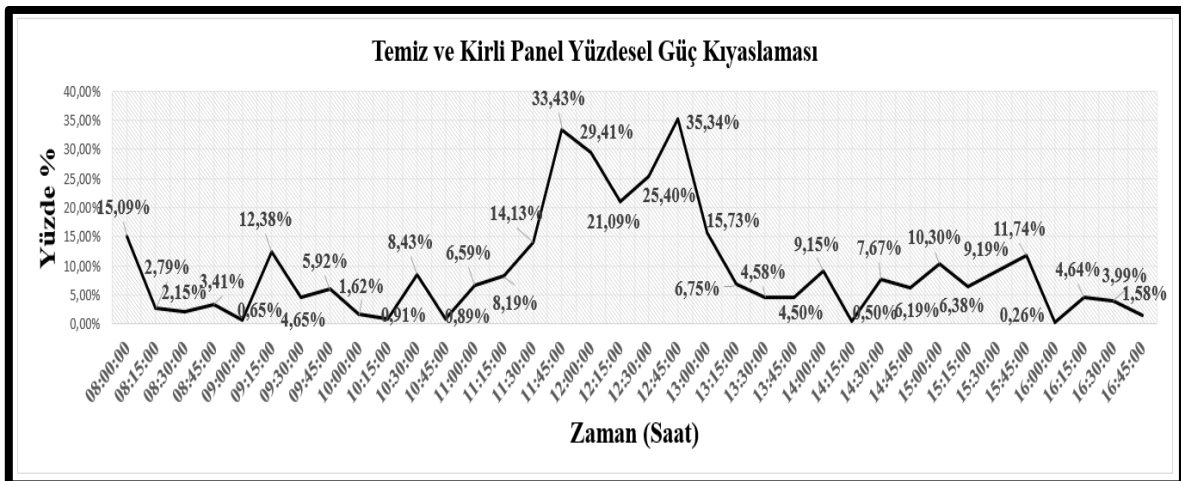
Şekil 4.4.'te 07.12.2022 tarihinde temiz ve kirli olan dizilerin yük altında ölçülmesiyle elde edilen güç değerlerinin grafiği Matlab programında çizdirilmiştir. Grafikten anlaşılabacağı üzere güneş ışınım şiddetinin yoğun olduğu saatlerde temiz panellerden elde edilen güç miktarı daha üst seviyede olmaktadır. Grafikten gün boyunca en yüksek güç değerinin elde edildiği Saat 12:45'te temiz diziden ölçülen güç değeri 6109,83 W iken kirli diziden elde edilen güç değeri 3950,86 W olduğu

anlaşılmaktadır. Bu saatte temiz dizi kirli diziye göre %35,34 daha iyi üretim gerçekleştirmiştir. Yapılan ölçümde önceki güne göre bu saatte güneş ışınım şiddetindeki sapmalardan dolayı daha yüksek değer elde edilmiş fakat temiz diziden elde edilen yüksek güç değeri daha kısa sürmüştür. Tozlanmadan dolayı temiz ve kirli dizi arasındaki fark havanın açık ve ışınım şiddetinin yüksek olduğu saatlerde daha belirgin hale gelmektedir. Havanın kapalı olduğu saatlerde temiz dizinin olumlu etkisi daha az olmaktadır.



Şekil 4.4. 07.12.2022 tarihinde yük altında temiz ve kirli panel güç kıyaslaması.

Aşağıda Şekil 4.5.'te 07.12.2022 tarihinde grafik olarak yük altında temiz ve kirli diziler arasındaki sapma miktarları net bir şekilde görülmektedir. Güneş ışınım şiddetine bağlı olarak temiz ve kirli panellerde oluşan en yüksek güç farkı 12:45'te 2150 W olarak ölçülmüştür. Gün sonunda temiz ve kirli diziler arasındaki güç farkı ortalaması %9,32 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.5. 07.12.2022 tarihinde yük altında temiz ve kirli panel yüzdesel güç kıyaslaması.

Yük altında yapılan üçüncü ölçümde 07.12.2022 tarihinde parçalı bulutlu bir havada temiz ve kirli dizilerde yapılmıştır. Akım ve gerilim ölçümleri yapılarak güç değeri hesaplanmıştır. Ölçümler

fotovoltaik güç santralinde, fotovoltaik modül eğim açısı  $25^\circ$  ve eş güçte 22 adet panelin seri bağlanmasıyla oluşturulan sistemden elde edilmiştir. Belirlenen dizilerden birisi temizlenmiş diğeri mevcut toz durumunda bırakılmıştır. Ölçümler 08:00 – 17:00 saatleri arasında 1 saat aralıklarla yapılmıştır. Tablo 4.3'te 07.12.2022 tarihinde kirli ve temiz durumdaki panellerin yük altında iken ölçüm sırasındaki güneş ışınım şiddeti ve hava sıcaklığı bilgileri dikkate alınarak akım, gerilim, güç karşılaştırması verilmiştir. Hava durumundan dolayı önceki güne göre güneş ışınım şiddeti daha düşük olduğu için temiz ve kirli dizi güçleri arasında daha az güç farkı oluşmuştur. Tablo 4.3. incelendiğinde tüm zamanlarda temiz paneller kirli panellere göre önemli üretim avantajı sağlamaktadır. Güneş ışınım şiddetine bağlı olarak temiz panellerden oluşan dizi, kirli panellerden oluşan diziye göre günlük ortalama %7,47 daha yüksek elektrik üretimi sağlamıştır.

**Tablo 4.3.** 07.12.2022 tarihinde yük altında iken kirli ve temiz panellerden elde edilen ölçümler.

| Zaman (Saat) | Kirli Akım A | Temiz Akım A | Kirli Gerilim V | Temiz Gerilim V | Kirli Güç W | Temiz Güç W | Güneş Işınım Şiddeti ( $W/m^2$ ) | Hava Sıcaklığı ( $^\circ C$ ) |
|--------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 08:00        | 0,43         | 0,50         | 650,00          | 653,00          | 279,50      | 326,50      | 17,00                            | 18,30                         |
| 09:00        | 2,31         | 2,39         | 671,00          | 671,00          | 1550,01     | 1603,69     | 249,20                           | 19,50                         |
| 10:00        | 3,22         | 3,26         | 625,00          | 594,00          | 2012,50     | 2037,50     | 416,40                           | 21,30                         |
| 11:00        | 4,04         | 4,28         | 648,00          | 645,00          | 2617,92     | 2760,60     | 547,60                           | 22,40                         |
| 12:00        | 3,40         | 3,61         | 641,00          | 637,00          | 2179,40     | 2299,57     | 481,30                           | 23,10                         |
| 13:00        | 2,85         | 3,04         | 657,00          | 655,00          | 1872,45     | 1991,20     | 417,40                           | 24,50                         |
| 14:00        | 2,31         | 2,47         | 653,00          | 650,00          | 1508,43     | 1605,50     | 277,60                           | 23,50                         |
| 15:00        | 1,55         | 1,60         | 653,00          | 650,00          | 1012,15     | 1040,00     | 179,50                           | 23,80                         |
| 16:00        | 0,76         | 0,91         | 635,00          | 632,00          | 482,60      | 575,12      | 95,30                            | 23,60                         |
| 17:00        | 0,36         | 0,42         | 638,00          | 640,00          | 229,68      | 268,80      | 4,30                             | 22,60                         |

Tozlanma analizleri kapsamında son ölçümlerde ise 09.12.2022 tarihinde aynı şartlarda, belirlenen temiz ve kirli dizilerde yük altında iken akım ve gerilim ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler aynı şekilde 1 saat aralıklarla yapılmıştır. Bu tarihte hava açık olduğu için güneş ışınım şiddeti daha yüksek seviyelerde olmuştur. Fotovoltaik modül eğim açısı  $25^\circ$  ve diziler 22 adet panelin seri bağlanmasıyla oluşturulmuştur. Tablo 4.4'te 09.12.2022 tarihinde kirli ve temiz durumdaki panellerin yük altında iken ölçüm sırasındaki güneş ışınım şiddeti ve hava sıcaklığı bilgilerine göre ölçülen akım, gerilim, güç karşılaştırması verilmiştir. Tablo 4.4. incelendiğinde tüm zamanlarda temiz paneller kirli panellere göre önemli üretim avantajı sağlamaktadır. Güneş ışınım şiddetine bağlı olarak temiz ve kirli panellerde oluşan en yüksek güç farkları 11:00 – 14:00 saatleri arasında oluşmuştur. Gün içerisinde temiz paneller kirli panellere göre ortalama %7,35 avantaj sağlamıştır.

**Tablo 4.4.** 09.12.2022 tarihinde yükte iken kirli ve temiz panellerden elde edilen ölçümler.

| Zaman (Saat) | Kirli Akım A | Temiz Akım A | Kirli Gerilim V | Temiz Gerilim V | Kirli Güç W | Temiz Güç W | Güneş Işınım Şiddeti (W/m <sup>2</sup> ) | Hava Sıcaklığı (°C) |
|--------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|------------------------------------------|---------------------|
| 08:00        | 0,34         | 0,42         | 646,00          | 625,00          | 219,64      | 262,50      | 16,10                                    | 18,50               |
| 09:00        | 1,76         | 1,85         | 667,00          | 665,00          | 1173,92     | 1230,25     | 235,30                                   | 19,50               |
| 10:00        | 3,88         | 4,03         | 612,00          | 599,00          | 2374,56     | 2413,97     | 462,50                                   | 21,90               |
| 11:00        | 5,33         | 5,56         | 631,00          | 633,00          | 3363,23     | 3519,48     | 614,80                                   | 22,90               |
| 12:00        | 5,85         | 6,15         | 624,00          | 623,00          | 3650,40     | 3831,45     | 706,40                                   | 24,50               |
| 13:00        | 5,82         | 6,04         | 623,00          | 625,00          | 3625,86     | 3775,00     | 701,40                                   | 30,70               |
| 14:00        | 5,00         | 5,25         | 633,00          | 630,00          | 3165,00     | 3307,50     | 630,30                                   | 30,70               |
| 15:00        | 3,59         | 3,67         | 633,00          | 638,00          | 2272,47     | 2341,46     | 469,60                                   | 25,50               |
| 16:00        | 0,41         | 0,48         | 649,00          | 647,00          | 266,09      | 310,56      | 255,30                                   | 24,10               |
| 17:00        | 0,37         | 0,30         | 612,00          | 570,00          | 226,44      | 248,00      | 26,50                                    | 22,90               |

#### 4.1.1.2. Yüksüz Durumda İken Tozlanma Etkisi Analiz Sonuçları

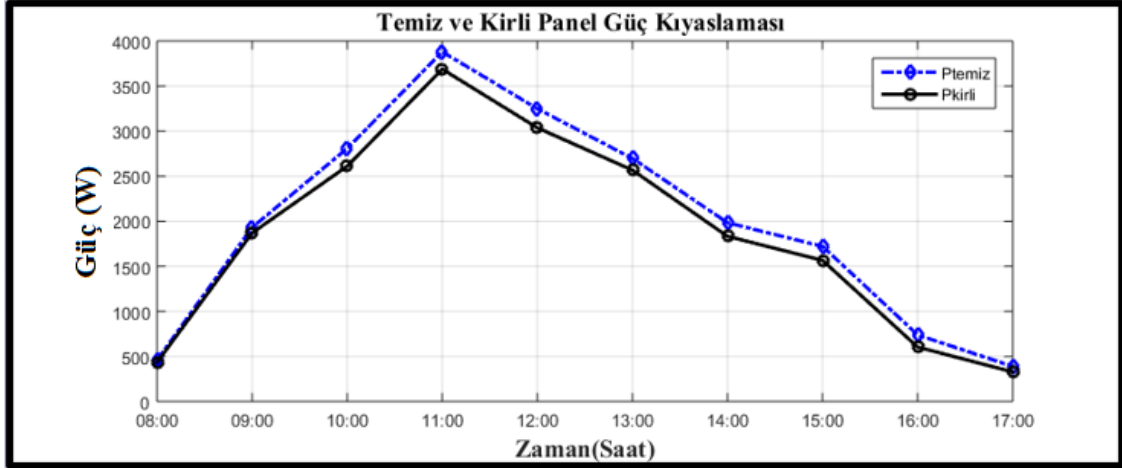
Yüksüz durumda iken yani sistem elektrik üretimi yapmıyorken, şebekeye enerji vermiyorken ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümler 08:00 – 17:00 saatleri arasında 1 saatlik periyotlarla gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.5’te 07.12.2022 tarihinde kirli ve temiz panellerin yüksüz durumda iken ölçüm sırasındaki güneş ışınım şiddeti ve hava sıcaklığı bilgilerine göre ölçülen kısa devre akımı, açık devre gerilimi ve güç karşılaştırması verilmiştir. Tablo 4.5. incelendiğinde tüm zamanlarda temiz paneller kirli panellere göre önemli üretim avantajı sağlamaktadır.

**Tablo 4.5.** 07.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken kirli ve temiz panellerden elde edilen ölçümler.

| Zaman (Saat) | Kirli Akım A | Temiz Akım A | Kirli Gerilim V | Temiz Gerilim V | Kirli Güç W | Temiz Güç W | Güneş Işınım Şiddeti (W/m <sup>2</sup> ) | Hava Sıcaklığı (°C) |
|--------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|------------------------------------------|---------------------|
| 08:00        | 0,58         | 0,61         | 750,00          | 753,00          | 435,00      | 459,33      | 17,00                                    | 18,30               |
| 09:00        | 2,38         | 2,47         | 786,00          | 782,00          | 1870,68     | 1931,54     | 249,20                                   | 19,50               |
| 10:00        | 3,40         | 3,60         | 768,00          | 780,00          | 2611,20     | 2808,00     | 416,40                                   | 21,30               |
| 11:00        | 4,77         | 5,00         | 773,00          | 776,00          | 3687,21     | 3880,00     | 547,60                                   | 22,40               |
| 12:00        | 3,98         | 4,23         | 763,00          | 768,00          | 3036,74     | 3248,64     | 481,30                                   | 23,10               |
| 13:00        | 3,33         | 3,48         | 771,00          | 775,00          | 2567,43     | 2697,00     | 417,40                                   | 24,50               |
| 14:00        | 2,38         | 2,57         | 770,00          | 772,00          | 1832,60     | 1984,04     | 277,60                                   | 23,50               |
| 15:00        | 2,05         | 2,25         | 764,00          | 765,00          | 1566,20     | 1721,25     | 179,50                                   | 23,80               |
| 16:00        | 0,81         | 0,99         | 746,00          | 747,00          | 604,26      | 739,53      | 95,30                                    | 23,60               |
| 17:00        | 0,44         | 0,52         | 747,00          | 749,00          | 328,68      | 389,48      | 4,30                                     | 22,60               |

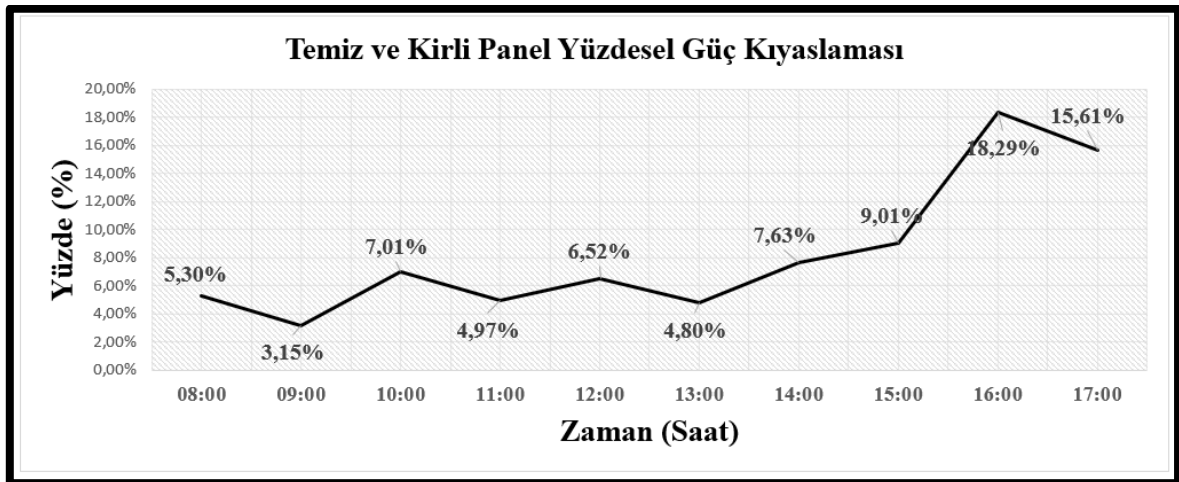
Şekil 4.6.’da 07.12.2022 tarihinde temiz ve kirli olan dizilerin yüksüz durumda iken ölçülmesiyle elde edilen güç değerlerinin grafiği Matlab programında çizdirilmiştir. Grafikten anlaşılacağı üzere güneş ışınım şiddeti saat 10:00’dan sonra artmış ve en yoğun olduğu saat 11:00 olmuştur. 11:00 – 13:00 saatleri arasında temiz panellerden elde edilen güç miktarı daha üst seviyede

olmaktadır. Grafikten gün boyunca en yüksek güç değerinin elde edildiği Saat 11:00'da temiz diziden ölçülen güç değeri 3880 W iken kirli diziden elde edilen güç değeri 3687,21 W olduğu anlaşılmaktadır. Bu saatte temiz dizi kirli diziye göre %4,97 daha iyi üretim gerçekleştirmiştir. Bazı saatlerde güç miktarı daha düşük olmuş fakat temiz ve kirli paneller arasındaki sapma miktarları artmıştır. Bu sapmalar ölçüm sırasındaki anlık ışınım şiddeti değişimlerinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.6. 07.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken temiz ve kirli panel güç kıyaslaması.

Aşağıda Şekil 4.7.'de 07.12.2022 tarihinde grafik olarak yüksüz durumda iken temiz ve kirli diziler arasındaki sapma miktarları net bir şekilde görülmektedir. Güneş ışınım şiddetine bağlı olarak temiz ve kirli panellerde oluşan en yüksek güç farkı 12:00'da 211,90 W olarak ölçülmüştür. Gün sonunda temiz ve kirli diziler arasındaki güç farkı ortalaması %8,23 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.7. 07.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken temiz ve kirli panel yüzdesel güç kıyaslaması.

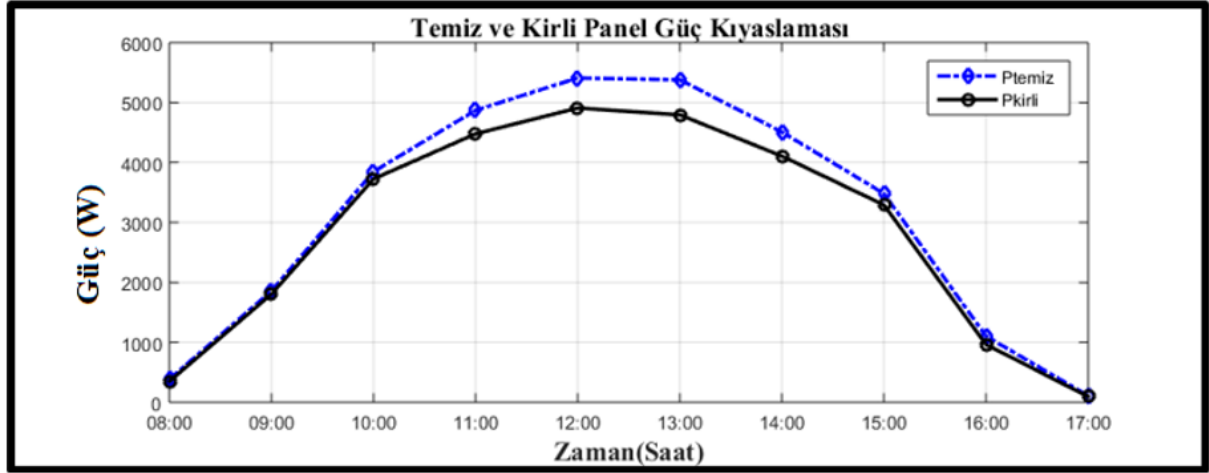
Tozlanma analizleri kapsamında 09.12.2022 tarihinde aynı şartlarda, belirlenen temiz ve kirli dizilerde yüksüz durumda iken akım ve gerilim ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler aynı şekilde 1 saat aralıklarla yapılmıştır. Bu tarihte hava açık olduğu için güneş ışınım şiddeti daha yüksek seviyelerde

olmuştur. Fotovoltaik modül eğim açısı  $25^\circ$  ve diziler 22 adet panelin seri bağlanmasıyla oluşturulmuştur. Tablo 4.6’da 09.12.2022 tarihinde kirli ve temiz durumdaki panellerin yüksüz durumda iken ölçüm sırasındaki güneş ışınım şiddeti ve hava sıcaklığı bilgilerine göre ölçülen kısa devre akım, açık devre gerilimi ve güç karşılaştırması verilmiştir. Tablo 4.6. incelendiğinde tüm zamanlarda temiz paneller kirli panellere göre önemli üretim avantajı sağlamaktadır.

**Tablo 4.6.** 09.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken kirli ve temiz panellerden elde edilen ölçümler.

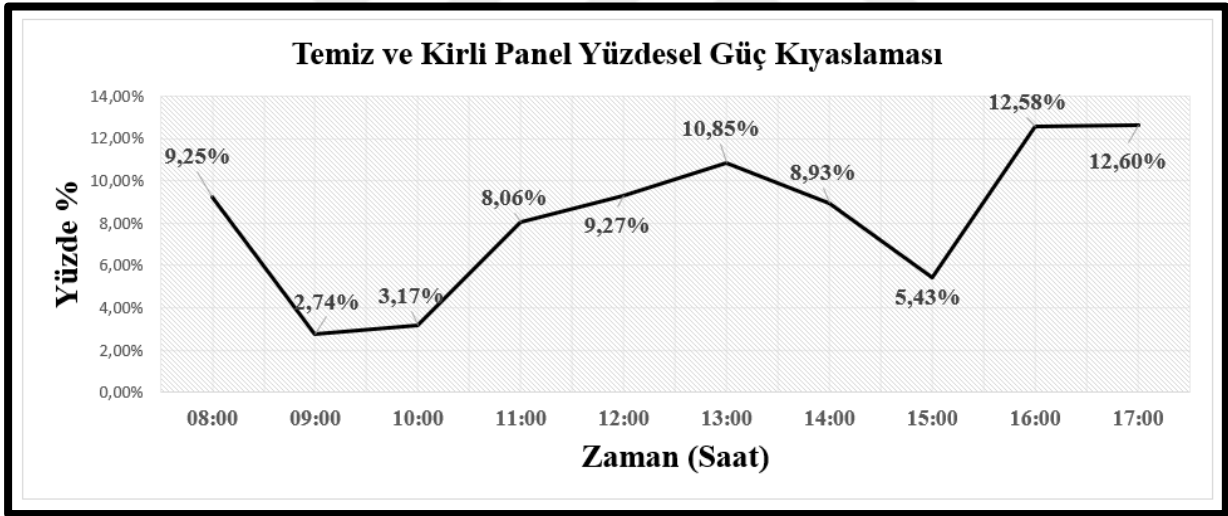
| Zaman<br>(Saat) | Kirli<br>Akım<br>A | Temiz<br>Akım<br>A | Kirli<br>Gerilim<br>V | Temiz<br>Gerilim<br>V | Kirli<br>Güç<br>W | Temiz<br>Güç<br>W | Güneş<br>Işınım<br>Şiddeti<br>(W/m <sup>2</sup> ) | Hava<br>Sıcaklığı<br>(°C) |
|-----------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|---------------------------------------------------|---------------------------|
| 08:00           | 0,47               | 0,52               | 745,00                | 742,00                | 350,15            | 385,84            | 16,10                                             | 18,50                     |
| 09:00           | 2,30               | 2,38               | 785,00                | 780,00                | 1805,50           | 1856,40           | 235,30                                            | 19,50                     |
| 10:00           | 4,77               | 4,92               | 781,00                | 782,00                | 3725,37           | 3847,44           | 462,50                                            | 21,90                     |
| 11:00           | 5,80               | 6,30               | 772,00                | 773,00                | 4477,60           | 4869,90           | 614,80                                            | 22,90                     |
| 12:00           | 6,44               | 7,07               | 762,00                | 765,00                | 4907,28           | 5408,55           | 706,40                                            | 24,50                     |
| 13:00           | 6,30               | 7,03               | 761,00                | 765,00                | 4794,30           | 5377,95           | 701,40                                            | 30,70                     |
| 14:00           | 5,36               | 5,87               | 766,00                | 768,00                | 4105,76           | 4508,16           | 630,30                                            | 30,70                     |
| 15:00           | 4,28               | 4,52               | 769,00                | 770,00                | 3291,32           | 3480,40           | 469,60                                            | 25,50                     |
| 16:00           | 1,27               | 1,48               | 759,00                | 745,00                | 963,93            | 1102,60           | 255,30                                            | 24,10                     |
| 17:00           | 0,19               | 0,15               | 711,00                | 706,00                | 96,40             | 110,30            | 26,50                                             | 22,90                     |

Şekil 4.8.’de 09.12.2022 tarihinde temiz ve kirli olan dizilerin yüksüz durumda iken ölçülmesiyle elde edilen güç değerlerinin grafiği Matlab programında çizdirilmiştir. Grafikten anlaşılabacağı üzere güneş ışınım şiddetini yoğun olduğu saatlerde temiz panellerden elde edilen güç miktarı daha üst seviyede olmaktadır. Grafikten gün boyunca en yüksek güç değerinin elde edildiği saat 12:00’da temiz diziden ölçülen güç değeri 5408,55 W iken kirli diziden elde edilen güç değeri 4907,28 W olduğu anlaşılmaktadır. Bu saatte temiz dizi kirli diziye göre %9,27 daha iyi üretim gerçekleştirmiştir. Tozlanmadan dolayı temiz ve kirli dizi arasındaki fark havanın açık ve ışınım şiddetinin yüksek olduğu saatlerde daha belirgin hale gelmektedir. Havanın kapalı olduğu saatlerde temiz dizinin olumlu etkisi daha az olmaktadır.



Şekil 4.8. 09.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken temiz ve kirli panel güç kıyaslaması.

Aşağıda Şekil 4.9.'da 09.12.2022 tarihinde grafik olarak yüksüz durumda iken temiz ve kirli diziler arasındaki sapma miktarları net bir şekilde görülmektedir. Güneş ışınım şiddetine bağlı olarak temiz ve kirli panellerde oluşan en yüksek güç farkı 13:00'da 580 W olarak ölçülmüştür. Gün sonunda temiz ve kirli diziler arasındaki güç farkı ortalaması %8,29 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.9. 09.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken temiz ve kirli panel yüzdesel güç kıyaslaması.

#### 4.1.2. Fotovoltaik Sistemdeki Gölge Etkisi Analiz Sonuçları

Gölgelenme analizleri Mersin'de bulunan fotovoltaik güç santralinde yapılmıştır. Tesis organize sanayi bölgesinde yer almaktadır. Tezin bu bölümünde amaç fotovoltaik güç santralinde arazi bölümünde eş güçte, aynı modül eğim açısında, bulunduğu konumları aynı olan iki dizinin aynı gün ve saatlerdeki yük altında ve yüksüz durumda iken ölçülen çıkış güç değerlerine göre gölgelenme analizlerini yapmaktır. Belirlenen dizilerden birisi gölge etkisi altında kalmış diğeri gölgesiz durumundadır. Fotovoltaik güç sisteminde gölgelenme analizleri kapsamında belirlenen dizilerde doğal

ve suni gölge etkilerini gözlemlemek amacıyla açık devre gerilimi ve kısa devre akımı ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler, fotovoltaik güç santralinde 22 adet panelin seri bağlanmasıyla oluşan, fotovoltaik modül eğim açısı  $25^\circ$  olan eş güçte panellerden elde edilmiştir. Ölçüm yapılırken 08:00 – 17:00 saatleri arasında gölge alan ve gölge almayan dizilerden saatlik değerler alınıp kaydedilmiştir.

#### 4.1.2.1. Yük Altında İken Gölge Etkisi Analiz Sonuçları

Yük altında yani sistem elektrik üretimi yapıyorken, şebekeye enerji veriyorken yapılan ölçümlerde 08:00 – 17:00 saatleri arasında, parçalı bulutlu bir havada, 1 saatlik periyotlarla akım ve gerilim değerleri ölçülerek güç değerleri hesaplanmıştır. Tablo 4.7’de 07.12.2022 tarihinde gölge alan ve gölge almayan durumlardaki panellerin yük altında iken ölçüm sırasındaki güneş ışınım şiddeti ve hava sıcaklığı bilgilerine göre ölçülen akım, gerilim, güç karşılaştırması verilmiştir. Tablo 4.7. incelendiğinde tüm zamanlarda gölge almayan paneller gölge alan panellere göre önemli üretim avantajı sağlamaktadır. Günlük ortalama güç farkı hesaplandığında gölge almayan paneller gölge alan panellere göre yaklaşık %10 üretim avantajı sağlamaktadır.

**Tablo 4.7.** 07.12.2022 tarihinde yük altında iken gölgeli ve gölgesiz panellerden elde edilen ölçümler.

| Zaman (Saat) | Gölgeli Akım A | Gölgesiz Akım A | Gölgeli Gerilim V | Gölgesiz Gerilim V | Gölgeli Güç kW | Gölgesiz Güç kW | Güneş Işınım Şiddeti ( $W/m^2$ ) | Hava Sıcaklığı ( $^\circ C$ ) |
|--------------|----------------|-----------------|-------------------|--------------------|----------------|-----------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 08:00        | 0,75           | 0,90            | 640,00            | 653,00             | 480,00         | 587,70          | 17,00                            | 18,30                         |
| 09:00        | 1,35           | 1,85            | 669,00            | 671,00             | 903,15         | 1241,35         | 249,20                           | 19,50                         |
| 10:00        | 3,13           | 3,26            | 580,00            | 594,00             | 1815,40        | 1936,44         | 416,40                           | 21,30                         |
| 11:00        | 4,20           | 4,28            | 640,00            | 645,00             | 2688,00        | 2760,60         | 547,60                           | 22,40                         |
| 12:00        | 3,54           | 3,61            | 637,00            | 637,00             | 2254,98        | 2299,57         | 481,30                           | 23,10                         |
| 13:00        | 2,52           | 2,63            | 650,00            | 655,00             | 1638,00        | 1722,65         | 417,40                           | 24,50                         |
| 14:00        | 2,27           | 2,47            | 649,00            | 650,00             | 1473,23        | 1605,50         | 277,60                           | 23,50                         |
| 15:00        | 1,55           | 1,60            | 652,00            | 650,00             | 1010,60        | 1040,00         | 179,50                           | 23,80                         |
| 16:00        | 0,63           | 0,75            | 632,00            | 632,00             | 398,16         | 474,00          | 95,30                            | 23,60                         |
| 17:00        | 0,55           | 0,63            | 630,00            | 640,00             | 346,50         | 403,20          | 4,30                             | 22,60                         |

09.12.2022 tarihinde aynı şartlarda, belirlenen gölge alan ve gölge almayan dizilerde gerilim ve akımlar ölçülmüştür. Bu tarihte hava güneşli olduğu için güneş ışınım şiddeti daha yüksek seviyelerde olmuştur. Güneş ışınım şiddeti daha yüksek seyrettiği için gölge alan ve gölge almayan dizi güçleri arasındaki güç farkları artmıştır. Ölçümler, fotovoltaik güç santralinde 22 adet panelin seri bağlanmasıyla oluşan, fotovoltaik modül eğim açısı  $25^\circ$  olan eş güçte panellerden elde edilmiştir. Ölçüm yapılırken 08:00 – 17:00 saatleri arasında gölge alan ve gölge almayan dizilerden saatlik değerler alınıp kaydedilmiştir. Tablo 4.8’de 09.12.2022 tarihinde gölge alan ve gölge almayan durumdaki panellerin yük altında iken ölçüm sırasındaki güneş ışınım şiddeti ve hava sıcaklığı bilgilerine göre ölçülen akım, gerilim, güç karşılaştırması verilmiştir. Tablo 4.8. incelendiğinde tüm zamanlarda gölge almayan

paneller, gölge alan panellere göre önemli üretim avantajı sağlamaktadır. Günlük ortalama güç farkı hesaplandığında gölge almayan paneller gölge alan panellere göre yaklaşık %14 üretim avantajı sağlamaktadır.

**Tablo 4.8.** 09.12.2022 tarihinde yükte iken gölgeli ve gölgesiz panellerden elde edilen ölçümler.

| Zaman (Saat) | Gölgeli Akım A | Gölgesiz Akım A | Gölgeli Gerilim V | Gölgesiz Gerilim V | Gölgeli Güç W | Gölgesiz Güç W | Güneş Işınım Şiddeti (W/m <sup>2</sup> ) | Hava Sıcaklığı (°C) |
|--------------|----------------|-----------------|-------------------|--------------------|---------------|----------------|------------------------------------------|---------------------|
| 08:00        | 0,75           | 0,92            | 638,00            | 625,00             | 478,50        | 575,00         | 16,10                                    | 18,50               |
| 09:00        | 1,35           | 1,85            | 672,00            | 665,00             | 907,20        | 1230,25        | 235,30                                   | 19,50               |
| 10:00        | 3,69           | 4,03            | 623,00            | 599,00             | 2298,87       | 2413,97        | 462,50                                   | 21,90               |
| 11:00        | 5,23           | 5,56            | 631,00            | 633,00             | 3300,13       | 3519,48        | 614,80                                   | 22,90               |
| 12:00        | 5,98           | 6,15            | 623,00            | 623,00             | 3725,54       | 3831,45        | 706,40                                   | 24,50               |
| 13:00        | 6,08           | 6,27            | 622,00            | 625,00             | 3781,76       | 3918,75        | 701,40                                   | 30,70               |
| 14:00        | 4,85           | 5,25            | 630,00            | 630,00             | 3055,50       | 3307,50        | 630,30                                   | 30,70               |
| 15:00        | 3,50           | 3,67            | 630,00            | 638,00             | 2205,00       | 2341,46        | 469,60                                   | 25,50               |
| 16:00        | 0,37           | 0,48            | 647,00            | 647,00             | 239,39        | 310,56         | 255,30                                   | 24,10               |
| 17:00        | 0,16           | 0,30            | 568,00            | 570,00             | 90,88         | 171,00         | 26,50                                    | 22,90               |

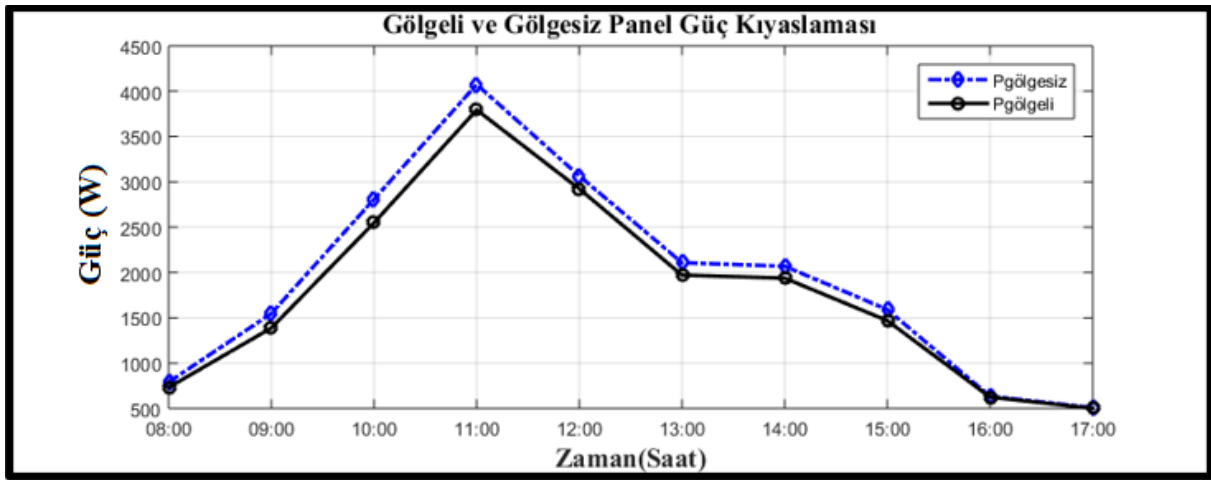
#### 4.1.2.2. Yüksüz Durumda İken Gölge Etkisi Analiz Sonuçları

Yüksüz durumda iken yani sistem elektrik üretimi yapmıyorken, şebekeye enerji vermiyorken yapılan ölçümlerde 08:00 – 17:00 saatleri arasında, parçalı bulutlu bir havada, 1 saatlik periyotlarla akım ve gerilim değerleri ölçülerek güç değerleri hesaplanmıştır. Tablo 4.9’da 07.12.2022 tarihinde gölge alan ve gölge almayan durumlardaki panellerin güneş ışıınım şiddeti ve hava sıcaklığı bilgilerine göre ölçülen akım, gerilim, güç karşılaştırması verilmiştir. Tablo 4.9. incelendiğinde tüm zamanlarda gölgesiz paneller gölgeli panellere göre önemli üretim avantajı sağlamaktadır.

**Tablo 4.9.** 07.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken gölgeli ve gölgesiz panellerden elde edilen ölçümler.

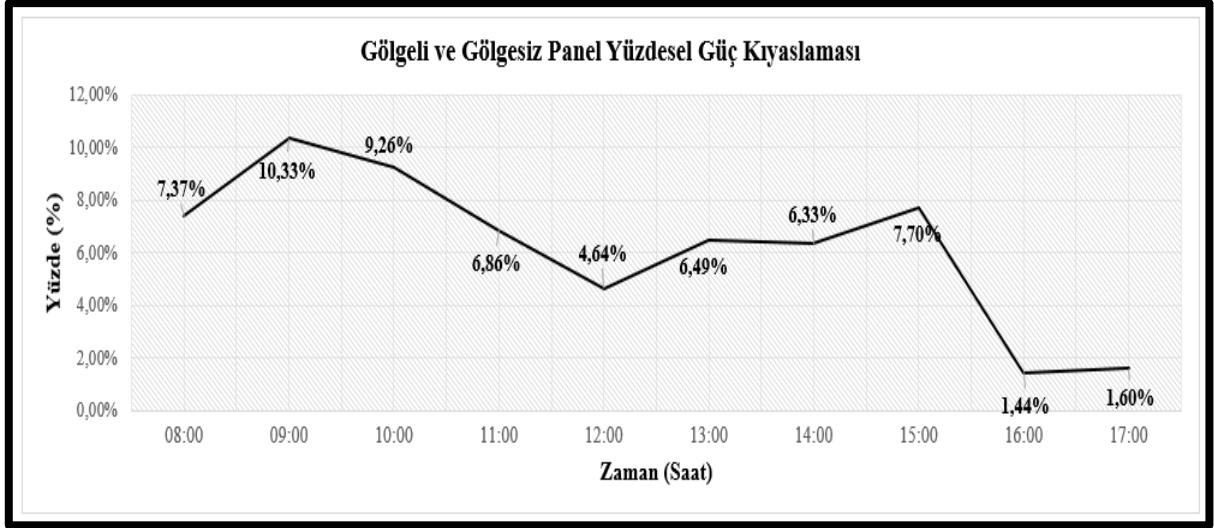
| Zaman (Saat) | Gölgeli Akım A | Gölgesiz Akım A | Gölgeli Gerilim V | Gölgesiz Gerilim V | Gölgeli Güç W | Gölgesiz Güç W | Güneş Işınım Şiddeti (W/m <sup>2</sup> ) | Hava Sıcaklığı (°C) |
|--------------|----------------|-----------------|-------------------|--------------------|---------------|----------------|------------------------------------------|---------------------|
| 08:00        | 0,97           | 1,05            | 755,00            | 753,00             | 732,35        | 790,65         | 17,00                                    | 18,30               |
| 09:00        | 1,78           | 1,98            | 780,00            | 782,00             | 1388,40       | 1548,36        | 249,20                                   | 19,50               |
| 10:00        | 3,25           | 3,60            | 784,00            | 780,00             | 2548,00       | 2808,00        | 416,40                                   | 21,30               |
| 11:00        | 4,96           | 5,25            | 765,00            | 776,00             | 3794,40       | 4074,00        | 547,60                                   | 22,40               |
| 12:00        | 3,85           | 3,99            | 759,00            | 768,00             | 2922,15       | 3064,32        | 481,30                                   | 23,10               |
| 13:00        | 2,57           | 2,72            | 767,00            | 775,00             | 1971,19       | 2108,00        | 417,40                                   | 24,50               |
| 14:00        | 2,53           | 2,68            | 766,00            | 772,00             | 1937,98       | 2068,96        | 277,60                                   | 23,50               |
| 15:00        | 1,93           | 2,08            | 761,00            | 765,00             | 1468,73       | 1591,20        | 179,50                                   | 23,80               |
| 16:00        | 0,84           | 0,85            | 745,00            | 747,00             | 625,80        | 634,95         | 95,30                                    | 23,60               |
| 17:00        | 0,67           | 0,68            | 748,00            | 749,00             | 501,16        | 509,32         | 4,30                                     | 22,60               |

Şekil 4.10.'da 07.12.2022 tarihinde gölge alan ve gölge almayan dizilerin yüksüz durumda iken ölçülmesiyle elde edilen güç değerlerinin grafiği Matlab programında çizdirilmiştir. Grafikten anlaşılacağı üzere güneş ışınım şiddeti saat 10:00'dan sonra artmış ve en yoğun olduğu saat 11:00 olmuştur. 10:00 – 12:00 saatleri arasında gölge düşmeyen panellerden elde edilen güç miktarı daha üst seviyede olmaktadır. Grafikten gün boyunca en yüksek güç değerinin elde edildiği Saat 11:00'da gölge düşmeyen diziden ölçülen güç değeri 4074 W iken gölge düşen diziden elde edilen güç değeri 3794 W olduğu anlaşılmaktadır. Bu saatte gölge düşmeyen dizi gölge düşen diziye göre %6,86 daha iyi üretim gerçekleştirmiştir. Bazı saatlerde güç miktarı daha düşük olmuş fakat gölge düşen ve gölge düşmeyen diziler arasındaki sapma miktarları artmıştır. Bu sapmalar ölçüm sırasındaki anlık ışınım şiddeti değişimlerinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.10. 07.12.2022 tarihinde yüksüz iken gölgeli ve gölgesiz panel güç kıyaslaması.

Aşağıda Şekil 4.11.'de 07.12.2022 tarihinde grafik olarak yüksüz iken gölge alan ve gölge almayan diziler arasındaki sapma miktarları net bir şekilde görülmektedir. Güneş ışınım şiddetine bağlı olarak gölge düşen ve gölge düşmeyen dizilerde oluşan en yüksek güç farkı 11:00'da 280 W olarak ölçülmüştür. Gün sonunda gölge alan ve gölge almayan diziler arasındaki güç farkı ortalaması %6,20 olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.11.** 07.12.2022 tarihinde yüksüz iken gölgeli ve gölgesiz panel yüzdesel güç kıyaslaması.

Fotovoltaik güç santrallerinde iki sıra arasında mesafe yeterli bırakılmadığı durumda güneşin geliş açısına göre gün içerisinde değişiklik gösteren gölgelenme etkisi oluşmaktadır. Sistemin bu şekilde tasarlanmasında en büyük etki yeterli kurulum alanının bulunmamasından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada ölçümler yapılırken sıra gölgelenme etkisinin bulunduğu kısımlarda ölçümler yapılmıştır. Şekil 4.12.'de sıra gölgelenme etkisine ait görsel verilmiştir.



**Şekil 4.12.** Modül sıra gölge etkisi saha görseli.

Bu tez çalışmasında fotovoltaik güç sistemindeki gölgelenme etkisi ölçümleri yapılırken aydınlatma direği, paratoner direği gibi gölge unsurlarının bulunduğu kısımlarda ölçümler yapılmıştır. Şekil 4.13.'te aydınlatma direğinin modül üzerindeki görüntüsü verilmiştir.



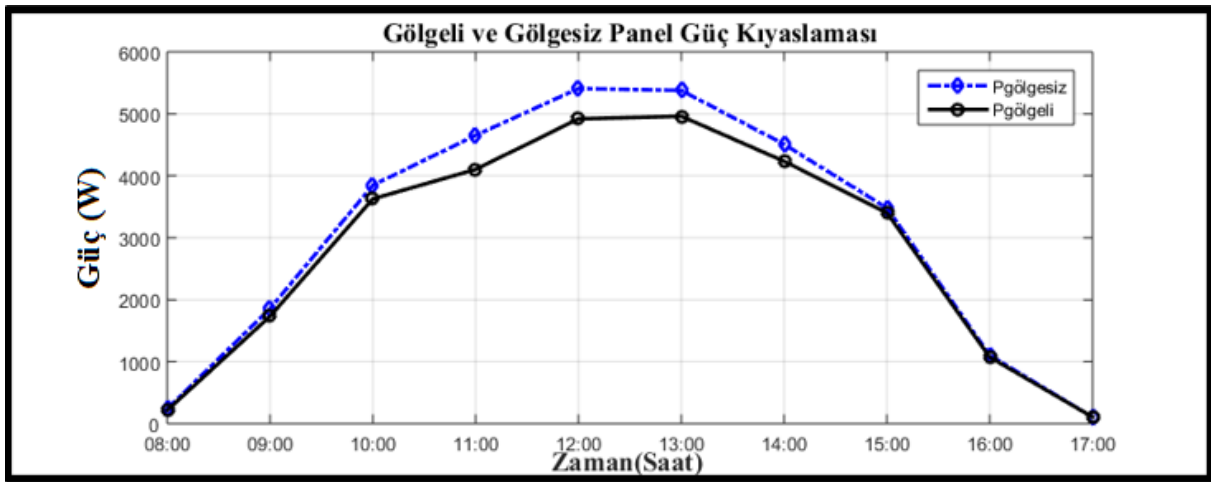
**Şekil 4.13.** Aydınlatma direği gölgesi saha görseli.

09.12.2022 tarihinde aynı şartlarda, belirlenen gölge alan ve gölge almayan dizilerde açık devre gerilimi ve kısa devre akımları ölçülmüştür. Bu tarihte hava güneşli olduğu için güneş ışıyım şiddeti daha yüksek seviyelerde olmuştur. Güneş ışıyım şiddeti daha yüksek seyrettiği için gölge alan ve gölge almayan dizi güçleri arasındaki güç farkları artmıştır. Ölçümler, fotovoltaik güç santralinde 22 adet panelin seri bağlanmasıyla oluşan, fotovoltaik modül eğim açısı  $25^\circ$  olan eş güçte panellerden elde edilmiştir. Ölçüm yapılırken 08:00 – 17:00 saatleri arasında gölge alan ve gölge almayan dizilerden saatlik değerler alınıp kaydedilmiştir. Tablo 4.10’da 09.12.2022 tarihinde gölge alan ve gölge almayan panellerin güneş ışıyım şiddeti ve hava sıcaklığı bilgilerine göre ölçülen kısa devre akımı, açık devre gerilimi ve güç karşılaştırması verilmiştir. Tablo 4.10. incelendiğinde tüm zamanlarda gölge almayan paneller, gölge alan panellere göre önemli üretim avantajı sağlamaktadır.

**Tablo 4.10.** 09.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken gölgeli ve gölgesiz panellerden elde edilen ölçümler.

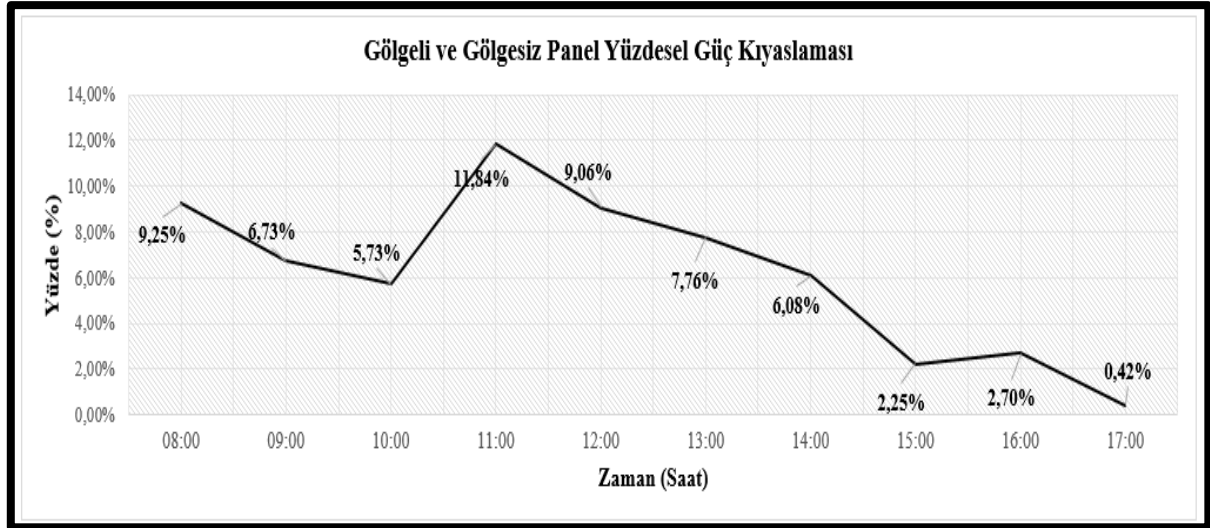
| Zaman<br>(Saat) | Gölgeli<br>Akım<br>A | Gölgesiz<br>Akım<br>A | Gölgeli<br>Gerilim<br>V | Gölgesiz<br>Gerilim<br>V | Gölgeli<br>Güç<br>W | Gölgesiz<br>Güç<br>W | Güneş<br>Işıyım<br>Şiddeti<br>(W/m <sup>2</sup> ) | Hava<br>Sıcaklığı<br>(°C) |
|-----------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|----------------------|---------------------------------------------------|---------------------------|
| 08:00           | 0,29                 | 0,32                  | 743,00                  | 742,00                   | 215,47              | 237,44               | 16,10                                             | 18,50                     |
| 09:00           | 2,24                 | 2,38                  | 773,00                  | 780,00                   | 1731,52             | 1856,40              | 235,30                                            | 19,50                     |
| 10:00           | 4,65                 | 4,92                  | 780,00                  | 782,00                   | 3627,00             | 3847,44              | 462,50                                            | 21,90                     |
| 11:00           | 5,37                 | 6,02                  | 764,00                  | 773,00                   | 4102,68             | 4653,46              | 614,80                                            | 22,90                     |
| 12:00           | 6,48                 | 7,07                  | 759,00                  | 765,00                   | 4918,32             | 5408,55              | 706,40                                            | 24,50                     |
| 13:00           | 6,51                 | 7,03                  | 762,00                  | 765,00                   | 4960,62             | 5377,95              | 701,40                                            | 30,70                     |
| 14:00           | 5,52                 | 5,87                  | 767,00                  | 768,00                   | 4233,84             | 4508,16              | 630,30                                            | 30,70                     |
| 15:00           | 4,43                 | 4,52                  | 768,00                  | 770,00                   | 3402,24             | 3480,40              | 469,60                                            | 25,50                     |
| 16:00           | 1,44                 | 1,48                  | 745,00                  | 745,00                   | 1072,80             | 1102,60              | 255,30                                            | 24,10                     |
| 17:00           | 0,15                 | 0,15                  | 703,00                  | 706,00                   | 105,45              | 105,90               | 26,50                                             | 22,90                     |

Şekil 4.14.'te 09.12.2022 tarihinde gölge alan ve gölge almayan olan dizilerin ölçülmesiyle elde edilen güç değerlerinin grafiği Matlab programında çizdirilmiştir. Grafikten anlaşılabacağı üzere güneş ışınlam şiddeti saat 10:00'dan sonra artmış ve en yoğun olduğu saat 12:00 olmuştur. 11:00 – 14:00 saatleri arasında gölge düşmeyen panellerden elde edilen güç miktarı daha üst seviyede olmaktadır. Grafikten gün boyunca en yüksek güç değerinin elde edildiği saat 12:00'da gölge düşmeyen diziden ölçülen güç değeri 5408 W iken gölge düşen diziden elde edilen güç değeri 4918 W olduğu anlaşılmaktadır. Bu saatte gölge düşmeyen dizi gölge düşen diziye göre %9,06 daha iyi üretim gerçekleştirmiştir. Bazı saatlerde güç miktarı daha düşük olmuş fakat gölge düşen ve gölge düşmeyen diziler arasındaki sapma miktarları artmıştır. Bu sapmalar ölçüm sırasındaki anlık ışınlam şiddeti değişimlerinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.14. 09.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken gölgeli ve gölgesiz panel güç kıyaslaması.

Aşağıda Şekil 4.15.'te 09.12.2022 tarihinde grafik olarak gölge düşen ve gölge düşmeyen diziler arasındaki sapma miktarları net bir şekilde görülmektedir. Güneş ışınlam şiddetine bağlı olarak gölge düşen ve gölge düşmeyen dizilerde oluşan en yüksek güç farkı 11:00'da 550 W olarak ölçülmüştür. Gün sonunda gölge alan ve gölge almayan diziler arasındaki güç farkı ortalaması %6,18 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.15'te gölge alan ve gölge almayan paneller arasındaki yüzdesel güç farkı grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde öğlen saatlerinde ışınlam seviyesinin artmasına bağlı olarak yüzdesel güç farkları artmış, öğleden sonra ışınlam seviyesinin azalmasıyla fark azalmıştır.



**Şekil 4.15.** 09.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken gölgeli ve gölgesiz panel yüzdesel güç kıyaslaması.

#### 4.1.3. Fotovoltaik Sistemde Modül Eğim Açısı Etkisi Analiz Sonuçları

Mersin’de bulunan fotovoltaik güç santraline ait çatı ve arazi sistem görüntüsü Şekil 4.16.’da verilmiştir. Arazi sisteminde panellerin eğim açısı  $25^\circ$ , çatılarda ise  $6^\circ$  ve  $14^\circ$  ile konumlandırılmıştır. Çatı sisteminde eğim açısı belirlenirken mevcut alandan en yüksek seviyede yararlanabilmek için açı değerleri değişkenlik göstermektedir. Açı değeri arttıkça yan ve arka sıralara gölge etkisi yaratacağından dolayı gölge etkisi olmaması için paneller arasında daha fazla boşluk bırakılması gerekecektir. Bu sebeple daha az sayıda panel kurulumu olacağından sistem kurulu gücünde düşüşler meydana gelecektir. Bu sebeple modül eğim açısı düşürülerek daha fazla güneş paneli kullanarak kurulu güç artırılmaktadır.



**Şekil 4.16.** Çatı ve arazi modül eğim açıları.

#### 4.1.3.1. Yük Altında İken Modül Eğim Açısı Etkisi Analiz Sonuçları

Yük altında yapılan ölçümlerde 08:00 – 17:00 saatleri arasında, güneşli bir havada, 1 saatlik periyotlarla akım ve gerilim değerleri ölçülerek güç değerleri hesaplanmıştır. Ölçümler, fotovoltaik güç santralinde eş güçte 22 panelin seri bağlanmasıyla oluşan dizilerden elde edilmiştir. Tablo 4.11’de 09.12.2022 tarihinde yük altında iken ölçüm sırasındaki güneş ışıınım şiddeti ve hava sıcaklığı bilgilerini dikkate alarak modül eğim açısı 6°, 14° ve 25° olan dizilerden elde edilen akım ölçümleri verilmiştir. Tablo 4.11. incelendiğinde tüm saatlerde modül eğim açısı 25° olan dizilerden ölçülen akım değerlerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir.

**Tablo 4.11.** 09.12.2022 tarihinde yük altında iken modül eğim açısı 6°, 14° ve 25° olan dizilerden elde edilen akım ölçümleri.

| Zaman<br>(Saat) | 6°<br>Akım (A) | 14°<br>Akım (A) | 25°<br>Akım (A) | İşınım<br>Şiddeti<br>(W/m <sup>2</sup> ) | Hava<br>Sıcaklığı<br>(°C) |
|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------------------------------|---------------------------|
| 08:00           | 0,45           | 0,51            | 0,92            | 16,10                                    | 18,50                     |
| 09:00           | 1,28           | 1,45            | 1,85            | 235,30                                   | 19,50                     |
| 10:00           | 2,68           | 3,15            | 4,03            | 462,50                                   | 21,90                     |
| 11:00           | 4,13           | 4,42            | 5,56            | 614,80                                   | 22,90                     |
| 12:00           | 4,62           | 5,18            | 6,15            | 706,40                                   | 24,50                     |
| 13:00           | 4,15           | 5,47            | 6,04            | 701,40                                   | 30,70                     |
| 14:00           | 3,83           | 5,10            | 5,25            | 630,30                                   | 30,70                     |
| 15:00           | 2,32           | 2,76            | 3,67            | 469,60                                   | 25,50                     |
| 16:00           | 1,17           | 1,25            | 1,34            | 255,30                                   | 24,10                     |
| 17:00           | 0,90           | 1,02            | 1,12            | 26,50                                    | 22,90                     |

Tablo 4.12’de 09.12.2022 tarihinde yük altında iken modül eğim açısı 6°, 14° ve 25° olan dizilerden elde edilen gerilim ölçümleri verilmiştir.

**Tablo 4.12.** 09.12.2022 tarihinde yük altında iken modül eğim açısı 6°, 14° ve 25° olan dizilerden elde edilen gerilim ölçümleri.

| Zaman<br>(Saat) | 6°<br>Gerilim<br>(V) | 14°<br>Gerilim<br>(V) | 25°<br>Gerilim<br>(V) | Işınım<br>Şiddeti<br>(W/m <sup>2</sup> ) | Hava<br>Sıcaklığı<br>(°C) |
|-----------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------------------|---------------------------|
| 08:00           | 661,00               | 655,00                | 625,00                | 16,10                                    | 18,50                     |
| 09:00           | 675,00               | 642,00                | 665,00                | 235,30                                   | 19,50                     |
| 10:00           | 657,00               | 643,00                | 599,00                | 462,50                                   | 21,90                     |
| 11:00           | 636,00               | 620,00                | 633,00                | 614,80                                   | 22,90                     |
| 12:00           | 623,00               | 615,00                | 623,00                | 706,40                                   | 24,50                     |
| 13:00           | 630,00               | 618,00                | 625,00                | 701,40                                   | 30,70                     |
| 14:00           | 635,00               | 625,00                | 630,00                | 630,30                                   | 30,70                     |
| 15:00           | 658,00               | 658,00                | 638,00                | 469,60                                   | 25,50                     |
| 16:00           | 649,00               | 574,00                | 647,00                | 255,30                                   | 24,10                     |
| 17:00           | 570,00               | 568,00                | 570,00                | 26,50                                    | 22,90                     |

Tablo 4.13'te 09.12.2022 tarihinde yük altında iken modül eğim açısı 6°, 14° ve 25° olan dizilerden elde edilen akım ve gerilim değerlerine göre hesaplanan güç değerleri verilmiştir. Tablo 4.13. incelendiğinde tüm saatlerde modül eğim açısı 25° olan dizilerde hesaplanan güç değerlerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir.

**Tablo 4.13.** 09.12.2022 tarihinde yük altında iken modül eğim açısı 6°, 14° ve 25° olan dizilerden elde edilen güç ölçümleri.

| Zaman<br>(Saat) | 6°<br>Güç (W) | 14°<br>Güç (W) | 25°<br>Güç (W) | Işınım<br>Şiddeti<br>(W/m <sup>2</sup> ) | Hava<br>Sıcaklığı<br>(°C) |
|-----------------|---------------|----------------|----------------|------------------------------------------|---------------------------|
| 08:00           | 297,45        | 334,05         | 575,00         | 16,10                                    | 18,50                     |
| 09:00           | 864,00        | 930,90         | 1230,25        | 235,30                                   | 19,50                     |
| 10:00           | 1760,76       | 2025,45        | 2413,97        | 462,50                                   | 21,90                     |
| 11:00           | 2626,68       | 2740,40        | 3519,48        | 614,80                                   | 22,90                     |
| 12:00           | 2878,26       | 3185,70        | 3831,45        | 706,40                                   | 24,50                     |
| 13:00           | 2614,50       | 3380,46        | 3775,00        | 701,40                                   | 30,70                     |
| 14:00           | 2432,05       | 3187,50        | 3307,50        | 630,30                                   | 30,70                     |
| 15:00           | 1526,56       | 1816,08        | 2341,46        | 469,60                                   | 25,50                     |
| 16:00           | 759,33        | 717,50         | 866,98         | 255,30                                   | 24,10                     |
| 17:00           | 513,00        | 579,36         | 638,40         | 26,50                                    | 22,90                     |

Tablo 4.13.'te 6°, 14° ve 25° modül eğim açısında konumlandırılan panellerden oluşan dizilerin açık devre gerilimi ve kısa devre akımları saatlik olarak değerleri verilmiştir. 11:00 – 13:00 saatleri arasında üç modül eğim açısında da ölçülen güç değerleri daha üst seviyede olmaktadır. Tablodan

görüldüğü üzere gün boyunca en yüksek güç değerinin elde edildiği saat 12:00'da 6° modül eğim açısında diziden ölçülen güç değeri 2878,26 W, 14° modül eğim açısında diziden ölçülen güç değeri 3185,70 W iken 25° modül eğim açısında diziden ölçülen güç değeri 3831,45 W olduğu anlaşılmaktadır. Modül eğim açısı arttıkça aynı güneş ışınlam şiddetinde güç değerinin arttığı görülmektedir. Bu saatte 25° modül eğim açısında ölçülen güç değeri ile 6° modül eğim açısında ölçülen güç değeri arasında 983 W güç farkı bulunmaktadır. 25° modül eğim açısında 6° modül eğim açısındaki diziye göre yaklaşık %25 daha fazla güç elde edilmektedir.

#### 4.1.3.2. Yüksüz Durumda İken Modül Eğim Açısı Etkisi Analiz Sonuçları

Fotovoltaik güç sisteminde modül eğim açısı etkisini gözlemlemek amacıyla 6°, 14° ve 25° eğime sahip olan fotovoltaik güç santralinde belirlenen dizilerde açık devre gerilimi ve kısa devre akımı ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler, fotovoltaik güç santralinde eş güçte 22 panelin seri bağlanmasıyla oluşan dizilerden elde edilmiştir. Yük altında yapılan ölçümlerde 08:00 – 17:00 saatleri arasında 1 saatlik periyotlarla akım ve gerilim değerleri ölçülerek güç değerleri hesaplanmıştır. Tablo 4.14'te 09.12.2022 tarihinde, açık bir havada yüksüz durumda iken ölçüm sırasındaki güneş ışınlam şiddeti ve hava sıcaklığı bilgilerini dikkate alarak modül eğim açısı 6°, 14° ve 25° olan dizilerden elde edilen akım ölçümleri verilmiştir. Tablo 4.14. incelendiğinde tüm saatlerde modül eğim açısı 25° olan dizilerden ölçülen akım değerlerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir.

**Tablo 4.14.** 09.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken modül eğim açısı 6°, 14° ve 25° olan dizilerden elde edilen akım ölçümleri.

| Zaman<br>(Saat) | 6°<br>Akım (A) | 14°<br>Akım (A) | 25°<br>Akım (A) | Güneş<br>Işınım<br>Şiddeti<br>(W/m <sup>2</sup> ) | Hava<br>Sıcaklığı<br>(°C) |
|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|---------------------------------------------------|---------------------------|
| 08:00           | 0,81           | 0,86            | 1,02            | 16,10                                             | 18,50                     |
| 09:00           | 1,48           | 1,87            | 2,38            | 235,30                                            | 19,50                     |
| 10:00           | 3,07           | 3,78            | 4,92            | 462,50                                            | 21,90                     |
| 11:00           | 4,66           | 5,25            | 6,30            | 614,80                                            | 22,90                     |
| 12:00           | 5,19           | 6,05            | 7,07            | 706,40                                            | 24,50                     |
| 13:00           | 4,60           | 6,44            | 7,03            | 701,40                                            | 30,70                     |
| 14:00           | 4,22           | 5,78            | 5,87            | 630,30                                            | 30,70                     |
| 15:00           | 2,60           | 3,40            | 4,52            | 469,60                                            | 25,50                     |
| 16:00           | 1,29           | 1,38            | 1,52            | 255,30                                            | 24,10                     |
| 17:00           | 1,15           | 1,11            | 1,18            | 26,50                                             | 22,90                     |

Tablo 4.15'te 09.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken modül eğim açısı 6°, 14° ve 25° olan dizilerden elde edilen gerilim ölçümleri verilmiştir.

**Tablo 4.15.** 09.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken modül eğim açısı 6°, 14° ve 25° olan dizilerden elde edilen gerilim ölçümleri.

| Zaman<br>(Saat) | 6°<br>Gerilim<br>(V) | 14°<br>Gerilim<br>(V) | 25°<br>Gerilim<br>(V) | Güneş<br>Işınım<br>Şiddeti<br>(W/m <sup>2</sup> ) | Hava<br>Sıcaklığı<br>(°C) |
|-----------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------------------------|---------------------------|
| 08:00           | 775,00               | 762,00                | 742,00                | 16,10                                             | 18,50                     |
| 09:00           | 768,00               | 784,00                | 780,00                | 235,30                                            | 19,50                     |
| 10:00           | 766,00               | 758,00                | 782,00                | 462,50                                            | 21,90                     |
| 11:00           | 751,00               | 748,00                | 773,00                | 614,80                                            | 22,90                     |
| 12:00           | 747,00               | 739,00                | 765,00                | 706,40                                            | 24,50                     |
| 13:00           | 746,00               | 745,00                | 765,00                | 701,40                                            | 30,70                     |
| 14:00           | 747,00               | 744,00                | 768,00                | 630,30                                            | 30,70                     |
| 15:00           | 751,00               | 753,00                | 770,00                | 469,60                                            | 25,50                     |
| 16:00           | 741,00               | 742,00                | 745,00                | 255,30                                            | 24,10                     |
| 17:00           | 662,00               | 650,00                | 706,00                | 26,50                                             | 22,90                     |

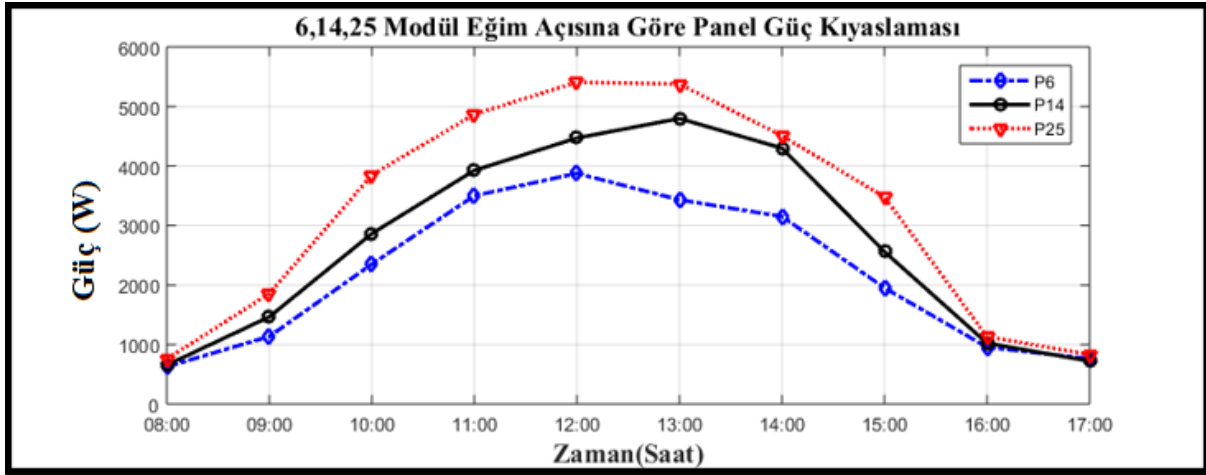
Tablo 4.16’da 09.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken modül eğim açısı 6°, 14° ve 25° olan dizilerden elde edilen akım ve gerilim değerlerine göre hesaplanan güç değerleri verilmiştir. Tablo 4.16. incelendiğinde tüm saatlerde modül eğim açısı 25° olan dizilerde hesaplanan güç değerlerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir.

**Tablo 4.16.** 09.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken modül eğim açısı 6°, 14° ve 25° olan dizilerden elde edilen güç ölçümleri.

| Zaman<br>(Saat) | 6°<br>Güç (W) | 14°<br>Güç (W) | 25°<br>Güç (W) | Güneş<br>Işınım<br>Şiddeti<br>(W/m <sup>2</sup> ) | Hava<br>Sıcaklığı<br>(°C) |
|-----------------|---------------|----------------|----------------|---------------------------------------------------|---------------------------|
| 08:00           | 627,75        | 655,32         | 756,84         | 16,10                                             | 18,50                     |
| 09:00           | 1136,64       | 1466,08        | 1856,40        | 235,30                                            | 19,50                     |
| 10:00           | 2351,62       | 2865,24        | 3847,44        | 462,50                                            | 21,90                     |
| 11:00           | 3499,66       | 3927,00        | 4869,90        | 614,80                                            | 22,90                     |
| 12:00           | 3876,93       | 4470,95        | 5408,55        | 706,40                                            | 24,50                     |
| 13:00           | 3431,60       | 4797,80        | 5377,95        | 701,40                                            | 30,70                     |
| 14:00           | 3152,34       | 4300,32        | 4508,16        | 630,30                                            | 30,70                     |
| 15:00           | 1952,60       | 2560,20        | 3480,40        | 469,60                                            | 25,50                     |
| 16:00           | 955,89        | 1023,96        | 1132,40        | 255,30                                            | 24,10                     |
| 17:00           | 761,30        | 721,50         | 833,08         | 26,50                                             | 22,90                     |

Şekil 4.17.’de 6°, 14° ve 25° modül eğim açısında konumlandırılan panellerden oluşan dizilerin açık devre gerilimi ve kısa devre akımlarının saatlik ölçülmesiyle elde edilen güç değerlerinin grafiği Matlab programında çizdirilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi güneş ışınım şiddeti saat 10:00’dan sonra artmış ve en yoğun olduğu saat 12:00 olmuştur. 11:00 – 13:00 saatleri arasında üç modül eğim açısında

da ölçülen güç değerleri daha üst seviyede olmaktadır. Grafikten gün boyunca en yüksek güç değerinin elde edildiği saat 12:00'da 6° modül eğim açısında diziden ölçülen güç değeri 3876 W, 14° modül eğim açısında diziden ölçülen güç değeri 4470 W iken 25° modül eğim açısında diziden ölçülen güç değeri 5408 W olduğu anlaşılmaktadır. Modül eğim açısı arttıkça aynı güneş ışınlam şiddetinde güç değerinin arttığı görülmektedir. Bu saatte 25° modül eğim açısında ölçülen güç değeri ile 6° modül eğim açısında ölçülen güç değeri arasında 1532 W güç farkı bulunmaktadır. 25° modül eğim açısında 6° modül eğim açısındaki diziye göre yaklaşık %28 daha fazla güç elde edilmektedir. Bazı saatlerde güç miktarı daha düşük olmuş fakat modül eğim açısına göre diziler arasındaki sapma miktarları artmıştır. Bu sapmalar ölçüm sırasındaki anlık ışınlam şiddetine bağlı olarak akım değişimlerinden kaynaklanmaktadır.



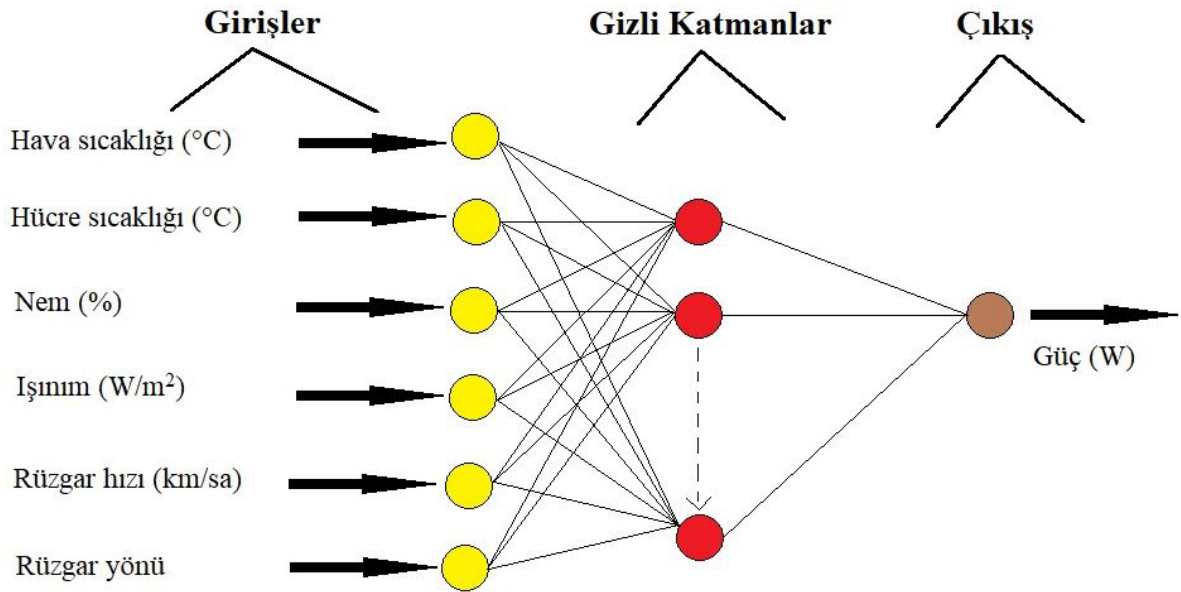
Şekil 4.17. 09.12.2022 tarihinde yüksüz durumda iken modül eğim açısı 6°, 14° ve 25° olan dizilerden elde edilen güç ölçümleri.

#### 4.2. Konum-2 YSA Tahmin Sonuçları

Tez çalışmasının bu bölümünde YSA tahmin sonuçları verilmiştir. Konum-2'de bulunan kurulumu yeni yapılan fotovoltaik sistemden günlük olarak 5 dakika aralıklarla hava sıcaklığı, hücre sıcaklığı, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, nem, ışınlam, panelden elde edilen güç değeri evirici mobil uygulama arayüzü ve sensörlerle alınıp Excel dosyasına işlenip kaydedilmiştir. Ölçümler Eylül 2022 ile Ocak 2023 arasında 5 aylık bir sürede gerçekleştirilmiştir. Ölçümler günlük olarak 08:00 – 18:00 arasında alınmıştır. Analizler farklı hava koşullarında, farklı ışınlam değerleri için gerçekleştirilmiştir. Yapay sinir ağı güç tahminlerinde Konum-1 ve Konum-2'den alınan ışınlam verileri ayrı ayrı ve birlikte analiz edilerek sonuçlar değerlendirilmiştir.

#### 4.2.1. 5 Aylık Tahmin Sonuçları

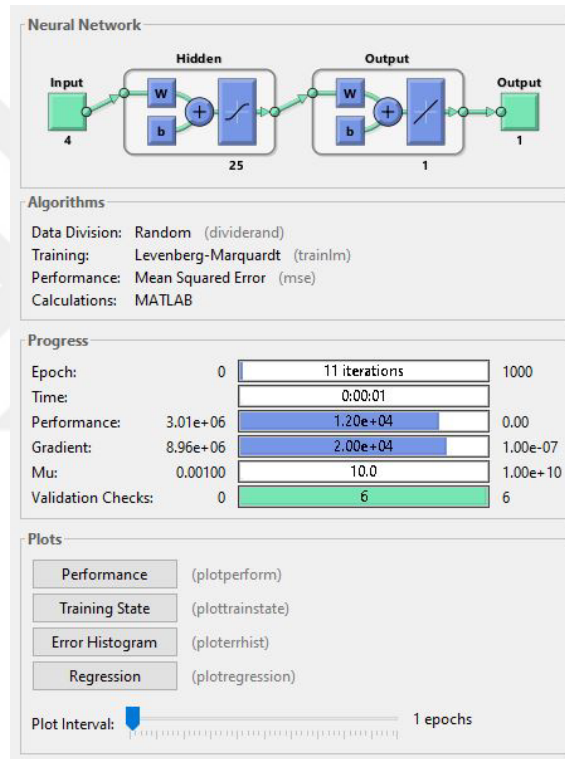
Eylül 2022 ile Ocak 2023 arasında 5 aylık bir sürede elde edilen veriler Matlab ortamında YSA algoritması kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen tüm veriler test verisi ve eğitim verisi olarak ayrılmıştır. YSA’da analiz yapılırken %70 eğitim ve %30 test verisi olarak girilmiştir. Yapılan çalışmada Eylül, Ekim ve Kasım aylarındaki veriler eğitim verileri olarak girilmiştir. Aralık ve Ocak aylarındaki veriler ise test verisi olarak belirlenmiştir. Eğitim verileri olarak algoritma kapsamında giriş verileri olarak hava sıcaklığı, hücre sıcaklığı, nem, ışınlım, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü verileri kullanılmıştır. Hava sıcaklığı ve nem verileri DHT11 ortam sıcaklık ve nem sensöründen ESP82 modülü sayesinde alınıp Excel olarak kaydedilmiştir. Hücre sıcaklığı ve ışınlım değerleri referans hücrelerden alınan ölçümlerle, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü verileri rüzgâr sensörleri sayesinde, güç değerleri ise eviriciye bağlı mobil uygulama üzerinden elde edilmiştir. YSA ile yapılan tahmin sonucunda çıkış olarak güç verileri elde edilmiştir. 5 aylık veriler baz alınarak tahmin edilen güç değerleri ile ölçüm sonucunda elde edilen gerçek güç değerlerinin grafikleri çizdirilmiştir. Şekil 4.18.’de güç tahmininde kullanılan yapay sinir ağı topolojisi verilmiştir.



Şekil 4.18. Güç tahmininde kullanılan yapay sinir ağı topolojisi.

Bu tez çalışmasında YSA analizleri yapılırken giriş verileri değiştirilerek elde sonuçların analizleri de yapılmıştır. Bu bağlamda analizler rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü kullanılarak elde edilen sonuçlar ve kullanılmadan elde edilen sonuçlar olarak ayrılmıştır. Ayrıca ışınlım verileri Konum-1 ve Konum-2’den alınarak çıkıştaki güç değerleri analiz edilmiştir. Analizler kapsamında 9 farklı çalışma yapılmıştır. Şekil 4.18.’deki topoloji sadece giriş verileri, yapılan 9 çalışmada farklılık göstermektedir. Giriş verisi dışındaki genel yapı tüm çalışmada aynı seçilmiştir. Giriş verileri ilk üç analizde hava

sıcaklığı, hücre sıcaklığı, nem, Konum-2 ışıınımı verileri, 4., 5. ve 6. analizlerde hava sıcaklığı, hücre sıcaklığı, nem, Konum-2 ışıınımı, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü verileri, 7. analizde hava sıcaklığı, hücre sıcaklığı, nem, Konum-1 ışıınımı verileri, 8. analizde hava sıcaklığı, hücre sıcaklığı, nem, Konum-1 ışıınımı, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü verileri, 9. analizde hava sıcaklığı, hücre sıcaklığı, nem, Konum-1 ve Konum-2 ışıınımı verileri seçilmiştir. Yapılan çalışmalar kapsamında YSA Matlab tahmin algoritmasına ait genel yapı Şekil 4.19.'da verilmiştir. Algoritmada tek gizli katman kullanılıp gizli katman nöron sayısı 25 olarak seçilmiştir. Eğitim algoritması olarak Levenberg-Marquardt (trainlm) seçilmiştir. Aktivasyon fonksiyonu olarak Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu kullanılmıştır. YSA, çok katmanlı, ileri beslemeli ve geriye yayılımlıdır. YSA aşamalarında en uygun iterasyon sayısı deneme yapılarak belirlenmiştir. En iyi sonuç alınana kadar algoritma çalıştırılmıştır.

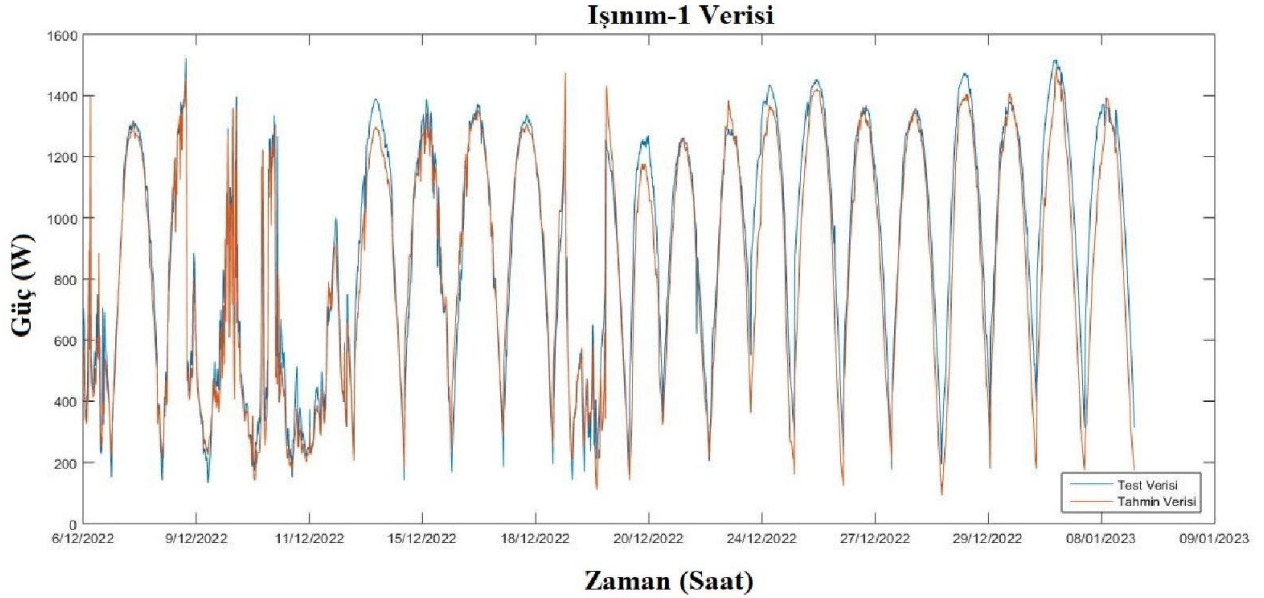


Şekil 4.19. YSA Matlab tahmin algoritmasına ait genel yapı.

#### 4.2.2. Çalışma-1 Analiz Sonuçları

Çalışma-1 analizleri kapsamında hava sıcaklığı, hücre sıcaklığı, nem, ışıınım giriş verileri baz alınarak Şekil 4.20'de Aralık ve Ocak aylarına ait YSA sonucu tahmin edilen güç değerleri ve ölçülen güç değerlerinin zamana bağlı grafiği verilmiştir. Ölçülen güç değerleri YSA'da test verisi olarak tanımlanmıştır. Çalışma-1 yapılırken giriş verisi olarak rüzgâr verisi kullanmadan Konum-2'den elde edilen ışıınım değerlerine göre analizler yapıp grafikler çizdirilmiştir. Konum-2'den elde edilen ışıınım verileri grafiklerde ışıınım-1 Verisi olarak tanımlanmıştır. Grafikten görüleceği üzere güç değerlerinde ani yükseliş ve düşüşler gözlemlenmektedir. Bu durumun temel sebebi fotovoltaiik modül üzerine düşen

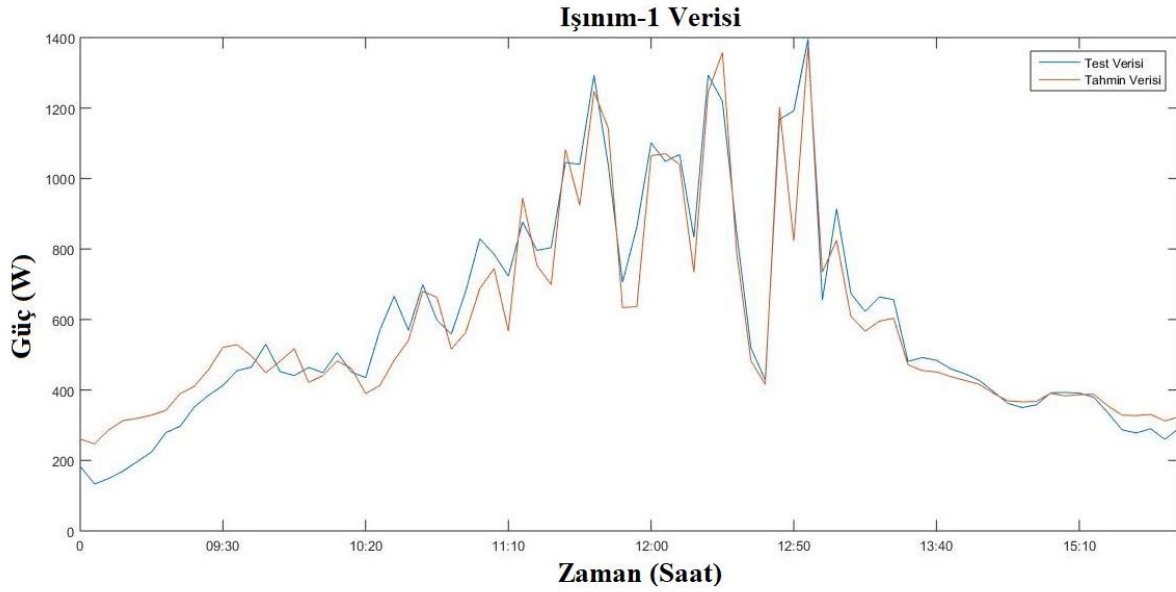
güneş ışınlamına bağlı olarak verilerin ani olarak değişiklik göstermesidir. Güneş ışınlamının yüksek olduğu zamanlarda güç değerleri artarken düşük olan zamanlarda azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca tahmin edilen güç değerleri ile gerçek güç değerleri arasında farkın minimum seviyelerde olduğu görülmektedir. Küçük de olsa oluşan farkın sebebi ışınlam değerlerinin saniye mertebesinde değişkenlik göstermesinden dolayı YSA tahmininde farklılık ve sapmalar oluşturmaktadır.



Şekil 4.20. Işınım-1 YSA test ve tahmin verisi çıktıları.

#### 4.2.3. Çalışma-2 Analiz Sonuçları

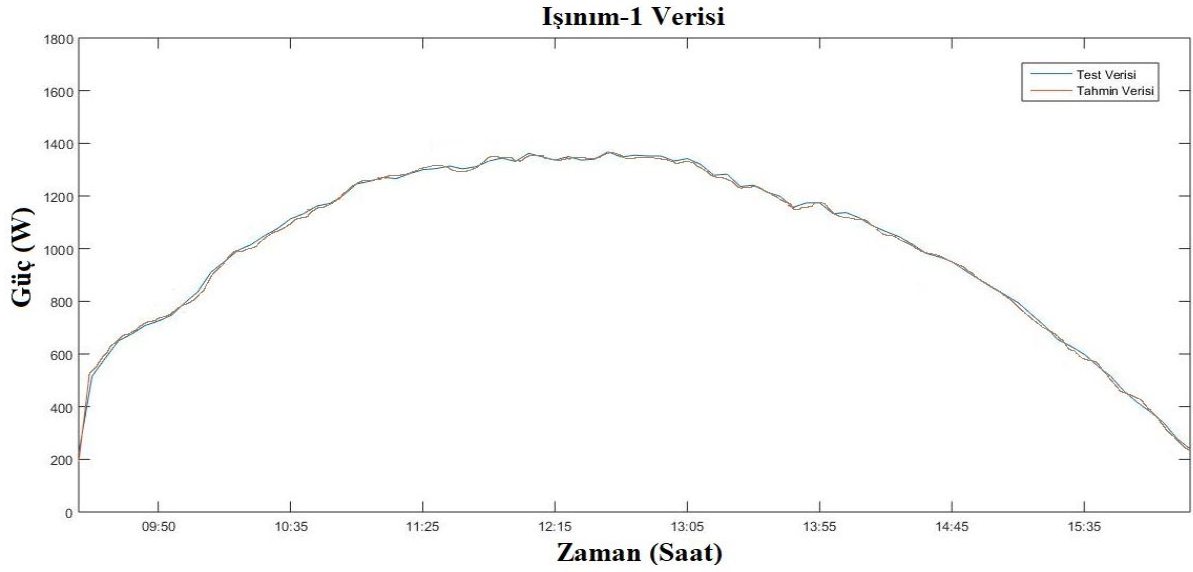
Çalışma-2 analizleri kapsamında hava sıcaklığı, hücre sıcaklığı, nem, Konum-2 ışınlam giriş verileri baz alınarak Şekil 4.21’de 11 Aralık 2022 gününe ait YSA sonucu tahmin edilen güç değerleri ve ölçülen güç değerlerinin zamana bağlı grafiği verilmiştir. Ölçülen güç değerleri YSA’da test verisi olarak tanımlanmıştır. Bu tarihte çok bulutlu hava koşullarında YSA sonucu elde edilen tahmin edilen güç değeri ve gerçek güç değerlerini analiz etmek amaçlanmıştır. Havanın çok bulutlu olmasından dolayı ışınlam değerleri düzensiz seyrettiğinden sağlıklı veriler saat 09:00 itibarıyla alınabilmektedir. Öğlen saatlerine kadar güç değerleri düşük seviyelerde artmış öğlen saatlerinde güneşin kısmen etkisini göstermesiyle güç değerleri dalgalı bir eğilim göstermiştir. Saat 13:00’ten sonra da güç değerleri sönümlenip stabil hale gelmiştir. Ayrıca tahmin edilen güç değerleri ile gerçek güç değerleri arasındaki fark ışınlam seviyelerindeki belirsizlik ve dalgalanmalar sebebiyle sapmalara sebep olmuştur. Havanın çok bulutlu olmasının yanında mevsim geçişi de sapmalarda etkili olmuştur. Kış mevsiminde hava koşulları daha fazla değişkenlik gösterdiği bilinmektedir.



**Şekil 4.21.** 11 Aralık 2022 çok bulutlu hava durumu için ışıınım-1 YSA test ve tahmin verisi çıkışları.

#### 4.2.4. Çalışma-3 Analiz Sonuçları

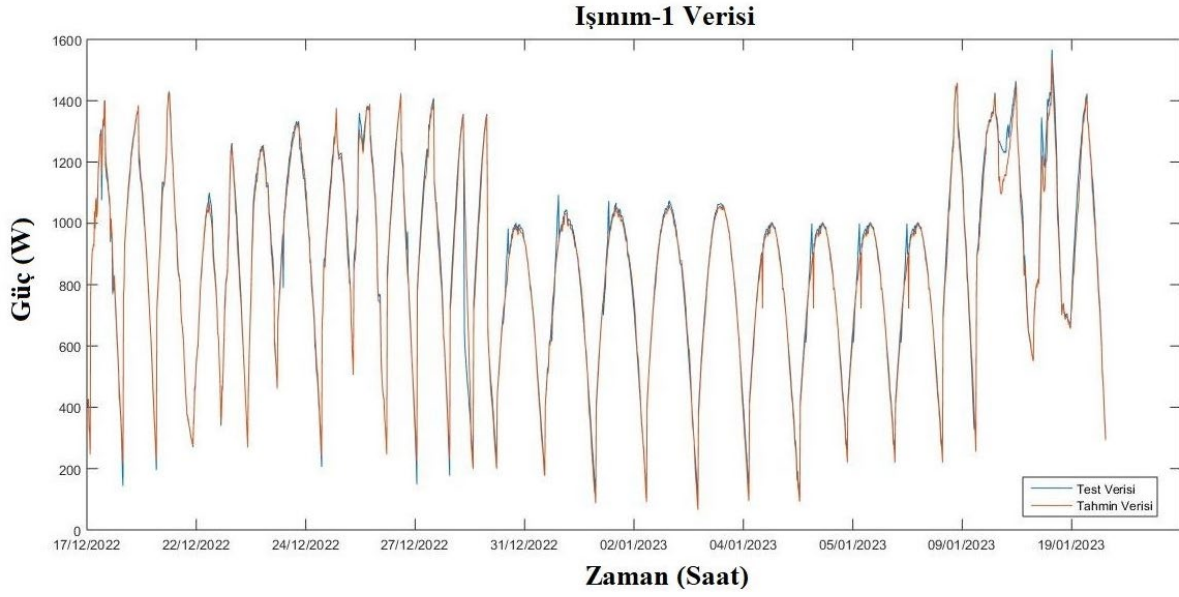
Çalışma-3 analizleri kapsamında hava sıcaklığı, hücre sıcaklığı, nem, Konum-2 ışıınım giriş verileri baz alınarak Şekil 4.22’de 28 Aralık 2022 gününe ait YSA sonucu tahmin edilen ve test verilerinin zamana bağlı grafiği verilmiştir. Bu tarihte güneşli hava koşullarında YSA sonucu elde edilen tahmin edilen güç değeri ve gerçek güç değerlerini analiz etmek amaçlanmıştır. Havanın güneşli olmasından dolayı veriler daha sağlıklı bir şekilde alınmıştır. Öğlen saatlerinde tahmin edilen ve gerçekleşen güç değerleri 1400 W seviyelerine kadar ulaşmıştır. Grafikten de görüleceği üzere güç değerleri daha düzenli artıp azalmıştır. Kış ayı olduğu için güç değerleri geç saatte yüksek seviyelere ulaşmış öğleden sonra erken saatlerde düşüşe geçmiştir. Ayrıca tahmin edilen güç değerleri ile gerçek güç değerleri arasındaki fark ışıınım seviyelerinin düzenli seyretmesinden dolayı birbirine çok yakın olmuştur. Grafikte görülen sapmaların ana sebebi mevsim itibariyle güneşin zaman zaman etkisini kaybetmesi ve güneşin daha geniş açıyla gelmesinden dolayı YSA analizlerini etkilemesidir. Bu etkilerin yanında verilerin alındığı sensörlerin kısmı bulutluluk, toz ve çevresel etkenlerle hassasiyete etki etmesidir.



**Şekil 4.22.** 28 Aralık 2022 güneşli ve açık hava durumu için ışınlm-1 YSA test ve tahmin verisi çıkışları.

#### 4.2.5. Çalışma-4 Analiz Sonuçları

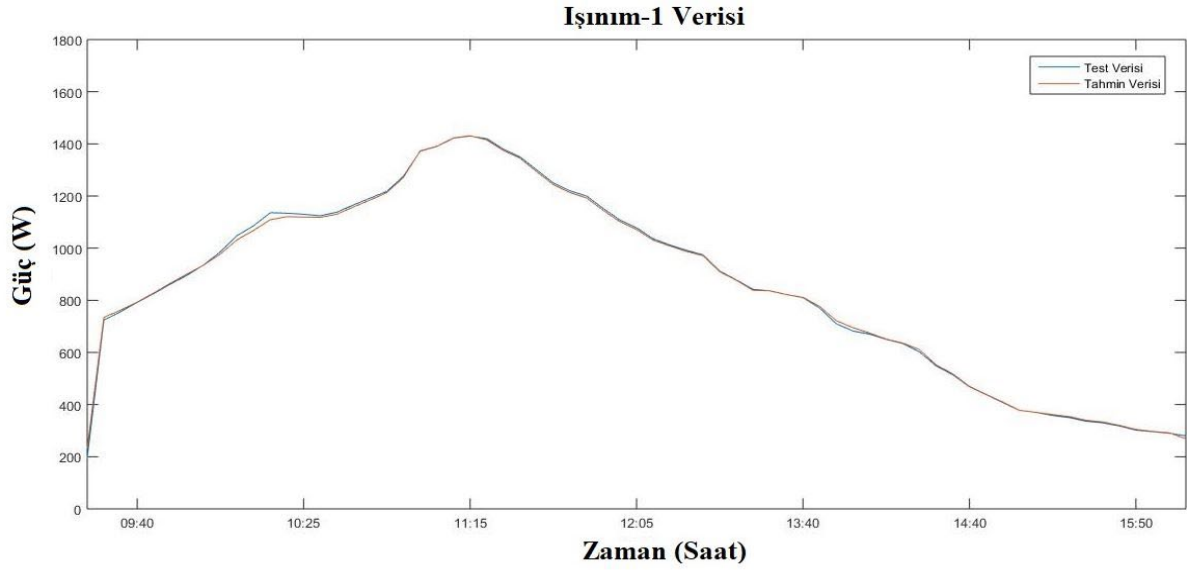
Çalışma-4 analizleri kapsamında hava sıcaklığı, hücre sıcaklığı, nem, Konum-2 ışınlm giriş verileri baz alınarak Şekil 4.23.'de Aralık ve Ocak aylarına ait YSA sonucu tahmin edilen güç değerleri ve ölçülen güç değerlerinin zamana bağlı grafiği verilmiştir. Ölçülen güç değerleri YSA'da test verisi olarak tanımlanmıştır. Çalışma-1'den farklı olarak giriş verilerine rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü verileri de eklenmiştir. Grafikte zamansal olarak başlangıç ve bitiş verileri alınırken sağlıklı alınan veriler göz önünde bulundurulmuştur. Bu sebeple test verileri gün bazında değişkenlik göstermektedir. Benzer şekilde fotovoltaik modül üzerine düşen güneş ışınlmına bağlı olarak tahmin edilen ve gerçek güç değerlerinde dalgalanmalar, yükselişler ve düşüşler meydana gelmiştir. Güneş ışınlmının yüksek olduğu zamanlarda güç değerleri artarken düşük olan zamanlarda azaldığı gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.23.** Işınım-1 YSA test ve tahmin verisi çıktıları.

#### 4.2.6. Çalışma-5 Analiz Sonuçları

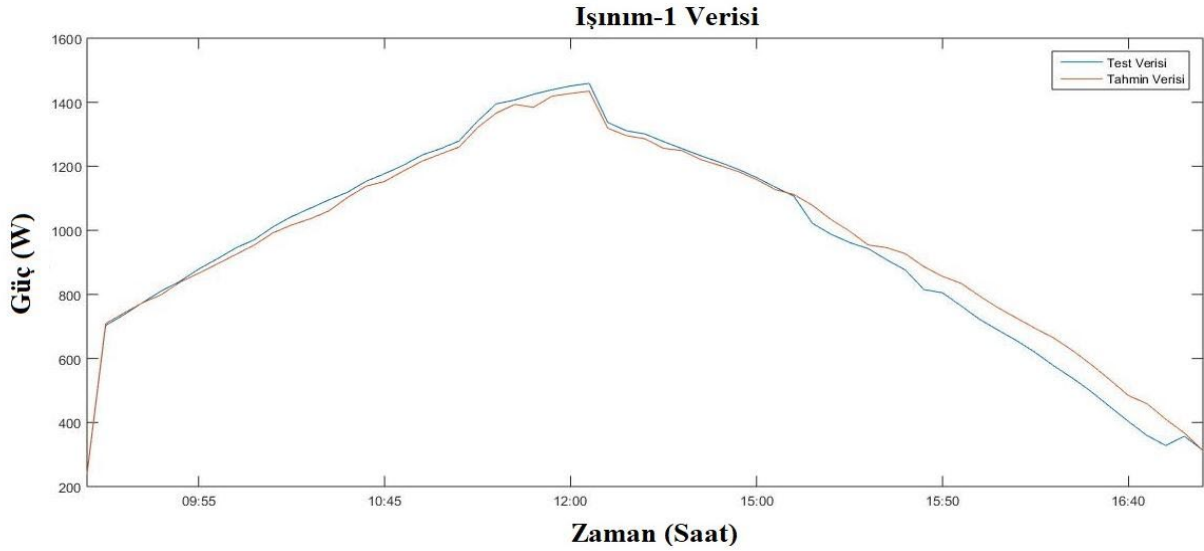
Çalışma-5 analizleri kapsamında hava sıcaklığı, hücre sıcaklığı, nem, Konum-2 ışıınım giriş verileri baz alınarak Şekil 4.24'te 20 Aralık 2022 gününe ait YSA sonucu tahmin edilen güç değerleri ve ölçülen güç değerlerinin zamana bağlı grafiği verilmiştir. Ölçülen güç değerleri YSA'da test verisi olarak tanımlanmıştır. Bu tarihte çok bulutlu hava koşullarında YSA sonucu elde edilen tahmin edilen güç değeri ve gerçek güç değerlerini analiz etmek amaçlanmıştır. Çalışma-2'den farklı olarak giriş verilerine rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü verileri de eklenmiştir. Havanın çok bulutlu olmasından dolayı ışıınım değerleri düzensiz seyrettiğinden sağlıklı veriler saat 09:00 ile 16:00 saatleri arasında alınabilmektedir. Grafikten görüleceği üzere tahmin edilen güç değerleri ve gerçek güç değerleri saat 11:15'e kadar artış göstermiş daha sonrasında havanın çok bulutlu olmasından dolayı güneş ışıınım seviyesinin azalmasına bağlı olarak azalmıştır. Tahmin edilen güç değerleri ile gerçek güç değerleri arasındaki fark yok denecek kadar az seviyelerde gerçekleşmiştir.



**Şekil 4.24.** 20 Aralık 2022 çok bulutlu hava durumu için ışıınım-1 YSA test ve tahmin verisi çıkışları.

#### 4.2.7. Çalışma-6 Analiz Sonuçları

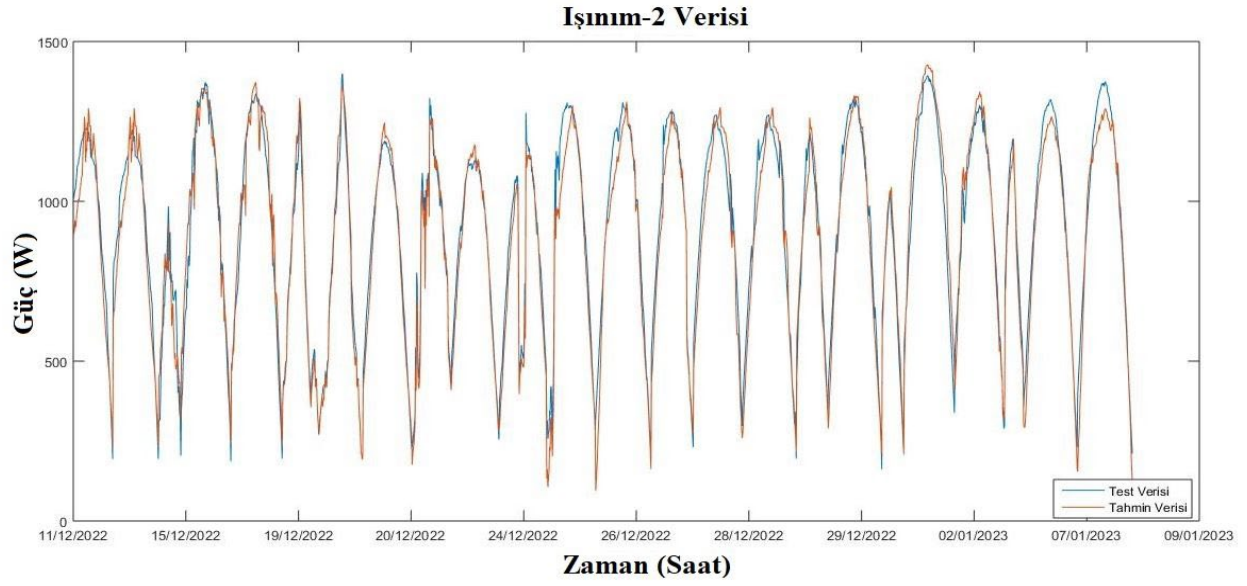
Çalışma-6 analizleri kapsamında hava sıcaklığı, hücre sıcaklığı, nem, Konum-2 ışıınım giriş verileri baz alınarak Şekil 4.25'te 9 Ocak 2022 gününe ait YSA sonucu tahmin edilen güç değerleri ve ölçülen güç değerlerinin zamana bağlı grafiği verilmiştir. Ölçülen güç değerleri YSA'da test verisi olarak tanımlanmıştır. Bu tarihte güneşli hava koşullarında YSA sonucu elde edilen tahmin edilen güç değeri ve gerçek güç değerlerini analiz etmek amaçlanmıştır. Çalışma-3'ten farklı olarak giriş verilerine rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü verileri de eklenmiştir. Öğlen saatlerinde tahmin edilen ve gerçekleşen güç değerleri 1400 W seviyelerine kadar ulaşmıştır. Grafikten de görüleceği üzere güç değerleri daha düzenli artıp azalmıştır. Kış ayı olduğu için güç değerleri geç saatte yüksek seviyelere ulaşmış öğleden sonra erken saatlerde düşüşe geçmiştir. Grafikte görülen sapmaların ana sebebi mevsim itibarıyla güneşin zaman zaman etkisini kaybetmesi ve güneşin daha geniş açıyla gelmesinden dolayı YSA analizlerini etkilemesidir. Bu etkilerin yanında verilerin alındığı sensörlerin kısmı bulutluluk, toz ve çevresel etkenlerle hassasiyete etki etmesidir.



**Şekil 4.25.** 9 Ocak 2023 güneşli ve açık hava durumu için ışıınım-1 YSA test ve tahmin verisi çıkışları.

#### 4.2.8. Çalışma-7 Analiz Sonuçları

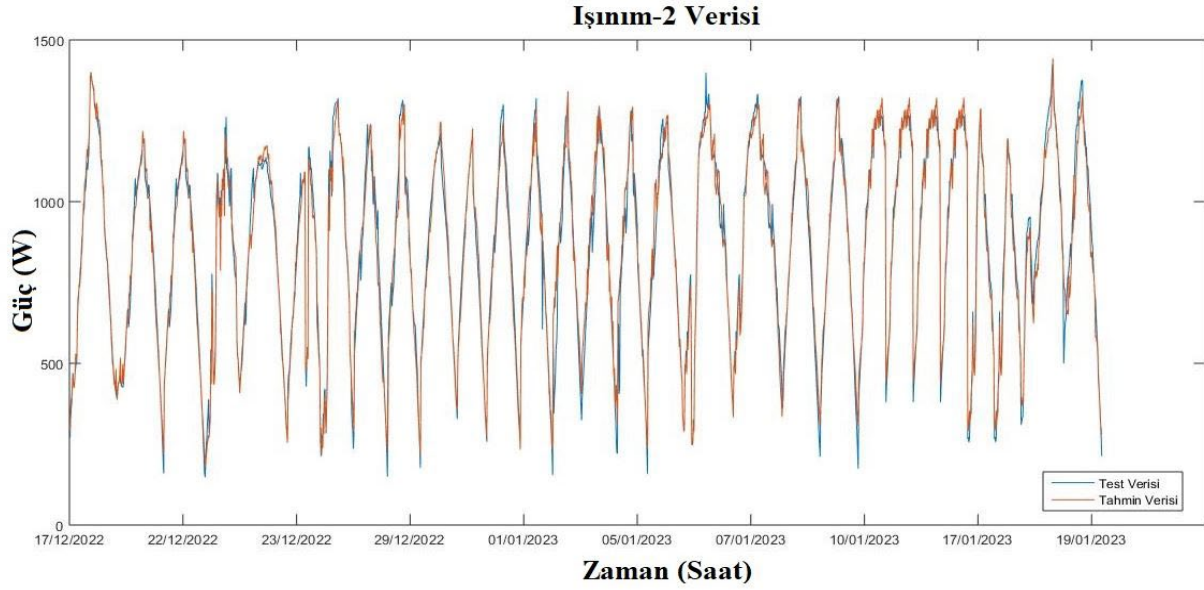
Çalışma-7 analizleri kapsamında giriş verisi olarak hava sıcaklığı, hücre sıcaklığı, nem, Konum-1 ışıınımı baz alınarak Şekil 4.26'da Aralık ve Ocak aylarına ait YSA sonucu tahmin edilen güç değerleri ve ölçülen güç değerlerinin zamana bağlı grafiği verilmiştir. Konum-1'den elde edilen ışıınım verileri grafiklerde ışıınım-2 Verisi olarak isimlendirilmiştir. Ölçülen güç değerleri YSA'da test verisi olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmaya kadar yapılan analizlerde Konum-2'den alınan verilere göre analizler yapılmıştır. Bundan sonraki analizlerde Konum-1'den elde edilen ışıınım verileri de kullanılarak çıkıştaki güç değerleri analiz edilecektir. ışıınım dışındaki giriş verileri aynı verilerden oluşmaktadır. Çalışma-7'de giriş verisi olarak rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü verileri kullanılmamıştır. Mesafe farklılığından dolayı bölgesel bulutlanmaların etkisiyle birkaç günde ölçülen ve tahmin edilen güç değerlerinde farklılıklar oluşmuştur. Dalgalanmalarda sağlıklı alınamayan verilerin farklı günlerde analizden çıkarılması da etkili olmuştur. Konum-2 ve Konum-1'den elde edilen ışıınım verilerine göre yapılan analizler karşılaştırıldığında tahmin edilen güç değerleri ile gerçek güç değerleri 1400-1500 W seviyelerine kadar ulaşmaktadır. Çalışma-7'deki Şekil 4.26.'daki grafikten görüleceği üzere güç değerlerinde ani yükseliş ve düşüşler gözlemlenmektedir. Bu durumun temel sebebi fotovoltaiik modül üzerine düşen güneş ışıınımına bağlı olarak verilerin ani olarak değişiklik göstermesidir. Güneş ışıınımının yüksek olduğu zamanlarda güç değerleri artarken düşük olduğu zamanlarda azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca tahmin edilen güç değerleri ile gerçek güç değerleri arasında farkın minimum seviyelerde olduğu görülmektedir.



**Şekil 4.26.** Işınım-2 YSA test ve tahmin verisi çıkışları.

#### 4.2.9. Çalışma-8 Analiz Sonuçları

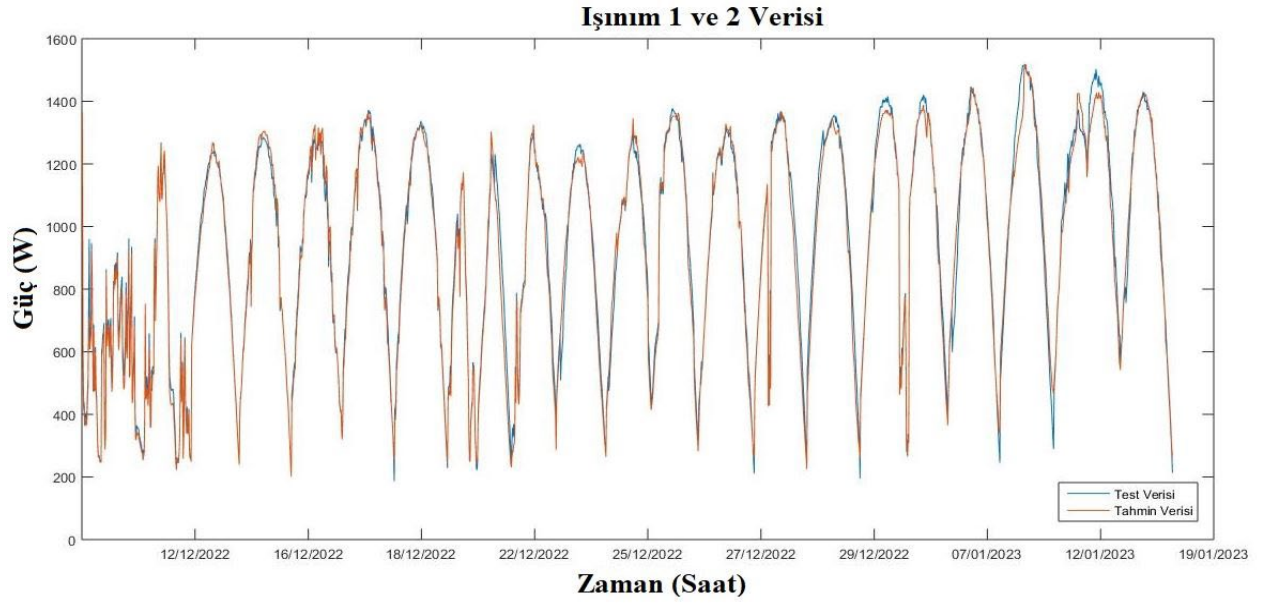
Çalışma-8 analizleri kapsamında giriş verisi olarak hava sıcaklığı, hücre sıcaklığı, nem, Konum-1 ışıınım verileri baz alınarak Şekil 4.27’de Aralık ve Ocak aylarına ait YSA sonucu tahmin edilen güç değerleri ve ölçülen güç değerlerinin zamana bağlı grafiği verilmiştir. Ölçülen güç değerleri YSA’da test verisi olarak tanımlanmıştır. Çalışma-8’de giriş verisi olarak rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü verileri kullanılmıştır. Mesafe farklılığından dolayı bölgesel bulutlanmaların etkisiyle birkaç günde dalgalanmalarda farklılıklar oluşmuştur. Dalgalanmalarda sağlıklı alınamayan verilerin analizden çıkarılması da etkili olmuştur. Konum-2 ve Konum-1’den elde edilen ışıınım verilerine göre yapılan analizler karşılaştırıldığında tahmin edilen güç değerleri ile gerçek güç değerleri 1400-1500 W seviyelerine kadar ulaşmaktadır. Ayrıca tahmin edilen güç değerleri ile gerçek güç değerleri arasında farkın minimum seviyelerde olduğu görülmektedir.



**Şekil 4.27.** Işınım-2 YSA test ve tahmin verisi çıkışları.

#### 4.2.10. Çalışma-9 Analiz Sonuçları

Çalışma-9 analizleri kapsamında hava sıcaklığı, hücre sıcaklığı, nem, Konum-1 ve Konum-2 ışıınım giriş verileri baz alınarak Şekil 4.28’de Aralık ve Ocak aylarına ait YSA sonucu tahmin edilen güç değerleri ve ölçülen güç değerlerinin zamana bağlı grafiği verilmiştir. Ölçülen güç değerleri YSA’da test verisi olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada Konum-2 ve Konum-1’den elde edilen ışıınım verileri ikisi birden YSA’da giriş verisi olarak alınmıştır. Bu giriş verilerine göre çıkıştaki güç değerleri analiz edilecektir. Grafikte görülen dalgalanmaların olduğu günlerde aralarında mesafe bulunan veri ölçüm noktalarındaki hava şartlarının anlık olarak değişkenlik göstermesi etkili olmuştur. Konum-2 ve Konum-1’den elde edilen ışıınım verilerine göre yapılan analizler karşılaştırıldığında tahmin edilen güç değerleri ile gerçek güç değerleri 1400-1500 W seviyelerine kadar ulaşmaktadır. Sonuç olarak her iki ışıınım değeri giriş verisi olarak kullanıldığında YSA tahmin edilen güç ve gerçek güç değerlerinin birbirlerine çok yakın gerçekleştiği tespit edilmiştir.



**Şekil 4.28.** Işınım 1 ve 2, YSA test ve tahmin verisi çıkışları.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Fotovoltaik güç santralleri kurulumlarında karşılaşılan en önemli problemlerden birisi kurulum aşamasında ortaya çıkan maliyetlerdir. Fotovoltaik güç santralleri kurulmadan önce bölgeye ait güneş enerjisi potansiyelinin önceden analiz edilmesi santralden elde edilecek enerji üretim performansı açısından oldukça önemlidir. Elektrik üretim performansını önceden analiz edebilmek için fotovoltaik panellerin ürettiği elektrik enerjisi miktarını etkileyen faktörler tespit edilmelidir. Öncelikle güneş paneline yansıyan güneş ışınım şiddeti, sonrasında ortam sıcaklığı, nem oranı, rüzgâr hızı gibi meteorolojik parametrelerin takibi yapılmalıdır. Takibi yapılması gereken bu parametreler çevresel faktörlerden etkilenmektedir. Çevresel faktörlere bağlı olarak güneş panellerinin çıkış güçlerinin önceden analiz edilmesi gerekmektedir. Bu sayede yapılacak olan yatırımlardan sağlanacak faydalar daha iyi seviyede olacaktır.

Yapılan bu tez çalışmasında mevcutta kurulu olan fotovoltaik güç sistemine ait yapılan ölçümler ışığında performans analizleri ve yeni kurulumu yapılan 3 kW fotovoltaik güç sisteminden elde edilen veriler kullanılarak Matlab programında ileri beslemeli YSA ile güç tahminleri yapılmıştır. Mevcutta kurulu olan fotovoltaik güç santralinde farklı hava koşulları, farklı tozlanma, gölgelenme ve panel eğim açılarına göre tozlanma, gölgelenme ve farklı modül eğim açısı durumlarında yapılan akım ve gerilim ölçümleri sonucunda hesaplanan güç değerleri analiz edilmiştir. Yapılan akım ve gerilim ölçümleri yük altında ve yüksüz durumlar için ayrı ayrı incelenmiştir. Tozlanma analizleri sonucunda aynı eğim açısında, ışınım şiddeti ve hava durumu dikkate alınarak 18 adet panelin seri bağlanmasıyla oluşturulan dizide 1 saat aralıklarla yapılan ölçümlerde yük altında, az bulutlu bir havada temiz ve kirli paneller arasında günlük ortalama %20'lere varan güç farklarının olduğu gözlemlenmiştir. Aynı dizde parçalı bulutlu havada yapılan ölçüm sonucunda ise günlük ortalama %9,32 güç farkının olduğu tespit edilmiştir. 22 adet panelin seri bağlandığı, parçalı bulutlu bir havada günlük ortalama güç farkının %7,47, güneşli bir havada ise %7,35 olduğu hesaplanmıştır. Yüksüz durumda ise 22 adet panelin seri bağlandığı, parçalı bulutlu bir havada günlük ortalama güç farkının %8,23, güneşli bir havada ise %8,29 olduğu tespit edilmiştir. Gölgelenme analizleri sonucunda eş güçte, aynı eğim açısında yük altında yapılan ölçümlerde parçalı bulutlu havada gölge alan ve gölge almayan diziler arasındaki güç farkı %10, güneşli bir havada yapılan ölçümlerde ise %14'tür. Yüksüz durumda yapılan ölçümlerde ise parçalı bulutlu havada gölge alan ve gölge almayan paneller arasındaki güç farkı %6,20 iken güneşli bir havada yapılan ölçümlerde %6,18 olduğu tespit edilmiştir. Performans analizleri kapsamında yük altında ve yüksüz durumda yapılan ölçümler sonucunda ise en yüksek güç değeri enlem etkisiyle de 25°'de elde edilmiştir.

Kurulumu yapılan 3 kW fotovoltaik güç sisteminde ise mevcutta bulunan güneş ışınım sensörü, sıcaklık ve nem sensörlerinden alınan veriler ışığında çevresel faktörleri ve hava koşullarını dikkate alarak gerçekleşen güç değerleri ile tahmin sonucunda elde edilen güç değerlerinin kıyaslamaları yapılmıştır. Kurulan bu sistemden evirici mobil arayüzü üzerinden sisteme ait üretilen güç değerleri elde

edilmiştir. Giriş verisi olarak hava sıcaklığı, hücre sıcaklığı, nem, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, ışıınım verileri, çıkış verisi olarak ise evirici güç verisi kullanılarak YSA güç tahmini yapılmıştır. Işıınım verileri 2 farklı lokasyondan elde edilmiştir. İlk olarak bu tez çalışmasında Konum-2 olarak isimlendirilen Mersin Üniversitesi fakülte çatısında bulunan referans hücrelerden, ikinci olarak Konum-1 olarak isimlendirilen 35 km uzaklıkta bulunan güneş enerji santrali referans hücrelerinden alınıp Excel'e kaydedilmiştir. Ölçümler 5 aylık sürede gerçekleştirilmiştir. Güç tahminleri için yapılan analizlerde 9 farklı çalışma yapılmıştır. Çalışmalarda yapay sinir ağı tahminler yapılırken giriş verilerinde değişiklikler yapılarak tahmin edilen güç farklılıkları elde edilen grafiklerle analiz edilmiştir. Ayrıca havanın güneşli ve bulutlu olması durumları için ölçülen güç ile tahmin edilen güç değerleri arasındaki sapma miktarları incelenmiştir. İlk üç çalışmada yapay sinir ağı tahmin algoritmasında giriş verisi olarak hava sıcaklığı, hücre sıcaklığı, nem ve Konum-2 güneş ışıınımı giriş verisi olarak alınmış, çıkış olarak ölçülen güç verisi kullanılmıştır. Sonuçta ölçülen ve tahmin güç değerleri analiz edilmiştir. Çalışma-1'de 5 aylık elde edilen veriler analiz edilmiş, Çalışma-2'de 11 Aralık 2022 tarihinde çok bulutlu havada dalgalanmalı ışıınım değeri için analiz yapılmış, Çalışma-3'te ise 28 Aralık 2022 tarihinde güneşli havada ışıınım seviyesinin daha yüksek olduğu durumda ölçülen ve tahmin edilen güç değerleri analiz edilmiştir. Bu 3 çalışmadan ışıınım seviyesi yüksek olduğu durumda oluşan grafiğin sinüzoidale daha yakın olduğu, bulutlu havada ise güneş ışıınım seviyesindeki belirsizlikten dolayı ölçülen güç ve tahmin edilen güç arasında sapmalara neden olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca bulutlu havada güçler geç saatlerde yüksek seviye ulaşmış fakat erken düşüşe geçmiştir. Çalışma-4, 5 ve 6'da ise giriş verisi olarak ilave olarak rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü verileri de eklenerek veri sayısı artırılmış ve dolayısıyla tahmin algoritmasının çevre şartlarına karşı hassasiyeti artırılmıştır. İlk üç çalışmada olduğu için bulutlu ve güneşli durumlar ayrı ayrı incelenmiştir. Çalışma-4'te rüzgâr verisinin eklenmesiyle Çalışma-1'e göre ölçülen güç değeri ile tahmin edilen güç değeri grafiğindeki dalgalanma şekillerinin değiştiği fakat elde edilen sonuçlardaki sapmaların minimum seviyede olduğu anlaşılmıştır. Güneş ışıınımı ve rüzgâr verilerine göre dalgalanma zaman ve miktarlarında değişiklikler olmuştur. Çalışma-5'te 20 Aralık 2022 tarihinde çok bulutlu havada değişken ışıınım değeri için analiz yapılmış, Çalışma-6'da ise 20 Aralık 2022 tarihinde yüksek ışıınım seviyesinde ölçülen ve tahmin edilen güç değerleri analiz edilmiştir. Güneşli havada, ışıınım seviyesinin daha iyi olmasından dolayı gün sonuna kadar bulutlu havaya göre daha yüksek seviyelerde seyretmiştir. Çalışma-7'de Konum-1'deki ışıınım ölçüm istasyonundan alınan verilere göre, giriş verisi olarak rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü verilerini kullanmadan beş aylık sürede ölçülen ve tahmin edilen güç değerleri analiz edilmiştir. Konum-2'den alınan ışıınım verilerine göre yapılan Çalışma-1'e göre elde edilen grafikte dalgalanma farklılıkları oluşmuştur. Bunun temel sebebi bölgesel bulutlanmalardan dolayı iki nokta arasındaki ışıınım seviyesindeki farklılıklardır. Çalışma-8'de Çalışma-7'den farklı olarak YSA algoritmasında giriş parametre sayısını artırarak çıkışta tahmin edilecek güce etki eden çevresel durumların etkisini göstermek amaçlanmıştır. Bu sebeple giriş verisi olarak rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü verileri de kullanılmıştır. Gerçek güç değeri ile tahmin edilen güç değeri karşılaştırıldığında sonuçların Çalışma-7'ye göre daha tutarlı olduğu tespit edilmiştir. Yapılan

analizler kapsamında son çalışma olan Çalışma-9'da ise Konum-2 ve Konum-1'den elde edilen güneş ışıınımı istasyon verilerinin ikisi birden kullanılarak YSA algoritması ile güç tahmini yapılmıştır. İki nokta arasındaki bölgesel bulutlanmadan dolayı ışıınım farklılığından dolayı bazı günlerde gerçek güç değeri ile tahmin edilen güç değeri arasındaki farklılıklara sebep olmuştur. Yapılan tüm çalışmaların sonucunda güneşli havada yapılan analizlerde, YSA algoritmasında giriş verisi olarak rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü kullanıldığında daha iyi sonuçların elde edildiği tespit edilmiştir. Ayrıca gerçek güç değeri ile tahmin edilen güç değeri arasındaki kıyaslamalar yapıldığında en önemli faktörün güneş ışıınım değeri olduğu anlaşılmıştır.

Bu tez kapsamında yapılan analizler sonucunda performans analizleri yapılırken güneş ışıınım değerinin önemli olduğu, kurulum yapılırken mutlaka enlem değerine bağlı olarak bölgenin güneş enerji potansiyeline dikkat edilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Sistem dizaynları yapılırken tesisin kurulacağı alanların iyi seçilmesi, çevresel kirlenmelerin olmaması, gölge etkilerinden kaçınılması gerektiği görülmüştür. Sistemin ömrünün 25 yıl olduğu göz önüne alındığında güneş panellerinden en yüksek seviyede faydalanabilmek için modül eğim açılarının iyi ayarlanarak gölge etkilerinin minimuma indirilmesi amaçlanmalıdır. YSA ile yapılan tahmin algoritmalarında ise benzer şekilde güneş ışıınım değeri çıkış güç tahmininde en önemli parametredir. Ayrıca algoritmadan en iyi sonucu alabilmek için giriş veri seti mümkün olduğunca çıkış gücünü etkileyecek tüm durumları göz önünde bulundurarak seçilmelidir. Ayrıca girilen tüm parametreler birbiriyle tutarlı olmalıdır. En küçük bir hatada sonuçların tamamen değiştiği görülmüştür. Tahmin algoritmasının geliştirilebilmesi için uzun bir zaman aralığı seçilerek tüm aylar dikkate alınarak analizlerin detaylandırılması gerekliliği görülmüştür.

## KAYNAKLAR

Adak, S., Cangi, H. ve Yılmaz, A. S. (2019). “Fotovoltaik sistemin çıkış gücünün sıcaklık ve ışımaya bağlı matematiksel modellemesi ve simülasyonu.” Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, Vol. 11, No. 8, pp. 316-327.

Ajder, A. (2011). Fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri için optimum eğim açısının hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Akanalçı, A. (2019). Fotovoltaik güç santrallerinde kirlilik etkisi ve dağılımı, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye.

Arınç, Ü.D. (1985), “Güneşli su ısıtıcılarının projelendirilmesi.” Isı Bilimi ve Tekniği 5. Ulusal Kongresi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, İstanbul, Türkiye, pp. 479-489.

Arslan, G., Bayhan, B. ve Yaman, K. (2019). “Mersin / Türkiye için ölçülen global güneş ışıının yapay sinir ağları ile tahmin edilmesi ve yaygın ışıın modelleri ile karşılaştırılması.” Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Vol. 7, No. 1, pp. 80-96.

Bayar, M.T. (2022). Fotovoltaik sistemlerde tozlanmanın panel verimi üzerindeki etkilerinin deneysel olarak araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman, Türkiye.

Bilgili, M.E. ve Dağtekin, M. (2017). “Fotovoltaik piller ile elektrik üretiminde uygun eğim açısının ve yıllık oluşan enerji farkının belirlenmesi.” Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, Vol. 6, No. Özel, pp. 156-167.

Çağlar, A. (2017). “Farklı derece-gün gölgelerindeki şehirler için optimum eğim açısının belirlenmesi.” Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Vol. 22, No. 2, pp. 849-854.

Çakır, Ş., Ertunç, H.M. ve Ocak, H. (2009). “Yapay sinir ağları kullanılarak karbonat kayalarındaki dekonun tanımlanmasına bir örnek: Akveren Formasyonu.” Uygulamalı Yerbilimleri Sayı, Vol. 8, No. 2, pp. 71-79.

Çıngı, A. (2019). Güneş enerjisi elektrik santrallerinde kullanılan fotovoltaik panellerin enerji verimliliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kilis, Türkiye.

Çolak, M. (2020). Fotovoltaik güç tahmini için metasezgisel optimizasyon tabanlı hibrit model tasarımı ve analizi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Çolak, Ş.Ç. (2010). Fotovoltaik paneller yardımı ile güneş enerjisinden elektrik üretiminin maliyet analizi ve gelecekteki projeksiyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Dandıl, E. ve Gürgen, E. (2019). “Yapay sinir ağları kullanılarak fotovoltaik panel güç çıkışlarının tahmini ve sezgisel algoritmalar ile karşılaştırılması.” Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, No. 16, pp. 146-158.

Deniz, E. ve Atik, K. (2007). “Güneş ışınlam şiddeti tahminlerinde yapay sinir ağları ve regresyon analiz yöntemleri kullanımının incelenmesi.” Isı Bilim ve Tekniği Dergisi, Vol. 27, No. 2, pp. 15-20.

Doğan, A.R. (2012). Güneş enerjisi destekli alternatif ısıtma sistemlerinin enerji ve ekonomi yönünden karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Donuk, K. (2014). Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerde üretilen enerjinin yapay sinir ağları kullanılarak tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye.

Genç, G. (2018). Gölge ve toz etkisinin analizi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Ferrada, P., Araya, F., Marzo, A. and Fuentealba, E. (2015). “Performance analysis of photovoltaic systems of two different technologies in a coastal desert climate zone of Chile.” Solar Energy, Vol. 114, No. 8, pp. 356-363.

Ghazi, S., Sayigh, A. and Ip, K. (2014). “Dust effect on flat surfaces – A review paper.” Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 33, pp. 742-751.

Gül, K.N. (2021). Fotovoltaik santrallerin uzaktan izlenmesi ve aşırı öğrenme makinaları ile ileriye yönelik üretim tahmini, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, Türkiye.

Gürbüz, D. (2018). Kir ve tozlanmanın fotovoltaiik sistem verimi üzerindeki etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye.

Hammad, B., Al-Abed, M., Al-Ghandoor, A., Al-Sardeah, A., and Al-Bashir, A. (2017). “Modeling and analysis of dust and temperature effects on photovoltaic systems’ performance and optimal cleaning frequency: Jordan case study.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 82, No. 3, pp. 2218-2234.

Huang, C., Bensoussan, A., Edesess, M. and Tsui, K. L. (2016). “Improvement in artificial neural network-based estimation of grid connected photovoltaic power output.” *Renewable Energy*, Vol. 97, pp. 838-848.

İzmirli Ayan, S.M. (2018). Fotovoltaiik sistemin yapay zekâ algoritması ile güç tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli, Türkiye.

Joshi, A.S., Dincer, I. and Reddy, B.V. (2009). “Performance analysis of photovoltaic systems: A review.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 13, No. 8, pp. 1884-1897.

Karafil, A., Ozbay, H., Kesler, M. ve Parkmaksiz, H. (2015). “Calculation of optimum fixed tilt angle of pv panels depending on solar angles comparison of the results with experimental study conducted in Summer in Bilecik, Turkey.” *IEEE 2015 9<sup>th</sup> International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, pp. 971-976.

Kayri, İ. (2017). Güneş panelleri ile üretilen enerjinin ortam bilgileri kullanılarak yapay sinir ağlarıyla tahmini, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ, Türkiye.

Kazem, H.A., Yousif, J., Chaichan, M. T. and Al-Waeli, A. H. A. (2019). “Experimental and deep learning artificial neural network approach for evaluating grid-connected photovoltaic systems.” *International Journal of Wiley Energy Research*, pp. 1-20.

Kılıç, F.Ç. (2015). “Güneş enerjisi, Türkiye’deki son durumu ve üretim teknolojileri.” *Mühendis ve Makina Dergisi*, Vol. 56, No. 671, pp. 28-40.

Kılınç, P.E. (2019). 500 kW’lık güneş enerjisi panel tasarımında optimizasyon ve ekonomik analiz, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye.

Majzade, N. (2018). Mikro ölçekli şebeke bağlantılı bir fotovoltaik santralin tasarlanması ve uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, Türkiye.

Mejia, F., Kleissl, J. and Bosch, J.L. (2013). “The effect of dust on solar photovoltaic systems.” *Energy Procedia*, Vol. 49, pp. 2370-2376.

Oral, M. (2020). “Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyeli ve PV<sup>2</sup> uygulamalarının yerel ölçekte değerlendirilmesi: Karabük İli Örneği.” *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, Karabük Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, Karabük, Türkiye, No.42, pp. 482-503.

Özcan, Ö. (2020). Şebekeye bağlı fotovoltaik çatı sisteminin performans analizi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Özkişi, H. ve Topaloğlu, M. (2017). “Fotovoltaik hücrenin verimliliğinin yapay sinir ağı ile tahmini.” *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, Vol. 10, No. 3, pp. 247-253.

Öztürk, K. ve Şahin, M. E. (2018). “Yapay sinir ağları ve yapay zekâya genel bir bakış.” *Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Takvim-i Vekayi*, Vol. 6, No. 2, pp. 25-36.

Piliougine, M., Carretero, J., Sidrach-de-Cardona, M., Montiel, D and Sanchez-Friera, P. (2008). “Comparative analysis of the dust loses in photovoltaic modules with different cover glasses.” 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain.

Pazikadin, A. R., Rifai, D., Ali, K., Malik, M.Z., Abdalla, A.N. and Faraj, M.A. (2020). “Solar irradiance measurement instrumentation and power solar generation forecasting based on Artificial Neural Networks (ANN): A review of five years research trend.” *Science of The Total Environment*, Vol. 715.

Piliougine, M., Canete, C, Moreno, R., Carretero, J., Hirose, J., Ogawa, S. and Sidrach-de-Cardona, M. (2013). “Comparative analysis of energy produced by photovoltaic modules with anti-soiling coated surface in arid climates.” *Applied Energy* Vol. 112, pp. 626-634.

Raslan, M. A. (2020). Fotovoltaik sistemlerinde hata bulma ve engelleme yöntemleri ve algoritmaları, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, Türkiye.

Sarioğlu, G. (2012). Güneş gözelerinde gölgelenme etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla, Türkiye.

Sarver, T., Aa-Qaraghuli, A. and Kazmerski, L. (2013). “A comprehensive review of the impact of dust on the use of solar energy: History, investigations, results, literature, and mitigation approaches.” Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 22, pp. 698-733.

Seme, S., Sredenšek, K., Štumberger, B. and Hadžiselimović, M. (2019). “Analysis of the performance of photovoltaic systems in Slovenia.” Solar Energy, Vol. 180, pp. 550-558.

Şeker, M. (2021). “Yapay sinir ağı kullanılarak meteorolojik verilere dayalı solar radyasyon tahmini.” Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Vol. 23, No. 69, pp. 923-935.

Şenpınar, A. (2006). “Güneş açılarına bağlı olarak optimum sabit güneş paneli açısının hesaplanması.” Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi, Vol. 4, No.2, pp. 36-41.

Tahir, Z.R. ve Asim, M. (2017). “Surface measured solar radiation data and solar energy resource assessment of Pakistan: A review.” Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 81, No. 2, pp. 2839-2861.

Tanesab, J.A. (2018). The effect of dust on the performance of solar photovoltaic module: case studies in Nusa Tenggara Timur, Indonesia and Perth, Western Australia, Doktora Tezi, Murdoch University, Murdoch, Australia.

Turhan, K. (2011). Fotovoltaik modüller için bir gerçek saha performans ölçüm platformunun tasarımı, kurulumu ve testleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Turhan, M. S. ve Çetiner, İ. (2012). “Fotovoltaik sistemlerde performans değerlendirmesi.” 6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bursa, Türkiye.

Veerapen, S. and Wen, H. (2016). “Shadowing effect on the power output of a photovoltaic panel.” IEEE 8th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC-ECCE Asia), Doi: 10.1109/IPEMC.2016.7512858.

Vidyanandan, K.V. (2017). “An overview of factors affecting the performance of solar pv systems.” Energy Scan, No. 27, pp. 2-8.

Web Map Tile Service,

[https://www.erbakan.edu.tr/storage/files/department/elektrikelektronikmuhendisligi/Editor/DERS/YEKEnrUrt/Fotovoltaik\\_Sistemler\\_ve\\_Uygulamalari.pdf](https://www.erbakan.edu.tr/storage/files/department/elektrikelektronikmuhendisligi/Editor/DERS/YEKEnrUrt/Fotovoltaik_Sistemler_ve_Uygulamalari.pdf) [Erişildi 15 Aralık 2022].

Web Map Tile Service, <https://www.sevensensor.com/tr/piranometre-nedir> [Erişildi 29 Aralık 2022].

Web Map Tile Service, <https://www.sevensensor.com/comparison-of-pyranometers-vs-reference-cell-solar-irradiance-sensors> [Erişildi 29 Aralık 2022].

Yavuz, S. ve Deveci, M. (2013). “İstatiksel normalizasyon tekniklerinin yapay sinir ağı performansına etkisi.” Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Vol. 0, No:40, pp. 167-187.

Yiğit, A., Arslanoğlu, N. ve Eker, B.S. (2019). “Fotovoltaik sistemlerin projelendirme, kurulum ve işletilmesinde önemli faktörler.” Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Vol. 24, No. 3.

Yenisey, D. (2015). İç Anadolu Bölgesi için güneye bakan eğimli yüzeye gelen günlük global, direkt ve difüz radyasyonun hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Yousif, J.H., Kazem, H.A., Alattar, N.N and Elhassan, I.I. (2019). “A comparison study based on artificial neural network for assessing PV / T solar energy production.” Case Studies in Thermal Engineering, Vol. 13.

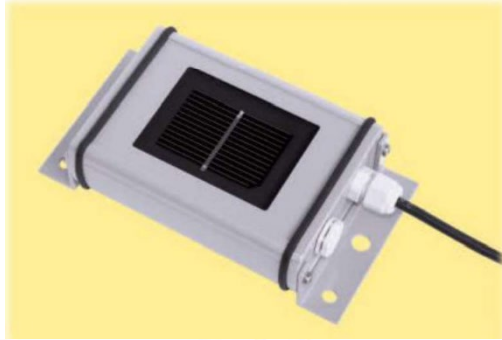
## EKLER

EK 1: Tezde kullanılan bazı cihazlara ait teknik özellikler.

Ek 1.1: Piranometre için teknik bilgiler.

|                                                                                                                        | CMP10   CMP11                                                                      | SMP10   SMP11                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Classification to ISO 9060:2018                                                                                        | Spectrally Flat Class A                                                            | Spectrally Flat Class A                                                                                                                                             |
| Sensitivity                                                                                                            | 7 to 14 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$                                          | -                                                                                                                                                                   |
| Impedance                                                                                                              | 10 to 100 $\Omega$                                                                 | -                                                                                                                                                                   |
| Expected output range (0 to 1500 $\text{W}/\text{m}^2$ )                                                               | 0 to 20 mV                                                                         | -                                                                                                                                                                   |
| Maximum operational irradiance                                                                                         | 4000 $\text{W}/\text{m}^2$                                                         | -                                                                                                                                                                   |
| Analog output • V-version                                                                                              | -                                                                                  | 0 to 1 V                                                                                                                                                            |
| Analog output range*                                                                                                   | -                                                                                  | -200 to 2000 $\text{W}/\text{m}^2$                                                                                                                                  |
| Analog output • A-version                                                                                              | -                                                                                  | 4 to 20 mA                                                                                                                                                          |
| Analog output range*                                                                                                   | -                                                                                  | 0 to 1600 $\text{W}/\text{m}^2$                                                                                                                                     |
| Serial output                                                                                                          | -                                                                                  | RS-485 Modbus <sup>®</sup>                                                                                                                                          |
| Serial output range                                                                                                    | -                                                                                  | -400 to 4000 $\text{W}/\text{m}^2$                                                                                                                                  |
| Response time (63 %)                                                                                                   | < 1.7 s                                                                            | < 0.7 s                                                                                                                                                             |
| Response time (95 %)                                                                                                   | < 5 s                                                                              | < 2 s                                                                                                                                                               |
| Spectral range (20 % points)                                                                                           | 270 to 3000 nm                                                                     | 270 to 3000 nm                                                                                                                                                      |
| Spectral range (50 % points)                                                                                           | 285 to 2800 nm                                                                     | 285 to 2800 nm                                                                                                                                                      |
| Zero offsets (unventilated)<br>(a) thermal radiation (at 200 $\text{W}/\text{m}^2$ )<br>(b) temperature change (5 K/h) | < 7 $\text{W}/\text{m}^2$<br>< 2 $\text{W}/\text{m}^2$                             | < 7 $\text{W}/\text{m}^2$<br>< 2 $\text{W}/\text{m}^2$                                                                                                              |
| Non-stability (change/year)                                                                                            | < 0.5 %                                                                            | < 0.5 %                                                                                                                                                             |
| Non-linearity (100 to 1000 $\text{W}/\text{m}^2$ )                                                                     | < 0.2 %                                                                            | < 0.2 %                                                                                                                                                             |
| Directional response (up to 80 ° with 1000 $\text{W}/\text{m}^2$ beam)                                                 | < 10 $\text{W}/\text{m}^2$                                                         | < 10 $\text{W}/\text{m}^2$                                                                                                                                          |
| Spectral selectivity (350 to 1500 nm)                                                                                  | < 3 %                                                                              | < 3 %                                                                                                                                                               |
| Tilt response (0 ° to 90 ° at 1000 $\text{W}/\text{m}^2$ )                                                             | < 0.2 %                                                                            | < 0.2 %                                                                                                                                                             |
| Temperature response                                                                                                   | < 1 % (-10 °C to +40 °C)                                                           | < 0.3 % (-20 °C to +50 °C)<br>< 0.3 % (-40 °C to +70 °C)                                                                                                            |
| Field of view                                                                                                          | 180 °                                                                              | 180 °                                                                                                                                                               |
| Accuracy of bubble level                                                                                               | < 0.1 °                                                                            | < 0.1 °                                                                                                                                                             |
| Power consumption (at 12 VDC)                                                                                          | -                                                                                  | V-version: 55 mW<br>A-version: 100 mW                                                                                                                               |
| Supply voltage                                                                                                         | -                                                                                  | 5 to 30 VDC                                                                                                                                                         |
| Software, Windows™                                                                                                     | -                                                                                  | SmartExplorer Software,<br>for configuration, test and data logging                                                                                                 |
| Detector type                                                                                                          | Thermopile                                                                         | Thermopile                                                                                                                                                          |
| Operating and storage temperature range                                                                                | -40 °C to +80 °C                                                                   | -40 °C to +80 °C                                                                                                                                                    |
| Humidity range                                                                                                         | 0 to 100 %                                                                         | 0 to 100 %                                                                                                                                                          |
| MTBF (Mean Time Between Failures)                                                                                      | > 10 years                                                                         | > 10 years **                                                                                                                                                       |
| Ingress Protection (IP) rating                                                                                         | 67                                                                                 | 67                                                                                                                                                                  |
| Recommended applications                                                                                               | Meteorological networks, PV panel and thermal collector testing, materials testing | High performance for PV panel and thermal collector testing, solar energy research, solar prospecting, materials testing, advanced meteorology and climate networks |

Ek 1.2: Fotovoltaik piranometre (Si-RS485TC-T) için teknik bilgiler.



| Type                                                            | Irradiance                                                                                                            |                             | Cell Temperature                           |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------|
| Measured Variable                                               | Power Supply<br>Current Consumption                                                                                   | Temperature<br>compensation | Output Signal                              |
|                                                                 |                                                                                                                       |                             | Output Signal                              |
| <b>Si-RS485TC-T</b><br>Irradiance, Cell Temperature             | 24 V <sub>DC</sub> (12 to 28 V <sub>DC</sub> )<br>typic 25 mA                                                         | Yes                         | M&T, MODBUS<br>0 to 1,500 W/m <sup>2</sup> |
|                                                                 |                                                                                                                       |                             | M&T, MODBUS<br>-40 to +90°C                |
| Parameter                                                       | Sensor Type                                                                                                           |                             | Typical Measurement<br>Uncertainty         |
| <b>Response time (99 %)</b><br>for G > 50 W/m <sup>2</sup>      | Si-mV-85(-Pt100/-Pt1000)                                                                                              |                             | 0.001 s                                    |
|                                                                 | Si-V-1.5TC(-T), Si-V-10TC(-T), Si-I-420TC(-T)                                                                         |                             | 0.15 s                                     |
|                                                                 | Si-RS485TC-XX                                                                                                         |                             | 1 s                                        |
| <b>Offset</b>                                                   | Si-mV-85(-Pt100/-Pt1000)                                                                                              |                             | 0 W/m <sup>2</sup>                         |
|                                                                 | Si-V-1.5TC(-T), Si-V-10TC(-T)                                                                                         |                             | 2 W/m <sup>2</sup>                         |
|                                                                 | Si-I-420TC(-T)                                                                                                        |                             | 2.2 W/m <sup>2</sup>                       |
|                                                                 | Si-RS485TC-XX                                                                                                         |                             | 1 W/m <sup>2</sup>                         |
| <b>Stability per anno <sup>1)</sup></b>                         | all                                                                                                                   |                             | 0.50 %                                     |
| <b>Non-Linearity <sup>2)</sup></b>                              | all                                                                                                                   |                             | 0.10 %                                     |
| <b>Temperature Dependency <sup>2)</sup></b><br>for -35 to +80°C | Si-mV-85(-Pt100/-Pt1000) (with external temperature comp.) <sup>3)</sup>                                              |                             | 0.20 %                                     |
|                                                                 | Si-mV-85(-Pt100/-Pt1000) (without external temperature comp.)                                                         |                             | 3.00 %                                     |
|                                                                 | Si-V-1.5TC(-T), Si-V-10TC(-T), Si-I-420TC(-T)                                                                         |                             | 0.40 %                                     |
|                                                                 | Si-RS485TC-XX                                                                                                         |                             | 0.40 %                                     |
| <b>Factory-Calibration</b>                                      | all (repeatability against reference)                                                                                 |                             | 0.75 %                                     |
|                                                                 | all (measurement uncertainty of reference at STC<br>and vertical light beam)                                          |                             | 0.50 %                                     |
| <b>Measurement Uncertainty<br/>over all <sup>4)</sup></b>       | ±5 W/m <sup>2</sup> ± 2.5 % of reading<br>valid for temperature compensation, spectrum AM 1.5 and vertical light beam |                             |                                            |
| Sensor Type                                                     | Measurement Uncertainty of the internal Temperature Measurement<br>Condition                                          |                             | Measurement Uncertainty                    |
| <b>Si-mV-85(-Pt100/-Pt1000)</b>                                 | -35 to +80°C                                                                                                          |                             | IEC 60751, class A for version (-4L)       |
| <b>Si-V-1.5TC-T</b>                                             | -35 to +70°C / -35 to +80°C                                                                                           |                             | 1.0 K / 1.1 K                              |
| <b>Si-V-10TC-T</b>                                              | -35 to +70°C / -35 to +80°C                                                                                           |                             | 1.0 K / 1.1 K                              |
| <b>Si-I-420TC-T</b>                                             | -35 to +60°C / -35 to +80°C                                                                                           |                             | 1.0 K / 1.3 K                              |
| <b>Si-RS485TC-XX</b>                                            | -35 to +80°C                                                                                                          |                             | 1.0 K                                      |

## Ek 1.3: İnverter ile ilgili teknik detaylar.

| Technical Data                                                                                          | Sunny Tripower 60                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Input (DC)</b>                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Max. DC power (where $\cos \varphi = 1$ ) / rated power (DC)                                            | 61240 W / 61240 W                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Max. input voltage                                                                                      | 1000 V                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| MPP voltage range (at 400 Vac / 480 Vac)                                                                | 570 V to 800 V / 685 V to 800 V                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Min. input voltage (at 400 Vac / 480 Vac)                                                               | 565 V / 680 V                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Start input voltage (at 400 Vac / 480 Vac)                                                              | 600 V / 720 V                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Max. input current / max. short-circuit current                                                         | 110 A / 150 A                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Number of independent MPP inputs/strings per MPP input                                                  | 1/1 (split up in external combiner box)                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Rated DC input voltage (at 400 Vac / 480 Vac)                                                           | 630 V / 710 V                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Output (AC)</b>                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Rated power at nominal voltage                                                                          | 60000 W                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Max. apparent AC power                                                                                  | 60000 VA                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Max. reactive power                                                                                     | 60000 Var                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Nominal AC voltage                                                                                      | 3 / PE, 400 V to 480 V, $\pm 10\%$                                                                                                                                                                                                                                                         |
| AC voltage range                                                                                        | 360 V to 530 V                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| AC power frequency/range                                                                                | 50 Hz / 44 Hz to 55 Hz<br>60 Hz / 54 Hz to 65 Hz                                                                                                                                                                                                                                           |
| Rated power frequency/rated grid voltage                                                                | 50 Hz / 400 V                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Max. output current (at 400 Vac / 480 Vac) / rated output current                                       | 87 A / 72 A / 87 A                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Power factor at rated power / displacement power factor adjustable                                      | 1 / 0 overexcited to 0 underexcited                                                                                                                                                                                                                                                        |
| THD                                                                                                     | $\leq 1\%$                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Feed-in phases/connection phases                                                                        | 3 / 3                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Efficiency</b>                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Max. efficiency / Euro-eta / CEC at 400 Vac / CEC at 480 Vac                                            | 98.8 % / 98.3 % / 98.0 % / 98.5 %                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Protective devices</b>                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Input-side disconnection point                                                                          | ●                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Ground fault monitoring/grid monitoring                                                                 | ● / ●                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Integrable DC surge arrester / AC surge arrester                                                        | Type II / type II + III (combined)                                                                                                                                                                                                                                                         |
| AC short-circuit current capability / galvanically isolated                                             | ● / -                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| All-pole sensitive residual-current monitoring unit                                                     | ●                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Protection class (as per IEC 62109-1) / overvoltage category (as per IEC 62109-1)                       | I / AC: III; DC: II                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>General data</b>                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Dimensions (W/H/D)                                                                                      | 570 / 740 / 300 mm (22.4 / 29.1 / 11.8 inches)                                                                                                                                                                                                                                             |
| Weight                                                                                                  | 75 kg (165.3 lb)                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Operating temperature range                                                                             | -25°C to +60°C (-13°F to +140°F)                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Noise emission, typical                                                                                 | 58 dB(A)                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Self-consumption (at night)                                                                             | < 3 W                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Topology / cooling concept                                                                              | Transformerless / active                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Degree of protection (according to IEC 60529 / UL 50E)                                                  | IP65 / NEMA 3R                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Climatic category (as per IEC 60721-3-4)                                                                | 4K4H/4Z4/4B2/4S3/4M2/4C2                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Max. permissible value for relative humidity (non-condensing)                                           | 95 %                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Features / function / accessories</b>                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| DC connection / AC connection                                                                           | Screw terminal / screw terminal                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Display                                                                                                 | Graphical                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Data interface                                                                                          | SunSpec Modbus TCP (via external SMA Inverter Manager)                                                                                                                                                                                                                                     |
| Off-grid capable / PV-diesel capable                                                                    | - / ●                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Warranty: 5/10/15/20/25 years                                                                           | ● / ○ / ○ / ○ / ○                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Certificates and approvals (more available upon request)                                                | ANRE 30, AS 4777, BDEW 2008, C10/11:2012**, CEI 0-16, CEI 0-21, DEWA 2015, EN 50438*, G59/3, IEC 60068-2-x, IEC 61727, IEC 62109-1/2, IEC 62116, IEC N° 20751, NEN EN 50438, NRS 097-2-1, FEA 2013, Res. n°7-2013, SI4777, TORD4**, UTE C15-712-1, VDE 0126-1-1, VDE-AR-N 4105**, VFR 2014 |
| * Does not apply to all national annexes of EN 50438<br>** Restricted [Note Manufacturer's Declaration] |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Type designation                                                                                        | STP60-10                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

## Ek 1.4.: İnverter ile ilgili teknik detaylar.

| MODEL                                 | Axpert VM II 3000-24                                                    | Axpert VM II 5000-48 |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Rated Power                           | 3000VA / 3000W                                                          | 5000VA / 5000W       |
| INPUT                                 |                                                                         |                      |
| Voltage                               | 230 VAC                                                                 |                      |
| Selectable Voltage Range              | 170-280 VAC (For Personal Computers) ; 90-280 VAC (For Home Appliances) |                      |
| Frequency Range                       | 50 Hz/60 Hz (Auto sensing)                                              |                      |
| OUTPUT                                |                                                                         |                      |
| AC Voltage Regulation (Batt. Mode)    | 230VAC ± 5%                                                             |                      |
| Surge Power                           | 6000VA                                                                  | 10000VA              |
| Efficiency (Peak)                     | 90% ~ 93%                                                               |                      |
| Transfer Time                         | 10 ms (For Personal Computers) ; 20 ms (For Home Appliances)            |                      |
| Waveform                              | Pure sine wave                                                          |                      |
| Dual Outputs                          | Yes                                                                     |                      |
| BATTERY                               |                                                                         |                      |
| Battery Voltage                       | 24 VDC                                                                  | 48 VDC               |
| Floating Charge Voltage               | 27 VDC                                                                  | 54 VDC               |
| Overcharge Protection                 | 33 VDC                                                                  | 63 VDC               |
| SOLAR CHARGER & AC CHARGER            |                                                                         |                      |
| Maximum PV Array Open Circuit Voltage | 500 VDC                                                                 | 500 VDC              |
| Maximum PV Array Power                | 4000 W                                                                  | 5000 W               |
| MPP Range @ Operating Voltage         | 120~450 VDC                                                             | 120~450 VDC          |
| Maximum Solar Charge Current          | 100 A                                                                   | 100 A                |
| Maximum AC Charge Current             | 100 A                                                                   | 100 A                |
| Maximum Charge Current                | 100 A                                                                   | 100 A                |
| PHYSICAL                              |                                                                         |                      |
| Dimension, D x W x H (mm)             | 100 x 300 x 440                                                         |                      |
| Net Weight (kgs)                      | 9                                                                       | 10                   |
| Communication Interface               | USB/RS232                                                               |                      |
| ENVIRONMENT                           |                                                                         |                      |
| Humidity                              | 5% to 95% Relative Humidity (Non-condensing)                            |                      |
| Operating Temperature                 | -10°C to 50°C                                                           |                      |
| Storage Temperature                   | -15°C to 60°C                                                           |                      |

Ek 1.5: Fotovoltaik modül ile ilgili teknik detaylar.

| Electrical characteristics at Standard Test Conditions(STC)                                                                                     |                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Module Type                                                                                                                                     | CSUN 270-60P                                                           |
| Maximum Power - P <sub>max</sub> (W)                                                                                                            | 270                                                                    |
| Open Circuit Voltage - Voc (V)                                                                                                                  | 37.9                                                                   |
| Short Circuit Current - Isc (A)                                                                                                                 | 9.07                                                                   |
| Maximum Power Voltage - V <sub>mpp</sub> (V)                                                                                                    | 30.7                                                                   |
| Maximum Power Current - I <sub>mpp</sub> (A)                                                                                                    | 8.8                                                                    |
| Module Efficiency                                                                                                                               | 16.63%                                                                 |
| Standard Test Conditions (STC): irradiance 1,000 W/m <sup>2</sup> ; AM 1.5; module temperature 25°C. Tolerance of P <sub>mpp</sub> : 0~+3%.     |                                                                        |
| Measuring uncertainty of power: ±3%. Certified in accordance with IEC 61215, IEC 61730-1/2 and UL 1703.                                         |                                                                        |
| Electrical Characteristics at Normal Operating Cell Temperature(NOCT)                                                                           |                                                                        |
| Module Type                                                                                                                                     | CSUN 270-60P                                                           |
| Maximum Power - P <sub>max</sub> (W)                                                                                                            | 198                                                                    |
| Open Circuit Voltage - Voc (V)                                                                                                                  | 35.3                                                                   |
| Short Circuit Current - Isc (A)                                                                                                                 | 7.29                                                                   |
| Maximum Power Voltage - V <sub>mpp</sub> (V)                                                                                                    | 28.5                                                                   |
| Maximum Power Current - I <sub>mpp</sub> (A)                                                                                                    | 6.97                                                                   |
| Normal Operating Cell Temperature( NOCT) : irradiance 800W/m <sup>2</sup> ; wind speed 1 m/s ; cell temperature 45°C; ambient temperature 20°C. |                                                                        |
| Measuring uncertainty of power: ±3%. Certified in accordance with IEC 61215, IEC 61730-1/2 and UL 1703.                                         |                                                                        |
| Temperature Characteristics                                                                                                                     |                                                                        |
| NOCT                                                                                                                                            | 45°C ( ± 2°C )                                                         |
| Voltage Temperature Coefficient                                                                                                                 | -0.292%/K                                                              |
| Current Temperature Coefficient                                                                                                                 | +0.045%/K                                                              |
| Power Temperature Coefficient                                                                                                                   | -0.408%/K                                                              |
| Maximum Ratings                                                                                                                                 |                                                                        |
| Maximum System Voltage [V]                                                                                                                      | 1000                                                                   |
| Series Fuse Rating [A]                                                                                                                          | 20                                                                     |
| Material Characteristics                                                                                                                        |                                                                        |
| Dimensions                                                                                                                                      | 1640×990×35mm (L×W×H)                                                  |
| Weight                                                                                                                                          | 18.3kg                                                                 |
| Frame                                                                                                                                           | Anodized aluminum profile                                              |
| Front Glass                                                                                                                                     | White toughened safety glass, 3.2 mm                                   |
| Cell Encapsulation                                                                                                                              | EVA (Ethylene-Vinyl-Acetate)                                           |
| Back Sheet                                                                                                                                      | Composite film                                                         |
| Cells                                                                                                                                           | 6×10 pieces polycrystalline solar cells series strings (156mm×156mm)   |
| Junction Box                                                                                                                                    | Rated current≥13A, IP≥67, TUV&UL                                       |
| Cable&Connector                                                                                                                                 | Length 900 mm, 1×4 mm <sup>2</sup> , compatible with MC4               |
| Packaging                                                                                                                                       |                                                                        |
| Dimensions(L×W×H)                                                                                                                               | 1680×1110×1136mm                                                       |
| Container20'                                                                                                                                    | 360                                                                    |
| Container40'                                                                                                                                    | 840                                                                    |
| Container40'HC                                                                                                                                  | 896                                                                    |
| System Design                                                                                                                                   |                                                                        |
| Temperature Range                                                                                                                               | -40 °C to + 85 °C                                                      |
| Withstanding Hail                                                                                                                               | Maximum diameter of 25 mm<br>with impact speed of 23 m·s <sup>-1</sup> |
| Maximum Surface load                                                                                                                            | 5,400 Pa                                                               |
| Application class                                                                                                                               | class A                                                                |
| Safety class                                                                                                                                    | class II                                                               |