

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞEBEKEYE BAĞLI GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNDE  
ÜRETİLEN GÜCE ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Doğukan DERE

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Bilim Dalı

HAZİRAN 2023



T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞEBEKEYE BAĞLI GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNDE  
ÜRETİLEN GÜCE ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Doğukan DERE

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Mehmet BAYRAK

HAZİRAN 2023



Doğukan DERE tarafından hazırlanan “ŞEBEKEYE BAĞLI GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNDE ÜRETİLEN GÜCE ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması 20.06.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Mühendisliği Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

### **Tez Jürisi**

**Jüri Başkanı :**

**Jüri Üyesi :**

**Jüri Üyesi :**



## **ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ**

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “ŞEBEKEYE BAĞLI GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNDE ÜRETİLEN GÜCE ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(20/06/2023).

Doğukan Dere





## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, tez çalışması boyunca görüşleriyle beni yönlendiren ve destek olan değerli tez danışman hocam Prof. Dr. Mehmet Bayrak’a teşekkürlerimi sunarım.



Doğukan Dere



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                                             |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ .....                                           | v    |
| TEŞEKKÜR .....                                                                              | vii  |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                           | ix   |
| KISALTMALAR .....                                                                           | xi   |
| TABLO LİSTESİ .....                                                                         | xiii |
| ŞEKİL LİSTESİ .....                                                                         | xv   |
| ÖZET .....                                                                                  | xvii |
| SUMMARY .....                                                                               | xix  |
| 1.GİRİŞ .....                                                                               | 1    |
| 2. LİTERATÜR ÖZETİ .....                                                                    | 3    |
| 2.1. Güneş Panelleri .....                                                                  | 3    |
| 2.2. Güneş Reflektörü .....                                                                 | 4    |
| 2.3. Eviriciler .....                                                                       | 4    |
| 2.4. Doğru ve Alternatif Akım Kabloları .....                                               | 5    |
| 2.5. Güneş Paneli Açısı .....                                                               | 7    |
| 2.6. Ortam Sıcaklığı .....                                                                  | 7    |
| 2.7. Panel Sıcaklığı .....                                                                  | 8    |
| 2.8. MPPT .....                                                                             | 9    |
| 2.9. Gölgeleme Etkisi .....                                                                 | 10   |
| 2.10. Hava Kirliliği .....                                                                  | 12   |
| 2.11. Rüzgâr Hızı ve Nem .....                                                              | 14   |
| 2.12. Soğutma Sistemleri .....                                                              | 15   |
| 2.13. Kar Etkisi .....                                                                      | 16   |
| 2.14. Hareketli Panel Sistemi .....                                                         | 17   |
| 2.15. Uyumsuzluk Etkisi .....                                                               | 18   |
| 2.16. Güneş Işınımı .....                                                                   | 19   |
| 2.17. Çift Yüzlü Güneş Panelleri ve Albedo Etkisi .....                                     | 19   |
| 3.UYGULAMA .....                                                                            | 21   |
| 3.1. Güneş Enerjisi Sisteminde Panel ve Eviricinin Seçilmesi .....                          | 21   |
| 3.2. Optimum Güneş Paneli Açısının Hesaplanması .....                                       | 23   |
| 3.3. PVsyst'te Çift Yüzlü Panellerle Güneş Enerjisi Sisteminin Kurulması .....              | 26   |
| 3.4. Çift Yüzlü Panellerle Kurulan Sistemde Zamanla Oluşan Verim Kaybının İncelenmesi ..... | 32   |
| 3.5. Çift Yüzlü Paneller ile Tek Yüzlü Panellerin Kapladığı Alanın Karşılaştırılması .....  | 33   |
| 3.6. Güneş Enerjisi Sisteminin MATLAB/Simulink'te İncelenmesi .....                         | 34   |
| 3.7. Simulink'te Güneş Enerjisi Sisteminin Standart Test Koşullarında Oluşturulması .....   | 38   |

|                                                                                                      |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.8. Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesindeki Veriler İçin Simülasyonun Gerçekleştirilmesi..... | 41        |
| 3.9. Giriş ve Çıkış Parametreleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi .....                             | 42        |
| 3.10. PVsyst ve Simulink’te Elde Edilen Enerji Değerlerinin Karşılaştırılması....                    | 47        |
| 3.11. Güneş Enerjisi Sistemlerinde Soğutma Etkisi .....                                              | 48        |
| 3.12. PVsyst ve Simulink’te Kısmi Gölgeleme Etkisinin İncelenmesi .....                              | 49        |
| <b>4.SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>                                                                     | <b>53</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                                                                                | <b>55</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                                                                 | <b>61</b> |



## **KISALTMALAR**

|             |                                            |
|-------------|--------------------------------------------|
| <b>AC</b>   | : Alternatif akım                          |
| <b>DC</b>   | : Doğru akım                               |
| <b>kV</b>   | : Kilovolt                                 |
| <b>LDR</b>  | : Işığa bağımlı direnç                     |
| <b>LID</b>  | : Işık kaynaklı bozulma                    |
| <b>MPPT</b> | : Maksimum güç noktası izleme              |
| <b>NOCT</b> | : Nominal çalışma hücresi sıcaklığı        |
| <b>PV</b>   | : Fotovoltaik                              |
| <b>PCM</b>  | : Faz değiştiren materyal                  |
| <b>SPSS</b> | : Sosyal bilimler için istatistik programı |
| <b>W</b>    | : Watt                                     |



## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 2.1.</b> Soğutma sistemlerinin sınıflandırılması.....                                                      | 16 |
| <b>Tablo 2.2.</b> Farklı zeminlere ait albedo değerleri.....                                                        | 20 |
| <b>Tablo 3.1.</b> Güneşin sapma açısı değerlerinin aylık olarak bulunması.....                                      | 24 |
| <b>Tablo 3.2.</b> Kocaeli Üniversitesi Umuttepe yerleşkesi için elde edilmiş aylık optimum panel açıları. ....      | 25 |
| <b>Tablo 3.3.</b> Yıllara göre üretilen enerji değerlerinin PVsyst’de hesaplanması.....                             | 33 |
| <b>Tablo 3.4.</b> Kocaeli üniversitesi Umuttepe yerleşkesine ait aylık ortalama ışıınım ve sıcaklık değerleri. .... | 36 |
| <b>Tablo 3.5.</b> Aylık ortalama panel sıcaklığı değerlerinin Lasnier yaklaşımıyla bulunması.....                   | 37 |
| <b>Tablo 3.6.</b> Farklı aylarda panellerde oluşan gerilim, akım, diyot akımı ve güç değerleri. ....                | 42 |
| <b>Tablo 3.7.</b> Panel sıcaklığı ve panel gerilimi parametreleri.....                                              | 44 |
| <b>Tablo 3.8.</b> Güneş ışıınımı ve panel akımı parametreleri.....                                                  | 45 |
| <b>Tablo 3.9.</b> PVsyst ve Simulink’te aylara göre panellerde oluşan enerji miktarı (MWh). ....                    | 47 |





## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1. Dünyada yıllara göre ortaya çıkan CO <sub>2</sub> emisyonu miktarı (milyar ton). ....         | 1  |
| Şekil 1.2. Güneş enerjisi sistemlerinde üretilen güce etki eden faktörlerin sınıflandırılması. ....      | 2  |
| Şekil 2.1. Tek fazlı, çift kademeli ve şebekeye bağlı solar evirici topolojisi. ....                     | 5  |
| Şekil 2.2. Yıldırım etkisi sonucu indüklenen gerilim (kV). ....                                          | 6  |
| Şekil 2.3. Panelin arka ve ön yüzey sıcaklıkları. ....                                                   | 8  |
| Şekil 2.4. MPPT uygulanmış güneş enerjisi sistemi. ....                                                  | 10 |
| Şekil 2.5. Çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı ile gölgeleme fonksiyonunun modellenmesi. ....   | 11 |
| Şekil 2.6. Temiz ve kirli panellerin akım-gerilim karakteristikleri. ....                                | 13 |
| Şekil 2.7. Deneysel ve yapay sinir ağlarıyla elde edilen kısa devre akımının karşılaştırılması. ....     | 13 |
| Şekil 2.8. Nem ve çıkış gücü arasındaki ilişki. ....                                                     | 14 |
| Şekil 2.9. İki ekseninde hareket eden panel sisteminin blok diyagramı. ....                              | 18 |
| Şekil 3.1. Çift yüzlü güneş panelinin temel parametre değerleri. ....                                    | 21 |
| Şekil 3.2. Çift yüzlü panellerin farklı ışınlam değerlerinde I-V ve P-V eğrileri. ....                   | 22 |
| Şekil 3.3. Huawei SUN2000-50KTL-M0 eviricinin elektriksel özellikleri. ....                              | 22 |
| Şekil 3.4. Mevsimlere göre optimum panel açılarının belirlenmesi. ....                                   | 26 |
| Şekil 3.5. PVsyst’de aylık güneş ışınlamı, sıcaklık, rüzgâr hızı ve nem değerlerinin oluşturulması. .... | 27 |
| Şekil 3.6. Yıllık optimum panel açısının PVsyst’e kaydedilmesi. ....                                     | 27 |
| Şekil 3.7. Bifacial systems bölümünden albedo değerinin değiştirilmesi. ....                             | 28 |
| Şekil 3.8. PVsyst’de temel bileşenlerin seçilmesi. ....                                                  | 28 |
| Şekil 3.9. Gölgeleme simülasyonu için dizilerde yer alan panel sayılarının seçilmesi. ....               | 29 |
| Şekil 3.10. PVsyst’de 3 boyutlu olarak gölgeleme etkisinin incelenmesi. ....                             | 30 |
| Şekil 3.11. Işınlam ve gölgeleme etkisi sonucu üretilen enerjinin değişmesi. ....                        | 31 |
| Şekil 3.12. Sistemdeki bileşenlerden kaynaklı kayıplar. ....                                             | 31 |
| Şekil 3.13. PVsyst’de simülasyon yılının değiştirilmesi. ....                                            | 32 |
| Şekil 3.14. Tek yüzlü sistemin kapladığı alanın hesaplanması. ....                                       | 34 |
| Şekil 3.15. Modülün elektriksel parametrelerinin belirlenmesi ve bağlantı sayılarının girilmesi. ....    | 35 |
| Şekil 3.16. Simulink’e güneş paneli dizisinin eklenmesi. ....                                            | 35 |
| Şekil 3.17. Aylık ortalama ortam sıcaklığı ve panel sıcaklığı değerleri. ....                            | 38 |
| Şekil 3.18. Simulink’te güneş enerjisi sisteminin standart test koşullarında oluşturulması. ....         | 39 |
| Şekil 3.19. Simulink’te güneş enerjisi sisteminin şebeke bağlantısının oluşturulması. ....               | 40 |
| Şekil 3.20. Simulink’te ışınlam, doğru gerilim ve kurulu güç grafiklerinin oluşturulması. ....           | 40 |

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 3.21.</b> Birinci transformatör çıkışından elde edilen gerilim ve akım grafikleri. ....                       | 41 |
| <b>Şekil 3.22.</b> Simulink'te şebekeye bağlı güneş enerjisi sisteminin oluşturulması.....                             | 41 |
| <b>Şekil 3.23.</b> Giriş ve çıkış parametreleri arasındaki korelasyon.....                                             | 43 |
| <b>Şekil 3.24.</b> Panel sıcaklığı-panel gerilimi ve güneş ışıınımı-panel akımının doğrusal regresyon grafikleri. .... | 46 |
| <b>Şekil 3.25.</b> Giriş ve çıkış parametreleri arasındaki regresyon grafiği. ....                                     | 46 |
| <b>Şekil 3.26.</b> Üretilen enerji değerlerinin karşılaştırılması. ....                                                | 48 |
| <b>Şekil 3.27.</b> Kısmi gölgeme etkisinin PVsyst'de incelenmesi.....                                                  | 49 |
| <b>Şekil 3.28.</b> Bir panel üzerine düşen farklı ışıınım değerleriyle kısmi gölgeme etkisinin incelenmesi.....        | 50 |
| <b>Şekil 3.29.</b> Farklı ışıınım değerlerinin hücreler üzerindeki etkisi. ....                                        | 50 |
| <b>Şekil 3.30.</b> Akım-Gerilim ve Güç-Gerilim karakteristikleri. ....                                                 | 51 |



## ŞEBEKEYE BAĞLI GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNDE ÜRETİLEN GÜCE ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ

### ÖZET

Bu çalışma kapsamında şebekeye bağlı güneş enerjisi santrallerinde üretilen güce etki eden faktörler incelenmiştir. Kurulu gücü 500 kW olan güneş enerjisi sistemi için gerekli panel ve evirici sayıları hesaplanmıştır. 1184 adet güneş paneli ve 10 adet eviriciyle kurulması planlanan güneş enerjisi sisteminin konumu Kocaeli Üniversitesi Umuttepe yerleşkesi olarak seçilmiştir.

Güneş enerjisi sistemi için aylık, mevsimsel ve yıllık optimum panel açısı değerleri seçili konumun enlem değeri ve güneşin deklinasyon açıları dikkate alınarak hesaplanmıştır. 40,82° kuzey enleminde yer alan seçili konum için yıllık optimum panel açısı 31,88° olarak bulunmuştur.

Güneş enerjisi sistemi PVsyst ve MATLAB/Simulink ortamında oluşturulmuştur. PVsyst’de yapılan uygulamanın kapsamında çift yüzlü güneş panellerinin ve albedo değerlerinin üretilen güce etkisi incelenmiştir. Albedo değerinin 0,3’ten 0,73’e çıkması durumunda üretilen yıllık enerji miktarında %10,22 artış elde edilmiştir.

PVsyst’de zamanla oluşan verim kayıpları hesaba katılarak yıllık olarak üretilen güç değerleri incelenmiştir. Çift yüzlü panellerle kurulan sistem tek yüzlü panel sistemiyle karşılaştırılmış ve çift yüzlü panellerle elde edilen alan tasarrufu %6,78 olarak hesaplanmıştır.

DeneySEL olarak elde edilmiş ortam sıcaklığı ve güneş ışıınımı değerleri kullanılarak MATLAB/Simulink’te akım, gerilim, güç grafikleri oluşturulmuştur. Simulink’te panel sıcaklığı değerleri kullanıldığından dolayı ortam sıcaklığı değerleri Lasnier yaklaşımıyla panel sıcaklığına dönüştürülmüştür. Simulink’te elde edilen panel akımı ve gerilimi değerleri kullanılarak panel sıcaklığı-panel gerilimi ve güneş ışıınımı-panel akımı arasındaki bağıntılar elde edilmiş ve Python programlama diliyle regresyon grafikleri oluşturulmuştur. Aynı özelliklere sahip güneş enerjisi sistemi için PVsyst ve Simulink’te elde edilmiş yıllık üretilen enerji değerleri karşılaştırılmış ve PVsyst’de elde edilen değerin Simulink’e kıyasla daha az olduğu görülmüştür.

PVsyst’de kısmi gölgeleme etkisinin incelenmesi için 3 boyutlu model oluşturulmuş ve üretilen güce etkisi ortaya konulmuştur. Simulink’te kısmi gölgeleme etkisinin incelenmesi için farklı güneş ışıınımı değerleri kullanılarak akım, gerilim ve güç grafikleri oluşturulmuş ve baypas diyotundan geçen akım grafiğı elde edilmiştir.



# **INVESTIGATION OF THE FACTORS AFFECTING THE POWER PRODUCED IN GRID-CONNECTED SOLAR POWER PLANTS**

## **SUMMARY**

In this study, the factors affecting the power produced in grid-connected solar power plants were examined. The number of panels and inverters required for the solar energy system with an installed power of 500 kW has been calculated. The location of the solar energy system, which is planned to be installed with 1184 solar panels and 10 inverters, was chosen as Kocaeli University Umuttepe campus.

The monthly, seasonal and annual optimum panel angle values for the solar energy system are calculated by considering the latitude value of the selected location and the sun's declination angles. The annual optimum panel angle was found to be  $31.88^\circ$  for the selected location located at  $40.82^\circ$  north latitude.

The solar energy system was created in PVsyst and MATLAB/Simulink. Within the scope of the application made in PVsyst, the effect of bifacial solar panels and albedo values on the generated power was examined. If the albedo value increased from 0.3 to 0.73, an increase of 10.22% was obtained in the annual amount of energy produced.

The power values produced annually in PVsyst were examined by taking into account the efficiency losses over time. The system installed with bifacial solar panels was compared with the single sided panel system and the space savings obtained with bifacial solar panels was calculated as 6.78%.

Current, voltage and power graphs were created in MATLAB/Simulink using experimentally obtained ambient temperature and solar radiation values. Since panel temperature values are used in Simulink, ambient temperature values are converted to panel temperature with Lasnier approach. By using the panel current and voltage values obtained in Simulink, the relations between panel temperature-panel voltage and solar radiation-panel current were obtained and regression graphs were created with Python programming language. The annual produced energy values obtained in PVsyst and Simulink for the solar energy system with the same features were compared and it was seen that the value obtained in PVsyst was less than Simulink.

In order to examine the partial shading effect in PVsyst, a 3D model was created and its effect on the generated power was revealed. In order to examine the partial shading effect in Simulink current, voltage and power graphs were created using different solar radiation values and the graph of the current passing through the bypass diode is obtained.

In order to increase the power produced in grid-connected solar energy systems, the answers to the questions of how the positive factors affecting the production can be increased and how the negative factors can be improved are sought. When the literature is examined, artificial intelligence algorithms and various simulation programs are used for this purpose. The power values obtained by comparing real-time data with

simulation or theoretical results are examined. Optimization of solar panel angle, air and water-based cooling systems, inverter compensation, light reflector, selection of transmission cables according to the system, adding bypass diodes to reduce the shading effect, optimization of the distance between panels, panel cleaning and MPPT are taken into consideration.

Among the factors affecting the power produced in solar energy systems, solar radiation, temperature, shading effect and optimization of the panel angle come to the fore. In a system where bifacial panels are used, in addition to these factors, the albedo effect, which expresses the reflective power of a surface, also gains importance.

In this solar energy system, 425 Watt bifacial mono perc solar panels belonging to the GTC photovoltaic solar systems brand are used. Solar panels have an efficiency of 20.59%. While obtaining the voltage value that will occur as a result of the series connection, it should be close to the nominal voltage value to be applied to the inverter input. It has been calculated that as a result of connecting 16 of the panels in series under standard conditions, a voltage of 657.28 volts is calculated and this value is close to the nominal voltage of the inverter.

As the inverter, 55 kW SUN2000-50KTL-M0 belonging to Huawei Technologies was chosen. The inverter has 98.7% efficiency and 6 MPPT inputs. The total power value of the inverter should be close to the installed power value of the solar energy system. If 10 inverters of 55 kW are used, a total of 550 kW of inverter power is generated and it is seen that this value is close to the installed power.

In a movable solar energy system, it is necessary to use the monthly optimum solar panel angle. The monthly optimum solar panel angle was calculated considering that the sun's elevation angle should not be less than the complement value on the selected date. In a fixed system where the solar panels do not move, the annual optimum solar panel angle is used. The annual optimum solar panel angle value was found to be  $31.88^\circ$  for the selected location.

With the solar energy system installed in PVsyst, the effect of bifacial panels and the albedo value on the power produced was examined and the space saving was calculated according to the system created with single-sided panels. In solar energy systems with space constraints, increasing the albedo value of the ground and the use of bifacial solar panels provide a remarkable increase in energy production. It has been observed that if the albedo value increases from 0.3 to 0.73, there is a 10.22% increase in the annual amount of energy produced. However, it turns out that the use of double-sided solar panels requires additional costs.

Since the panel temperature value is used as the input parameter of the solar panel in Simulink, the panel temperature values are obtained from the ambient temperature. When the simulation was run, panel voltage, panel current, diode current values were obtained and voltage and current graphs obtained from the transformer output were created. It was observed that the panel voltage decreased as the panel temperature increased and the panel current increased as the solar radiation increased.

In the solar energy system installed in PVsyst, many factors such as solar panel angle, partial shading effect, double-sided panels, albedo value, temperature, LID, incompatibility, pollution, panel aging and inverter losses are taken into account, while in Simulink, solar radiation, panel temperature and various Power values produced by

MPPT methods are calculated. For a fictitious solar energy system with an installed power of 500 kW, the annual total energy generated in PVsyst is 753 MWh, while this value is 755.25 MWh in Simulink. When the solar energy system with the same features was created in PVsyst and Simulink, it was observed that the energy value obtained in PVsyst was 0.29% less. It has been observed that such a difference occurs in the energy values produced in solar energy systems with the same installed power values, since many factors such as partial shading effect are taken into account in the solar energy system created in PVsyst.

As a result, PVsyst should be used to examine in detail the effect of losses in solar energy systems and the effect of partial shading. It has been deemed more appropriate to use Simulink in order to obtain current, voltage and power values depending on solar radiation and panel temperature and to create a graph showing the maximum power point. It has been seen that Python programming language should be used in order to reveal the relationship between the input and output parameters in the solar energy system.

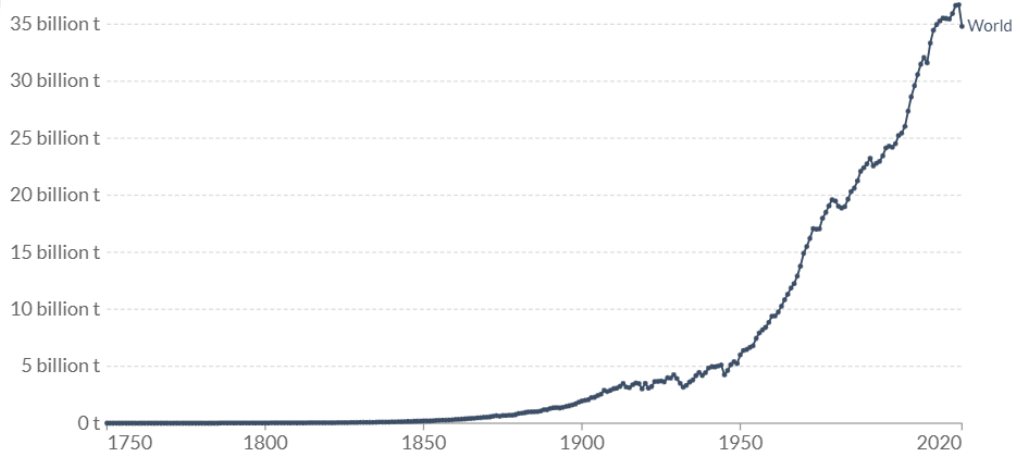






## 1.GİRİŞ

Geçtiğimiz on yıl boyunca dünyada ve Türkiye’de güneş enerjisinden üretilen elektriğin büyük ölçüde arttığı görülmektedir. Elektrik enerjisi üretimi aşamasında karbon salınımı sıfır olan güneş enerjisinin sürdürülebilir ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olması sebebiyle çevresel açıdan dünyanın geleceği için büyük önem taşımaktadır. Şekil 1.1’de yer alan dünya genelindeki yıllık CO<sub>2</sub> emisyonu miktarlarına bakıldığında yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payının artırılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır [1].



**Şekil 1.1.** Dünyada yıllara göre ortaya çıkan CO<sub>2</sub> emisyonu miktarı (milyar ton).

Şebekeye bağlı güneş enerjisi sistemlerinde üretilen gücün artırılması için üretime etki eden olumlu faktörlerin etkisi nasıl artırılabilir ve olumsuz faktörler nasıl iyileştirilebilir sorularının yanıtları aranmaktadır. Bu amaç doğrultusunda yapay zekâ algoritmalarından ve çeşitli simülasyon programlarından yararlanılmaktadır. Gerçek zamanlı veriler ile simülasyon veya teorik sonuçlar karşılaştırılarak elde edilen güç değerleri incelenmektedir. Güneş paneli açısının optimizasyonu, hava ve su bazlı soğutma sistemleri, evirici kompanzasyonu, ışık reflektörü, iletim kablolarının sisteme uygun seçilmesi, gölgeleme etkisinin azalması için baypas diyotlarının eklenmesi, paneller arasındaki mesafenin optimizasyonu, panel temizliği ve MPPT gibi konuların dikkate alındığı bir güneş enerjisi sisteminde üretilen güç miktarının arttığı

gözlemlenmektedir. Güneş enerjisi sistemlerinde elektrik üretimi, üretilen elektriğin alternatif akıma çevrilmesi ve elektrik dağıtımı aşamasında kayıplar yaşanmaktadır. Oluşan kayıplar, üretilen güce etki eden negatif faktörler başlığı altında incelenmekte ve kayıpların minimuma indirgenmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Güneş enerjisi sistemlerinde üretilen güce etkili olan faktörler Şekil 1.2’deki gibi sınıflandırılmaktadır.



**Şekil 1.2.** Güneş enerjisi sistemlerinde üretilen güce etki eden faktörlerin sınıflandırılması.

Güneş enerjisi sistemlerinde üretilen güce etki eden faktörler arasından güneş ışıınımı, sıcaklık, gölgeleme etkisi ve panel açısının optimizasyonu öne çıkmaktadır. Çift yüzlü panellerin kullanıldığı bir sistemde ise bu faktörlere ek olarak bir yüzeyin yansıtma gücünü ifade eden albedo etkisi de önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada güneş paneli açısının optimum olarak bulunması, çift yüzlü panellerle elde edilen alan tasarrufunun hesaplanması, yıllara göre üretilen enerji miktarının hesaplanması, panel sıcaklığı-panel gerilimi ve güneş ışıınımı-panel akımı arasındaki bağıntının elde edilmesi, kısmi gölgeleme etkisinin incelenmesi ve aynı güneş enerjisi sistemi için PVsyst ve Simulink’te üretilen enerji değerlerinin karşılaştırılması yer almaktadır.

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

### 2.1. Güneş Panelleri

Güneş panellerinin yapısını oluşturan güneş hücreleri, yarı iletken yapısı sayesinde güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştürebilmektedir. Güneş ışığı, elektronların daha yüksek bir konuma geçmesine ve arkasında bir boşluk oluşturmaya sebep olmaktadır. Elektronların ve boşlukların hareketleri sonucu akım ve gerilim üretilmesi fotovoltaiik etki olarak adlandırılmaktadır [2]. Bu temel ilke ile çalışan güneş panelleri günümüz dünyasında en etkili, sürdürülebilir ve çevre dostu elektrik üretimini sağlamaktadır.

Güneş panelleri üretim teknolojilerine göre monokristal, polikristal ve amorf olarak sınıflandırılırlar. Monokristal güneş panelleri dilimlenmiş saf silikon kristal çubuklardan oluşmaktadır. Bu teknoloji sayesinde birbirinin aynısı güneş hücreleri üretilmekte ve verim yükselmektedir. Polikristal güneş panelleri birkaç silikon kristal çubuğun eritilip bir kalıba dökülmesiyle oluşturulmaktadır. Bu yöntem ile oluşturulan silikon kristalleri, monokristal hücrelerdeki silikon kristalleriyle karşılaştırıldığında daha az saflık içerdiğinden dolayı polikristal güneş panellerinin verimi daha düşüktür [3].

Amorf yapıdaki paneller, ince homojen bir amorf silikon tabakasının bir yüzeye yayılmasıyla oluşturulmaktadır. Amorf yapıdaki materyallerin karakteristikleri gereği üretimleri kolay ve daha az maliyetlidir. Esnek ve hafif yapıdaki amorf paneller diğer panel çeşitlerine kıyasla daha kısa yaşam süresine ve daha az verimliliğe sahiptir [4].

Monokristal güneş panelleri daha verimli olması sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat bu durum farklı iklim koşullarında değişkenlik gösterebilmektedir. Yarı kurak bir iklime sahip olan Nijerya’da yapılan bir çalışmada aynı teknik özelliklere sahip polikristal paneller monokristal panellere kıyasla daha verimli çalıştığı ve daha yüksek güç ürettiği ortaya konulmuştur [5].

Güneş panellerinin farklı yapıda olması gibi farklı şekillerde olması da üretilen güç değerini etkilemektedir. Düz, konveks ve konkav yapıdaki güneş panelleriyle yapılan çalışmada farklı güç değerlerinin üretildiği görülmüştür. Elde edilen güç değerleri çoktan aza olacak şekilde sırasıyla konkav, konveks ve düz yapıdaki panellerden gelmektedir [2].

## **2.2. Güneş Reflektörü**

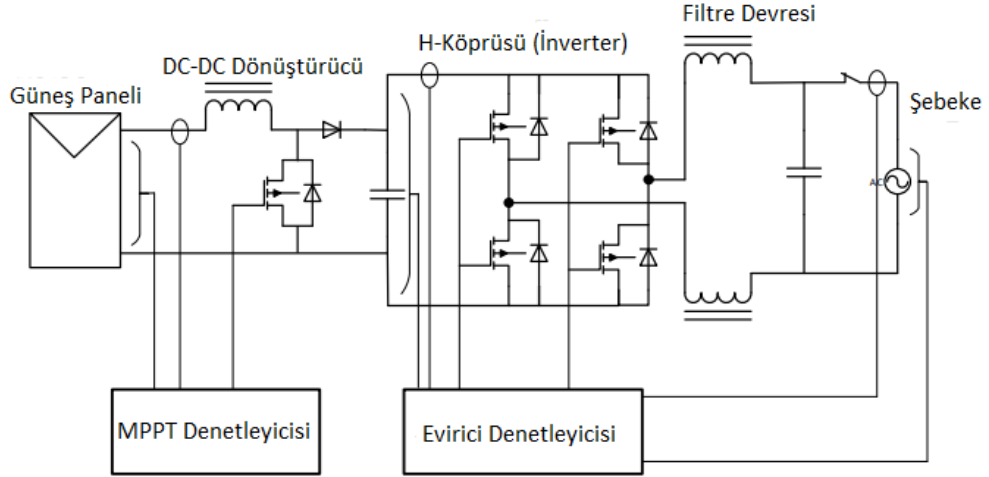
Mevcut güneş panellerinin verimliliğinin artırılmasını sağlamak için güneşten gelen ışığın panel yüzeyinde yoğunlaşmasını sağlayan güneş reflektörleri kullanılmaktadır. Fakat bu yöntemde gözlemlenen en büyük problem yoğun ısı üretimi nedeniyle güneş hücrelerinin veriminin zamanla azalmasıdır. Bu sebeple daha az ısı oluşturacak ve daha az yer kaplayan alternatif bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemde ani ışık yansımaları, güneş hücrelerinin moleküler bağını zayıflatmakta ve güneş hücrelerinden serbest elektronların çıkarılmasını sağlamaktadır. Böylelikle anlık ışık yansımaları tipteki güneş reflektörü, normal ışık kaynağı yansımalarına kıyasla daha yüksek verim sunmaktadır [6].

İyi bir güneş reflektörü uzun ömürlü, düşük maliyetli, bakımı kolay ve yüksek yansıtma özelliğine sahip olmalıdır. Malwad ve ark. yaptıkları çalışmada cam, polimer, alüminyum ve paslanmaz çelikten yapılmış reflektörleri incelemişlerdir. Polimer reflektörler, daha fazla esnek ve daha az maliyetli olmalarına karşın kısa ömürlüdürler. Paslanmaz çelik reflektörler diğer reflektörlere kıyasla daha az yansıtma özelliğe sahiptir. Cam ve alüminyumdan yapılmış reflektörlerin ise en uygun kullanımı sunduğu görülmüştür [7].

## **2.3. Eviriciler**

Güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan eviriciler panellerde üretilen doğru akımı şehir şebekesinde kullanılmak üzere alternatif akıma çevirirler. Maksimum verime sahip, güvenli ve düşük maliyetli eviricilerin üretilmesi için çalışmalar yapılmaktadır [8]. Şebekeye bağlı güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan eviricilerde mevcut kontrol modülüne VAr kompanzasyon bloğu dahil edilerek aktif güç üretimine etki etmeden

reaktif güç kontrol edilememektedir. Eviricilere kompanzasyon yapıldığında şebekeye aktarılan aktif güç miktarı artmaktadır [9].



**Şekil 2.1.** Tek fazlı, çift kademeli ve şebekeye bağlı solar evirici topolojisi.

Ortam sıcaklığı ile eviricinin ürettiği aktif güç arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Eviriciler işletme sıcaklığının üstündeki kritik sıcaklık değerlerine ulaştığında aktif güç değerlerini düşürerek elektronik bileşenlerinin güvenli kalmasını sağlamaktadır. Genellikle %96'nın üzerinde bir verime sahip olan eviriciler güneş enerjisi sistemlerinin en verimli ekipmanıdır [10].

#### 2.4. Doğru ve Alternatif Akım Kabloları

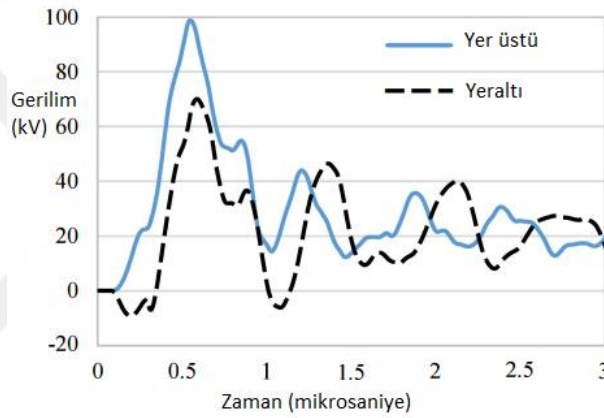
Güneş panellerinden üretilen doğru akımı eviriciye iletmek için doğru akım kabloları kullanılmaktadır. DC kablo tasarımı yapılırken gerilim düşümünü ve termal gereksinimi karşılaması gerekmektedir. DC kablo boyutu denklem 2.1 ile hesaplanmaktadır.

$$A_{DC} = \frac{2 \times L \times I_{DC} \times \rho}{\%V \times V} \quad (2.1)$$

L güneş panelleri ile evirici arasındaki mesafeyi,  $I_{DC}$  kablodan geçen amper cinsinden doğru akım miktarını,  $\rho$  kullanılan malzemenin öz direncini, %V yüzde olarak gerilim düşümünü, V panel gerilimini ifade etmektedir [11]. Kablo kesiti seçilirken çalışma

voltajı, taşıyabileceği akım değeri ve gerilim düşümü değerinin %1'den az olması dikkate alınmaktadır. Bu parametreler dikkate alınarak uygun kablo seçilmesi üretilen gücün maksimize edilmesine katkı sağlamaktadır [12].

Yıldırım düşmesi gibi aşırı gerilim oluşturabilecek durumlar ani yük değişimi ve elektriksel anahtarlama sorunlarına sebep olmaktadır. Bu durum fotovoltaik sistemin ve yardımcı elemanların zarar görmesine yol açmaktadır. DC kabloların yer üstüne yerleştirilmesi bir metre yer altına yerleştirilmesine kıyasla daha fazla gerilim indüklenmesine sebep olmaktadır. Yer altına yerleştirilen kablolar yer üstünde bulunan kablolarla kıyasla aşırı gerilimi %28,83 azaltmaktadır. Bu sebeple güvenlik açısından DC kabloların yer altına yerleştirilmesi daha uygundur [13].



**Şekil 2.2.** Yıldırım etkisi sonucu indüklenen gerilim (kV).

Fakat kabloların toprak altına yerleştirilmesi durumunda eviriciler toprak arızaları nedeniyle çok sık devreye girdiğinden yağış sırasında büyük bir üretim kaybı yaşanmaktadır. Bu durumda aşırı gerilim olayları dikkate alındığında kabloların yer altına yerleştirilmesi, kayıpların en aza indirgenmesi istendiğinde ise kabloların yer üstünde bulunması daha uygun görülmektedir. Güneş enerjisi santrallerinde kablo kayıplarının %3'ü aşmaması istenilmektedir. Kablo kayıplarını en aza indirmek için kablo uzunluğunu olabildiğince kısa tutmak ve düşük dirençli kablo kullanılması gerekmektedir [10].

Evirici çıkışından şehir şebekesine giden iletim hattı boyunca alternatif akım kabloları kullanılmaktadır. Akım taşıma kapasitesi, gerilim regülasyonu ve kısa devre akımı

dikkate alınarak kablo seçimi yapılması gerekmektedir. Kablo kayıplarının göz ardı edilmesi gelecek yıllar için de verimsiz bir sistemin oluşmasına neden olacaktır.

## **2.5. Güneş Paneli Açısı**

Güneş panellerinin yerleştirilme açısı, üretilen gücün belirlenmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Güneş panelinin yüzeyine çarpan güneş radyasyonu miktarını arttırmak üretilen gücün artışı anlamına gelmektedir. Güneş paneli açısının optimize edilmesi için makine öğrenmesi modellerinden yararlanılmıştır. Makine öğrenmesi modeliyle yalnızca hava durumu verileri kullanılarak güneş panellerinin yerleştirilme açısı optimize edilmiş ve yaklaşık olarak %10 daha fazla çıkış gücü elde edilmiştir [14].

Güneş panelinin eğim açısı, bir yerin enleminin ve güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açının bir fonksiyonudur. Hareketli sistemlerde güneş paneli açısını optimum hale getirmek için kuzey yarım kürede aralık ayından haziran ayına kadar panel açısı azalmakta, haziran ayından aralık ayına kadar ise güneş panelinin açısı artmaktadır [15].

Sakarya ili için yapılan bir çalışmada monokristal panellerden oluşan hareketli güneş enerjisi sistemi, 32 °C'ye sabitlenmiş bir sisteme göre %43 daha fazla güneş radyasyonuna sahiptir [16]. Güneş paneli açısının optimize edilmesiyle hem sabit hem de hareketli sistemlerde panel üzerine düşen güneş ışınlamı miktarı artmakta ve buna bağlı olarak da üretilen güç değeri artış göstermektedir.

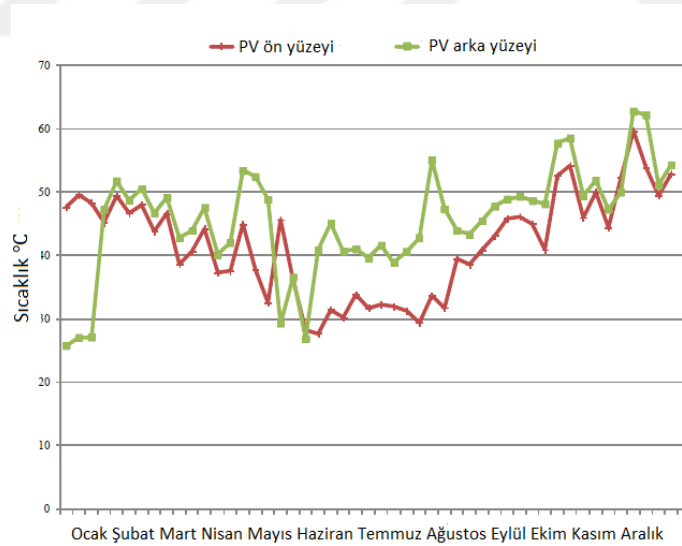
## **2.6. Ortam Sıcaklığı**

Ortam sıcaklığı üretilen güce etki eden en önemli parametrelerden biridir. Farklı güneş ışınlamı ve ortam sıcaklığı değerleriyle PSIM ve MATLAB üzerinde uygulamalar yapılmıştır. Yapılan uygulamalar sonucunda panel sıcaklığının artması panel akımını düşük bir miktarda artırmakta ve panelin çıkış gerilimini doğrusal olarak azaltmaktadır [17]. MATLAB/Simulink'te oluşturulmuş şebekeden bağımsız bir fotovoltaik sistemde farklı sıcaklık değerleri kullanılarak sistemin çıkış gücü ölçülmüştür. SPSS istatistik paket programıyla oluşturulan gücün analitik ifadesi sıcaklık ve güneş ışınlamına bağlı olarak elde edilmiştir. Ortam sıcaklığı artması sonucunda panel

sıcaklığı artmakta ve üretilen güç değeri azalmaktadır [18]. Güneş panellerinin sıcaklığı güneş ışıınımı, ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızına bağlı olarak değişmektedir. Bulutlu günlerde güneş ışıınımındaki azalmaya bağlı olarak panel gövde sıcaklığında da azalma yaşanmaktadır. Rüzgâr hızının artması, panel sıcaklığının düşmesine önemli bir katkı sağladığı görülmüştür [19].

## 2.7. Panel Sıcaklığı

Ortam sıcaklığıyla doğrudan ilintili olan panel sıcaklığı verimi etkileyen en önemli faktörlerdendir. Swart ve ark. yapmış olduğu çalışmada güneş panellerinin ön yüzey sıcaklığını ölçmek için kızılötesi sıcaklık sensörü, panelin arka yüzeyindeki sıcaklığı ölçmek için LM35 sıcaklık sensör modülü ve ortam sıcaklığını ölçmek için termokupl kullanmışlardır. Sıcaklık sensörlerinden gelen veriler, DLIC ve DAQPro 5300’u içeren veri toplama sistemine aktarılmıştır. Böylece sıcaklığın yükselmesi ve gerilimin düşmesi arasındaki ilişki incelenmiştir. Sıcaklık ölçümleri sonucu panelin arka yüzeyindeki sıcaklık değeri ön yüzeyine kıyasla belirgin bir şekilde yüksek olduğu tespit edilmiştir [20].



**Şekil 2.3.** Panelin arka ve ön yüzey sıcaklıkları.

Güneş hücrelerinin sıcaklığını bulabilmek için güneş panelinin arka yüzey sıcaklığından yararlanılmaktadır. Panelin arka yüzey sıcaklığını tahmin etmek için genellikle nominal çalışma hücresi sıcaklığı ve Sandia Ulusal Laboratuvarı sıcaklık tahmini modelleri kullanılmaktadır. Bu modellerle elde edilen sıcaklık değerleri



gerçek değerlere yakın bir sonuç vermekte fakat modüllerin soğutulmasının zayıf olduğu durumlarda beklenen değerler elde edilememektedir. Bu sebeple yeni bir yaklaşım oluşturulmuş ve denklem 2.2 ile modül sıcaklığı elde edilmiştir.

$$T_{\text{modül}} = (0.943 \times T_a) + (0.0195 \times I) - (1.528 \times v) + 0.3529 \quad (2.2)$$

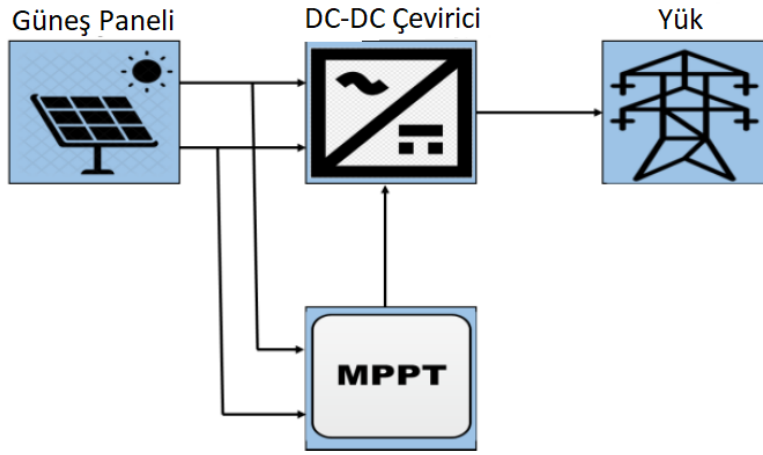
$T_a$  ortam sıcaklığını,  $I$  güneş ışınımını,  $v$  rüzgar hızını ifade etmektedir. Bu formül sonucu elde edilen değerler ile beş gün boyunca 4630'dan fazla güneş hücresinden elde edilen sıcaklık değerleri arasında %3'den daha az hata payının olduğu tespit edilmiştir [21].

Teorikte modül sıcaklığını bulmak için kullanılan yöntemleri rüzgârın dikkate alınıp alınmamasına göre incelemek mümkündür. Rüzgârın dikkate alınmadığı modeller NOCT, Lasnier, PVsyst, Akhsassi-1 ve rüzgâr etkisinin hesaba katıldığı modeller Sandia, Akhsassi-2, Mattei, Faiman'dır. Rüzgâr etkisini içermeyen modeller rüzgâr hızını içeren modellere kıyasla panel sıcaklığını ölçülen değerlere daha yakın bulmaktadır. Rüzgârın hesaba katılmadığı modeller arasında Lasnier ve PVsyst modelleri en iyi sonucu verirken NOCT yaklaşımı modül sıcaklığını olması gerekenden fazla bulmaktadır. Rüzgâr etkisinin hesaba katıldığı modeller arasında Akhsassi-2 ve Sandia modelleri yeterli sonucu verirken Mattei yaklaşımında modül sıcaklığı olması gereken değerden fazla çıkmaktadır. Monokristal ve polikristal yapıdaki paneller için doğruya en yakın sonuç Lasnier modeliyle, amorf yapıdaki panellerde ise PVsyst modeliyle elde edilmiştir [22].

## 2.8. MPPT

Güneş panellerinin güç eğrilerine bakıldığında sadece bir maksimum güç noktasına sahip oldukları görülmektedir. Güneş panellerinin farklı çevre koşullarında maksimum güç elde etmesi için çalışma noktası ve maksimum güç noktasının çakışması gerekmektedir. Bu sebeple çalışma noktasını maksimum güç noktasına yakın tutarak panellerden maksimum güç elde edilebilmektedir. Güneş ışınımı ve sıcaklık gibi faktörler sonucu maksimum güç noktası değiştiğinden dolayı MPPT kullanılmaktadır. MPPT'nin daha verimli çalışması için değiştir ve gözle, artımlı iletkenlik, yapay sinir ağları, bulanık mantık denetleyicisi ve eğri uydurma yöntemleri geliştirilmiştir. Şekil

2.4’de MPPT özelliğine sahip eviriciyle çalışan güneş enerjisi sistemi yer almaktadır [23].



**Şekil 2.4.** MPPT uygulanmış güneş enerjisi sistemi.

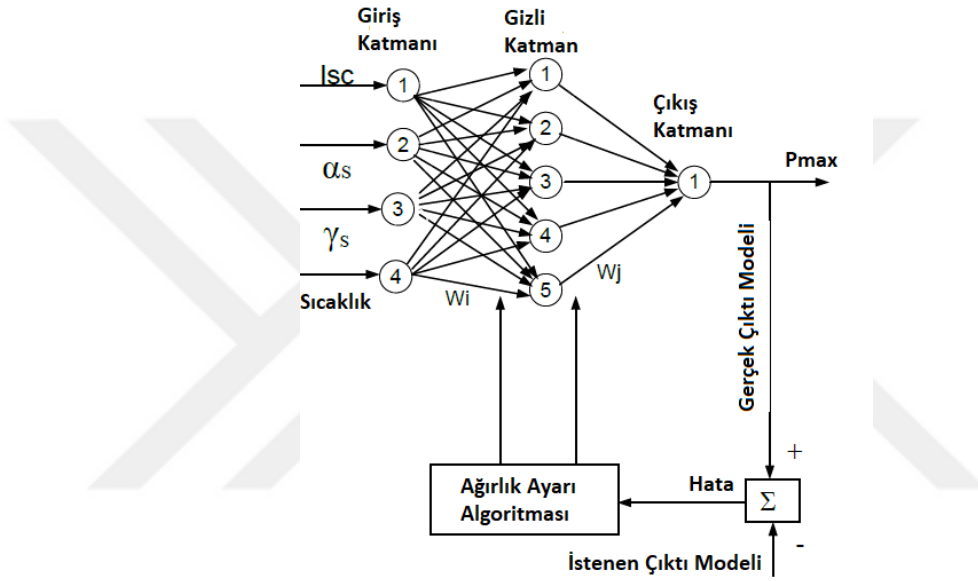
## 2.9. Gölgeleme Etkisi

Seri bir dizideki her bir panel aralarındaki en düşük performanslı panelin verimliliğinde çalışmaktadır. Bir panel üzerine düşen gölge sonucu oluşacak güç kaybı seri bağlantıdaki bütün panelleri etkilemektedir. Katı maddelerin oluşturduğu gölgeler sonucunda gerilim değeri düşerken bulut ve sis gibi hafif gölgeler sonucunda akım değeri düşmektedir. Kısmi gölgeleme etkisi yılda %10 ile %20 arasında değişen uyumsuzluk kayıplarına da yol açmaktadır. Üzerine gölge düşen bir hücre ters yönde polarize olan bir diyot gibi davranır ve ters güç üretir. Bunun sonucunda panel sıcaklığının artmasına ve kritik değer aşıldığında panelin yanmasına veya zarar görmesine sebep olmaktadır [10].

Fotovoltaik sistemlerde gölgeleme etkisi sonucu çıkış gücü, akım ve verim doğrusal olarak azalmaktadır. Düzensiz biçimdeki gölgeler sistemin verimliliğini daha çok etkilemektedir. Tüm dizinin verimliliğinin etkilenmemesi için gölgelenen belirli hücrelerde baypas diyotları kullanılmaktadır [23]. Lehman ve ark. üzerine gölge düşen güneş panelleriyle çıkış gücü arasındaki ilişkiyi incelemek için yapay sinir ağları kullanmıştır. Yapay sinir ağı tabanlı gölgeleme fonksiyonu denklem 2.3 ile ifade edilmiştir.

$$P_{\max} = f(t, E, T) \approx f(\alpha_s, \gamma_s, I_{sc}, T) \quad (2.3)$$

$P_{\max}$  güneş panellerinin maksimum çıkış gücünü,  $E$  güneş ışıınım değerini,  $I_{sc}$  kısa devre akımını,  $\alpha_s$  ve  $\gamma_s$  güneş pozisyon açılarını,  $T$  ortam sıcaklığını,  $t$  bir günlük zamanı ve  $f$  gölgeleme fonksiyonunu ifade etmektedir. Çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı kullanılarak gölgeleme fonksiyonu oluşturulmuştur. Test verileri ile gölgeleme fonksiyonu hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda öngörülen çıkış gücünün ölçülen değerlere çok yakın olduğu görülmüştür [24].



**Şekil 2.5.** Çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı ile gölgeleme fonksiyonunun modellenmesi.

Gölge etkisini göz önünde bulundurarak kuzey-güney doğrultusundaki iki panel arasındaki mesafe denklem 2.4 ve doğu-batı doğrultusundaki iki panel arasındaki mesafe denklem 2.5 ile hesaplanmaktadır.

$$D = H \times \frac{\cos \beta}{\tan \alpha} \quad (2.4)$$

$$D = H \times \frac{\sin \beta}{\tan \alpha} \quad (2.5)$$

$D$  gölge uzunluğunu,  $H$  panelin dikey uzunluğunu,  $\alpha$  güneşin yükseklik açısını ve  $\beta$  azimut açısını ifade etmektedir. Arazi yükseklik farkı göz önüne alındığında genellikle kuzey-güney doğrultusundaki iki panel arasındaki mesafe gölge

uzunluğundan daha fazla olacak şekilde belirlenmektedir [25]. İzmir ili için yapılan bir çalışmada gölge etkisini en aza indirecek şekilde panellerin yerleştirilmesi incelenmiştir. İki eksenli ve tek eksenli güneşi izleyen sistemlerde yan yana duran paneller arasındaki mesafe optimum olacak şekilde hesaplamalar yapılmıştır. Sabit eğimli sistem için yapılan hesaplamalarda iki eksenli sistemde paneller arasındaki mesafe en az panel genişliği kadar, tek eksenli sistemde paneller arasındaki mesafe panel genişliğinin 2 katından fazla olması gerekmektedir [12].

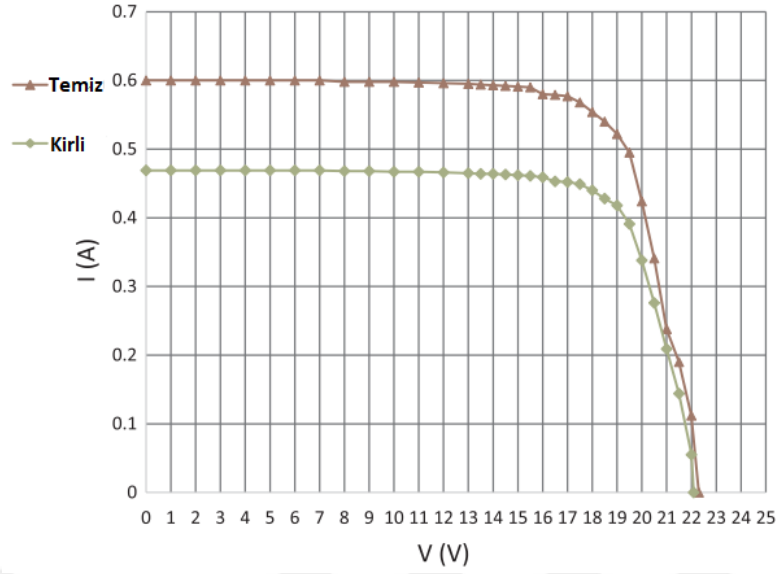
## 2.10. Hava Kirliliği

Güneş panellerinin üzerinde toz ve kirin birikmesi gölgeye sebep olmakta ve hücrelere gelen güneş ışınımını azaltmaktadır. Güneş ışınımından tam verimle yararlanmak için panellerin düzenli olarak temizlenmesi gerekmektedir. Panel temizliği sırasında korozyonu önlemek için saf su kullanılmakta ve suyla temizleme sırasında oluşacak ısı farkından dolayı panel camının çatlamaması için sabah veya akşam vakitleri tercih edilmektedir [10].

Panel yüzeyindeki toz birikimi yoğunluğu panel eğimi, azimut açısı, hâkim rüzgâr yönü, yerçekimi, basınç ve yüzey yapışkanlığı ile ilişkilidir. Ulusal Hava Servisi raporuna göre biriken tozların büyük çoğunluğunu  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{CaO}$  bileşikleri oluşturmaktadır. Toz birikmesi sonucu oluşan güç kaybını hesaplamak için denklem 2.6 kullanılmıştır.

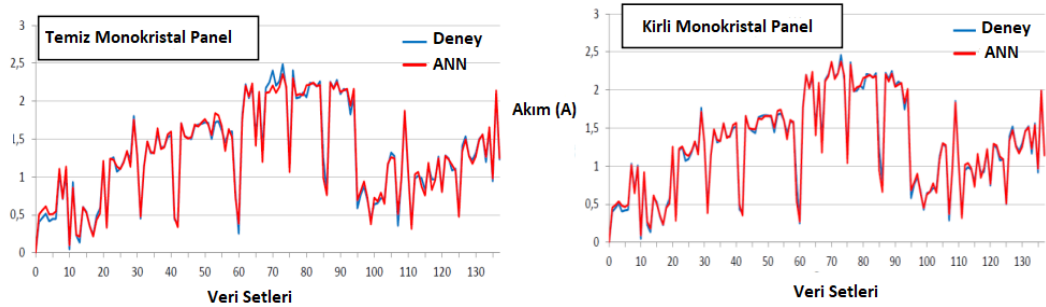
$$\Delta P = \frac{P_c - P_d}{P_c} \times 100 \quad (2.6)$$

$P_c$  temiz tutulan referans panelde oluşan gücü,  $P_d$  ise tozlu panelde oluşan gücü ifade etmektedir. Panel yüzeyinde toz birikmesi sonucu kısa devre akımı büyük ölçüde azalırken açık devre gerilimi daha düşük miktarda azalmaktadır. Oluşan güç kaybında akımın etkisinin gerilime kıyasla daha fazla olduğu görülmektedir [26].



**Şekil 2.6.** Temiz ve kirli panellerin akım-gerilim karakteristikleri.

Sonsuz ve ark. yaptıkları çalışmada çevresel faktörlerin monokristal ve polikristal güneş panellerindeki etkisini yapay sinir ağlarını kullanarak MATLAB üzerinde incelemişlerdir. Monokristal ve polikristal panellerden biri düzenli olarak temizlenirken diğer paneller olduğu gibi bırakılmıştır. 210 gün boyunca panellerden ölçülen veriler sonucunda kirli haldeki polikristal panel, temizlenmiş polikristal panele kıyasla %2,7 kısa devre akımı kaybı yaşamaktadır. Kirli monokristal panellerde ise %2,08 kısa devre akımı kaybı gözlemlenmektedir. Yapay sinir ağlarıyla yapılan çalışmadaki değerler ile ölçülen değerler arasında büyük bir benzerlik görüldüğü ortaya konulmuştur [27].



**Şekil 2.7.** Deneyel ve yapay sinir ağlarıyla elde edilen kısa devre akımının karşılaştırılması.

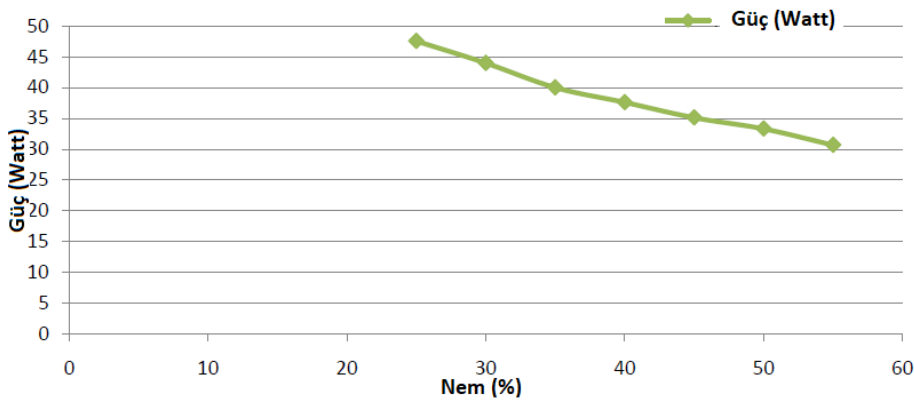
## 2.11. Rüzgâr Hızı ve Nem

Rüzgâr hızı arttıkça güneş panellerinin sıcaklığı düşmekte ve üretilen güç miktarı artmaktadır. Rüzgâr hızının artışına bağlı olarak panellerdeki ısı transferi doğrusal olarak artış göstermektedir [23]. Konya ili için yapılan bir çalışmada rüzgâr hızının panel sıcaklığı üzerindeki etkisi deneysel olarak elde edilmiştir. Muzathik'in ve Lasnier'in oluşturduğu eşitliklerle elde edilen panel sıcaklığı değerleri teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Muzathik'in oluşturduğu eşitlik panel sıcaklığı ve güneş ışınım değerine ek olarak rüzgâr hızı değerini de içerdiğinden dolayı deneysel verilere daha yakın sonuç vermektedir [19].

Nem, güneş panelleri üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Aynı sıcaklık farklı nem değerlerinde yapılan ölçümler sonucunda üretilen güç değerinin azaldığı görülmektedir. Nem etkisinin sebep olduğu üretilen güçteki yüzde azalma değeri denklem 2.7 ile ifade edilmiştir.

$$P_{azalma} = \frac{P - P_n}{P} \times 100 \quad (2.7)$$

P referans nem değerindeki üretilen gücü,  $P_n$  nem etkisinin dikkate alındığı gücü ifade etmektedir. Panjwani ve Narejo'nun yapmış olduğu çalışmada nem oranının %25'den %50'ye çıktığı bir ortamda üretilen güç değeri yaklaşık olarak %29,92 azalmıştır [28]. Şekil 2.8'de nem oranının artması sonucu üretilen güç değerinin azalması görülmektedir.



Şekil 2.8. Nem ve çıkış gücü arasındaki ilişki.

## 2.12. Soğutma Sistemleri

Sıcak havalarda güneş panelleri aşırı ısınma sorunuyla karşılaşmaktadır. Paneller tarafından emilen enerjinin büyük bir kısmı ısıya dönüşmektedir. PV modül verimliliği, modül sıcaklığında bir derecelik artışla yaklaşık %0,40–0,65 oranında azalmaktadır. Panel sıcaklığının 65 °C civarlarında olduğu durumda yaklaşık %17,2 ila %28 arasında kayıplar yaşandığı görülmüştür. Ayrıca yüksek sıcaklıkların panel ömrünü kalıcı olarak kısalttığı bilinmektedir [29].

Modül sıcaklığını azaltmak için soğutma sistemleri geliştirilmiştir. Soğutma sistemleri aktif soğutma ve pasif soğutma olarak incelenmektedir. Aktif soğutma sistemleri, harici güç girişi gerektiren fanlar veya pompalar tarafından çalıştırılmaktadır. Aktif soğutma sistemlerini sıvı ve hava soğutmalı olarak incelemek mümkündür. Sıvı soğutmalı sistemler, hava soğutmalı sistemlere kıyasla daha çok ısı transferi yapmakla beraber daha fazla kurulum maliyetine sebep olmaktadır.

Nizetec ve ark. yapmış olduğu çalışmada panelin arka ve ön yüzeylerine uygulanan aktif su soğutmalı sistemle panel sıcaklığının 54 °C'den 24 °C'ye inmesini ve panel çıkış gücünün %16,3 artmasını sağlamışlardır. Stanford Üniversitesinde yapılan pasif hava soğutmalı sistemde şeffaf bir silikon kaplama ile önce ısı toplanmakta ve ardından kızılötesi elektromanyetik dalgalar olarak havaya yayılmaktadır. Böylelikle 13 °C'ye kadar soğutma sağlanmaktadır [30]. Bayrak'ın yapmış olduğu aktif hava soğutmalı sistemde farklı sayı ve güçteki DC fanlar ile üretilen güç değerleri ölçülmüştür. 80 W monokristal pannelle yapılan çalışmada referans panelden 62,42 W güç elde edilirken 4 DC fanlı sistemde 64,1 W güç elde edilmiştir. DC fanlı sistem ile %2,69 değerinde bir güç artışı ortaya çıkmaktadır [31]. Güneş reflektörlü ve aktif su soğutmalı bir sistem ile sıcaklık ve güç değerleri incelenmiştir. Reflektörler panelin iki yanına 120°'lik bir açıyla yerleştirilmiş ve paneli ön yüzeyine düzenli olarak su uygulanmıştır. Zubeer ve ark. yapmış olduğu bu sistemle panel sıcaklığını 29,8 °C azaltmış ve çıkış gücünü %24,4 artırmışlardır [32]. Yapılan bu çalışmalar ile sıvı soğutmalı sistemlerin hava soğutmalı sistemlere kıyasla önemli ölçüde verimi arttırdığı görülmektedir.

Tablo 2.1'de soğutma çeşidi, soğutma metodu ve çalışma mekanizmasına göre soğutma sistemleri sınıflandırılmıştır [33].

**Tablo 2.1.** Soğutma sistemlerinin sınıflandırılması.

| Soğutma Çeşidi | Metot             | Çalışma Mekanizması                                                    |
|----------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Aktif          | Hava Soğutmalı    | Hava akışı için hücreler ve arka duvar arasında bir kanal oluşturulur. |
| Aktif          | Hava Soğutmalı    | Hücreler ve arka duvar arasına ince metal plaka yerleştirilir.         |
| Aktif          | Sıvı Soğutmalı    | Panelin ön yüzeyine su püskürtülür.                                    |
| Aktif          | Sıvı Soğutmalı    | Kimyasal malzemelerle ısı emilimi sağlanır.                            |
| Aktif          | Soğutucu Bazlı    | Isıyı dağıtmak için panele ek kanallar açılır.                         |
| Aktif          | Hava Soğutmalı    | DC fanlar ile panel yüzeyine hava uygulanır.                           |
| Pasif          | Su altı soğutması | Paneller su altına yerleştirilir.                                      |
| Pasif          | PCM               | Faz değiştiren malzemeyle ısı depolanır.                               |

### 2.13. Kar Etkisi

Paneller üzerinde biriken kar, panele ulaşan güneş ışınlamı miktarını azaltması sebebiyle verimi olumsuz olarak etkilemektedir. Ilıman iklimlerde kar yağışı sonucu yıllık elektrik üretim kaybı %1 ila %3,5 arasında değişmektedir. Şiddetli kar yağışının yaşandığı iklimlerde ise %5 ila %34 arasında yıllık elektrik üretim kaybı yaşanmaktadır. Kar sebebiyle yaşanan verim kaybını tahmin etmek için birçok metot geliştirilmiştir. Bu metotlar içerisinde panel üzerindeki kar kalınlığı, kar yağışı miktarı, karın durma süresi ve fiziksel özellikleri dikkate alınmaktadır.



Paneller üzerinde biriken kar miktarını azaltmak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Harici bir ısıtıcı kullanmak, hareketli sistemlerde gece vakitlerinde panel açısını arttırmak, kar ve panel arasındaki sürtünme ve adezyonu azaltmak için hidrofobik kaplamalar kullanmak bu yöntemler arasında yer almaktadır [34]. Kar etkisi sonucu paneller üzerinde gölge oluşması uyumsuzluk kayıplarına sebep olmaktadır. Bir panel üzerine düşen gölge, seri bağlantılı olduğu bütün panellerin akımını etkilediğinden dolayı merkezi evirici sistemi yerine mikro evirici sistemi kullanılmaktadır [35].

Asthana ve ark. yapmış olduğu çalışmada 1 MW kurulu güce sahip sistemde güneş panellerinin ısıtıcı ile  $-5^{\circ}\text{C}$ 'den  $5^{\circ}\text{C}$ 'ye çıkarılmasında harcanan 4000 kWh enerjiye karşılık 15000 kWh enerji kazancının sağlandığı ortaya konulmuştur. Paneller üzerindeki biriken karı kaldırmak için yapılan bu çalışmada karlı günlerde üretilen elektrik miktarı %60 ila %70 arasında artış göstermektedir [36].

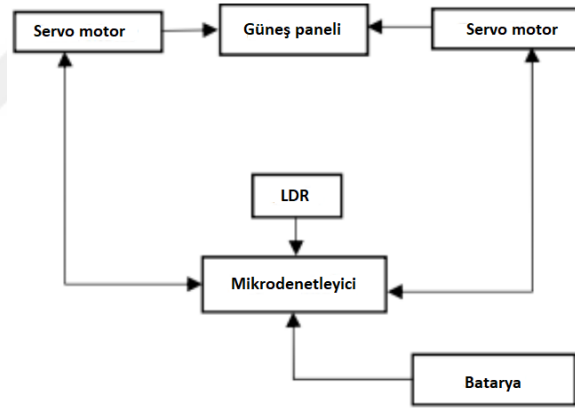
#### **2.14. Hareketli Panel Sistemi**

Güneş enerjisi sistemlerinin verimliliği güneş takibi sistemiyle büyük ölçüde artmaktadır. Hareketli sistemlerde güneşin zaman içerisinde değişen koordinatları dikkate alınarak paneller üzerine düşen güneş ışınımı en fazla olacak şekilde panellerin yönü değişmektedir. Hareketli sistemler sabit sisteme kıyasla daha az bir alanda aynı gücü üretebilmektedir. Fakat hareketli elektromekanik sistemler fazladan masraf ve bakım gerektirmektedir [37]. Yapay sinir ağları, bulanık mantık ve derin öğrenmeyle güneş panellerinin açısı optimize edilerek daha fazla güç üretimi elde edilmektedir [38].

Güneş takip sistemlerini astronomik takip, görüntü işlemeyle takip ve LDR tabanlı takip olarak incelemek mümkündür. Astronomik takip sisteminde güneşin her yıl tekrarlanan bir şekilde hareket etmesinden yararlanılmaktadır. Güneşin önceden belirlenmiş hareketi enlem, boylam, yılın günleri ve günün saatleri gibi faktörler kullanılarak hesaplanabilmektedir. Bu yöntem sabit bir eğim sistemine kıyasla üretilen enerjide bir artış sağlasa da geri besleme kontrol mekanizmasının eksik olması sebebiyle diğer takip sistemlerinden daha verimsizdir. Görüntü işlemenin kullanıldığı takip sistemlerinde kameralar ve görüntü elde etme teknikleri kullanılmaktadır. Bu yöntemde doğruluk oranı çok yüksek olmasına karşın masraflı olması sebebiyle

yaygın olarak kullanılmamaktadır. LDR tabanlı takip sisteminde güneşin pozisyonunu belirlemek için LDR'ler kullanılmaktadır. İki eksenli takip sistemlerinde panelin dört kenarına LDR'ler yerleştirilmektedir. LDR'lerden gelen veriler mikrodnetleyiciye aktarılır ve panelin konumu belirlenir. Bu yöntemin uygulanması diğer yöntemlere kıyasla daha kolay ve ucuzdur. Fakat bulutlu ve sisli günlerde hatalı sensör verileri oluşabilmektedir. MATLAB ortamında makine öğrenmesi algoritması kullanarak hatalı verilerin etkisi azaltılabilmektedir [39].

Kher ve ark. yapmış olduğu sistem mikrodnetleyici, Wi-Fi yönlendirici, batarya, bulut sunucu ve tek eksenle dönen güneş panellerini içermektedir. Mikrodnetleyici ile servo motor kontrol edilerek panellerin hareketi sağlanmaktadır. Tek eksenle hareket eden sistemde sabit sisteme göre %30 ila %40 arasında değişen verim artışı yaşanmaktadır [40]. Şekil 2.9'da iki eksenli sistemde LDR'lerden gelen sinyaller mikrodnetleyiciye aktarılmakta ve iki servo motor vasıtasıyla dikey ve yatay hareketler sağlanmaktadır [41].



**Şekil 2.9.** İki eksenle hareket eden panel sisteminin blok diyagramı.

Singh ve ark. iki eksenle hareket eden astronomik sistemle %29,17 ve LDR'nin kullanıldığı sistemle %46,09 verim artışı gözlemlemiştir [42]. Hareketli panel sistemiyle üretilen güç değerinde dikkate değer bir artışın yaşanmasıyla birlikte kurulum ve bakım maliyetini de getirdiği görülmektedir.

## 2.15. Uyumsuzluk Etkisi

Güneş hücrelerinin farklı elektriksel özelliklere sahip olması uyumsuzluk etkisine sebep olmaktadır. Uyumsuzluk kayıpları iç ve dış faktörler olarak incelenmektedir. İç

faktörler seri direnç, şönt direnci, akım ve diyot doyma akımıdır. Dış faktörlerden kaynaklı kayıplar ise kısmi gölgeleme ve sıcaklıktır [43].

Uyumsuzluk kaybı yüzde olarak denklem 2.8 ile bulunmaktadır.

$$\% \text{Uyumsuzluk kaybı} = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{P_{\max}} \times \%100 \quad (2.8)$$

$P_{\max}$  maksimum gücü üreten satırı ve  $P_{\min}$  minimum gücü üreten satırı ifade etmektedir [44]. Uyumsuzluk kayıplarını azaltmak için mikro eviriciler ve dizi eviriciler kullanılmaktadır. Rodrigo ve ark. yapmış olduğu çalışmada gölgeleme sebebiyle oluşan uyumsuzluk kaybı mikro eviricinin olduğu sistemde %0,11, dizi eviricinin kullanıldığı sistemde %0,52 ve merkezi eviricinin kullanıldığı sistemde %3,18'dir [45]. Uyumsuzluk kaybının, güneş enerjisi sistemlerinde oluşan diğer kayıplara kıyasla verimi daha az etkilediği görülmektedir.

## 2.16. Güneş Işınımı

Güneş ışıınımı verileri, güneş enerjisi sistemlerinin tasarımı ve işletimi sırasında büyük öneme sahiptir. Güneş ışıınımı değerlerini bulmak için birçok metot geliştirilmiştir. Bu metotlar içerisinde matematiksel formüller, yapay sinir ağları, destek vektör makineleri, genetik algoritmalar ve uydu verilerinin kullanılması yer almaktadır. Global ışıınım değerleri doğruya en yakın olarak sırasıyla saatlik, günlük ve aylık tahminlerden gelmektedir. Güneş ışıınımının tahmin edilmesinde en önemli faktörler güneşlenme süresi ve ortam sıcaklığıdır [46].

Alparslan ve ark. yapay sinir ağları ve bulanık mantığın kullanıldığı uyarlanırlar ağları ile güneş ışıınımı tahmini yapmışlardır. Işık şiddeti, nem ve sıcaklık değerleri kullanılarak yapılan tahminlerde en iyi sonucun 4 katmanlı ve 4 nöronlu ileri beslemeli yapay sinir ağlarından geldiği görülmüştür [47].

## 2.17. Çift Yüzlü Güneş Panelleri ve Albedo Etkisi

Çift yüzlü güneş panelleri, güneş ışıınımını ön ve arka yüzlerinden kullanabilmektedir. Böylelikle %35'e varan verim artışı gözlenmekte ve alan tasarrufu sağlanmaktadır. Çift yüzlü panellerde bir yüzeyin yansıtma gücünü ifade eden albedo etkisi dikkate alınmaktadır. Yüksek albedo'ya sahip zeminden yansıyan difüz ışıınım, panellerin her

iki tarafına da ulaşmaktadır. Sonuç olarak çift yüzölçümlerinin yerleştirildiği zeminin yansıtma katsayısı büyük önem taşımaktadır [48].

Tablo 2.2’de farklı nesnelere ait albedo değerleri yer almaktadır [49]. Albedo değerinin yüksek olması daha fazla yansıtma gücüne sahip olduğu anlamına gelmektedir.

**Tablo 2.2.** Farklı zeminlere ait albedo değerleri.

| Nesne       | Albedo Katsayısı |
|-------------|------------------|
| Oluklu Çatı | 0,1-0,15         |
| Ağaç        | 0,15-0,18        |
| Beton       | 0,25-0,7         |
| Çimen       | 0,25-0,3         |
| Buz         | 0,3-0,5          |

### 3.UYGULAMA

#### 3.1. Güneş Enerjisi Sisteminde Panel ve Eviricinin Seçilmesi

Bu tez kapsamında Kocaeli Üniversitesi Umuttepe yerleşkesinde 500 kW'lık kurulu güce sahip çift yüzölü güneş panellerinin yer aldığı güneş enerjisi sistemi incelenmiştir. Bu sistemde GTC photovoltaic solar systems markasına ait 425 Watt çift yüzölü mono perc güneş panelleri kullanılmıştır. %20,59 verimliliğe sahip güneş panelinin temel parametreleri Şekil 3.1'de yer almaktadır.

##### ÖN YÜZ ELEKTRİKSEL DEĞERLERİ

|                                 |       |       |       |       |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Maks. Güç $P_{max}$ (W)         | 410   | 415   | 420   | 425   |
| Maks. Güç Voltajı $V_{MPP}$ (V) | 40.65 | 40.74 | 40.82 | 41.08 |
| Maks. Güç Akımı $I_{MPP}$ (A)   | 10.09 | 10.19 | 10.29 | 10.35 |
| Açık Devre Voltajı $V_{oc}$ (V) | 48.80 | 48.95 | 49.10 | 49.45 |
| Kısa Devre Akımı $I_{sc}$ (A)   | 10.29 | 10.60 | 10.90 | 11.15 |
| Modül Verimi (%)                | 19.80 | 20.10 | 20.34 | 20.59 |

Standart Test Koşulları (STK); 1000 W/m<sup>2</sup>, AM1.5, 25 °C, Çıkış gücü toleransı (w) +/- 3%

##### ÇİFT YÜZ İÇİN ELEKTRİKSEL DEĞERLER

|      |                           |       |       |       |       |
|------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
| +7%  | Çıkış Gücü- $P_{max}$ (W) | 439   | 444   | 449   | 455   |
|      | Modül Verimliliği (%)     | 21.20 | 21.51 | 21.77 | 22.03 |
| +15% | Çıkış Gücü- $P_{max}$ (W) | 472   | 477   | 483   | 489   |
|      | Modül Verimliliği (%)     | 22.84 | 23.12 | 23.40 | 23.77 |

##### ÇALIŞMA ŞARTLARI

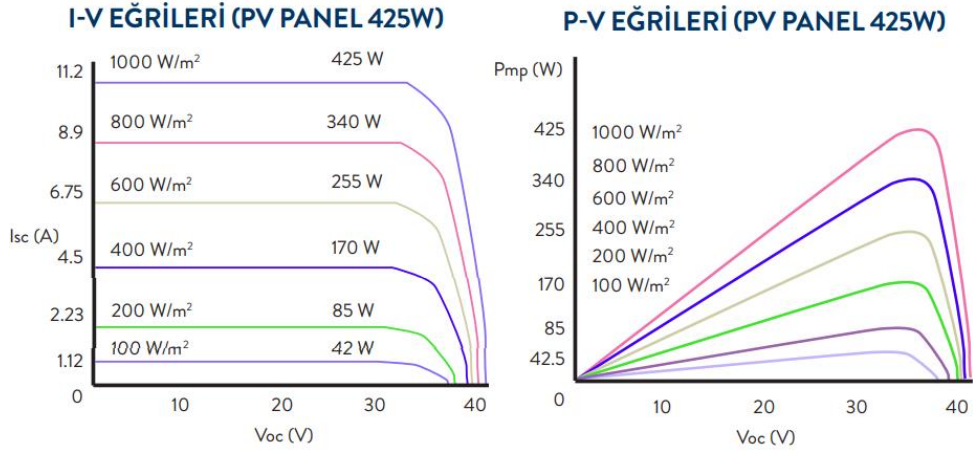
|                              |             |
|------------------------------|-------------|
| Çalışma Sıcaklığı            | -40°C/+85°C |
| Maksimum Sistem Voltajı      | 1500V       |
| Maksimum Seri Sigorta Değeri | 20A         |
| Rüzgar Yüğü                  | 2400 Pa     |
| Kar Yüğü                     | 5400 Pa     |

##### SICAKLIK KARAKTERİSTİĞİ

|                                  |          |
|----------------------------------|----------|
| Sıcaklık Katsayısı ( $P_{max}$ ) | -0.38%/K |
| Sıcaklık Katsayısı ( $V_{oc}$ )  | -0.29%/K |
| Sıcaklık Katsayısı ( $I_{sc}$ )  | 0.04%/K  |
| Normal Çalışma Sıcaklığı (NOCT)  | 46°C     |

Şekil 3.1. Çift yüzölü güneş panelinin temel parametre değerleri.

Çift yüzölü panellerin farklı ışıınım değerlerinde akım-gerilim ve güç-gerilim eğrileri Şekil 3.2'de yer almaktadır. Işıınım değerine bağılı olarak kısa devre akımı büyük oranda değışirken açık devre gerilimi daha az değışim göstermektedir [50].



**Şekil 3.2.** Çift yüzölümlü panellerin farklı ışıma değerlerinde I-V ve P-V eğrileri.

Seri bağlantı sonucu oluşacak gerilim değerini elde ederken evirici girişine uygulanacak nominal gerilim değerine yakın bir değer olması dikkate alınmaktadır. Standart koşullarda panellerin 16 tanesinin seri olarak bağlanması sonucunda 657,28 volt gerilim oluşmaktadır. Bu değer denklem 3.1 ile elde edilmiştir.

$$16 \times \text{Panelin Maksimum Güç Voltajı} = 16 \times 41,08 = 657,28 \text{ Volt} \quad (3.1)$$

Evirici olarak ise Huawei Technologies'e ait 55 kW'lık SUN2000-50KTL-M0 seçilmiştir. Evirici %98,7 verime ve 6 MPPT girişine sahiptir. Şekil 3.3'de eviriciye ait elektriksel özellikler yer almaktadır [51].

| Efficiency                          |                                                                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Max. Efficiency                     | 98.7%                                                                           |
| European Efficiency                 | 98.5%                                                                           |
| Input                               |                                                                                 |
| Max. Input Voltage                  | 1,100 V                                                                         |
| Max. Current per MPPT               | 22 A                                                                            |
| Max. Short Circuit Current per MPPT | 30 A                                                                            |
| Start Voltage                       | 200 V                                                                           |
| MPPT Operating Voltage Range        | 200 V ~ 1,000 V                                                                 |
| Rated Input Voltage                 | 600 V                                                                           |
| Number of Inputs                    | 12                                                                              |
| Number of MPP Trackers              | 6                                                                               |
| Output                              |                                                                                 |
| Rated AC Active Power               | 50,000 W                                                                        |
| Max. AC Apparent Power              | 55,000 VA                                                                       |
| Max. AC Active Power (cosΦ=1)       | 55,000 W                                                                        |
| Rated Output Voltage                | 220 V / 380 V, 230 V / 400 V, default 3W + N + PE; 3W + PE optional in settings |
| Rated AC Grid Frequency             | 50 Hz / 60 Hz                                                                   |
| Rated Output Current                | 76 A @380 V, 72.2 A @400 V                                                      |
| Max. Output Current                 | 83.6 A @380 V, 79.4 A @400 V                                                    |
| Adjustable Power Factor Range       | 0.8 LG ... 0.8 LD                                                               |
| Max. Total Harmonic Distortion      | < 3%                                                                            |

**Şekil 3.3.** Huawei SUN2000-50KTL-M0 eviricinin elektriksel özellikleri.

Eviricinin toplam güç değerinin güneş enerjisi sisteminin kurulu güç değerine yakın bir değer olması gerekmektedir. 10 adet 55 kW'lık evirici kullanılması durumunda toplamda 550 kW'lık evirici gücü oluşmakta ve bu değer kurulu güce yakın olduğu görülmektedir.

### 3.2. Optimum Güneş Paneli Açısının Hesaplanması

Panel yüzeylerine düşen güneş ışıınımı miktarının maksimum olabilmesi için güneş panellerinin açısının optimum olarak hesaplanması gerekmektedir. Literatürde güneş panellerinin yerleştirilme açısını bulabilmek için birçok matematiksel model oluşturulmuştur. Bu modeller arasında genetik algoritma, benzetimli tavlama tekniği, parçacık sürü optimizasyon algoritması, yapay sinir ağları yer almaktadır. Panel açısının optimizasyonu, panel yüzeyine düşen toplam güneş ışıınımı miktarı dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Toplam güneş ışıınımı miktarı denklem 3.2 ile bulunmaktadır.

$$H_T = H_B + H_D + H_R \quad (3.2)$$

$H_B$  doğrudan güneş ışıınımını,  $H_D$  difüz güneş ışıınımını ve  $H_R$  yerden yansıyan ışıınımı ifade etmektedir. Güneş enerjisi sisteminin bulunduğu enlem değeri panel açısını etkileyen parametreler arasında yer almaktadır. Ayrıca atmosfer temizlik indeksi ve gün sayısı da matematiksel modellerin elde edilmesinde kullanılmaktadır [52].

Optimum panel açısı, yılın farklı aylarına ve farklı enlem değerlerine bağlı olarak değişmektedir. Talebizadeh ve ark. yapmış olduğu çalışmada panel açısını günlük olarak değiştirmek aylık olarak değiştirmeye kıyasla %1 daha fazla güç elde edilmesini sağlamıştır. Bu durumda panel açısının günlük olarak değiştirilmesinin ekonomik açıdan uygun olmadığı görülmektedir. Ayrıca aylık ve mevsimsel olarak panel açısının değiştirilmesi yıllık olarak belirlenmiş sabit eğim değerine kıyasla büyük bir güç kazancı sağlamaktadır [53].

Aylık optimum panel açısının belirlenmesi için seçilen konumun enlem değeri ve güneşin sapma açısı değeri gerekmektedir. Güneşin sapma açısı denklem 3.3 ile bulunmaktadır.

$$\delta = 23,5 \sin \left( \frac{360}{365} (J + 284) \right) \quad (3.3)$$

J değeri 1 ile 365 arasında değer olarak yılın günlerini ifade etmektedir. Aylık optimum panel açısı denklem 3.4 ile bulunmaktadır [54].

$$\beta_{optimum} = \phi - \delta \quad (3.4)$$

$\phi$  enlem derecesini ve  $\delta$  güneşin sapma açısını ifade etmektedir.  $\delta$  açısının hesaplanmasında kullanılan J değeri her ayın 15. günü dikkate alınarak oluşturulmuştur. Tablo 3.1’de J değerine karşılık gelen güneşin sapma açısı değerleri derece cinsinden aylık olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 3.1.** Güneşin sapma açısı değerlerinin aylık olarak bulunması.

| Aylar   | Gün Sayısı (J) | $\delta$ |
|---------|----------------|----------|
| Ocak    | 15             | -21,62°  |
| Şubat   | 45             | -14,33°  |
| Mart    | 75             | -3,34°   |
| Nisan   | 105            | 8,5°     |
| Mayıs   | 135            | 18,16°   |
| Haziran | 165            | 23,14°   |
| Temmuz  | 195            | 22,16°   |
| Ağustos | 225            | 15,47°   |
| Eylül   | 255            | 4,79°    |
| Ekim    | 285            | -7,11°   |
| Kasım   | 315            | -17,19°  |
| Aralık  | 345            | -22,84°  |

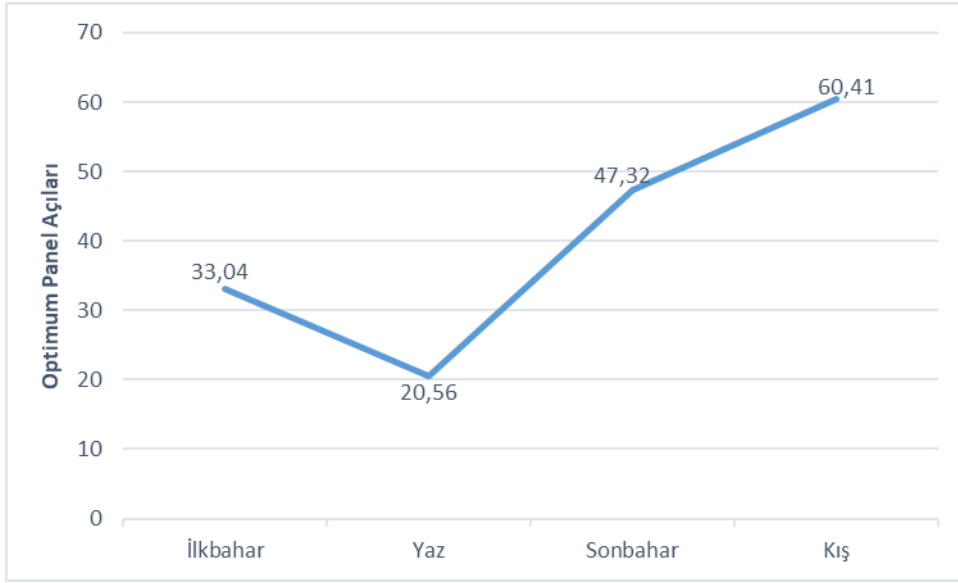
Konum olarak 40,82° kuzey enleminde yer alan Kocaeli Üniversitesi Umuttepe yerleşkesi seçilmiştir. Denklem 3.4’de yer alan  $\phi$  değeri 40,82° ve  $\delta$  değerleri Tablo 3.1’deki gibi alındığında Tablo 3.2’de yer alan aylık optimum panel açıları elde edilmiştir.



**Tablo 3.2.** Kocaeli Üniversitesi Umuttepe yerleşkesi için elde edilmiş aylık optimum panel açıları.

| Aylar   | Denklem                    | Optimum Panel Açısı |
|---------|----------------------------|---------------------|
| Ocak    | $\beta = 40,82 - (-21,62)$ | 62,44°              |
| Şubat   | $\beta = 40,82 - (-14,33)$ | 55,15°              |
| Mart    | $\beta = 40,82 - (-3,34)$  | 44,16°              |
| Nisan   | $\beta = 40,82 - 8,5$      | 32,32°              |
| Mayıs   | $\beta = 40,82 - 18,16$    | 22,66°              |
| Haziran | $\beta = 40,82 - 23,14$    | 17,68°              |
| Temmuz  | $\beta = 40,82 - 22,16$    | 18,66°              |
| Ağustos | $\beta = 40,82 - 15,47$    | 25,35°              |
| Eylül   | $\beta = 40,82 - 4,79$     | 36,03°              |
| Ekim    | $\beta = 40,82 - (-7,11)$  | 47,93°              |
| Kasım   | $\beta = 40,82 - (-17,19)$ | 58,01°              |
| Aralık  | $\beta = 40,82 - (-22,84)$ | 63,66°              |

Tablo 3.2’de görüldüğü gibi farklı aylar için optimum panel açısı büyük bir değişkenlik göstermektedir. Optimum panel açısı mevsimlere göre incelendiğinde kış mevsiminde 60,41°, ilkbahar mevsiminde 33,04°, yaz mevsiminde 20,56° ve sonbahar mevsiminde 47,32° olarak bulunmaktadır. Şekil 3.4’de mevsimlere göre optimum panel açılarının değişimi yer almaktadır.



**Şekil 3.4.** Mevsimlere göre optimum panel açılarının belirlenmesi.

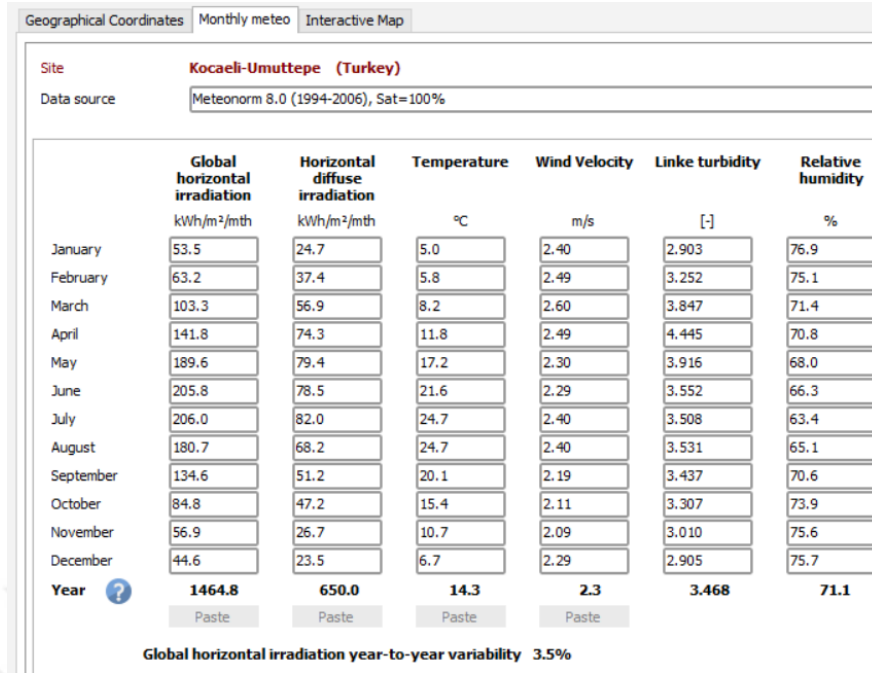
Yıllık olarak optimum panel açısının belirlenmesi için Jacobson ve ark. oluşturduğu denklem 3.5 kullanılmıştır [55].

$$\beta = 1,3793 + \phi(1,2011 + \phi(-0,014404 + \phi(0,000080509))) \quad (3.5)$$

$\phi$  enlem derecesi  $40,82^\circ$  olarak yerine yazıldığında yıllık optimum güneş paneli açısı Kocaeli Üniversitesi Umuttepe yerleşkesi için  $31,88^\circ$  elde edilmektedir.

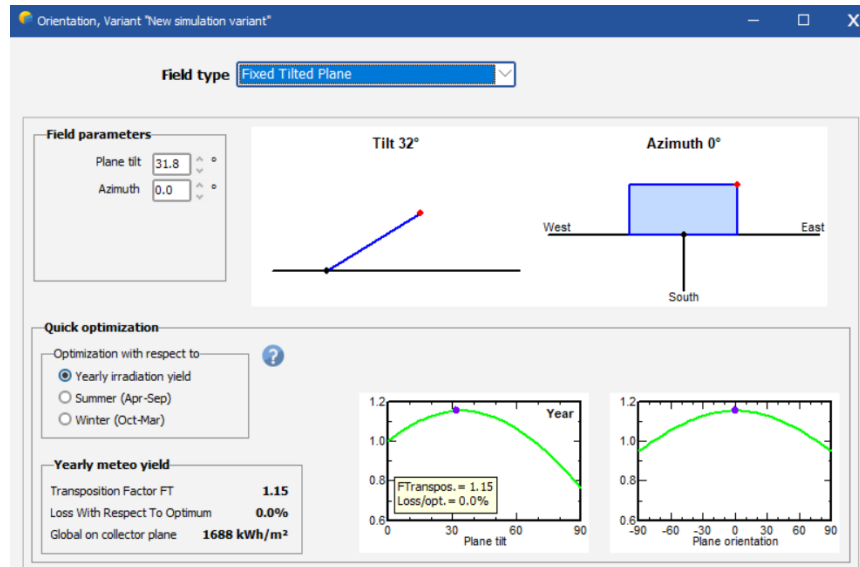
### 3.3. PVsyst'te Çift Yüzlü Panellerle Güneş Enerjisi Sisteminin Kurulması

PVsyst, şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız güneş enerjisi sistemlerinin simülasyonunu gerçekleştirmeyi sağlayan bir programdır. İçerdiği meteorolojik veri tabanı ve fotovoltaik sistemlerde kullanılan bileşenlerin veri tabanı sayesinde doğruluk oranı yüksek sonuçlar elde etmek mümkündür. Kurulması planlanan güneş enerjisi sisteminin harita üzerinden koordinatlarının seçilmesiyle aylık ve günlük global ışıyım değerleri, ortam sıcaklığı, rüzgâr hızı ve nem değerleri PVsyst'de otomatik olarak oluşturulmaktadır. Şekil 3.5'de koordinatların seçilmesi sonrasında oluşan değerler yer almaktadır.



Şekil 3.5. PVsyst’de aylık güneş ışınlımı, sıcaklık, rüzgâr hızı ve nem değerlerinin oluşturulması.

Koordinatların seçilmesi sonrası meteorolojik verilerin oluşturulmasının ardından denklem 3.5’de hesaplanan  $31,8^\circ$  değeri yıllık optimum panel açısı olarak Şekil 3.6’da kaydedilmiştir.



Şekil 3.6. Yıllık optimum panel açısının PVsyst’e kaydedilmesi.

Çift yüzölçü panellerde albedo etkisi üretilen güç değerini önemli ölçüde değiştirmektedir. Bifacial system butonu altında albedo değeri değiştirilebilmektedir. Zeminin çimen olduğu varsayılarak albedo değeri 0,3 olarak seçilmiştir.

**Select the PV module**

Available Now Filter All PV modules Bifacial module **Bifacial system**

GTC Solar Turkey 425 Wp 35V Si-mono GG1H-425 Bifacial PERC 72 ce Since 2020 Manufacturer 2021 Open

Use optimizer

Sizing voltages : Vmpp (60°C) 34.9 V  
Voc (-10°C) 54.7 V

**Bifacial model**

☐ Don't use in the simulation  
☒ Use unlimited sheds 2D-model  
☐ Use unlimited trackers 2D-model

2D models with pedagogical tool  
Other models are currently under construction:  
- General model acc. to the scene in the 3D editor  
- Irradiance distrib on the rear side

**Incident irradiance on the ground**

Beam ground factor From sun's position, model  
Diffuse ground factor 73.7 % From 2D model  
Shed transparent fraction 0.0 % not sensitive  
**Ground albedo 0.300** ☐ Monthly values

Şekil 3.7. Bifacial systems bölümünden albedo değerinin değiştirilmesi.

Seri ve paralel bağlantı sayıları eviricinin girişine uygulanabilecek gerilim değerine göre belirlenmiştir. 16 panelin seri bağlanmasıyla birlikte toplamda 74 dizinin yer aldığı 500 kW'lık bu sistemde 1184 panel 2461 m<sup>2</sup> alan kaplamaktadır. Kurulu güç değeri, panel tipi ve eviricinin seçilmesi Şekil 3.8'de yer almaktadır.

**Sub-array name and Orientation**

Name PV Array Tilt 31°  
Orient. Fixed Tilted Plane Azimuth 0°

**Pre-sizing Help**

☐ No sizing Enter planned power 500.0 kWp  
☒ Resize ... or available area(modules) 2445 m²

**Select the PV module**

Available Now Filter All PV modules Bifacial module Bifacial system

GTC Solar Turkey 425 Wp 35V Si-mono GG1H-425 Bifacial PERC 72 ce Since 2020 Manufacturer 2021 Open

Use optimizer

Sizing voltages : Vmpp (60°C) 34.9 V  
Voc (-10°C) 54.7 V

**Select the inverter**

Available Now Output voltage 480 V Tri 50Hz 50 Hz 60 Hz

Huawei Technologies 55 kW 200 - 1000 V TL 50 Hz SUN2000 50KTL Since 2016 Open

Nb. of inverters 10 Operating voltage: 200-1000 V Global Inverter's power 550 kWac  
Input maximum voltage: 1100 V inverter with 4 MPPT

**Design the array**

**Number of modules and strings**

Mod. in series 16 between 6 and 20  
Nb. strings 74 only possibility 81

Overload loss 0.0 %  
Pnom ratio 0.91 Show sizing

Nb. modules 1184 Area 2461 m²

**Operating conditions**

Vmpp (60°C) 559 V  
Vmpp (20°C) 660 V  
Voc (-10°C) 875 V

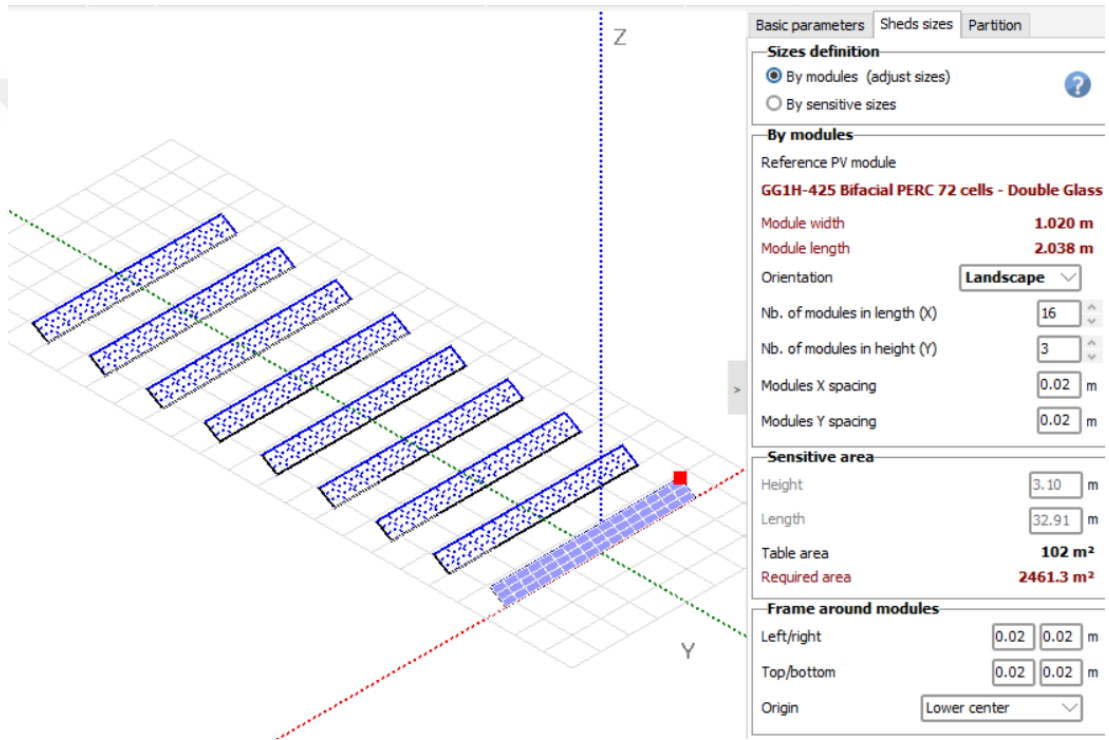
Plane irradiance 1000 W/m²  
Imp (STC) 780 A  
Isc (STC) 827 A  
Isc (at STC) 827 A

The inverter power is slightly oversized.

☐ Max. in data ☒ STC  
Max. operating power (at 1000 W/m² and 50°C) 456 kW  
Array nom. Power (STC) 503 kWp

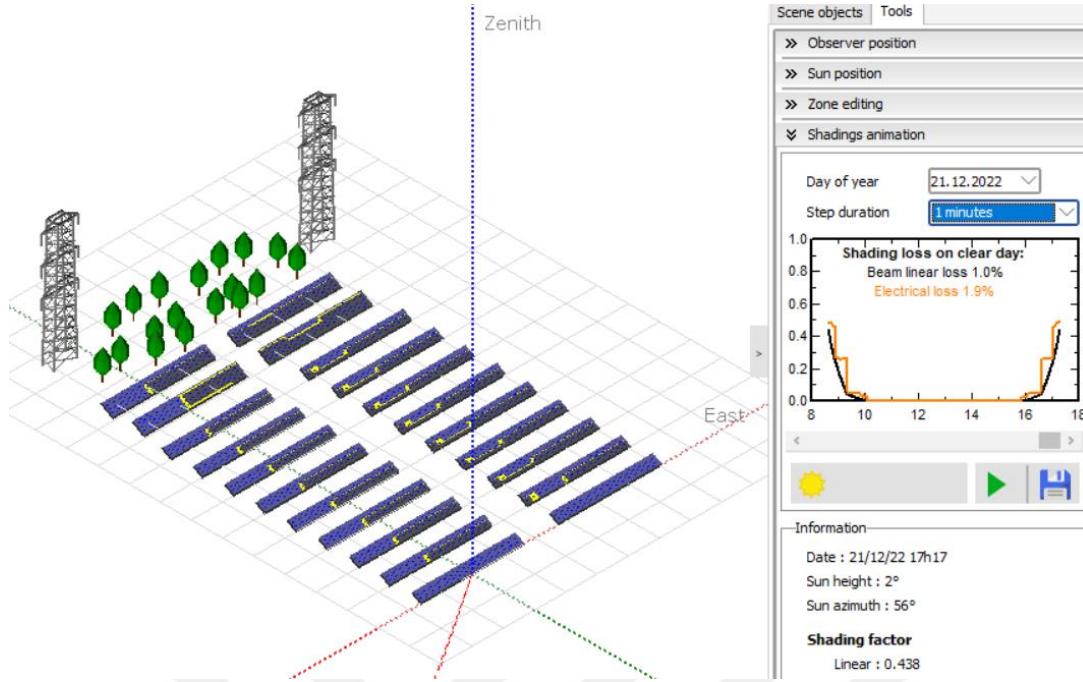
Şekil 3.8. PVsyst'de temel bileşenlerin seçilmesi.

Gölgeleme etkisinin incelenmesi için PVsyst’de Near Shadings bölümünden sistemin 3 boyutlu simülasyonu oluşturulmuştur. Kuzey-güney doğrultusuna yerleştirilmiş paneller arasındaki mesafe, gölgeleme etkisini en aza indirmek amacıyla bir panelin dikey uzunluğunun 2 katı olacak şekilde ayarlanmıştır. Bir panel dizisinin x ekseninde 16 panel ve y ekseninde 3 panel yer almaktadır. Bir panelin dikey uzunluğunun 2 metre olduğu bilindiğinden dolayı bir dizi içerisinde yer alan panellerin dikey uzunluğu 6 metre olarak hesaplanmaktadır. Kuzey-güney doğrultusundaki diziler arasındaki mesafeyi bulabilmek için bu değerin 2 katı alındığında her bir dizi arasındaki mesafe 12 metre olmaktadır. Şekil 3.9’da x ve y ekseninde yer alacak panel sayıları girilmiştir.



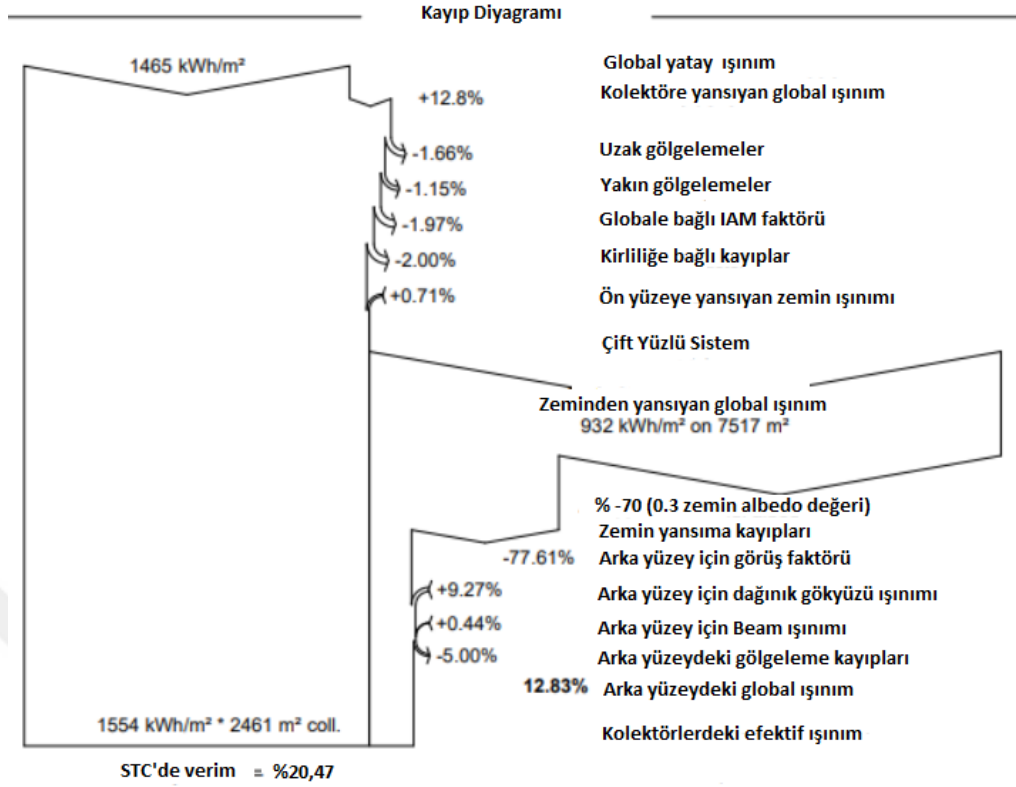
**Şekil 3.9.** Gölgeleme simülasyonu için dizilerde yer alan panel sayılarının seçilmesi.

Simülasyon tarihi olarak gölge boyunun en uzun olduğu 21 Aralık günü seçildiğinde havanın temiz olduğu koşullar içerisinde gölgeleme etkisinden dolayı oluşan doğrusal ışın kaybı %1 ve elektriksel kayıp %1,9 olmaktadır. Şekil 3.10’da gölgeleme etkisini incelemek için oluşturulan 3 boyutlu model yer almaktadır.

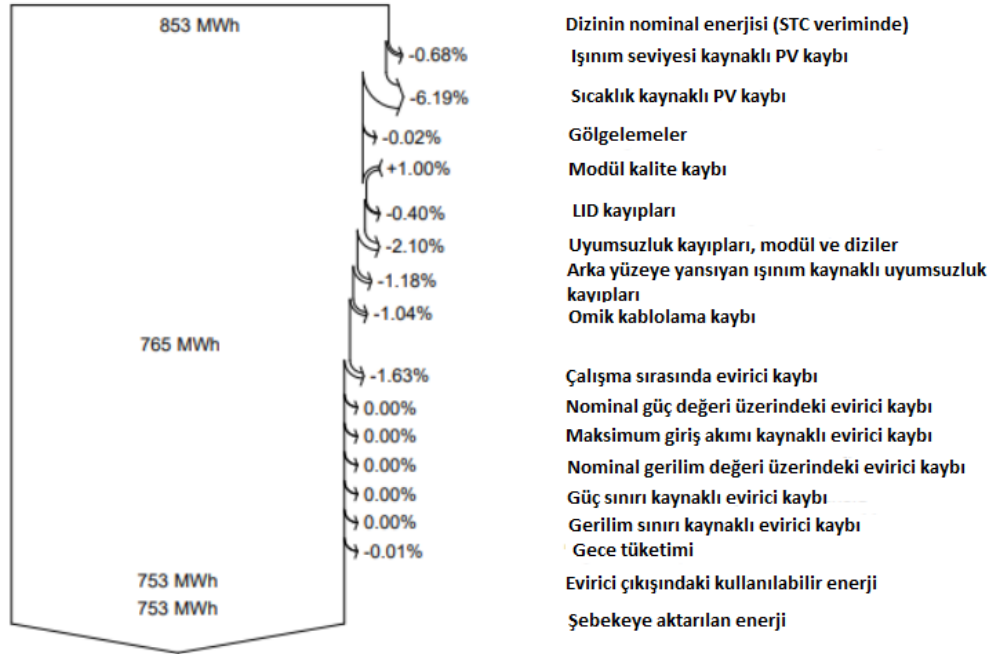


**Şekil 3.10.** PVsyst’de 3 boyutlu olarak gölgeleme etkisinin incelenmesi.

Simülasyon sonucunda yıllık 753 MWh enerji üretimi gerçekleşmiştir. Şebekeye verilen enerji aylık ortalama 33147 kWh ile en düşük aralık ayında ve aylık ortalama 87911 kWh ile en yüksek haziran ayında gerçekleşmiştir. Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de sistemde oluşan enerji değişimleri yer almaktadır. Üretilen enerjiye etki eden değişimler arasında güneş ışınımı, albedo değeri, gölgeleme etkisi, sıcaklık, uyumsuzluk kayıpları, omik kablo kayıpları ve evirici kayıpları yer almaktadır.



**Şekil 3.11.** Işınım ve gölgeleme etkisi sonucu üretilen enerjinin değişmesi.



**Şekil 3.12.** Sistemdeki bileşenlerden kaynaklı kayıplar.

Yerden yansıyan güneş ışınlamı, toplam ışınlam miktarı içerisinde yaklaşık %10'luk bir paya sahiptir. Zeminin albedo değeri güneşin yüksekliği, yağmur ve bulut gibi çevresel

faktörlere bağılı olarak değışmektedir. Albedo değeri ayrıca zeminin yıpranmasına bağılı olarak zamanla da değışebilmektedir. Mehreen Gul ve ark. yapmış olduğu ölçümlerde alüminyumun albedo değeri 0,70 ila 0,76 arasında değışmektedir [56].

PVsyst'te çift yüzölü güneş enerjisi sisteminin alüminyum kaplı bir zeminde kurulduğu varsayılarak albedo değeri 0,73 olarak alındığında üretilen yıllık enerji değeri 830 MWh olmaktadır. Yalnızca albedo değerinin değışimine bağılı olarak yıllık enerji üretiminde 77 MWh ile %10,22 artış elde edilmiştir.

### 3.4. Çift Yüzölü Panellerle Kurulan Sistemde Zamanla Oluşan Verim Kaybının İncelenmesi

PVsyst'de Detailed Losses bölümünden sistemde zamanla oluşan verim kaybı incelenebilmektedir. Zamanla oluşan verim kayıplarının içerisinde panel kayıpları, uyumsuzluk kayıpları, evirici kayıpları ve kablolama kayıpları yer almaktadır. Panelin zamanla verimini kaybetmesi nedenleri arasında yüzeyinde oluşan mikro çatlaklar, dolu yağması, yüksek sıcaklıklar, ultraviyole ışınlarına maruz kalması ve hücrelerin kimyasal yapısı etkili olmaktadır. şekil 3.13'de Detailed losses-Aging bölümünden simülasyon yılının değıştirilmesi görülmektedir. Bu özellik ile farklı yıllara ait üretilen enerji değerini elde etmek mümkündür.

| Store the Monte Carlo values |       |
|------------------------------|-------|
| Mismatch 5 years             | 0.18% |
| Mismatch 10 years            | 1.43% |
| Mismatch 15 years            | 2.42% |
| Mismatch 20 years            | 2.82% |
| Mismatch 25 years            | 4.98% |

şekil 3.13. PVsyst'de simülasyon yılının değıştirilmesi.



Simülasyon çalıştırıldığında güneş enerjisi sistemi 10. yılında 718,3 MWh, 20. yılında ise 672,4 MWh enerji üretmektedir. 10. yılın sonunda %4,54 ve 20. yılın sonunda %10,64'lük enerji kaybı yaşandığı görülmektedir. Tablo 3.3'de yıllara göre üretilen enerji değerleri yer almaktadır.

**Tablo 3.3.** Yıllara göre üretilen enerji değerlerinin PVsyst'de hesaplanması.

| Yıllar | Üretilen Enerji Miktarı<br>(MWh/yıl) |
|--------|--------------------------------------|
| 2022   | 753                                  |
| 2023   | 751,6                                |
| 2024   | 750,6                                |
| 2025   | 747,6                                |
| 2026   | 744,6                                |
| 2027   | 741,2                                |
| 2028   | 737,4                                |
| 2029   | 733                                  |
| 2030   | 728,3                                |
| 2031   | 723,3                                |
| 2032   | 718,3                                |
| 2042   | 672,4                                |

### 3.5. Çift Yüzlü Paneller ile Tek Yüzlü Panellerin Kapladığı Alanın Karşılaştırılması

GTC photovoltaic solar systems markasına ait 425 Watt çift yüzlü mono perc güneş paneliyle aynı fiziksel ve elektriksel özelliklere sahip tek yüzlü bir panel ile PVsyst'de simülasyon yapılmıştır. Albedo değerinin 0,3 olduğu koşulda tek yüzlü panellerle 753 MWh'lık bir enerjinin üretilmesi için 1264 güneş paneli gerekmektedir. Aynı enerji değerinin üretilmesi durumunda panellerin kapladığı alan çift yüzlü sistemde 2461 m<sup>2</sup> iken tek yüzlü sistemde 2628 m<sup>2</sup>'dir. Yıllık olarak aynı enerji değerinin

üretilmesi durumunda çift yüzölü sistem tek yüzölü sisteme kıyasla %6,78 daha fazla alan tasarrufu sağlamaktadır. Şekil 3.14’de 753 MWh’lik enerji üretilebilmesi için tek yüzölü panel sisteminde gereken modül sayısı ve alan yer almaktadır.

**Select the PV module**

Available Now Filter All PV modules Approx. needed modules **1266**

LG Electronics 425 Wp 35V Si-mono LG 425 OAK-A6 Since 2021 Manufacturer 2021 Open

☐ Use optimizer

Sizing voltages : Vmpp (60°C) **36.2 V**  
Voc (-10°C) **53.4 V**

---

**Select the inverter**

Available Now Output voltage 380 V Tri 50Hz 50 Hz 60 Hz

Huawei Technologies 55 kW 200 - 1000 V TL 50 Hz SUN2000 50KTL Since 2016 Open

Nb. of inverters 9 Operating voltage: **200-1000 V** Global Inverter's power **495 kWac**  
☐ Use multi-MPPT feature Input maximum voltage: **1100 V inverter with 6 MPPT**

---

**Design the array**

**Number of modules and strings**

Mod. in series 16 between 6 and 20  
Nb. strings 79 between 73 and 79

Overload loss 0.0 %  
Pnom ratio 1.09 Show sizing

Nb. modules 1264 Area **2628 m²**

**Operating conditions**

Vmpp (60°C) 580 V  
Vmpp (20°C) 657 V  
Voc (-10°C) 855 V

Plane irradiance **1000 W/m²**

Impp (STC) 833 A  
Isc (STC) 882 A  
Isc (at STC) 882 A

The Array maximum power is greater than the specified Inverter maximum allowed input PV power, i.e. 52 kW/inverter. (Info, not significant)

☐ Max. in data ☒ STC  
Max. operating power (at 1000 W/m² and 50°C) **499 kW**  
Array nom. Power (STC) **537 kWp**

Şekil 3.14. Tek yüzölü sistemin kapladığı alanın hesaplanması.

### 3.6. Güneş Enerjisi Sisteminin MATLAB/Simulink’te İncelenmesi

MATLAB/Simulink ile kod yazmaya gereksinim duymadan birçok sistemin simülasyonu yapılabilir. Simulink kütüphanesi içerisinde yer alan araç kutularıyla elektrik devreleri kurulabilmekte ve güneş enerjisi sistemleri incelenebilmektedir. Güneş enerjisi sistemlerinin temel elemanı olan güneş panelleri PV Array bloğuyla simülasyona eklenmektedir. PV Array bloğunda güneş ışınımı ( $W/m^2$ ) ve panel sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ) olmak üzere 2 giriş parametresi yer almaktadır. Modül içerisindeki elektriksel parametreleri kullanıcı değiştirebildiği gibi var olan paneller arasından seçim yapılarak da elektriksel parametreler doğrudan eklenebilmektedir. 16 seri bağlantılı panel ve 74 paralel dizi Şekil 3.15’deki gibi modül içerisine kaydedilmiştir.

**Block Parameters: PV Array**

PV array (mask) (link)

Implements a PV array built of strings of PV modules connected in parallel. Each string consists of modules connected in series. Allows modeling of a variety of preset PV modules available from NREL System Advisor Model (Jan. 2014) as well as user-defined PV module.

Input 1 = Sun irradiance, in W/m2, and input 2 = Cell temperature, in deg.C.

Parameters Advanced

Array data

Parallel strings 74

Series-connected modules per string 16

Module data

Module: User-defined

Maximum Power (W) 425.178

Cells per module (Ncell) 144

Open circuit voltage Voc (V) 49.05

Short-circuit current Isc (A) 11.15

Voltage at maximum power point Vmp (V) 41.08

Current at maximum power point Imp (A) 10.35

Temperature coefficient of Voc (%/deg.C) -0.29

Temperature coefficient of Isc (%/deg.C) 0.04

Display I-V and P-V characteristics of ...

array @ 1000 W/m2 & specified temperatures

T\_cell (deg. C) [ 45 25 ]

Plot

Model parameters

Light-generated current IL (A) 11.1694

Diode saturation current I0 (A) 2.4038e-11

Diode ideality factor 0.49417

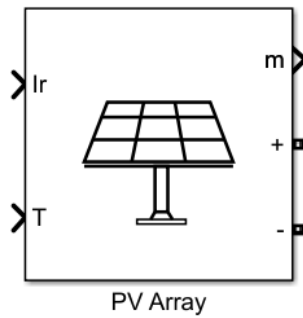
Shunt resistance Rsh (ohms) 124.9932

Series resistance Rs (ohms) 0.21775

OK Cancel Help Apply

**Şekil 3.15.** Modülün elektriksel parametrelerinin belirlenmesi ve bağlantı sayılarının girilmesi.

Şekil 3.16’da PV Array modülünün simülasyon içerisindeki görüntüsü yer almaktadır. Modül üzerinde yer alan Ir ve T girişlerinden ışıınım ve panel sıcaklığı değerleri girilmekte ve m çıkışından sırasıyla panelin gerilim, akım, diyot akımı, ışıınım ve sıcaklık değerleri ölçülmektedir.



**Şekil 3.16.** Simulink’e güneş paneli dizisinin eklenmesi.

Kocaeli Üniversitesi Umuttepe yerleşkesinde deneysel olarak ölçülen 2014 yılına ait aylık ortalama ışıınım ve ortam sıcaklığı değerleri Tablo 3.4’de yer almaktadır [57].

**Tablo 3.4.** Kocaeli üniversitesi Umuttepe yerleşkesine ait aylık ortalama ışıınım ve sıcaklık değerleri.

| Aylar   | Ortalama günlük ışıınım ( $W/m^2$ ) | Ortalama ortam sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ) |
|---------|-------------------------------------|------------------------------------------|
| Ocak    | 111,44                              | 9                                        |
| Şubat   | 140,13                              | 9,71                                     |
| Mart    | 176,27                              | 11,87                                    |
| Nisan   | 204,01                              | 16,12                                    |
| Mayıs   | 212,6                               | 19,7                                     |
| Haziran | 243,58                              | 23,6                                     |
| Temmuz  | 267,19                              | 26,8                                     |
| Ağustos | 265,34                              | 27,1                                     |
| Eylül   | 200,24                              | 21,26                                    |
| Ekim    | 133,44                              | 16,26                                    |
| Kasım   | 95,18                               | 11,41                                    |
| Aralık  | 74,27                               | 8,76                                     |

Simulink'te PV array bloğunda sıcaklık değeri olarak panel sıcaklığı değeri dikkate alındığından dolayı deneysel olarak elde edilmiş ortam sıcaklığı değerlerinden teorik panel sıcaklığı değerleri elde edilmiştir. Aylık ortalama panel sıcaklığı değerleri Lasnier yaklaşımıyla bulunmuştur. Monokristal panellerin sıcaklığının teorik olarak elde edilmesinde Lasnier yaklaşımı doğruya en yakın sonucu veren matematiksel modeller arasında yer almaktadır [22]. Lasnier yaklaşımı denklem 3.6 ile ifade edilmektedir.

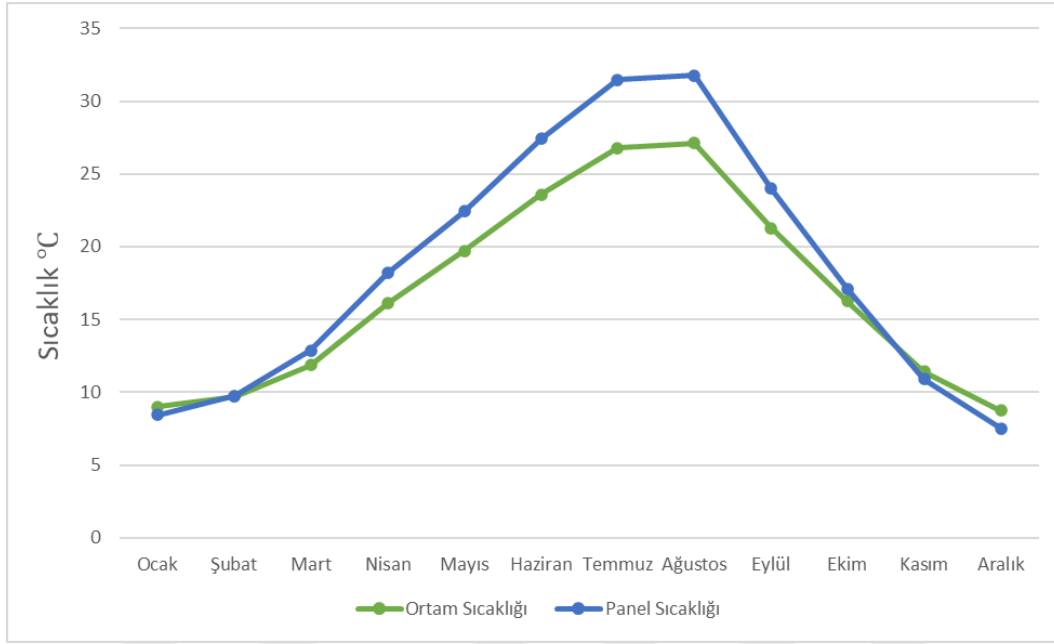
$$T_c = 30 + 0,0175(G_g - 300) + 1,14(T_a - 25) \quad (3.6)$$

$T_c$  panel sıcaklığını,  $G_g$  modül ışıınımını ve  $T_a$  ortam sıcaklığını ifade etmektedir. Tablo 3.4'deki ışıınım ve ortam sıcaklık değerleri denklem 3.6'da yerine yazıldığında Tablo 3.5'deki aylık ortalama panel sıcaklığı değerleri elde edilmektedir.

**Tablo 3.5.** Aylık ortalama panel sıcaklığı değerlerinin Lasnier yaklaşımıyla bulunması.

| Aylar   | Ortalama panel sıcaklığı (°C) |
|---------|-------------------------------|
| Ocak    | 8,46                          |
| Şubat   | 9,76                          |
| Mart    | 12,86                         |
| Nisan   | 18,19                         |
| Mayıs   | 22,42                         |
| Haziran | 27,41                         |
| Temmuz  | 31,47                         |
| Ağustos | 31,78                         |
| Eylül   | 23,98                         |
| Ekim    | 17,11                         |
| Kasım   | 10,91                         |
| Aralık  | 7,52                          |

Kasım, aralık ve ocak aylarında ortalama olarak ortam sıcaklığı panel sıcaklığından daha fazlayken geri kalan aylarda panel sıcaklığı ortam sıcaklığından daha fazla olduğu görülmektedir. Aylık ortalama en yüksek panel sıcaklığı 31,78 °C ile temmuz ayında ve en düşük panel sıcaklığı 7,52 °C ile aralık ayında elde edilmiştir. Şekil 3.17’de aylık ortalama ortam sıcaklığı verileri ile teorik olarak elde edilen panel sıcaklığı verileri yer almaktadır. Yaz aylarında sıcaklık farkının arttığı görülmektedir.



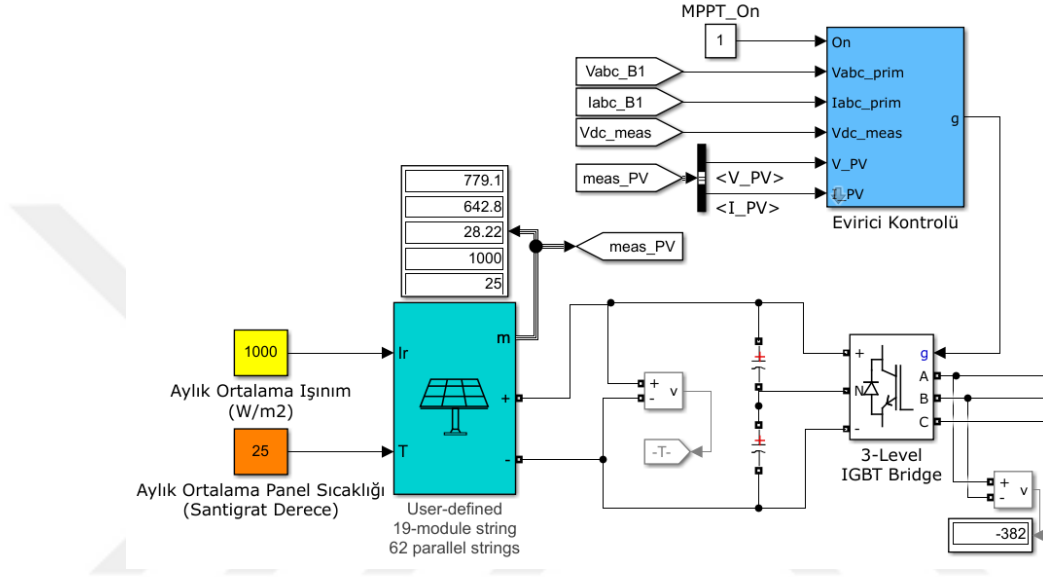
**Şekil 3.17.** Aylık ortalama ortam sıcaklığı ve panel sıcaklığı değerleri.

### 3.7. Simulink'te Güneş Enerjisi Sisteminin Standart Test Koşullarında Oluşturulması

Işınım değerinin  $1000 \text{ W/m}^2$  ve sıcaklık değerinin  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  olduğu standart test koşulları Simulink'te giriş parametreleri olarak kullanılmıştır. Panellerden üretilen doğru akım “Three-Level Bridge” adlı evirici bloğuyla alternatif akıma çevrilmiştir. Üç seviyeli eviriciler yarıiletken anahtarlama elemanlarının birbirlerine seri olarak bağlanması sonucu oluşturulmaktadır. İki seviyeli eviricilere kıyasla daha fazla güç ve gerilim seviyesine sahip uygulamalarda kullanılabilmesi ve düşük anahtarlama frekansına sahip olması avantajlarına sahiptir [58].

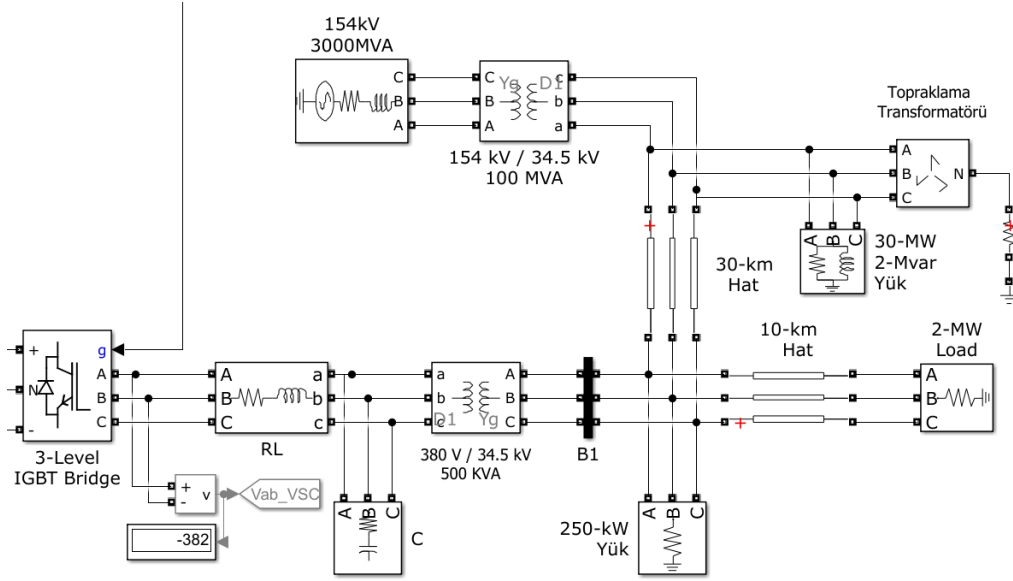
Simulink'te eviricinin anahtarlama elemanı olarak IGBT seçilmiştir. Evirici kontrol bloğu içerisinde MPPT metodu olarak değiştir ve gözle algoritması kullanılmıştır. Değiştir ve gözle algoritması, diğer MPPT algoritmalarına kıyasla uygulanması basit ve daha az maliyetli olması sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır [59]. Bu algoritmada ilk olarak panelin akım ve gerilim değerleri ölçülerek panelin gücü hesaplanmaktadır. Bir sonraki aşamada gerilimdeki ve IGBT'nin görev döngüsü oranındaki değişimler dikkate alınarak yeni güç değeri bulunur. İki güç değeri arasında fark bulunmadığı takdirde algoritma başa dönmektedir. Farkın sıfırdan farklı olması durumunda ise panel gerilimindeki değişime bakılmakta ve IGBT'nin görev döngüsü

değiştirilerek maksimum güç noktası takibi yapılmaktadır [60]. Işınım değerinin  $1000 \text{ W/m}^2$  ve sıcaklık değerinin  $25^\circ\text{C}$  olduğu standart test koşulları giriş parametresi olarak belirlendiği durumda panellerden toplamda 779,1 volt gerilim, 642,8 amper akım ve 28,22 amper diyot akımı oluşmaktadır. Şekil 3.18’de değiştir ve gözle algoritmasına sahip evirici kontrolünü içeren güneş enerjisi sistemi yer almaktadır.



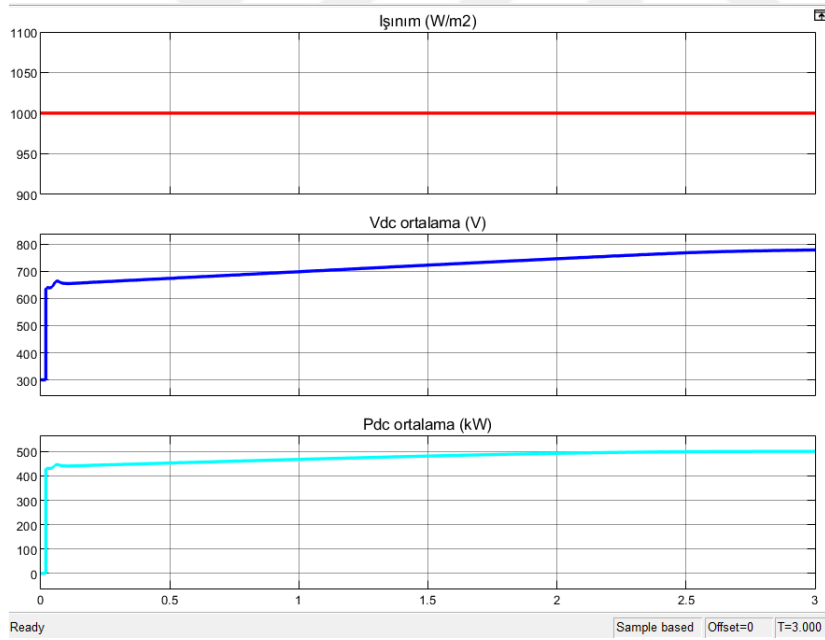
**Şekil 3.18.** Simulink’te güneş enerjisi sisteminin standart test koşullarında oluşturulması.

Evirici çıkışında 382 volt alternatif gerilim oluşmaktadır. Şekil 3.19’da güneş enerjisi sisteminin şebeke bağlantısı içerisinde kompanzasyon bloğu, transformatör, topraklama transformatörü ve yükler yer almaktadır.



**Şekil 3.19.** Simulink'te güneş enerjisi sisteminin şebeke bağlantısının oluşturulması.

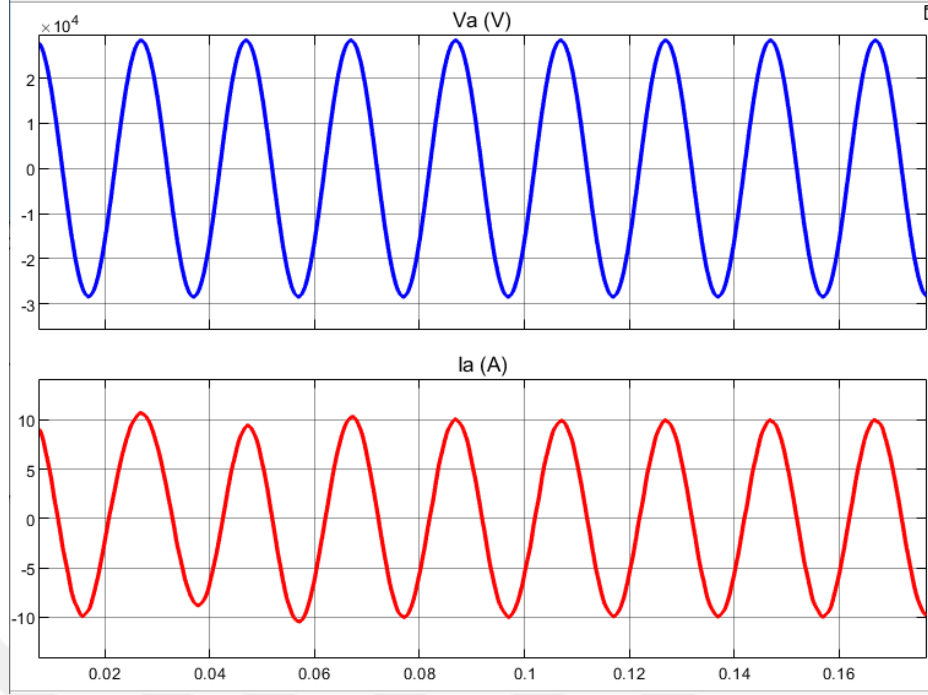
Standart test koşullarında oluşturulan simülasyon çalıştırıldığında Şekil 3.20'de yer alan ışınlam, doğru gerilim ve kurulu güç grafiği oluşmaktadır.



**Şekil 3.20.** Simulink'te ışınlam, doğru gerilim ve kurulu güç grafiklerinin oluşturulması.

380 volt / 34.5 kV transformatör çıkışından elde edilen alternatif gerilim ve akım grafikleri Şekil 3.21'de görülmektedir.

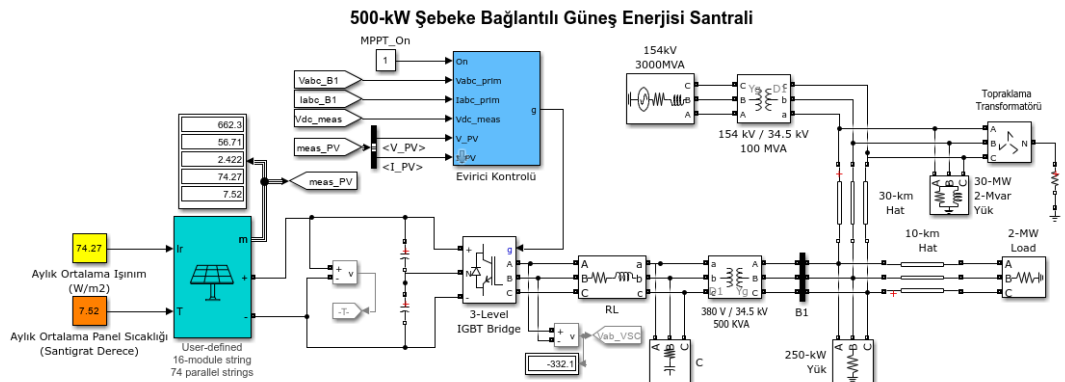




Şekil 3.21. Birinci transformatör çıkışından elde edilen gerilim ve akım grafikleri.

### 3.8. Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesindeki Veriler İçin Simülasyonun Gerçekleştirilmesi

Şekil 3.22’deki güneş enerjisi sisteminde Tablo 3.4’de yer alan aylık ortalama ışınım ve Tablo 3.5’de yer alan aylık ortalama panel sıcaklığı değerleri giriş parametreleri olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.22. Simulink’te şebekeye bağlı güneş enerjisi sisteminin oluşturulması.

Farklı aylar için simülasyon çalıştırıldığında Tablo 3.6’da yer alan değerler elde edilmektedir.

**Tablo 3.6.** Farklı aylarda panellerde oluşan gerilim, akım, diyot akımı ve güç değerleri.

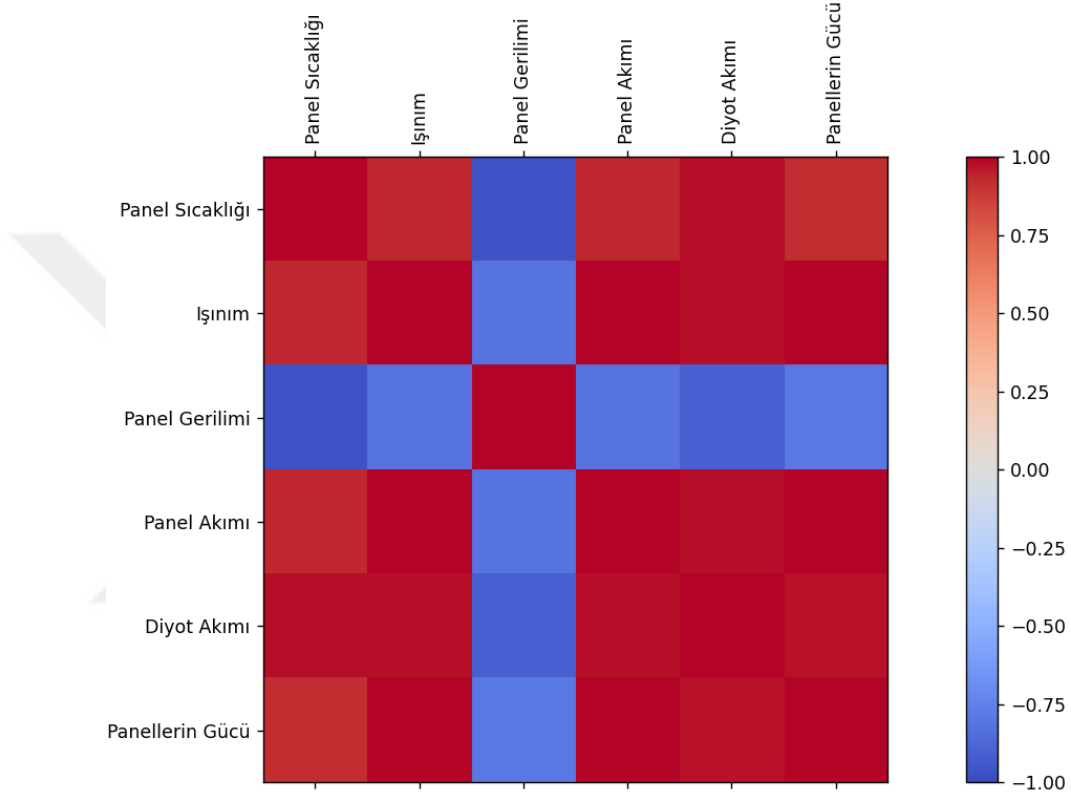
| Aylar   | Aylık ortalama panel sıcaklığı (°C) | Aylık ortalama ışıınım ( $W/m^2$ ) | Panel gerilimi (V) | Panel akımı (A) | Diyot akımı (A) | Panellerde Üretilen Toplam Güç (kW) |
|---------|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------------|
| Ocak    | 8,46                                | 111,44                             | 669,3              | 85,11           | 3,61            | 56,96                               |
| Şubat   | 9,76                                | 140,13                             | 671                | 107,1           | 4,54            | 71,86                               |
| Mart    | 12,86                               | 176,27                             | 668                | 134,8           | 5,8             | 90,04                               |
| Nisan   | 18,19                               | 204,01                             | 657,2              | 156,2           | 6,91            | 102,65                              |
| Mayıs   | 22,42                               | 212,6                              | 647,8              | 162,8           | 7,53            | 105,46                              |
| Haziran | 27,41                               | 243,58                             | 637,8              | 186,8           | 8,88            | 119,14                              |
| Temmuz  | 31,47                               | 267,19                             | 629,8              | 205             | 10,1            | 129,1                               |
| Ağustos | 31,78                               | 265,34                             | 628,7              | 203,6           | 10              | 128                                 |
| Eylül   | 23,98                               | 200,24                             | 642,5              | 153,5           | 7,15            | 98,62                               |
| Ekim    | 17,11                               | 133,44                             | 651,1              | 102,1           | 4,59            | 66,47                               |
| Kasım   | 10,91                               | 95,18                              | 658,9              | 72,78           | 3,11            | 47,95                               |
| Aralık  | 7,52                                | 74,27                              | 662,3              | 56,71           | 2,42            | 37,57                               |

### 3.9. Giriş ve Çıkış Parametreleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

Simulink’te yer alan giriş ve çıkış parametrelerinin birbirleriyle olan korelasyonları incelenmiştir. Korelasyon analizi, değişkenler arası bağıntıların derecesini ve yönünü belirtmek için kullanılan bir istatistiksel analiz tekniğidir. Korelasyon değeri -1 ve 1 değerleri arasında hesaplanır ve hesaplanan sonucun mutlak değeri arttıkça iki değişken arasındaki ilişki de artmaktadır.

Tablo 3.6’da yer alan değerler için Python’da korelasyon analizi yapıldığında Şekil 3.23’deki sonuç elde edilmiştir. Korelasyon katsayısının 1 olması tam pozitif doğrusal

ilişkiyi, -1 olması tam negatif doğrusal ilişkiyi ve 0 olması ilişkinin olmadığı anlamına gelmektedir. Şekil 3.23'deki pozitif doğrusal ilişki kırmızıyla, negatif doğrusal ilişki maviyle ve ilişkinin olmaması beyaz ile ifade edilmektedir. Panel sıcaklığı arttıkça panel geriliminin azaldığı ve ışıınım değeri arttıkça panel akımı, diyot akımı ve üretilen gücün önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Korelasyon ile iki değişken arasındaki bağlantının derecesi ölçülmektedir.



**Şekil 3.23.** Giriş ve çıkış parametreleri arasındaki korelasyon.

Regresyon analiziyle elde edilen değerler arasındaki ilişki modellenmektedir. Değişkenlerden biri bağımlı, bir veya birkaçı bağımsızdır. Bağımlı değişkene bağlı olarak bağımsız değişken tahmin edilebilmektedir. Doğrusal regresyon denklem 3.7 ile ifade edilmektedir [61].

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X \quad (3.7)$$

X bağımsız değişkeni, Y bağımlı değişkeni ifade etmektedir.  $\beta_0$  değeri denklem 3.8 ve  $\beta_1$  değeri denklem 3.9 ile bulunmaktadır. N değeri, örnek boyutunu belirtmektedir.

$$\beta_0 = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i \sum_{i=1}^N X_i^2 - \sum_{i=1}^N X_i Y_i \sum_{i=1}^N X_i}{N \sum_{i=1}^N X_i^2 - (\sum_{i=1}^N X_i)^2} \quad (3.8)$$

$$\beta_1 = \frac{N \sum_{i=1}^N X_i Y_i - \sum_{i=1}^N X_i \sum_{i=1}^N Y_i}{N \sum_{i=1}^N X_i^2 - (\sum_{i=1}^N X_i)^2} \quad (3.9)$$

Tablo 3.6’da yer alan panel sıcaklığı bağımsız değişken ve panel gerilimi bağımlı değişken olarak kullanılarak Tablo 3.7 oluşturulmuştur.

**Tablo 3.7.** Panel sıcaklığı ve panel gerilimi parametreleri.

| Değişken Numarası | X (Panel Sıcaklığı) | Y (Panel Gerilimi) | XY       | X <sup>2</sup> |
|-------------------|---------------------|--------------------|----------|----------------|
| 1                 | 8,46                | 669,3              | 5662,27  | 71,57          |
| 2                 | 9,76                | 671                | 6548,96  | 95,25          |
| 3                 | 12,86               | 668                | 8590,48  | 165,37         |
| 4                 | 18,19               | 657,2              | 11954,46 | 330,87         |
| 5                 | 22,42               | 647,8              | 14523,67 | 502,65         |
| 6                 | 27,41               | 637,8              | 17482,09 | 751,30         |
| 7                 | 31,47               | 629,8              | 19819,8  | 990,36         |
| 8                 | 31,78               | 628,7              | 19980,08 | 1009,96        |
| 9                 | 23,98               | 642,5              | 15407,15 | 575,04         |
| 10                | 17,11               | 651,1              | 11140,32 | 292,75         |
| 11                | 10,91               | 658,9              | 7188,59  | 119,02         |
| 12                | 7,52                | 662,3              | 4980,46  | 56,55          |
| Toplam            | 221,87              | 7824,4             | 143278,3 | 49226,29       |

Tablo 3.7’deki değerler denklem 3.8 ve denklem 3.9’da kullanıldığında  $\beta_0 = 772,54$  ve  $\beta_1 = -0,03$  gelmektedir. Panel sıcaklığı ve panel gerilimi arasındaki doğrusal ilişkinin matematiksel modeli denklem 3.10’de yer almaktadır.

$$\text{Panel gerilimi} = 772,54 - (0,03 \times \text{Panel sıcaklığı}) \quad (3.10)$$

Güneş ışınlamı ve panel akımı arasındaki bağıntının elde edilmesi için Tablo 3.8'deki değerler denklem 3.8 ve denklem 3.9'da kullanıldığında  $\beta_0 = 112,49$  ve  $\beta_1 = 0,0068$  gelmektedir.

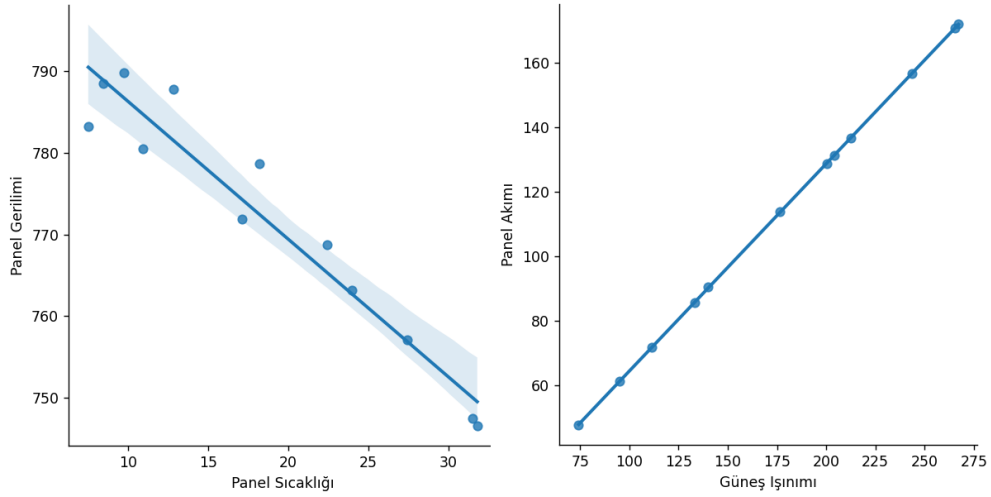
**Tablo 3.8.** Güneş ışınlamı ve panel akımı parametreleri.

| Değişken Numarası | X (Güneş Işınımı) | Y (Panel Akımı) | XY       | $X^2$      |
|-------------------|-------------------|-----------------|----------|------------|
| 1                 | 111,44            | 85,11           | 9484,65  | 12418,87   |
| 2                 | 140,13            | 107,1           | 15007,92 | 19636,41   |
| 3                 | 176,27            | 134,8           | 23761,19 | 31071,11   |
| 4                 | 204,01            | 156,2           | 31866,36 | 41620,08   |
| 5                 | 212,6             | 162,8           | 34611,28 | 45198,76   |
| 6                 | 243,58            | 186,8           | 45500,74 | 59331,21   |
| 7                 | 267,19            | 205             | 54773,95 | 71390,49   |
| 8                 | 265,34            | 203,6           | 54023,22 | 70405,31   |
| 9                 | 200,24            | 153,5           | 30736,84 | 40096,05   |
| 10                | 133,44            | 102,1           | 13624,22 | 17806,23   |
| 11                | 95,18             | 72,78           | 6927,2   | 9059,23    |
| 12                | 74,27             | 56,71           | 4211,85  | 5516,03    |
| Toplam            | 2123,69           | 1626,5          | 324529,4 | 4510059,21 |

Güneş ışınlamı ve panel akımı arasındaki doğrusal ilişkinin matematiksel modeli denklem 3.11'de yer almaktadır.

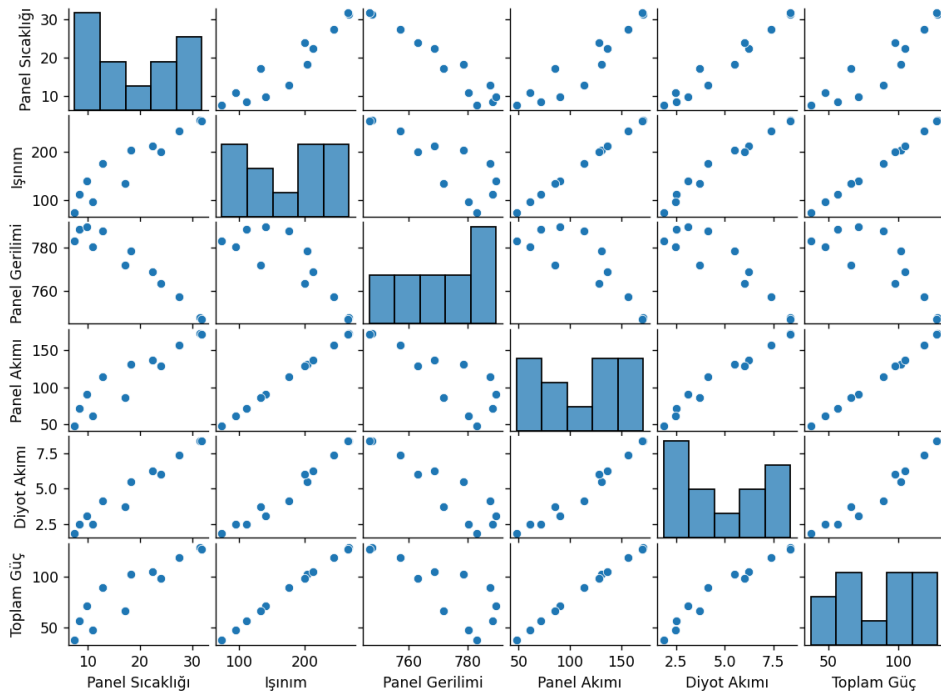
$$\text{Panel akımı} = 112,49 + (0,0068 \times \text{Güneş ışınlamı}) \quad (3.11)$$

Şekil 3.24'de Python'da oluşturulmuş panel sıcaklığı ve panel gerilimi arasındaki doğrusal regresyon grafiği ve güneş ışınlamı ve panel akımı arasındaki doğrusal regresyon grafiği görölmektedir. Y eksenini bağımlı değişkeni, x eksenini bağımsız değişkeni ifade etmektedir.



**Şekil 3.24.** Panel sıcaklığı-panel gerilimi ve güneş ışınımı-panel akımının doğrusal regresyon grafikleri.

Şekil 3.25’de her bir parametrenin regresyon grafiği yer almaktadır. Regresyon grafikleri ile bir değişkenin diğer değişkeni nasıl etkilediği görsel olarak elde edilmektedir.



**Şekil 3.25.** Giriş ve çıkış parametreleri arasındaki regresyon grafiği.

### 3.10. PVsyst ve Simulink'te Elde Edilen Enerji Değerlerinin Karşılaştırılması

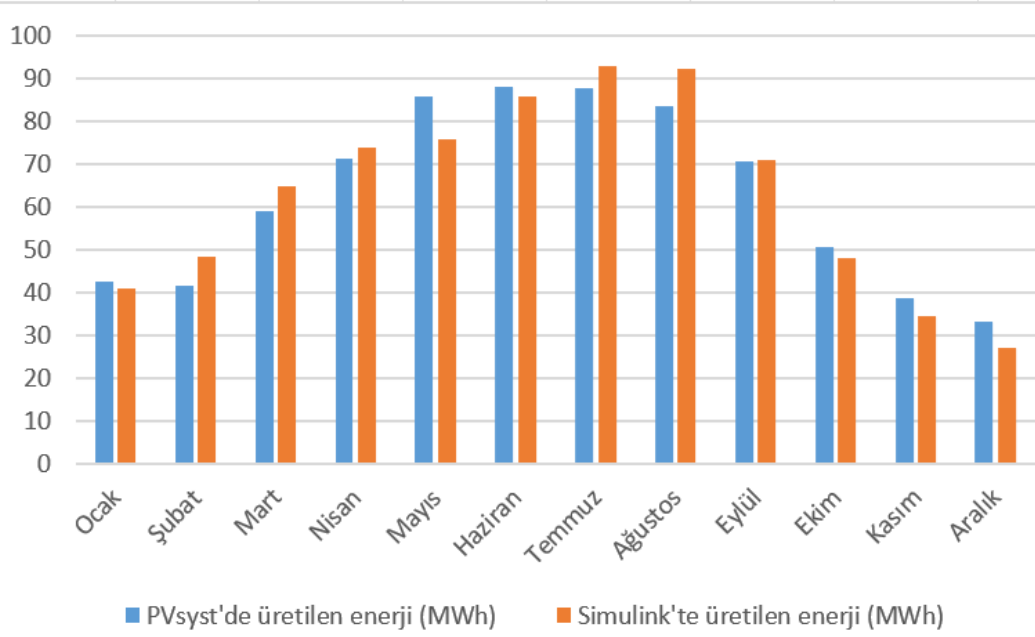
Elektriksel özellikleri ve kurulu gücü aynı olan güneş enerjisi sistemleri PVsyst ve Simulink'te oluşturulmuştur. PVsyst'de üretilen gücün belirlenmesinde panel açısı, gölgelenme etkisi, albedo etkisi, uyumsuzluk kayıpları, kablolama kayıpları vb. faktörler hesaba katılmaktadır. Güneş enerjisi sistemleri Simulink'te oluşturulduğunda giriş parametreleri olarak panel sıcaklığı ve ışıınım değerleri kullanılmaktadır. Simulink'te farklı MPPT metotları kullanılabilmekte ve panellerde oluşan akım, gerilim ve diyot akımı değerleri gözlenebilmektedir. Tablo 3.6'da yer alan panellerde üretilen toplam güç değerleri kullanılarak Simulink'te enerji değerleri elde edilmiştir.

PVsyst ve Simulink'te oluşturulan kurulu gücü 500 kW olan tek yüzlü güneş enerjisi sisteminde panellerde oluşan enerji miktarları Tablo 3.9'da yer almaktadır.

**Tablo 3.9.** PVsyst ve Simulink'te aylara göre panellerde oluşan enerji miktarı (MWh).

| Aylar   | PVsyst'de<br>üretilen enerji<br>(MWh) | Simulink'te<br>üretilen enerji<br>(MWh) |
|---------|---------------------------------------|-----------------------------------------|
| Ocak    | 42,51                                 | 41,01                                   |
| Şubat   | 41,61                                 | 48,28                                   |
| Mart    | 58,96                                 | 64,82                                   |
| Nisan   | 71,38                                 | 73,90                                   |
| Mayıs   | 85,88                                 | 75,93                                   |
| Haziran | 87,90                                 | 85,78                                   |
| Temmuz  | 87,87                                 | 92,95                                   |
| Ağustos | 83,64                                 | 92,16                                   |
| Eylül   | 70,66                                 | 71                                      |
| Ekim    | 50,57                                 | 47,85                                   |
| Kasım   | 38,69                                 | 34,52                                   |
| Aralık  | 33,14                                 | 27,05                                   |

Şekil 3.26'da PVsyst ve Simulink'te üretilen enerji değerlerinin karşılaştırılması yer almaktadır. Üretilen enerji değerleri arasındaki farkın yaz aylarında daha da belirginleştiği görülmektedir.



**Şekil 3.26.** Üretilen enerji değerlerinin karşılaştırılması.

500 kW'lık kurulu güce sahip güneş enerjisi sistemi için PVsyst'de yıllık üretilen toplam enerji değeri 753 MWh iken Simulink'te bu değer 755,25 MWh olmaktadır. PVsyst'de kısmi gölgeleme etkisi hesaba katılabildiğinden dolayı Simulink'e kıyasla daha az enerjinin üretiminin gerçekleştiği görülmektedir.

### 3.11. Güneş Enerjisi Sistemlerinde Soğutma Etkisi

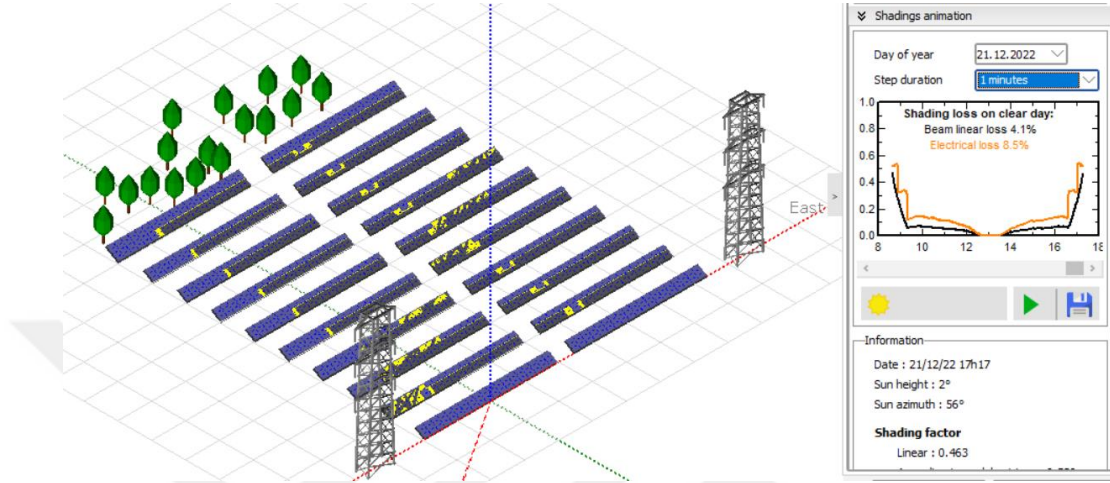
Güneş enerjisi sistemlerinde sıcaklığın artması panel verimliliğini ve ömrünü azaltmaktadır. Bu durumun önüne geçilebilmesi için birçok soğutma yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden biri de doğal hava akışını sağlamaktır.

Arazi tipi güneş enerjisi sistemlerinde panellerin yerden yükseğe yerleştirilmesi sonucu hava sirkülasyonu meydana gelmektedir. Hava sirkülasyonu sayesinde panel sıcaklıklarında azalış yaşanmakta ve enerji verimliliğinde artış sağlanmaktadır. Arazi tipi güneş enerjisi sistemlerinde hava akışının oluşturduğu bu etkiden yararlanılırken çatı tipi güneş enerjisi sistemlerinde hava akışı etkisi genellikle göz ardı edilmektedir. Güneş panellerinin altında hava boşluğu bırakıldığında yüksek ısıtım değerlerinde 8 ila 10 °C arasında bir sıcaklık farkı gözlemlenmiştir [62]. Bu sebeple çatı tipi güneş enerjisi sistemlerinde pasif soğutma etkisinden yararlanabilmek için panel ile çatı arasında hava kanalı oluşturacak bir mesafenin bırakılması gerekmektedir.



### 3.12. PVsyst ve Simulink'te Kısmi Gölgeleme Etkisinin İncelenmesi

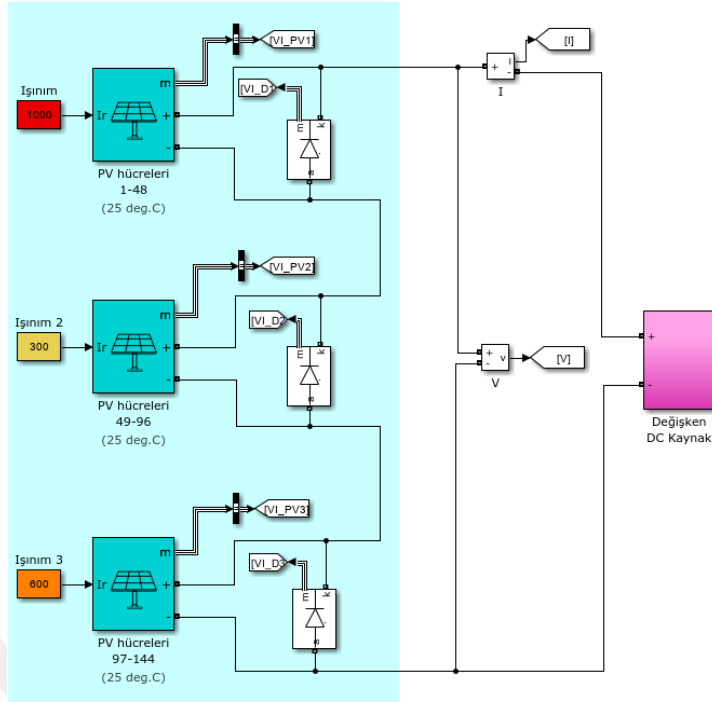
PVsyst'de kısmi gölgeleme etkisini incelemek için Şekil 3.10'da yer alan güneş enerjisi sistemindeki iletim hatları paneller üzerinde gölge oluşturacak biçimde yerleştirildiğinde Şekil 3.27'deki model elde edilmiştir.



Şekil 3.27. Kısmi gölgeleme etkisinin PVsyst'de incelenmesi.

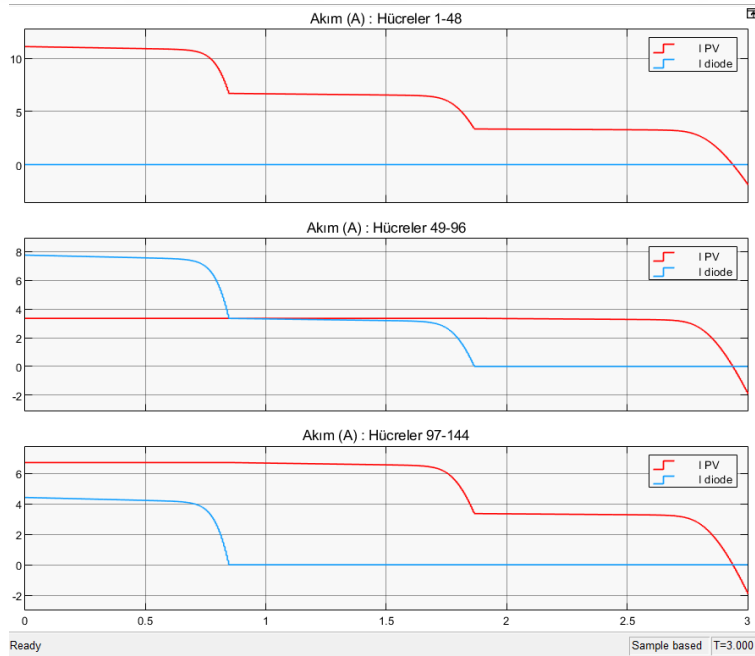
İletim hatlarının gölgesi sebebiyle güneş panellerinde elektriksel kayıp %8,5 olmaktadır. Aynı güneş enerjisi sistemi için iletim hatlarının güneş panellerinin arkasında konumlandığı durumda üretilen yıllık enerji değeri 753 MWh iken kısmi gölgemenin olduğu Şekil 3.27'deki modelde üretilen yıllık enerji değeri 738 MWh olmaktadır.

Simulink'te kısmi gölgeleme etkisinin incelenmesi için Şekil 3.28'deki model kullanılmıştır. Farklı ışıınım değerlerinin bir güneş paneli üzerindeki etkisinin yer aldığı bu model ile kısmi gölgeleme etkisi incelenmektedir. Bir güneş paneli üzerine aynı zaman diliminde  $1000 \text{ W/m}^2$ ,  $300 \text{ W/m}^2$  ve  $600 \text{ W/m}^2$  ışıınım değerleri uygulanmıştır.



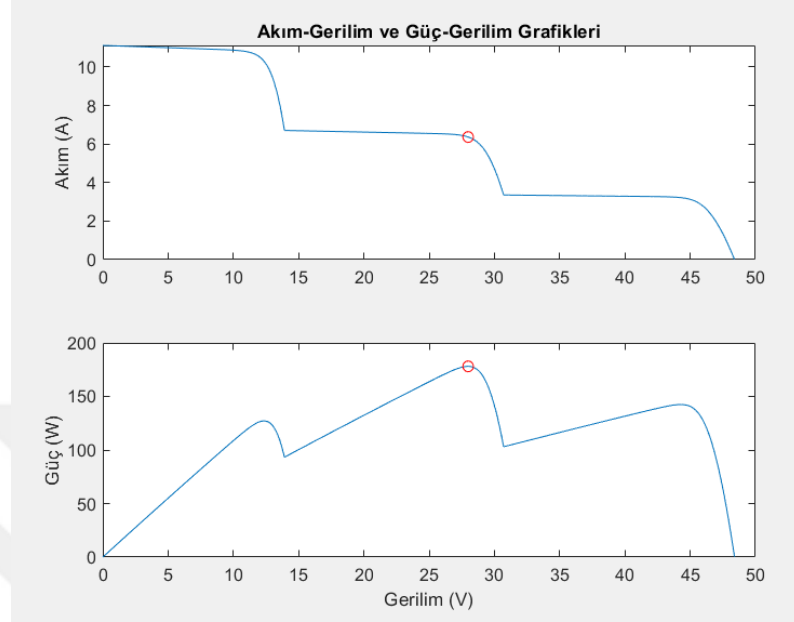
**Şekil 3.28.** Bir panel üzerine düşen farklı ışınım değerleriyle kısmi gölgeme etkisinin incelenmesi.

Şekil 3.28'deki model çalıştırıldığında panel akımı ve baypas diyotundan geçen akım değerleri Şekil 3.29'daki gibi elde edilmiştir.



**Şekil 3.29.** Farklı ışınım değerlerinin hücreler üzerindeki etkisi.

Paneller üzerinde kısmi gölgelemenin olduğu durumda akım-gerilim ve güç-gerilim arasındaki ilişki Şekil 3.30’da yer almaktadır. Maksimum güç noktasının 27,98 volt ve 6,36 amper değerlerinde 177,95 W olduğu görülmektedir.



**Şekil 3.30.** Akım-Gerilim ve Güç-Gerilim karakteristikleri.



#### 4.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında şebekeye bağlı güneş enerjisi sistemlerinde üretilen güce etki eden faktörler PVsyst ve Simulink'te incelenmiştir. PVsyst ile yapılan hesaplamalar sonucuna uygun olarak güneş paneli sayısı belirlenmiştir. 16 panelin seri bağlanmasıyla birlikte toplamda 74 dizinin yer aldığı 500 kW kurulu güce sahip güneş enerjisi sisteminde 1184 panelin kullanılması gerektiği hesaplanmıştır. Ayrıca güneş panellerinin kapladığı alanın 2461 m<sup>2</sup> olduğu görülmüştür.

Güneş panellerinin seri bağlanması sonucu oluşacak gerilim değeri eviricinin girişine uygulanabilecek nominal gerilim değerine yakın bir değer olması gerekmektedir. Standart koşullarda panellerin 16 tanesinin seri olarak bağlanması sonucunda 657,28 volt gerilim oluşturduğu hesaplanmış ve bu değer eviricinin nominal gerilim değerine yakın olduğu görülmüştür.

Hareketli bir güneş enerjisi sisteminde aylık optimum güneş paneli açısı kullanılması gerekmektedir. Aylık optimum güneş paneli açısı, seçilen tarihte güneşin yükseklik açısının tümleyen değerinden az olmaması gerektiği dikkate alınarak hesaplanmıştır. Güneş panellerinin hareket etmediği sabit bir sistemde ise yıllık optimum güneş paneli açısı kullanılmaktadır. Yıllık optimum güneş paneli açısı değeri seçilen konum için 31,88° olarak bulunmuştur.

PVsyst'de kurulan güneş enerjisi sistemiyle çift yüzlü panellerin ve albedo değerinin üretilen güce etkisi incelenmiş ve tek yüzlü panellerle oluşturulan sisteme göre alan tasarrufu hesaplanmıştır. Alan kısıtı olan güneş enerjisi sistemlerinde zeminin albedo değerinin artırılması ve çift yüzlü güneş panellerinin kullanılması dikkate değer bir enerji üretimi artışı sağlamaktadır. Albedo değerinin 0,3'ten 0,73'e çıkması durumunda üretilen yıllık enerji miktarında %10,22 artış olduğu görülmüştür. Fakat çift yüzlü güneş panellerinin kullanılmasının ek maliyet gerektirdiği ortaya çıkmaktadır.

Simulink'te güneş panelinin giriş parametresi olarak panel sıcaklığı değeri kullanıldığından dolayı ortam sıcaklığından panel sıcaklığı değerleri elde edilmiştir.

Simülasyon çalıştırıldığında panel gerilimi, panel akımı, diyot akımı değerleri elde edilmiş ve transformatör çıkışından elde edilen gerilim ve akım grafikleri oluşturulmuştur. Panel sıcaklığı arttıkça panel geriliminin düştüğü ve güneş ışıını arttıkça panel akımının arttığı gözlemlenmiştir.

PVsyst'de kurulan güneş enerjisi sisteminde güneş paneli açısı, kısmi gölgeleme etkisi, çift yüzlü paneller, albedo değeri, sıcaklık, LID, uyumsuzluk, kirlilik, panel yaşlanması ve evirici kayıpları gibi birçok faktör hesaba katılırken Simulink'te güneş ışıını, panel sıcaklığı ve çeşitli MPPT yöntemleriyle üretilen güç değerleri hesaplanmaktadır. 500 kW kurulu güce sahip hayali bir güneş enerjisi sistemi için PVsyst'de yıllık üretilen toplam enerji değeri 753 MWh iken Simulink'te bu değer 755,25 MWh olduğu görülmüştür. Aynı özelliklere sahip güneş enerjisi sistemi PVsyst ve Simulink'te oluşturulduğunda PVsyst'de elde edilen enerji değerinin %0,29 daha az olduğu görülmüştür. PVsyst'de oluşturulan güneş enerjisi sisteminde kısmi gölgeleme etkisi gibi birçok faktörün hesaba katılması sebebiyle aynı kurulu güç değerlerine sahip güneş enerjisi sistemlerinde üretilen enerji değerlerinde böyle bir fark olduğu gözlemlenmiştir.

Güneş enerjisi sistemlerinde oluşan kayıpların etkisi ve kısmi gölgeleme etkisini detaylı bir şekilde inceleyebilmek için PVsyst, güneş ışıını ve panel sıcaklığına bağlı olarak akım, gerilim ve güç değerleri elde etmek ve maksimum güç noktasını gösteren grafiği oluşturulabilmek için Simulink, güneş enerjisi sisteminde yer alan giriş ve çıkış parametreleri arasındaki ilişkinin ortaya konulabilmesi için Python programlama dilinin kullanılması gerektiği görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- [1] Our World in Data (2023, 5 Mayıs). Dünyadaki CO<sub>2</sub> emisyonu miktarı. <https://ourworldindata.org/co2-emissions>
- [2] Arisetyadhi, I., Dewi, T., Kusumanto, R., Experimental study on the effect of arches setting on semi-flexible monocrystalline solar panels, Kinetik: Game Technology, Information System, Computer Network, Computing, Electronics, and Control, ISSN: 2503-2267, Vol. 4, No. 3, Pp. 277-288, August 2019.
- [3] Sugianto, Comparative Analysis of Solar Cell Efficiency between Monocrystalline and Polycrystalline, INTEK Jurnal Penelitian, Volume 7 (2) sayfa 92-100, 2020.
- [4] Ahmad, L., Khordehgah, N., Malinauskaite, J., Jouhara, H., Recent advances and applications of solar photovoltaics and thermal technologies, Energy, 2020.
- [5] Ettah, E., Ekah, U., Oyom, E., Akonjom, N., Performance Analysis of Monocrystalline and Polycrystalline Solar Panels in a Semi-Arid Region, International Journal of Engineering Science Invention, Volume 10 Issue 7 Series I, PP 10-14, July 2021.
- [6] Reddy, S.U.M., Venkatesh, N., Nagendra, N.S., Prasad, P.R., Nayak, M.R., Study On New Design Techniques for Enhancement of Solar Panel Efficiency, International Conference on Computing Sciences (ICCS), 2021.
- [7] Malwad, D., Tungikar, V., Development and performance testing of reflector materials for concentrated solar power: A review, Materials Today: Proceedings, vol 46, part 1, pp 539-544, 2021.
- [8] Chaudhary, S.K., Deepak, S., Kumar, P., Tripathi, R., Dixit, N.K., Srivastava, A., Maximizing the Conversion Efficiency of Smart Solar Inverter, 2021 International Conference on Advance Computing and Innovative Technologies in Engineering, 2021.
- [9] Dhaneria, A., Khambhadiya, H., Enhancing The Utilization of Existing Solar Inverter by Incorporating Reactive Power Compensation Feature, IEEE, 2021.
- [10] Sharma, A., Singh, N., Gawre, S.K., Operational Losses of a Solar Power Plant: a Case Study, 2021 IEEE 2nd International Conference on Electrical Power and Energy Systems, Dec 10-11, 2021.
- [11] Gan, C.K., Lee, Y.M., Pudjianto, D., Strbac, G., Role of Losses in Design of DC Cable for Solar PV Applications, Australasian Universities Power Engineering Conference, AUPEC 2014, Curtin University, Perth, Australia, 28 September – 1 October 2014.
- [12] Boztepe, M., Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Verimliliği Etkileyen Parametreler, Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Şubat 2017.

- [13] Hossain, A., Ahmed, R., Study and Protection of Lightning Overvoltage on DC Cables of Solar Power Generation, 8th International Conference on Electrical and Computer Engineering, 20-22 December, 2014.
- [14] Kulkarni, S., Duraphe, K., Chandwani, L., Jaiswal, S., Kakade, S., Kulkarni, R., Optimizing Solar Panel Tilt Using Machine Learning Techniques, 2021 3rd Global Power, Energy and Communication Conference, October 5-8, 2021.
- [15] Awasthi, A., Kallioğlu, M.A., Sharma, A., Mohan, A., Chauhan, R., Singh, T., Solar collector tilt angle optimization for solar power plant setup-able sites at Western Himalaya and correlation formulation, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2022.
- [16] Tırmıkçı, C.A., Yavuz, C., Environmental life cycle analysis of a fixed PV energy system and a two-axis sun tracking PV energy system in a low-energy house in Turkey, Sakarya University, Smart and Sustainable Built Environment, Vol. 8 No. 5, pp. 391-399, 2019.
- [17] Karafil, A., Özbay, H., Kesler, M., Sıcaklık ve Güneş Işınım Değişimlerinin Fotovoltaik Panel Gücü Üzerindeki Etkilerinin Simülasyon Analizi, Conference: Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Mayıs 2016.
- [18] Adak, S., Cangı, H., Yılmaz, A.S., Fotovoltaik Sistemin Çıkış Gücünün Sıcaklık ve Işımaya Bağlı Matematiksel Modellemesi ve Simülasyonu, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, vol. 11, sayı 1, sayfa 316-327, Ocak 2019.
- [19] Atmaca, M., Pektemir, İ.Z., PV Panel Sıcaklığı Üzerinde Etkili Olan Atmosferik Parametrelerin Araştırılması, International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences, 32(4), sayfa 458-466, 2020.
- [20] Swart, A.J., Schoeman, R.M., Ozemoya, A., Pienaar, H.C., Factors impacting on the surface temperature of a PV panel, Conference: SATNAC 2013, Eylül 2013.
- [21] Muzathik, A. M., Photovoltaic Modules Operating Temperature Estimation Using a Simple Correlation, International Journal of Energy Engineering, Vol. 4 Iss. 4, PP. 151-158, Ağustos 2014.
- [22] Zouine, M., Akhsassi, M., Erraissi, N., Aarich, N., Mathematical Models Calculating PV Module Temperature Using Weather Data: Experimental Study, Lecture Notes in Electrical Engineering, Nisan 2018.
- [23] Singh, A.K., Singh, R.R., An Overview of Factors Influencing Solar Power Efficiency and Strategies for Enhancing, Innovations in Power and Advanced Computing Technologies, 2021.
- [24] Nguyen, D.D., Lehman, B., Kamarthi, S., Performance Evaluation of Solar Photovoltaic Arrays Including Shadow Effects Using Neural Network, Electrical Power Conference, IEEE Canada, 2007.
- [25] Ma, X., Yao, G., Ye, L., Zhi X., and Zhang, S., Distance calculation between photovoltaic arrays fixed on sloping ground, Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering, 15, pp. 107-116, 2015.



- [26] Gholami, A., Khazaei, I., Eslami, S., Zandi, M., Akrami, E., Experimental investigation of dust deposition effects on photo-voltaic output performance, *Solar Energy*, 159, pp. 346-352, 2018.
- [27] Sonsuz, O., Adıguzel, E., Kabaoglu, R.O., Ersoy Yılmaz, A., The Effect Of Pollution On Photovoltaic Panels Under Climate Conditions In Hatay, *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(3), 1413-1423, 2020.
- [28] Panjwani, M.K., Narejo, G.B., Effect of Humidity on the Efficiency of Solar Cell (photovoltaic), *International Journal of Engineering Research and General Science* Volume 2, Issue 4, June-July, 2014.
- [29] Chua, P.J.Y., Tay, S.E.R., Comparative Discussion of Active and Passive Cooling of PV Modules-Are We Doing It Right?, 47th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2020.
- [30] Hasanuzzaman, M., Malek, A.B.M.A., Islam, M.M., Pandey, A.K., Rahim, N.A., Global advancement of cooling technologies for PV systems: A review, *Solar Energy* Volume 137, Pages 25-45, 1 November 2016.
- [31] Bayrak, F., Energy, Exergy and Sustainability Indicators of Photovoltaic Panel Cooling under Forced Convection, *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15(1), 340-359, 2022.
- [32] Zubeer, S.A., Ali, O.M., Experimental and numerical study of low concentration and water-cooling effect on PV module performance, *Case Studies in Thermal Engineering* 34, 2022.
- [33] Faisal, F., Rashel, M.R., Ahmed, T., Tlemçani, M., A Comparative Review on Cooling Techniques to Develop Hybrid PV/T Panel, *IEEE, 12th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, 2021.
- [34] Pawluk, R.E., Chen, Y., She, Y., Photovoltaic electricity generation loss due to snow – A literature review on influence factors, estimation, and mitigation, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 107, pp 171-182, 2019.
- [35] Bosman, L., Darling, S., Difficulties and Recommendations for More Accurately Predicting the Performance of Solar Energy Systems during the Snow Season, 5th International Conference on Renewable Energy Research and Applications, 20-23 Nov 2016.
- [36] Asthana, D., Zinaddinov, M., Ushakov, M., Mil'shtein, S., Cost-Effective Snow Removal from Solar Panels, *IEEE IEEE 46th Photovoltaic Specialists Conference*, 2019.
- [37] Yahyavi, M., Vaziri, M., Vadhva, S., Solar Energy in a Volume and Efficiency in Solar Power Generation, *IEEE*, August 2010.
- [38] Singh, S.R., Das, P., Performance Analysis of Dual Axis Solar Tracker, *International Conference on Computational Performance Evaluation*, 2021.
- [39] Mustafa, G.E.G., Sidahmed, B.A.M., Nawari, M.O., The Improvement of LDR Based Solar Tracker's Action using Machine Learning, *IEEE*, 2019.

- [40] Kher, V., Sharma, S., Santhosh, H.M., Manoj, N., Yogesh, O.M., Bhinge, N.A., Scheduled single axis solar tracker system for improvisation of energy efficiency, Proceedings of the Fourth International Conference on Smart Systems and Inventive Technology, 2022.
- [41] Mostafa, M.T.B., Choudhury, S.T.A., Hosain, S., Design and Performance Analysis of a Dual Axis Solar Tracker, IEEE 1st International Conference on Energy, Systems and Information Processing, 2019.
- [42] Singh, P.K., Singh, K.N., Bhardwaj, J., Choudhury, M.K., Performance evaluation of dual axis solar tracker in North-East India, 5th International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer Technologies and Optimization Techniques, 2021.
- [43] Krishna, S., Moger, T., Investigation of Power losses on Solar Photovoltaic Array Interconnections Under Mismatch Conditions, Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy, 2021.
- [44] Srinivasan, A., Devakirubakaran, S., Sundaram, B.M., Mitigation of mismatch losses in solar PV system – Two-step reconfiguration approach, Solar Energy, 206, pp. 640-654, 2020.
- [45] Rodrigo, P., Velazquez, R., Fernandez, E.F., Almonacid, F., Perez-Higueras, P.J., Analysis of electrical mismatches in high-concentrator photovoltaic power plants with distributed inverter configurations, Energy, 107, pp. 374-387, 2016.
- [46] Zhang, J., Zhao, L., Deng, S., Xu, W., Zhang, Y., A critical review of the models used to estimate solar radiation, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 70, pp. 314-329, 2017.
- [47] Alparslan, N. C. Kayabaşı A. and Ruşen, S. E., Estimation Of Global Solar Radiation by Using ANN and ANFIS, Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU), pp. 1-6, 2019.
- [48] Mehadi, A. A., Nishat, M. M. Faisal, F., Bhuiyan, A. R. H., Hussain M. and Hoque, M. A., Design, Simulation and Feasibility Analysis of Bifacial Solar PV System in Marine Drive Road, Cox's Bazar, 2021 International Conference on Science & Contemporary Technologies (ICSCT), pp. 1-6, 2021.
- [49] Kotak, Y., Gul, M.S., Muneer, T., Ivanova, S.M., Investigating the Impact of Ground Albedo on the Performance of PV Systems, CIBSE Technical Symposium, April 2015.
- [50] GTC Trade (2023, 5 Mayıs). Çift yüzölçü cam panelin elektriksel parametreleri. <http://gtctrade.com/wp-content/uploads/2022/02/GG1H-72-425-tr-02-22.pdf>
- [51] Huawei (2023, 5 Mayıs). SUN2000-50KTL-M0 Smart String Inverter <https://www.eeusolar.com/pdf/SUN2000-50KTL-M0.pdf>
- [52] Yadav, A.M., Chandel, S.S., Tilt angle optimization to maximize incident solar radiation: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, pp.503-513, 2013.

- [53] Talebizadeh, P., Mehrabian, M.A. and Abdolzadeh, M., Determination of Optimum Slope Angles of Solar Collectors Based on New Correlations, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 33:17, pp. 1567-1580, 2011.
- [54] Muslim, H.N., Alkhazraji, A., Management of electricity peak load for residential sector in Baghdad city by using solar generation, *International Journal of Energy and Environment*. 8., pp.63-72., 2017.
- [55] Jacobson M.Z., Jadhav V., World estimates of PV optimal tilt angles and ratios of sunlight incident upon tilted and tracked PV panels relative to horizontal panels, *Solar Energy*, 169, pp.55-66, 2018.
- [56] Gul, M., Kotak, Y., Muneer, T., Ivanova, S., Enhancement of Albedo for Solar Energy Gain with Particular Emphasis on Overcast Skies, *Energies*, 2018.
- [57] Alkan, A., Yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2016.
- [58] Elmas, Ç., Bingöl, O., Üç-Seviyeli Bir Eviricinin Tasarım ve Uygulaması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12, sayfa 77-84, 2008.
- [59] Hassan, M.M., El-Saady, G., Ibrahim, E.A., Merazy, M.A., An improved Perturb and Observe Based MPPT Method and Power Stabilization for Grid Connected PV System, 22nd International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), 2021.
- [60] Keskin, Y.E., Başoğlu, M.E., Tekdemir, İ.G., Çakır, B., Eleco 2014 Elektrik – Elektronik – Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, 2014.
- [61] Korkmaz, M., A study over the general formula of regression sum of squares in multiple linear regression, *Numer Methods Partial Differential Eq.*, 37: 406– 421, 2020.
- [62] R. Mazón-Hernández, J.R. García-Cascales, F. Vera-García, A.S. Káiser and B. Zamora, Improving the Electrical Parameters of a Photovoltaic Panel by Means of an Induced or Forced Air Stream, *International Journal of Photoenergy*. 2013.



## ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Doğukan DERE

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2020, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2023, Sakarya Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik Mühendisliği

### TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Dere, D., “Şebekeye Bağlı Güneş Enerjisi Sistemlerinin PVsyst ve Simulink’te İncelenmesi”, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2023.