




# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Şebekeye Bağlı Güneş Enerjisi Sistemlerinin PVsyst ve Simulink'te İncelenmesi

 Doğukan DERE<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: dogukan.dere1@ogr.sakarya.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1206700

### ÖZ

Bu çalışma kapsamında şebekeye bağlı güneş enerjisi santrallerinde üretilen güce etki eden faktörler incelenmiştir. Kurulu gücü 500 kW olan hayali bir 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 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 yüzü 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. Aynı özelliklere sahip güneş enerjisi sistemi için PVsyst ve Simulink'te elde edilmiş yıllık üretilen enerji değerleri karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş enerjisi, Güneş paneli açısı optimizasyonu, Çift yüzü güneş paneli

## Review of Grid Connected Solar Energy Systems in PVsyst and Simulink

### ABSTRACT

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 imaginary 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 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° for the selected location located at 40.82° 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 annual produced energy values obtained in PVsyst and Simulink for the solar energy system with the same features were compared.

**Keywords:** Solar energy, Solar panel angle optimization, Bifacial solar panel

# I. 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. Güneş enerjisi sistemlerinde üretilen güce etki eden faktörler arasında güneş ışınımı, 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.

Ortam sıcaklığı üretilen güce etki eden en önemli parametrelerden biridir. Ortam sıcaklığına bağlı olarak panel sıcaklığının artması panel akımını düşük bir miktarda artırmakta ve panelin çıkış gerilimini doğrusal olarak azaltmaktadır [1]. Teorik olarak panel sıcaklığını bulmak için birçok model geliştirilmiştir. Bu modelleri 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 modelleridir. Rüzgârın hesaba katılmadığı modeller arasında Lasnier ve PVsyst modelleri, rüzgâr etkisinin hesaba katıldığı modeller arasında Akhsassi-2 ve Sandia modelleri en iyi sonucu vermektedir [2].

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 yaşanmaktadır. Ayrıca yüksek sıcaklıkların panel ömrünü kalıcı olarak kısalttığı bilinmektedir [3]. Panel sıcaklığını azaltmak için soğutma sistemleri geliştirilmiştir. Literatürde yer alan birçok çalışmada sıvı soğutmalı sistemlerin hava soğutmalı sistemlere kıyasla önemli ölçüde verimi arttırdığı görülmektedir.

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 [4]. 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 [5].

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 panelin açısı artmaktadır [6]. Güneş paneli açısının optimize edilmesiyle hem sabit hem de hareketli sistemlerde panel üzerine düşen güneş ışınımı miktarı artmakta ve buna bağlı olarak da üretilen güç değeri artış göstermektedir.

Çift yüzlü güneş panelleri, güneş ışınımını 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 ışınım, panellerin her iki tarafına da ulaşmaktadır. Sonuç olarak çift yüzlü panellerin yerleştirildiği zeminin yansıtma katsayısı büyük önem taşımaktadır [7]. Çift yüzlü güneş panellerinin yer aldığı sistemde üretilen güç değeri kısa devre akımıyla doğru orantılı olarak artmaktadır. Kısa devre akımını artıran temel faktörlerden birinin de yüksek albedo değeri olduğu ortaya konulmuştur [8]. Çift yüzlü güneş enerjisi sistemlerinde yüksek albedo değerlerine sahip kar ve beyaz kum kaplı zeminlerde üretilen güç değerinin %4 ila %7,5 arasında değiştiği gözlemlenmiştir [9].

Bu çalışmada güneş enerjisi sistemlerinde maksimum güç çıkışını elde edebilmek için aylık ve yıllık olmak üzere optimum güneş paneli açısı hesaplanmıştır. Aynı kurulu güç değerine sahip güneş enerjisi sistemi PVsyst ve Simulink üzerinde kurulmuş ve üretilen yıllık enerji miktarlarının birbirlerine yakın

değerler olduğu elde edilmiştir. Son olarak da PVsyst ve Simulink'te kısmi gölgeleme etkisi incelenerek üretilen güç değerinde yaşanan kayıp gözlemlenmiştir.

## II. UYGULAMA

### A. GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMİNDE PANEL VE EVİRİCİNİN SEÇİLMESİ

Bu çalışmada Kocaeli Üniversitesi Umuttepe yerleşkesinde 500 kW'lık kurulu güce sahip çift yüzlü güneş panellerinin yer aldığı hayali bir güneş enerjisi sistemi incelenmiştir. Bu sistemde GTC photovoltaic solar systems markasına ait 425 Watt çift yüzlü mono perc güneş panelleri kullanılmıştır. %20,59 verimliliğe sahip güneş panelinin temel parametreleri Şekil 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-Pmax (W)	439	444	449	455
	Modül Verimliliği (%)	21.20	21.51	21.77	22.03
+15%	Çıkış Gücü-Pmax (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 1. Çift yüzlü güneş panelinin temel parametre değerleri. [10]

Evirici olarak ise Huawei Technologies'e ait 55 kW'lık SUN2000-50KTL-M0 seçilmiştir. Evirici %98,7 verime ve 6 MPPT girişine sahiptir. Eviricinin girişine uygulanabilecek gerilim değeri 200 Volt ila 1000 Volt arasında değişmektedir. Eviricinin nominal giriş gerilim değeri ise 600 Volt'tur [11].

Seri bağlantı sonucu oluşacak gerilim değerini elde ederken evirici girişine uygulanacak nominal gerilim değerine yakın bir değer olması dikkate alınmaktadır. Sistemde oluşabilecek verim kayıpları da dikkate alınarak seri bağlanması gereken panel sayısı hesaplanmıştır. Standart koşullarda panellerin 16 tanesinin seri olarak bağlanması sonucunda 657,28 Volt gerilim oluşmaktadır. Bu gerilim değerinin eviricinin nominal gerilim değerine yakın olduğu görülmektedir. Bu değer Eş. 1'de elde edilmiştir.

$$16 \times \text{Panelin Maksimum Güç Voltajı} = 16 \times 41,08 = 657,28 \text{ Volt} \quad (1)$$

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.

## B. AYLIK VE YILLIK OPTİMUM GÜNEŞ PANELİ AÇISININ HESAPLANMASI

Panel yüzeylerine düşen güneş ışınımı miktarının maksimum olabilmesi için güneş panellerinin açısının optimum olarak hesaplanması gerekmektedir. Aylık optimum panel açısının belirlenmesi için seçilen konumun enlem değeri ve güneşin sapma açısı değeri gerekmektedir. Güneşin sapma açısı Eş. 2 ile bulunmaktadır.

$$\delta = 23,5 \sin\left(\frac{360}{365}(J + 284)\right) \quad (2)$$

J değeri 1 ile 365 arasında değer olarak yılın günlerini ifade etmektedir. Aylık optimum panel açısı Eş. 3 ile bulunmaktadır [12].

$$\beta_{optimum} = \phi - \delta \quad (3)$$

$\phi$  enlem derecesini ve  $\delta$  güneşin sapma açısını ifade etmektedir.  $\delta$  açısının hesaplanmasında kullanılan J değeri her ayın 15. günü dikkate alınarak oluşturulmuştur. Tablo 1'de J değerine karşılık gelen güneşin sapma açısı değerleri derece cinsinden aylık olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 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. Eş. 3'de yer alan  $\phi$  değeri 40,82° ve  $\delta$  değerleri Tablo 1'deki gibi alındığında Tablo 2'de yer alan aylık optimum panel açıları elde edilmiştir.

**Tablo 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°

Hareketli bir güneş enerjisi sisteminde aylık olarak belirlenmiş optimum panel açılarını kullanmak üretilen güç değerinde artış sağlamaktadır. Güneş paneli açıları her ay belirlenen değere göre değiştirilerek güneş ışımından maksimum fayda elde edilmektedir.

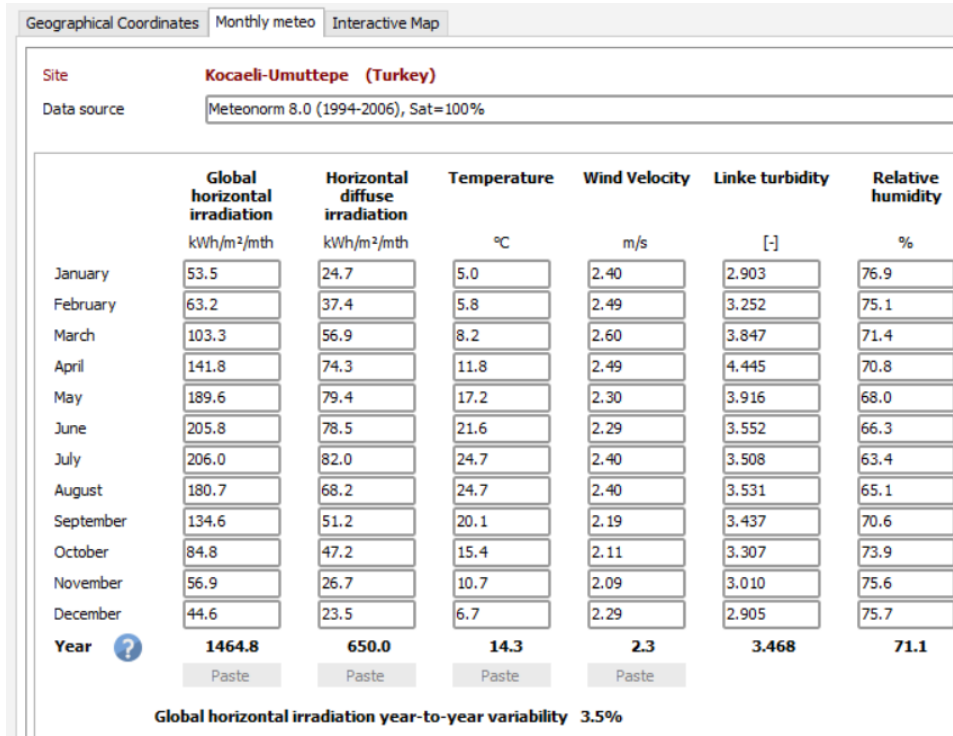
Sabit güneş panellerinin yer aldığı bir sistemde ise panel açılarını yıllık optimum panel açısına göre belirlemek gerekmektedir. Yıllık olarak optimum panel açısının belirlenmesi için Jacobson ve ark. oluşturduğu Eş. 4 kullanılmıştır [13].

$$\beta = 1,3793 + \emptyset(1,2011 + \emptyset(-0,014404 + \emptyset(0,000080509))) \quad (4)$$

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

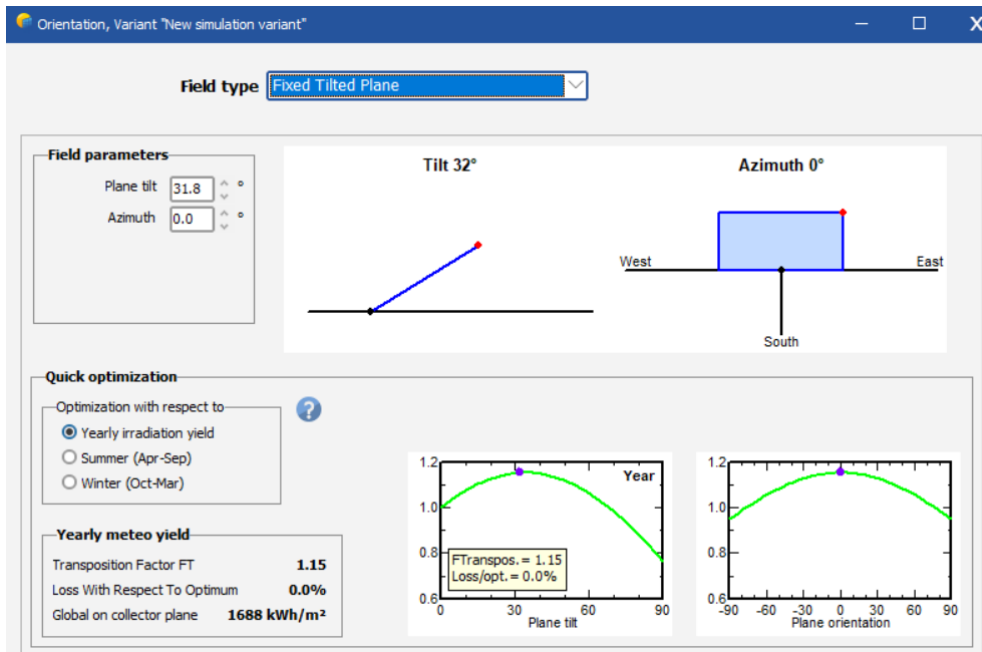
### C. PVSYSY'TE ÇİFT YÜZLÜ PANELLERLE GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMİNİN KURULMASI

PVsysy, 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 ışınım değerleri, ortam sıcaklığı, rüzgâr hızı ve nem değerleri PVsysy'de otomatik olarak oluşturulmaktadır. Şekil 2'de koordinatların seçilmesi sonrasında oluşan değerler yer almaktadır.



Şekil 2. PVsyst’de aylık güneş ışıması, sıcaklık, rüzgâr hızı ve nem değerlerinin oluşturulması.

Koordinatların seçilmesi sonrası meteorolojik verilerin oluşturulmasının ardından Eş. 4’de hesaplanan  $31,88^\circ$  değeri yıllık optimum panel açısı olarak Şekil 3’de kaydedilmiştir.



Şekil 3. Yıllık optimum panel açısının PVsyst’e kaydedilmesi.

Çift yüzü 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. 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 4'de yer almaktadır.

The screenshot displays the PVsyst software interface for system configuration. It is divided into several sections:

- Sub-array name and Orientation:** Name is "PV Array", Tilt is 31°, and Azimuth is 0°. Orientation is set to "Fixed Tilted Plane".
- Pre-sizing Help:** "No sizing" is selected. Planned power is 500.0 kWp, and available area is 2445 m<sup>2</sup>. A "Resize" button is present.
- Select the PV module:** Filter is "All PV modules". Selected module is "GTC Solar Turkey" (425 Wp 35V SI-mono GG1H-425 Bifacial PERC 72 ce Since 2020). Sizing voltages are V<sub>mpp</sub> (60°C) = 34.9 V and V<sub>oc</sub> (-10°C) = 54.7 V.
- Select the inverter:** Output voltage is 480 V Tri 50Hz. Selected inverter is "Huawei Technologies" (55 kW 200 - 1000 V TL 50 Hz SUN2000 50KTL Since 2016). Number of inverters is 10. Operating voltage is 200-1000 V, Global Inverter's power is 550 kWac, and Input maximum voltage is 1100 V. A note indicates "inverter with 4 MPPT".
- Design the array:** Number of modules in series is 16, and number of strings is 74. Overload loss is 0.0% and P<sub>nom</sub> ratio is 0.91. A note states "The inverter power is slightly oversized." Operating conditions are V<sub>mpp</sub> (60°C) = 559 V, V<sub>mpp</sub> (20°C) = 660 V, and V<sub>oc</sub> (-10°C) = 875 V. Plane irradiance is 1000 W/m<sup>2</sup>. Max. operating power is 456 kW (at 1000 W/m<sup>2</sup> and 50°C). Array nom. Power (STC) is 503 kWp.

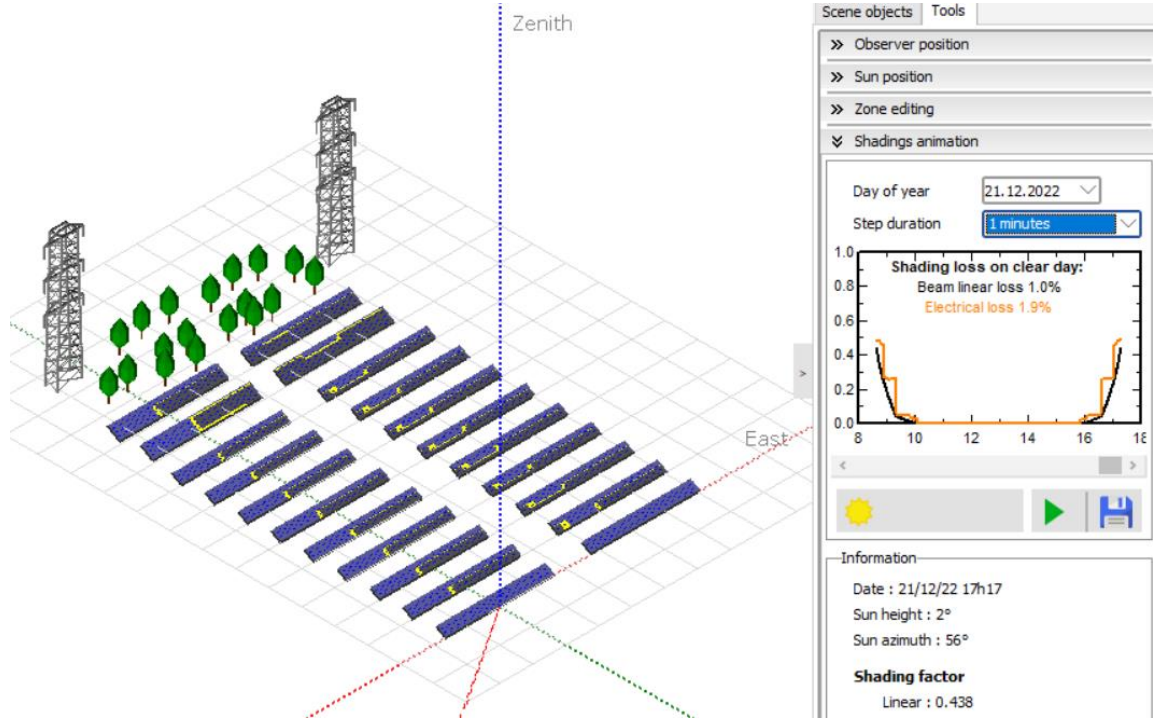
Summary of array design parameters:

Nb. modules	1184	Area	2461 m <sup>2</sup>
-------------	------	------	---------------------

Şekil 4. 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 olacak şekilde tasarlanmıştır. 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 değerın 2 katı alındığında her bir dizi arasındaki mesafe 12 metre olmaktadır. Şekil 5'de gölgeleme etkisini incelemek için oluşturulan 3 boyutlu model yer almaktadır.





Şekil 5. PVsyst’de 3 boyutlu olarak gölgeleme etkisinin incelenmesi.

Simülasyon sonucunda yıllık 753 MWh enerji üretimi gerçekleşmiştir. PVsyst’de çalıştırılan simülasyon sonucu üretilen enerjiye etki eden faktörler arasında güneş ışınımı, albedo değeri, gölgeleme etkisi, sıcaklık, uyumsuzluk kayıpları, omik kablo kayıpları ve evirici kayıpları yer almaktadır.

Yerden yansıyan güneş ışınımı, toplam ışınım miktarı içerisinde yaklaşık %10’luk bir paya sahiptir. Zeminin albedo değeri güneşin yüksekliği, yağmur ve bulut gibi çevresel faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Albedo değeri ayrıca zeminin yıpranmasına bağlı olarak zamanla da değişebilmektedir.

Mehreen Gul ve ark. yapmış olduğu ölçümlerde alüminyumun albedo değeri 0,70 ila 0,76 arasında değişmektedir [14]. PVsyst’te çift yüzlü 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 değişimine bağlı olarak yıllık enerji üretiminde 77 MWh ile %10,22 artış elde edilmiştir.

#### D. GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMİNİN MATLAB/SİMULİNK’TE İNCELENMESİ

MATLAB/Simulink ile kod yazmaya gereksinim duymadan birçok sistemin simülasyonu yapılabilmektedir. 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 6’daki 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 6.** Modülün elektriksel parametrelerinin belirlenmesi ve bağlantı sayılarının girilmesi.

Kocaeli Üniversitesi Umuttepe yerleşkesinde deneysel olarak ölçülen 2014 yılına ait aylık ortalama ışınım ve ortam sıcaklığı değerleri Tablo 3’de yer almaktadır [15].

**Tablo 3.** Kocaeli üniversitesi Umuttepe yerleşkesine ait aylık ortalama ışınım ve sıcaklık değerleri [15].

Aylar	Ortalama günlük ışınım ( $W/m^2$ )	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 [16]. Lasnier yaklaşımı Eş. 5 ile ifade edilmektedir.

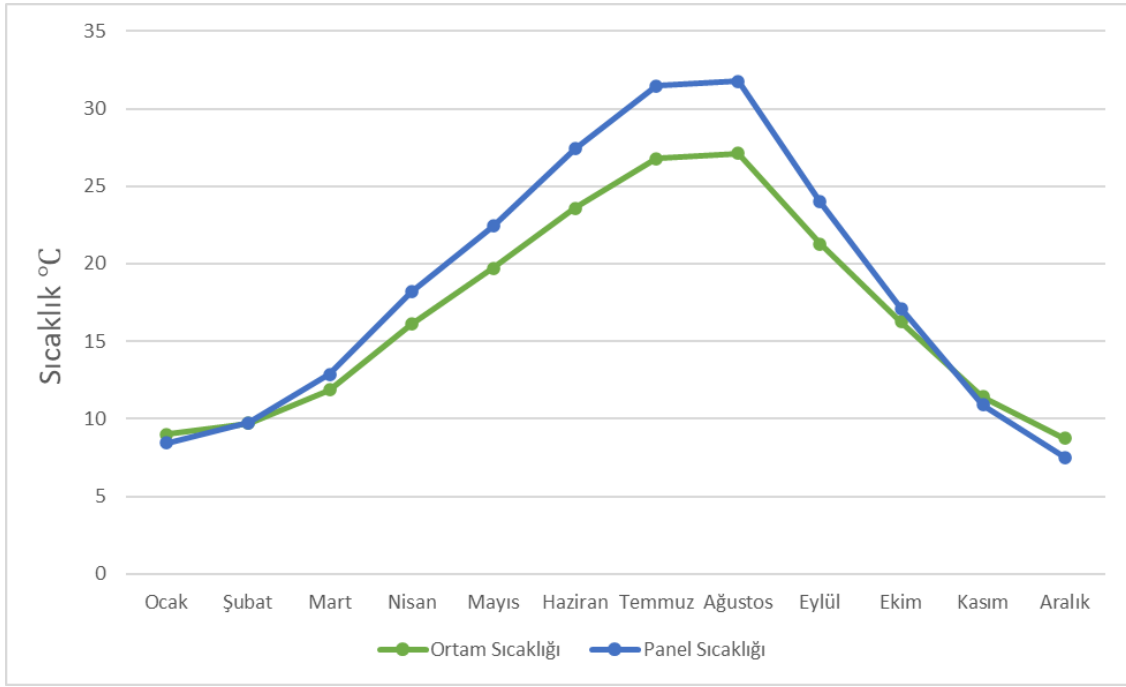
$$T_c = 30 + 0,0175(G_g - 300) + 1,14(T_a - 25) \quad (5)$$

$T_c$  panel sıcaklığını,  $G_g$  modül ışınımını ve  $T_a$  ortam sıcaklığını ifade etmektedir. Tablo 3'deki ışınım ve ortam sıcaklık değerleri Eş. 5'de yerine yazıldığında Tablo 4'deki aylık ortalama panel sıcaklığı değerleri elde edilmektedir.

**Tablo 4.** Aylık ortalama panel sıcaklığı değerlerinin Lasnier yaklaşımıyla bulunması.

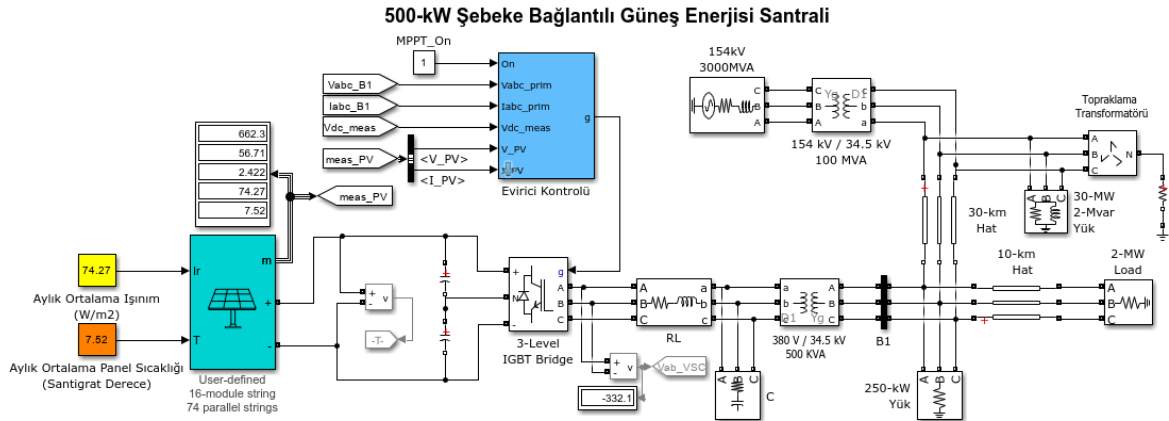
Aylar	Ortalama panel sıcaklığı (°C)
Ocak	8,46
Şubat	9,76
Mart	12,86
Nisan	18,19
Mayıs	22,42
Haziran	27,41
Temmuz	31,47
Ağustos	31,78
Eylül	23,98
Ekim	17,11
Kasım	10,91
Aralık	7,52

Şekil 7'de aylık ortalama ortam sıcaklığı verileri ile teorik olarak elde edilen panel sıcaklığı verileri yer almaktadır. Yaz aylarında sıcaklık farkının arttığı görülmektedir.



Şekil 7. Aylık ortalama ortam sıcaklığı ve panel sıcaklığı değerleri.

Simulink'te oluşturulan Şekil 8'deki güneş enerjisi sisteminde Tablo 3'de yer alan aylık ortalama ışınım ve Tablo 4'de yer alan aylık ortalama panel sıcaklığı değerleri giriş parametreleri olarak kullanılmıştır.



Şekil 8. Simulink'te Şebekeye Bağlı Güneş Enerjisi Sisteminin Oluşturulması.

Farklı aylar için simülasyon çalıştırıldığında Tablo 5'de yer alan panel gerilimi, panel akımı, diyot akımı ve panellerde üretilen toplam güç değerleri elde edilmektedir.

**Tablo 5.** Farklı aylarda panellerde oluşan gerilim, akım, diyot akımı ve güç değerleri.

Aylar	Aylık ortalama panel sıcaklığı (°C)	Aylık ortalama ışınım ( $W/m^2$ )	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

## E. PVSYST VE SİMULİNK'TE ELDE EDİLEN ENERJİ DEĞERLERİNİN KARŞILAŞTIRMASI

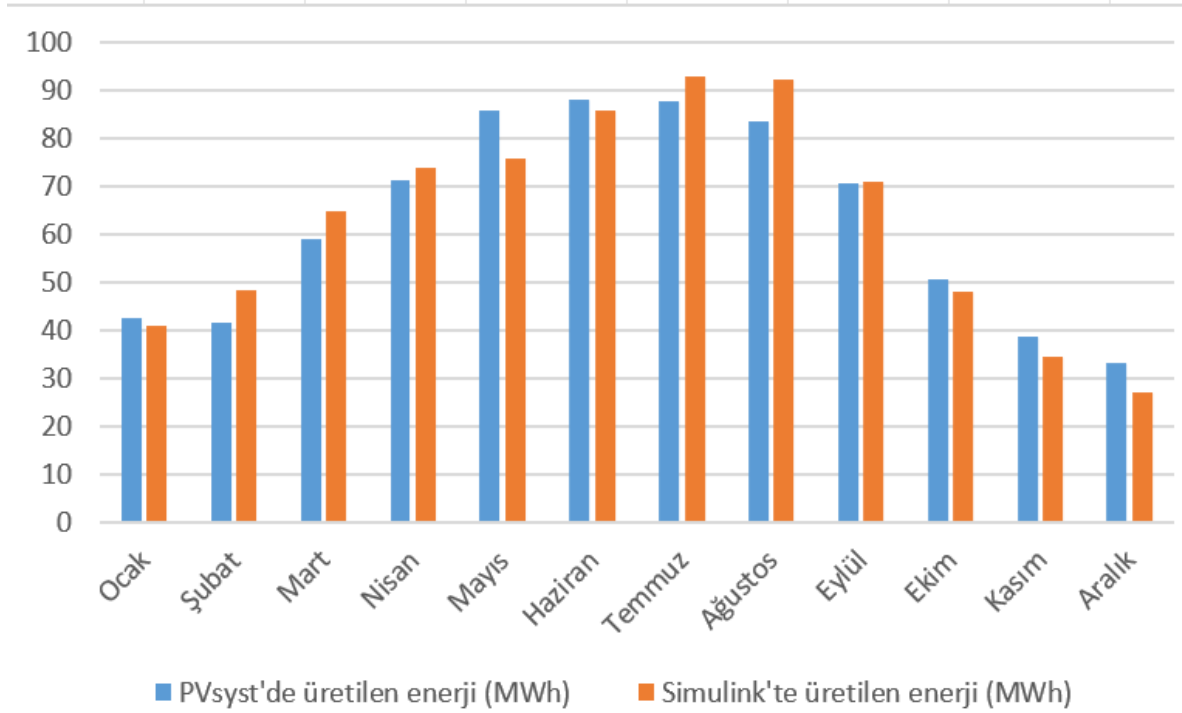
Elektriksel özellikleri ve kurulu gücü aynı olan güneş enerjisi sistemleri PVsyst ve Simulink'te oluşturulmuştur. PVsyst'de üretilen gücün belirlenmesinde panel açısı, gölgelenme etkisi, albedo etkisi, uyumsuzluk kayıpları, kablolama kayıpları vb. faktörler hesaba katılmaktadır. Güneş enerjisi sistemleri Simulink'te oluşturulduğunda giriş parametreleri olarak panel sıcaklığı ve ışınım değerleri kullanılmaktadır. Simulink'te farklı MPPT metotları kullanılabilen ve panellerde oluşan akım, gerilim ve diyot akımı değerleri gözlenebilmektedir. Tablo 5'de yer alan panellerde üretilen toplam güç değerleri kullanılarak Simulink'te enerji değerleri elde edilmiştir. Aylık olarak Simulink'te üretilen enerji değeri, panellerde üretilen toplam güç değerinin bir ay içerisindeki toplam saat sayısı ile çarpımı sonucu bulunmuştur.

PVsyst ve Simulink'te oluşturulan kurulu gücü 500 kW olan tek yüzlü güneş enerjisi sisteminde panellerde oluşan enerji miktarları Tablo 6'da yer almaktadır.

**Tablo 6.** PVsyst ve Simulink'te aylara göre panellerde oluşan enerji miktarı (MWh).

Aylar	PVsyst'de üretilen enerji (MWh)	Simulink'te üretilen enerji (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 9'da PVsyst ve Simulink'te üretilen enerji değerlerinin karşılaştırılması yer almaktadır.

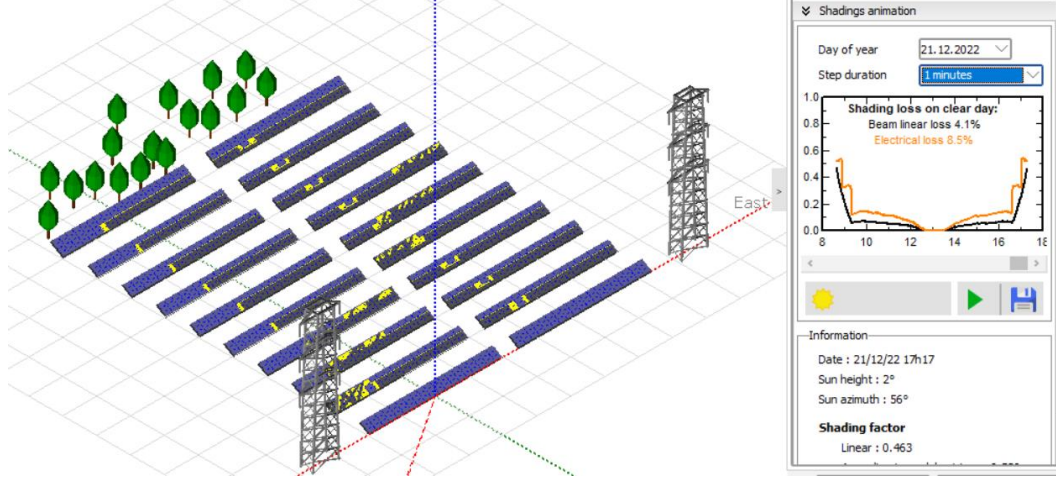


**Şekil 9.** Üretilen enerji değerlerinin karşılaştırılması.

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. İki farklı simülasyon sisteminde ortaya çıkan sonucun birbirine yakın değerler oldukları görülmektedir.

## F. PVSYST VE SİMULİNK'TE KISMI GÖLGEME ETKİSİNİN İNCELENMESİ

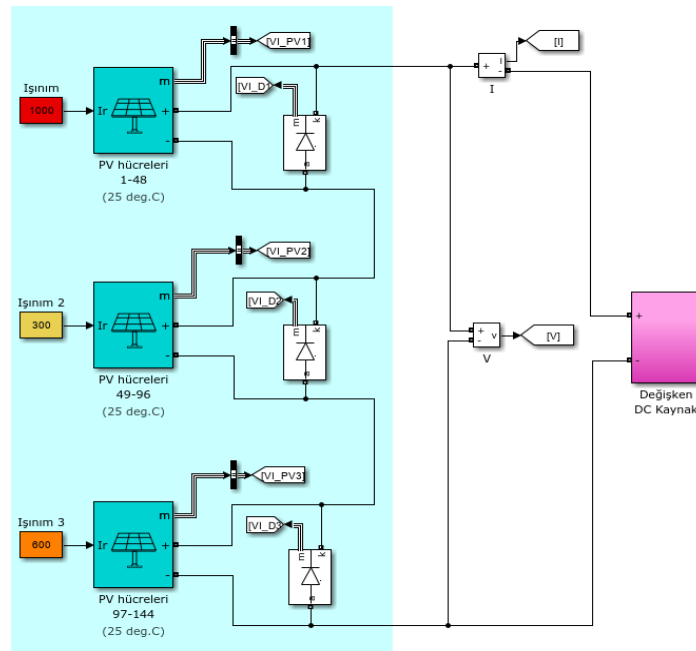
PVsyst'de kısmi gölgeme etkisini incelemek için Şekil 5'de yer alan güneş enerjisi sistemindeki iletim hatları paneller üzerinde gölge oluşturacak şekilde yerleştirildiğinde Şekil 10'daki model elde edilmiştir.



Şekil 10. Kısmi gölgeme etkisinin PVsyst'de incelenmesi.

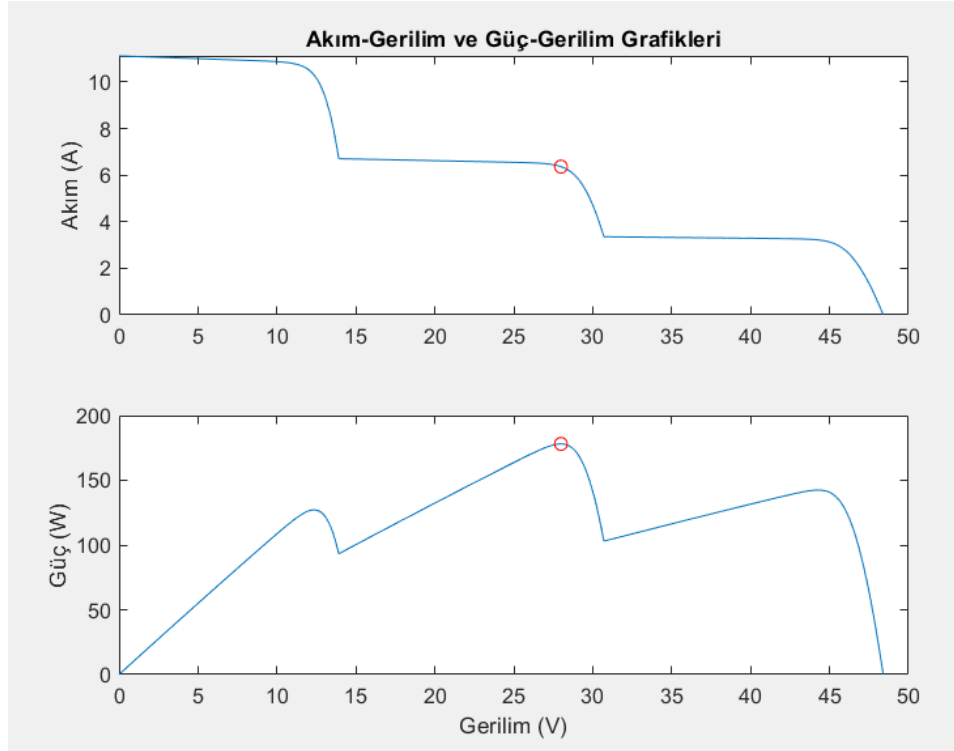
İletim hatlarının gölgesi sebebiyle güneş panellerinde elektriksel kayıp %8,5 olmaktadır. Aynı güneş enerjisi sistemi için iletim hatlarının güneş panellerinin arkasında konumlandığı durumda üretilen yıllık enerji değeri 753 MWh iken kısmi gölgemenin olduğu Şekil 10'daki modelde üretilen yıllık enerji değeri 738 MWh olmaktadır.

Simulink'te kısmi gölgeme etkisinin incelenmesi için Şekil 11'deki model kullanılmıştır. Farklı ışınım değerlerinin bir güneş paneli üzerindeki etkisinin yer aldığı bu model ile kısmi gölgeme etkisi incelenmektedir. Bir güneş paneli üzerine aynı zaman diliminde  $1000 \text{ W/m}^2$ ,  $300 \text{ W/m}^2$  ve  $600 \text{ W/m}^2$  ışınım değerleri uygulanmıştır.



Şekil 11. Bir panel üzerine düşen farklı ışınım değerleriyle kısmi gölgeme etkisinin incelenmesi.

Paneller üzerinde kısmi gölgelemenin olduğu durumda akım-gerilim ve güç-gerilim arasındaki ilişki Şekil 12’de yer almaktadır. Maksimum güç noktasının 27,98 V gerilim ve 6,36 A akım değerlerinde 177,95 W olduğu görülmektedir.



Şekil 12. Akım-Gerilim ve Güç-Gerilim Karakteristikleri.

### III. SONUC

Bu makale kapsamında şebekeye bağlı güneş enerjisi sistemlerinde üretilen güce etki eden faktörler PVsyst ve Simulink’te incelenmiştir. 500 kW’lık kurulu güce ve 55 kW’lık eviricilere sahip hayali bir güneş enerjisi sistemi için yapılan hesaplamalar sonucuna uygun olarak seri bağlanması gereken güneş paneli sayısı belirlenmiştir. Güneş panellerinin seri bağlanması sonucu oluşacak gerilim değeri eviricinin girişine uygulanabilecek nominal gerilim değerine yakın bir değer olması gerekmektedir.

16 panelin seri bağlanmasıyla birlikte toplamda 74 dizinin yer aldığı 500 kW kurulu güce sahip güneş enerjisi sisteminde 1184 panelin kullanılması gerektiği PVsyst ile hesaplanmıştır. Ayrıca güneş panellerinin kapladığı alanın 2461 m<sup>2</sup> 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 güneş panellerinin ve albedo değerinin üretilen güce etkisi incelenmiştir. 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.



Simulink'te güneş panelinin giriş parametresi olarak panel sıcaklığı değeri kullanıldığından dolayı ortam sıcaklığından panel sıcaklığı değerleri elde edilmiştir. Simülasyon çalıştırıldığında her ay için ortalama panel gerilimi, panel akımı ve diyot akımı değerleri elde edilmiştir. Panel sıcaklığı arttıkça panel geriliminin düştüğü ve güneş ışınımı arttıkça panel akımının arttığı gözlemlenmiştir.

PVsyst'de kurulan güneş enerjisi sisteminde güneş paneli açısı, kısmi gölgeleme etkisi, çift yüzü paneller, albedo değeri, sıcaklık, LID, uyumsuzluk, kirlilik, panel yaşlanması ve evirici kayıpları gibi birçok faktör hesaba katılırken Simulink'te güneş ışınımı, panel sıcaklığı ve çeşitli MPPT yöntemleri üretilen güce etki etmektedir. 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. İki farklı simülasyon sisteminden birbirine yakın değerler elde edilmiştir.

Güneş enerjisi sistemlerinde oluşan kayıpların etkisi ve kısmi gölgeleme etkisi PVsyst'de detaylı bir şekilde incelenebilirken Simulink'te ise ışınım ve panel sıcaklığına bağlı olarak akım, gerilim ve güç grafikleri oluşturulabilmektedir.

## **IV. KAYNAKLAR**

- [1] A. Karafil, H. Özbay, M. Kesler, "Sıcaklık ve Güneş Işınım Değişimlerinin Fotovoltaik Panel Gücü Üzerindeki Etkilerinin Simülasyon Analizi," *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, Türkiye, 2016.
- [2] M. Zouine, M. Akhsassi, N. Erraissi, N. Aarich, "Mathematical Models Calculating PV Module Temperature Using Weather Data: Experimental Study," *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2018.
- [3] P.J.Y. Chua, S.E.R. Tay, "Comparative Discussion of Active and Passive Cooling of PV Modules-Are We Doing It Right?," *47th IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 2020.
- [4] A. Sharma, N. Singh, S.K. Gawre, "Operational Losses of a Solar Power Plant: a Case Study," *2021 IEEE 2nd International Conference on Electrical Power and Energy Systems*, 2021.
- [5] A.K. Singh, R.R. Singh, "An Overview of Factors Influencing Solar Power Efficiency and Strategies for Enhancing," *Innovations in Power and Advanced Computing Technologies*, 2021.
- [6] A. Awasthi, M.A. Kallioğlu, A. Sharma, A. Mohan, R. Chauhan, T. Singh, "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.
- [7] A. A. Mehadi, M. M. Nishat, F. Faisal, A. R. H. Bhuiyan, M. Hussain and M. A. Hoque, "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)*, Dhaka, Bangladesh, 2021, pp. 1-6.
- [8] M. Leonardi *et al.*, "Effects of solar spectrum and albedo on the performance of bifacial Si heterojunction mini-modules," *2022 IEEE 49th Photovoltaics Specialists Conference (PVSC)*, Philadelphia, PA, USA, 2022, pp. 0567-0569.
- [9] T. C. R. Russell, R. Saive, A. Augusto, S. G. Bowden and H. A. Atwater, "The Influence of Spectral Albedo on Bifacial Solar Cells: A Theoretical and Experimental Study," in *IEEE Journal of Photovoltaics*, vol. 7, no. 6, pp. 1611-1618, 2017.

- [10] GTC photovoltaic solar systems, Çift yüzlü cam panel [Çevrimiçi] Erişim: <http://gtctrade.com/wp-content/uploads/2022/02/GG1H-72-425-tr-02-22.pdf>
- [11] SUN2000-50KTL-M0 Smart string inverter [Çevrimiçi] Erişim: <https://solar.huawei.com/-/media/Solar/attachment/pdf/mea/datasheet/SUN2000-50KTL-M0.pdf>
- [12] H.N. Muslim, A. Alkhazraji, “Management of electricity peak load for residential sector in Baghdad city by using solar generation,” *International Journal of Energy and Enviroment*. vol. 8, pp. 63-72, 2017.
- [13] M.Z. Jacobson, V. Jadhav, “World estimates of PV optimal tilt angles and ratios of sunlight incident upon tilted and tracked PV panels relative to horizontal panels,” *Solar Energy*, vol. 169, pp. 55-66, 2018.
- [14] M. Gul, Y. Kotak, T. Muneer, S. Ivanova, “Enhancement of Albedo for Solar Energy Gain with Particular Emphasis on Overcast Skies,” *Energies*, 2018.
- [15] A. Alkan, “Yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi,” Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2016.
- [16] M. Zouine, M. Akhsassi, N. Erraissi, N. Aarich, “Mathematical Models Calculating PV Module Temperature Using Weather Data: Experimental Study,” *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2018.