



EDİRNE İKLİM ŞARTLARINDA ÇEVRE SICAKLIĞI VE RÜZGAR HIZININ POLİKİRİSTAL FOTOVOLTAİK PANEL ÇIKIŞ GÜCÜNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Dinçer AKAL¹, Ahmet Erhan AKAN^{*2}

¹ Trakya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Edirne, Türkiye

² Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Meslek Yüksekokulu, Makine Programı, Tekirdağ, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Güneş Enerjisi,
Fotovoltaik,
Çevre Sıcaklığı,
Rüzgar Hızı,
Güç.

Öz

Bu çalışmada, Edirne ilinde kurulu bir polikristal fotovoltaik panelli güneş enerjisi sisteminin performansının çevre sıcaklığı ve rüzgar hızı ile değişimi araştırılarak, bu unsurların fotovoltaik sistem performansı üzerine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla 1 Ağustos – 30 Eylül 2020 tarihleri arasında yapılan deneyde kullanılan sensörler aracılığı ile ölçülen iklimsel veriler ile panel çıkış gücü ve akım değerleri, sisteme bağlı bulunan Arduino Mega mikro işlemci karttaki yazılım vasıtasıyla hafıza kartına (SD kart) 10 dakika aralıklarla aktarılması sonucu elde edilmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre, ortam sıcaklığındaki artışın fotovoltaik panellerin sıcaklığını arttırdığı, güneş radyasyonu miktarının ise üretilen elektriği doğru oranda etkilediği tespit edilmiştir. Fotovoltaik panel performansına rüzgâr hızının etkileri değerlendirildiğinde ise, rüzgâr hızının artan değerlerinde panel sıcaklıklarının düştüğü tespit edilmiş, fakat incelenen bölge için belirlenen nominal rüzgar hızlarının sayısının çok düşük değerlerde olduğu bu sebeple panellerin soğutulmasında rüzgarın direkt soğutucu olarak kullanılmasının yetersiz olacağı, panellerin soğutulması için yardımcı soğutma sistemlerinin kullanılması durumunda panellerin çıkış gücünün artacağı sonucuna varılmıştır.

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF AMBIENT TEMPERATURE AND WIND SPEED ON POLYCRYSTAL PHOTOVOLTAIC PANEL OUTPUT POWER IN EDİRNE CLIMATE CONDITIONS

Keywords

Solar Energy,
Photovoltaic,
Ambient Temperature,
Wind Speed,
Power.

Abstract

In this study, the variation of the performance of a solar energy system with polycrystalline photovoltaic panels installed in Edirne province with ambient temperature and wind speed was investigated, and effects of these elements on photovoltaic system performance were investigated. For this purpose, climatic data measured by sensors used in the experiment carried out between 1 August and 30 September 2020, as well as panel output power and current values, were obtained as a result of transferring Arduino Mega microprocessor card to memory card (SD card) at 10-minute intervals through the software on the system. According to the findings, an increase in ambient temperature increases the panels' temperature, and solar radiation affects electricity produced at a direct proportion rate. When the effects of wind speed on photovoltaic panel performance were evaluated, it was determined that panel temperatures decreased with increasing wind speed values. However, it has been determined that number of nominal wind speeds determined for the examined region is very low, so it will be insufficient to use the wind as a direct cooler for cooling panels. It has been concluded that output power of the panels will increase if auxiliary cooling systems are used for cooling panels.

Alıntı / Cite

Akal, D., Akan, A.E., (2022). Edirne İklim Şartlarında Çevre Sıcaklığı ve Rüzgar Hızının Polikristal Fotovoltaik Panel Çıkış Gücüne Etkilerinin İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(1), 91-102.

* İlgili yazar / Coresponding author: aeakan@nku.edu.tr, +90-282-250-3546

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
D. Akal, 0000-0003-0055-5471	Başvuru Tarihi / Submission Date	07.06.2021
A.E. Akan, 0000-0003-1806-7943	Revizyon Tarihi / Revision Date	25.10.2021
	Kabul Tarihi / Accepted Date	16.11.2021
	Yayın Tarihi / Published Date	23.03.2022

1. Giriş (Introduction)

Fotovoltaik (PV) güneş enerjisi sistemi, güneş ışığını elektriğe dönüştüren ve yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimi için gelecek vaat eden sistemlerden biri olarak anılmaktadır (Durusu vd., 2020). PV panellerde, güneş enerjisinden elektrik enerjisine dönüşüm güneş hücreleri kullanılarak yapılmaktadır. Bu hücreler, yüzeyine gelen güneş ışınımını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren P-N eklemlerinden oluşmaktadır. Güneş hücrelerinde oluşan elektrik enerjisinin ana kaynağı fotovoltaik yüzeye dik gelen güneş ışınımıdır. Güneş panellerinden çıkış gücünü arttırmak için çok sayıda hücre bir birine seri veya paralel bağlanır ve ortaya çıkan bu yapıya fotovoltaik modül (PV modül) adı verilmektedir. Fotovoltaik hücrelerde verim; güneş hücresinden elde edilen çıkış gücünün güneş hücresine gelen güneş enerjisine oranı olarak ifade edilmektedir. Fotovoltaik panellerden elde edilecek verim; öncelikle hücre üzerine gelen ışınım miktarına, panel yüzey alanına, panelin yatayla yaptığı açıya, panel karakteristik özelliklerine, gölgelenme, rüzgar hızı, tozlanma faktörü, yansıma kayıpları, çevre ve panel yüzeyi sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Fotovoltaik sistemlerin verimliliklerinin artırılabilmesi için fotovoltaik dizideki modüllerin maksimum güç noktalarında çalıştırılması gerekmektedir (Bingöl ve Özkaya, 2019). Güneş ışınımı, optik kayıplardan dolayı her zaman istenilenden daha düşük bir değerde elde edilebilmektedir. Genellikle güneş hücreleri $0,30 \times 10^{-6}$ ile $1,10 \times 10^{-6}$ m arasındaki spektral aralıklarda cevap vermektedir. Spesifik olarak dar bir bant aralığında ancak %50 verim aşılabilmektedir (Adreolli, 2015). Verimi etkileyen önemli faktörlerden biriside panel sıcaklığıdır. Yükselen panel sıcaklık değeri yarı-iletkenin bant aralığını azalttığı için silikon hücrelerde her 1°C sıcaklık artışı için tahmin edilen enerji üretimini % 0.5 düşmektedir (Adreolli, 2015). Ayrıca, fotovoltaik panel çıkışının yüke bağlı olarak büyük oranda değişim göstermesi bu sistemlerin tasarım ve optimizasyon sürecinde karşılaşılan önemli bir sorundur (Işiker vd., 2006).

Atmaca ve Pekdemirli (2020), tarafından yapılan deneysel bir çalışmada güneş ışınımının anlık değişiminin, panel sıcaklığında da anlık değişimlere neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, ışınım miktarının artması ile fotovoltaik hücrenin sıcaklığının artmakta olduğu, güneş ışınımının azaldığı anlarda ise modül sıcaklıklarında da azalma görüldüğü bildirilmiştir. Buna ek olarak, güneş ışınımı, hava sıcaklığı ve rüzgar hızının, fotovoltaik panel yüzey sıcaklığını önemli derecede etkilediğini tespit etmişlerdir. Diğer bir atmosferik koşul olan rüzgar hızı, panel çıkış gücünü önemli derecede etkilemektedir. Rüzgarın etkisi ile fotovoltaik panelin yüzeyinde bir miktar soğuma ve PV modelindeki paralel direnci azaltması sebebiyle panel çıkış gücünde bir miktar artış sağlanır (Bashir vd., 2020; Schwingshackl vd., 2013). Fotovoltaik modüllerin çalışma sıcaklığı, güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüşüm sürecindeki faktörlerin merkezindedir. Panel çıkış gücü artan modül sıcaklığı ile azalır ve fotovoltaik panellerin ısı tepkisi, modülü etkileyen iklim koşullarına göre değişmektedir. Bu nedenle, modül sıcaklığının sabit durum modeli pek mümkün değildir. Lobera ve Valkealahti (2013), tarafından yapılan bir çalışmada fotovoltaik modüllerin toplam enerji dengesine dayalı dinamik termal bir model teorik olarak geliştirilmiştir. Goossens vd., (2018), tarafından yapılan bir çalışmada ise rüzgar hızının 1-5 m/s olduğu şartlarda yapılan deneylerde, sıcaklık etkisi, elektriksel özellikler ve binaya entegre edilen eğimli fotovoltaik modüllerin arasındaki hava boşluğunun etkisi araştırılmıştır. Araştırmada elde edilen bulgulara göre panel ile bina yüzeyi arasındaki hava boşluğunun panel çıkış gücünü etkilediği tespit edilmiştir. Ayrıca PV modüllerin seri olarak bağlanması durumunda çalışma sıcaklığının direkt olarak açık devre voltajını etkilediğini belirtmişlerdir. Tüm modüllerin açık devre voltajı ve dolayısıyla panel güç çıkışı, her bir güneş pilinin davranışı tarafından belirlenmiş ve yapılan testlerde 5,5 cm hava boşluğu ile en iyi performansın elde edildiği bildirilmiştir. Akyüz vd., (2012), tarafından yapılan bir çalışmada ise, Türkiye'de kurulu bir PV sisteminden elde edilen gerçek deneysel veriler kullanılarak iki durum için ekserji verimliliğinin değişimleri araştırılmıştır. Ekserji verimliliğini formüle etmek için yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, ortam sıcaklığının ve fotovoltaik hücre sıcaklığının panelden elde edilecek enerji verimliliğinin üzerinde büyük etkisi olduğu, ek olarak, PV sisteminin ekserji verimliliği güneş ışınımı ve rüzgar hızına bağlı olarak değiştiği ifade edilmiştir.

Malzeme ve tasarım parametrelerinin yanı sıra, PV hücresinin performansını etkileyebilecek toz, nem ve rüzgar hızı gibi önemli faktörler de vardır. Mekhilef vd., (2012) tarafından yapılan bir çalışmada, toz birikimi, nem seviyesi ve rüzgar hızının etkisi ayrı ayrı ele alınarak her birinin diğerine etkisi araştırılmıştır. Bu üç faktörün her birinin diğer ikisini etkilediği ve güneş pili tasarımı hakkında derinlemesine bir fikir sahibi olmak için bu faktörlerin etkisinin bir bütün olarak dikkate alınması gerektiği sonucuna varılmıştır. PV sistemlerin verimlerinin artırılması üzerine yapılan farklı bir çalışmada ise Chandra vd., (2018) tarafından ele alınmıştır. Yapılan bu çalışmaya göre, Hindistan'ın sıcak ve kuru iklim bölgesinde bulunan GLA Üniversitesi laboratuvarında, özellikle rüzgar etkisini araştırmak amacıyla bir deneysel çalışma yapılmıştır. Aynı panel çıkış gücüne sahip iki adet

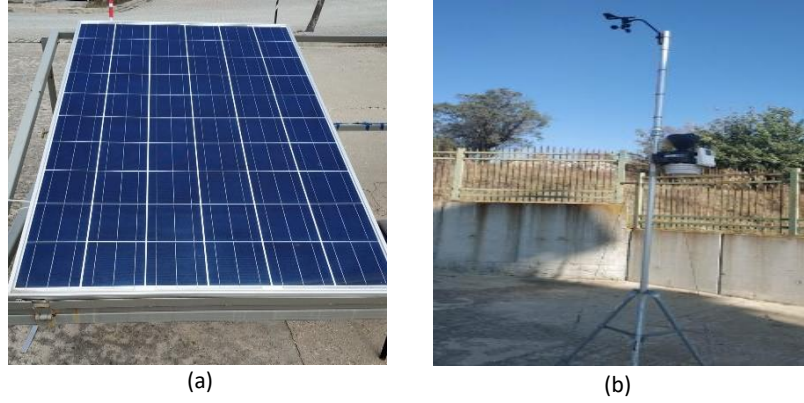
fotovoltaik modül üzerinde mevsimsel deneyler gerçekleştirilmiştir. Artan modül sıcaklığının panel çıkış gücünü olumsuz etkilediği, bunu telafi etmek için eklenen ek soğutma tasarımları ile elde edilen enerji miktarının ise %7,69 oranında arttığı bildirilmiştir. Gedik (2016), tarafından Modül sıcaklığının fotovoltaik panel üzerindeki etkisinin araştırıldığı bir çalışmada ise, Karabükte yapılan deneysel bir araştırma ile PV panel üzerindeki sıcaklık artışının etkileri incelenmiştir. Ortam sıcaklığının verim üzerinde büyük öneme sahip olduğu gözlemlenmiştir. Panellerin bulunduğu ortam sıcaklığı sırasıyla 10, 20, 30 ve 40 °C olmak üzere 4 farklı sıcaklık koşulunda modül verimleri test edilmiştir. Deneysel sonuçlar değerlendirildiğinde modül hücre sıcaklığının artışı ile panel çıkış gücünün azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca modül sıcaklığının düşürülmesi için fotovoltaik panellerin aktif veya pasif olarak soğutulması gerektiği ifade edilmektedir.

Bu çalışmalara ek olarak, elektrikli ve hibrit araçlarda fotovoltaik hücrelerin kullanılması durumunda, sıcaklığın verimliliğe etkisi ve modellenmesi araştırılmıştır. Gerçek meteorolojik şartlarda yapılan çalışmada sıcaklığın artması ile araçların özellikle park etme sürelerinde fotovoltaik veriminin önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca park edilmiş aracın iç sıcaklığının 50°C'nin üzerine çıkması halinde modül veriminde % 8'e varan azalmalar gözlemlendiği, bu sebeple bu tür araçların park etmeleri esnasında aracın kabin havalandırmasının önemli olduğu ifade edilmiştir (Tiano vd., 2020). Keçebaş vd., (2021) tarafından yapılan bir çalışmada ise 3 farklı özellikte optimize edilmiş PV panelin 3 ayrı durum kapsamında karşılaştırılmalı testleri yapılarak, güç üretimi ve verimi en yüksek PV panel tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında incelenen PV paneller 4 gün boyunca birer saat arayla sırasıyla güneşe Sabit Açılı (SA), taşıt Park Durumu (PD) ve taşıtın Sürüş Durumu (SD) olmak üzere 3 farklı durum için panellerden elde edilen elektriksel güç ölçümleri multimetre aracılığıyla yapılmıştır. Elde ettikleri sonuca göre, sabit açılı faz değiştiren malzemeli-yoğunlaştırıcı PV panelinin sabit açılı Normal-PV panele göre elektriksel güç üretiminde %47'lik bir verim artışının sağlandığını ifade etmişlerdir. Fotovoltaik panellerde her bir katman için dikkate alınan fiziksel özellikler, özgül ısı kapasitesi, yoğunluk, termal iletkenlik, ışınım absorpsiyonu ve kalınlık genellikle ihmal edilen faktörlerdir. Dikkate alınan meteorolojik faktörler genel olarak, ortam sıcaklığı, ışınım şiddeti, rüzgar hızı ve montaj özellikleridir. Geliştirilen termal model ile bu faktörlerin her biri değiştirilerek hem sabit durum hem de geçici durum analizleri yapıldığında her bir faktörün PV panel performansı üzerindeki etkisi ayrıntılı olarak anlaşılabilir. Elde edilen analiz sonuçları kullanılarak, modül tasarımları ve modellerle fotovoltaik panel çıkışı maksimum seviyeye çıkartılabilir (Aly vd., 2019).

Bu çalışmada, Edirne ilinde kurulumu yapılmış polikristal fotovoltaik panelin özellikle yaz aylarındaki performansının, çevre sıcaklığı ve rüzgar hızı ile değişimi incelenmiştir. PV panellerin kullanımı esnasında artan panel sıcaklıklarını, atmosferik koşullar yardımı ile nominal değerlerde tutulmasının amaçlandığı bu çalışmadan elde edilecek sonuçların, bölgedeki güneş enerjisi kullanımının geliştirilmesine, bu konuda çalışan araştırmacılara yararlı bilgiler sunacağı düşünülmektedir. Ayrıca, literatürde incelenen bölge referans alındığında, daha önce bu konuda yapılmış böyle bir çalışma bulunmaması ise çalışmanın literatür açısından da faydalı olacağını ortaya koymaktadır.

2. Materyal ve Metot (Material and Method)

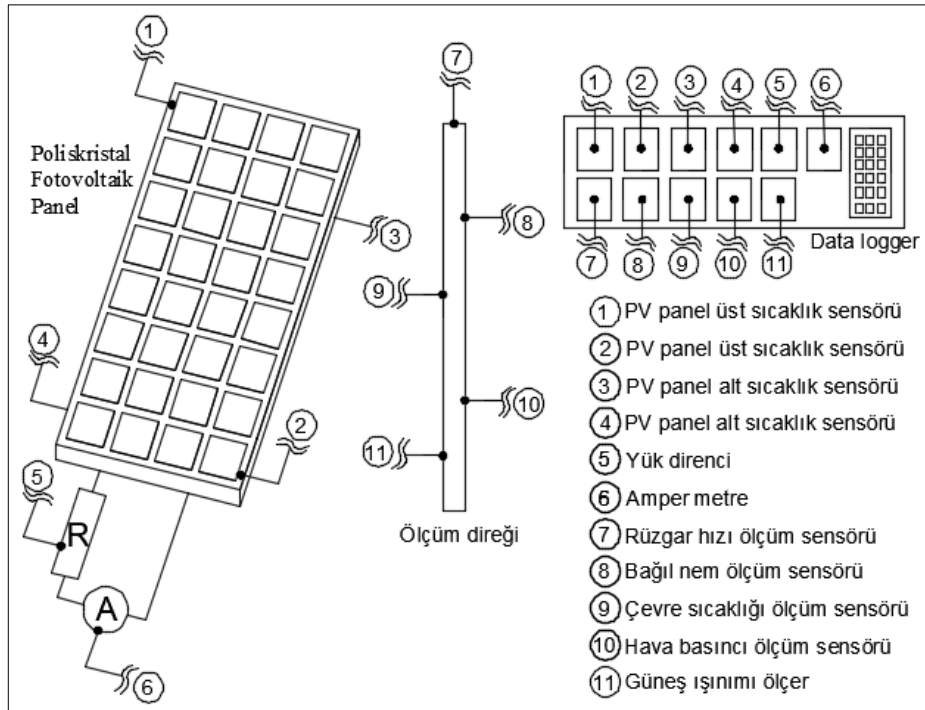
Güneş enerjisinden elektrik üretiminde, çevre şartlarının etkisini incelemek için, Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin güney yönünde polikristal modül fotovoltaik panel deney düzeneği kurulmuştur. Bu deney düzeneği öncelikle bir taşıyıcı sistem üzerinde, fotovoltaik panellerde üretilen elektrik enerjisinin zamana bağlı olarak gerilim ve akım değerlerini SD karta aktaran veri kaydedici, akü, panel çıkış gücü için yük dirençleri, sıcaklık sensörleri, güneş ışınım ölçer (piranometre), rüzgar ölçümü için anemometre ve bağlantı kablolarından oluşmaktadır. Deneyler Edirne coğrafi şartlarında yapıldığı için taşıyıcı 30° eğim açısı ile sabitlenmiştir (Şekil1). Kurulum tamamlandıktan sonra 01.08.2020 tarihinde sabah saat 07:00 de deneylere başlanmış akşam saat 19:00 kadar her 10 dakikada bir, 2 ay boyunca (Ağustos ve Eylül) panellerden elde edilen gerilim, akım değerleri ile birlikte, güneş ışınımı, çevre sıcaklığı ve rüzgar hızı değerleri 10'ar dakika aralıklar ile Şekil 1b'de gösterilen 3m yüksekliğindeki ölçüm istasyonu vasıtasıyla ölçülmüş ve SD karta kaydedilmiştir (Şekil 2). Deneysel sonuçlar incelendiğinde kurulumun yapıldığı yerdeki ışınım, sıcaklık ve rüzgar hızı değişimlerinin panel çıkış gücünü önemli derecede etkilediği görülmüştür. PV panele ait teknik özellikler Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. (a) Fotovoltaik panel (Photovoltaic panel), (b) Ölçüm istasyonu (Measuring station)

Tablo 1. PV modülün teknik özellikleri (Technical specifications of PV module)

Güneş Modül Tipi	JKM 260P-60
Maximum Güç (P_{max})	260 W
Güç Toleransı	0~+3%
Maximum Güç Voltajı (V_{mp})	31,1 V
Maximum Güç Akım (I_{mp})	8,37 A
Açık Devre Voltajı (V_{oc})	38,1 V
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	8,98 A
Nominal Çalışma Hücre Sıcaklığı (NOCT)	45±2°C
Maximum Sistem Voltajı	1000 VDC
Maximum Sigorta Değeri	15 A
Çalışma Sıcaklığı	-40°C~+8°C
Uygulama Sınıfı	A
Ağırlık	18,5 kg
Boyutlar	1650×992×40 (mm)



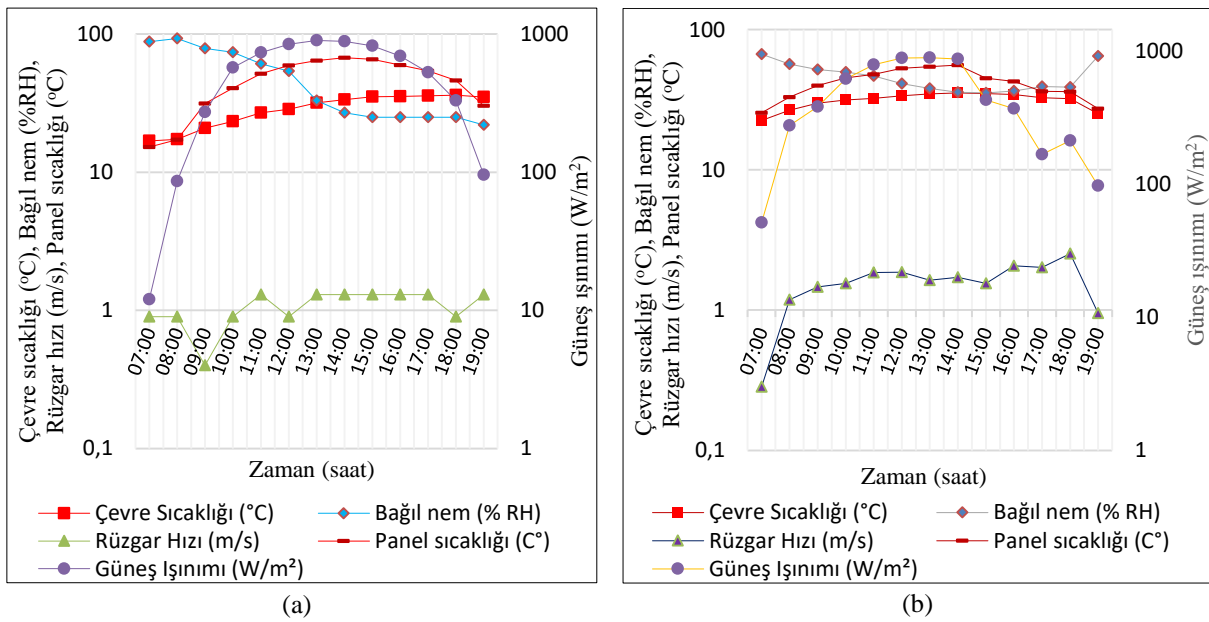
Şekil 2. Fotovoltaik panel kurulum devresi (Photovoltaic panel installation circuit)

3. Bulgular ve Tartışma (Findings and Discussion)

Fotovoltaik panellerden en iyi şekilde yararlanmak için yılın en sıcak zaman aralığı olan Ağustos ayı ile farklı atmosferik koşulların karşılaştırılması amacı ile Ağustos ayı ışınım şiddeti değerleri ile hemen hemen aynı ışınım şiddeti değerlerin görüldüğü Eylül ayı, incelemesi yapılan zaman periyodunun belirlenmesinde etkili olmuştur. Ölçüm yapılan parametreler; çevre sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar hızı ve güneş ışınım miktarı ile panellerin sıcaklık değerleridir. Elde edilen veriler sayesinde, PV panellerin performansını oldukça etkiledikleri tahmin edilen çevre sıcaklığı ve rüzgar hızının etkileri araştırılmıştır. Elde edilen bulgular sırasıyla sunulmuştur.

3.1. Gözlemlenen Atmosferik Koşullar (Observed Atmospheric Conditions)

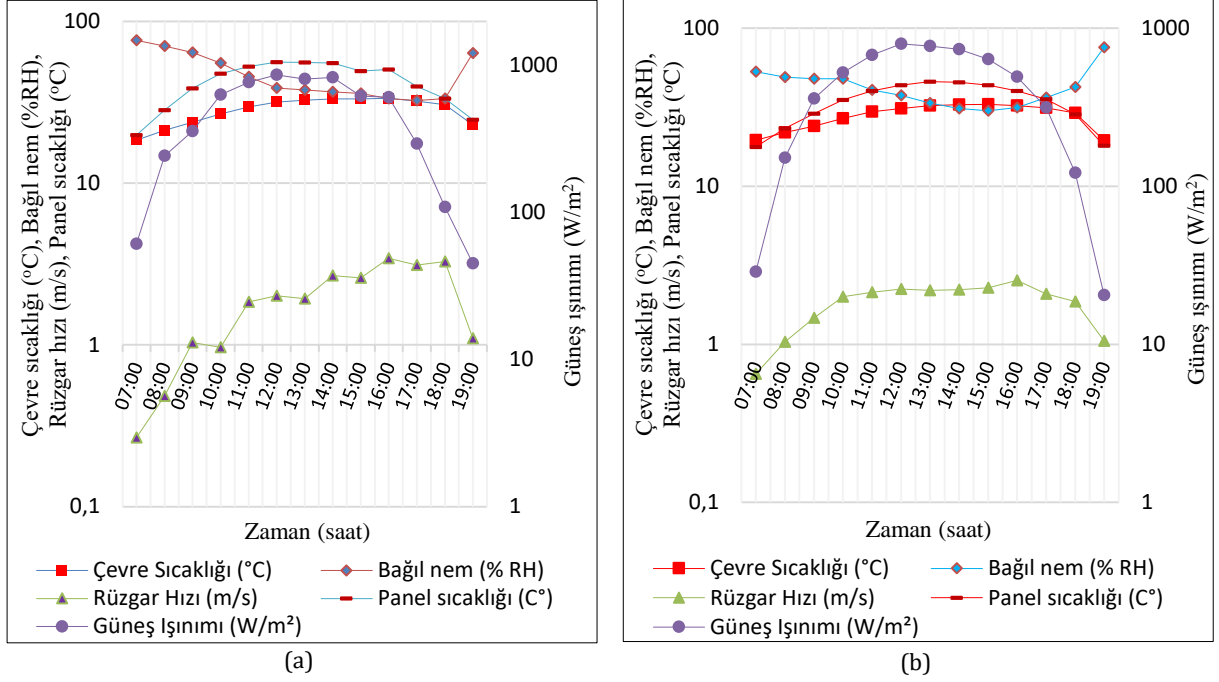
Ağustos ve Eylül ayları boyunca gerçekleşen atmosferik durumlar 10'ar dakika aralıklarla kayıt altına alınmış olmasına rağmen, elde edilen verilerin çok fazla olması anlaşılabilir bir grafik sunmayı zorlaştırmaktadır. Bu nedenle Ağustos ve Eylül aylarının 1. ve 15. günleri referans alınmış ve atmosferik parametrelerin saatlik ortalama değerlerinin değişimleri Şekil 3-4'de verilmiştir.



Şekil 3. (a) 1 Ağustos, (b) 1 Eylül tarihlerindeki atmosferik parametrelerin saatlik ortalama değişimleri ((a) 1 August, (b) 1 September, hourly average changes of atmospheric parameters)

Şekil 3'a incelendiğinde, 1 Ağustos tarihinde çevre sıcaklığının ortalama 22,56 ile 35,41 °C arasında değiştiği, en yüksek değerine ise saat 14:00 ile 15:00 arasında ulaştığı tespit edilmiştir. Bağıl nem değerinin ise ortalama %38,15 ile %66,66 (RH) arasında değiştiği, hava sıcaklığının artması ile bağıl nem değerlerinin azalmaya başladığı, en düşük bağıl nem değerlerine hava sıcaklığının en yüksek olduğu saatler olan 14:00 ile 15:00 arasında ulaşıldığı tespit edilmiştir. Rüzgar hızı değişimi incelendiğinde ise sabah saatlerinde en düşük hız değerlerinin görüldüğü, saat 16:00 ile 19:00 arasında rüzgarın en yüksek hızla estiği belirlenmiştir. Ayrıca, 1 Ağustos tarihinde ölçülen en düşük rüzgar hızı saat 07:00'de 0,28 m/s hızla eserken, en yüksek ortalama rüzgar hızının ise saat 18:00'de 2,53 m/s hızla estiği tespit edilmiştir. Güneş ışınım değerleri incelendiğinde ise en düşük güneş ışınım değerinin saat 07:00 de 51,66 W/m² değerinde olduğu, en yüksek güneş ışınımının ise 12-13:00 saatleri arasında gerçekleştiği belirlenmiştir. Atmosferik koşulların panel sıcaklığına etkisi incelendiğinde ise panel sıcaklığının, çevre sıcaklığı ve güneş ışınım miktarının artması ile arttığı, rüzgar hızı ve bağıl nem değerlerinin artması ile de azaldığı belirlenmiştir. Buna göre en yüksek ortalama panel sıcaklığı saat 14:00'de 55,98 °C olurken, en düşük panel sıcaklığının ise saat 07:00'de 25,58 W/m² olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 3'b incelendiğinde ise 1 Eylül tarihinde çevre sıcaklığının ortalama 16,9 ile 35,7 °C arasında değiştiği, bağıl nem değerlerinin ortalama %22 ile %93 (RH) arasında değiştiği, rüzgar hızının ise ortalama 0,9 ile 1,3 m/s arasında değiştiği, güneş ışınım değerlerinin ise ortalama 12 ile 899 W/m² arasında değiştiği, panel sıcaklıklarının ise ortalama 15,2 ile 67,46 °C arasında değiştiği tespit edilmiştir. Eylül ayı verileri Ağustos ayı verileri ile karşılaştırıldığında, genel olarak çevre sıcaklığının eylül ayında bir miktar düştüğü, bağıl nem değerlerinin arttığı, güneş ışınım değerlerinin ise özellikle saat 13'den sonra daha yüksek değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Panel sıcaklık değerleri incelendiğinde ise ortalama panel sıcaklıklarının saat 13:00'a kadar daha düşük, 13:00'den sonra ise daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

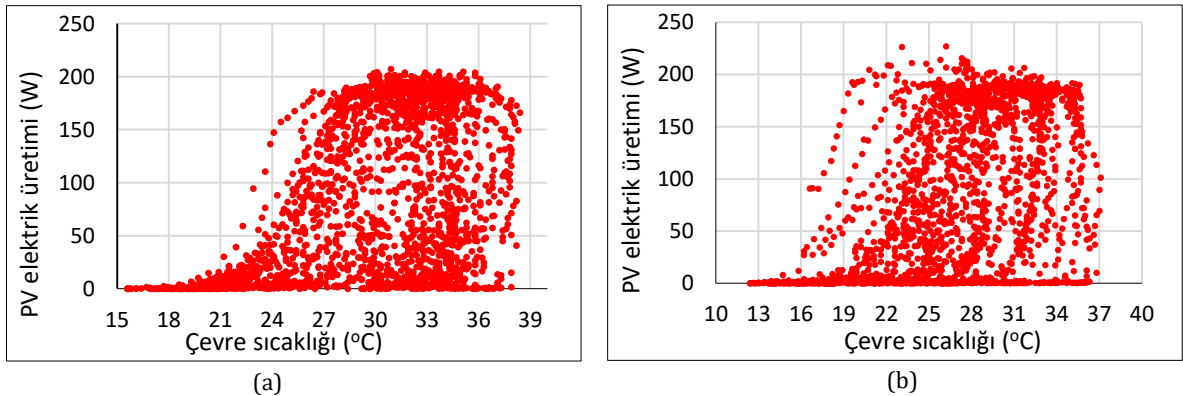


Şekil 4. (a) 15 Ağustos, (b) 15 Eylül, tarihlerindeki atmosferik parametrelerin saatlik ortalama değişimleri ((a) 15 August, (b) 15 September, hourly average changes of atmospheric parameters)

Şekil 4'de 15 Ağustos ve 15 Eylül tarihlerinde gerçekleşen atmosferik parametrelerin değişimleri görülmektedir. Şekil 4, Şekil 3 ile karşılaştırıldığında, atmosferik olayların göstermiş oldukları grafiksel eğilimlerin hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. 15 Ağustos tarihi için atmosferik parametrelerin saatlik ortalama değişim değerleri incelendiğinde, ortalama çevre sıcaklığının 18,48 ile 33,51 °C arasında, ortalama bağıl nem değerlerinin %32,5 ile %76,5 (%RH) arasında, ortalama rüzgar hızı değerlerinin 0,28 ile 3,43 m/s arasında, ortalama güneş ışınım miktarının 60,83 ile 819,33 W/m² arasında, ortalama panel sıcaklıklarının ise 19,88 ile 56,01 °C arasında değiştiği tespit edilmiştir. 15 Eylül tarihinde gerçekleşen atmosferik parametrelerin saatlik ortalama değerleri incelendiğinde ise ortalama çevre sıcaklığı değerlerinin 19,55 ile 33,01 °C arasında, ortalama bağıl nem değerlerinin %30 ile %76 (%RH) arasında, ortalama rüzgar hızı değerlerinin 0,65 ile 2,53 m/s arasında, ortalama güneş ışınımı miktarının 20,5 ile 798,16 W/m² arasında, ortalama panel sıcaklık değerlerinin ise 17,76 ile 45,87 °C arasında değiştiği tespit edilmiştir.

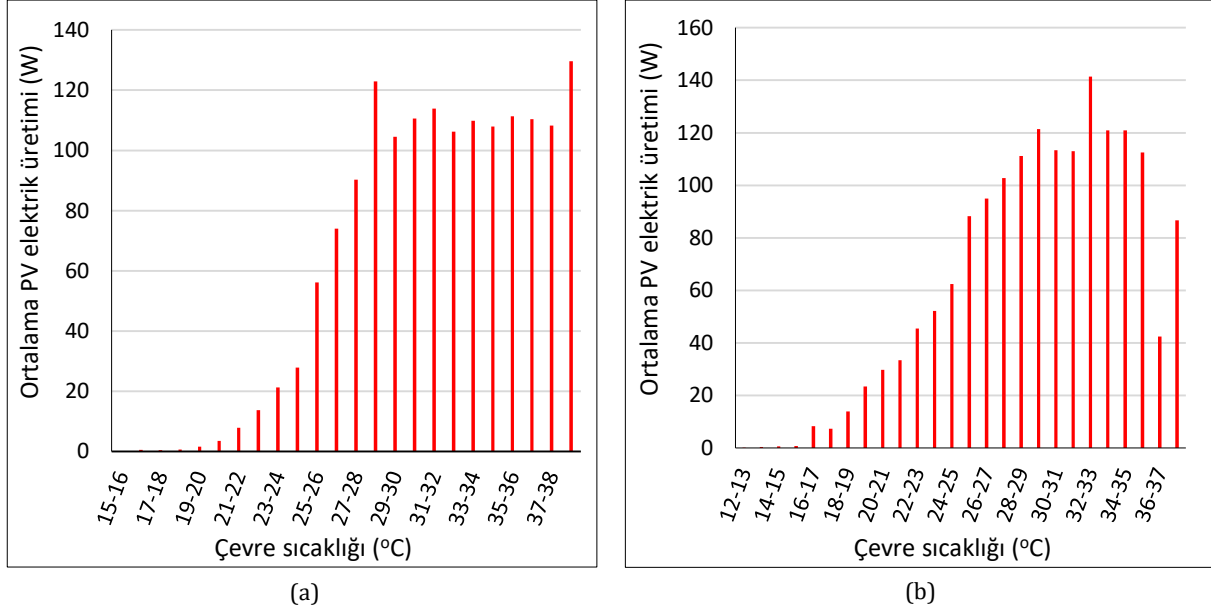
Yapılan deneysel çalışma ile 10'ar dakika aralıklar ile kaydedilen atmosferik verilerin PV panel performansı üzerindeki etkilerini belirlemek amacı ile PV modüllerde, aynı zaman diliminde kayıt altına alınan volt ve amper değerlerinden üretilen güç değerlerine ulaşılmıştır. Böylece her bir atmosferik parametrenin üretilen güç miktarına olan etkisi ayrı ayrı incelenebilmektedir. Elde edilen bulgular sırasıyla sunulmuştur.

3.2. Çevre Sıcaklığının PV Modül Güç Üretimine Etkisinin İncelenmesi (Investigation of the Effect of Ambient Temperature on PV Module Power Generation)



Şekil 5. (a) Ağustos, (b) Eylül aylarındaki atmosferik sıcaklık, PV elektrik üretimi saçılma grafiği ((a) August, (b) Atmospheric temperature in September, PV electricity generation scatterplot)

Şekil 5’de, Ağustos (a) ve Eylül (b), aylarında ölçülen çevre (atmosfer) sıcaklıklarının PV panel güç üretimine etkisi görülmektedir. Çevre sıcaklıklarının Ağustos ayında 15,6-38,40 °C arasında, Eylül ayında ise 12,40-37,10 °C arasında değişmesi sebebi ile veriler arasındaki kümeleşme, çevre sıcaklığı-üretilen elektriksel güç arasındaki bağıntının görülmesini zorlaştırmaktadır. Genel olarak, maksimum elektrik üretiminin yaklaşık olarak, Ağustos ayında 27-37 °C aralığında, Eylül ayında ise 26-36 °C aralığında olduğu görülebilmektedir. Daha net bulgular elde edebilmek için ölçülen sıcaklık değerleri ve bu değerlere karşılık gelen güç üretim değerleri 1’er derecelik gruplara ayrılarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular Şekil 6’da sunulmuştur.

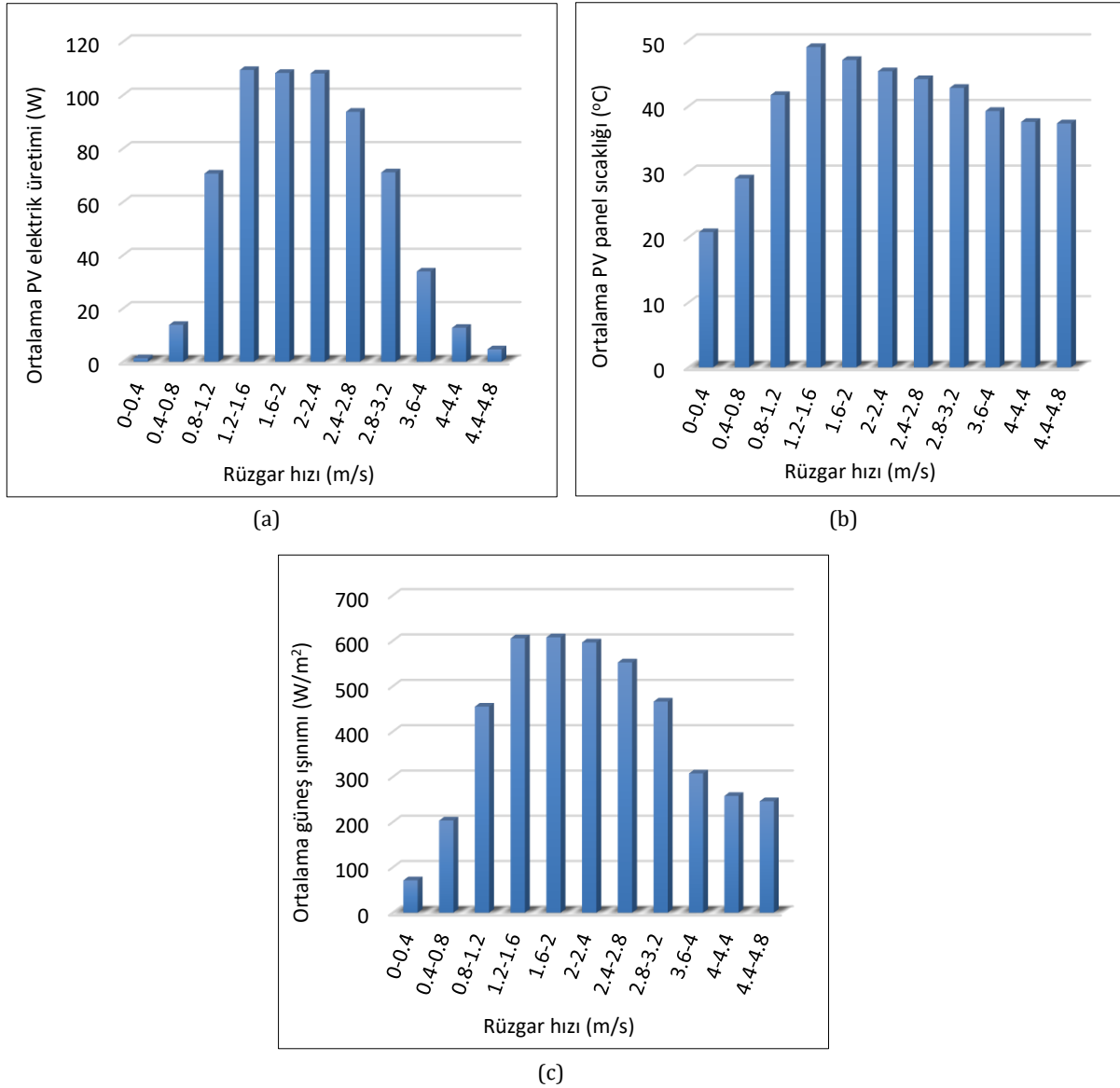


Şekil 6. (a) Ağustos, (b) Eylül aylarındaki çevre sıcaklığı ile ortalama PV elektrik üretimi değişimi (Average PV electricity generation variation with ambient temperature in (a) August and in (b) September)

Şekil 6’da gruplandırılmış çevre sıcaklıklarına karşın PV modüllerin ortalama elektrik üretimi gösterilmektedir. İncelenen her iki durumda, elektrik üretim değerlerinin çevre sıcaklığı ile arttığı görülmektedir. Ağustos ayı (Şekil 6’a) incelendiğinde, 27-28 °C aralığında 90,23 W ortalama güç üretiminin, Eylül ayı (Şekil 6’b) incelendiğinde ise 26-27 °C aralığında 94,96 W güç üretimi olduğu ve bu sıcaklık değerlerinden daha yüksek sıcaklıklarda ortalama güç üretim değerlerinin 100 W’ın üzerinde olduğu, sadece Eylül ayında 36 °C ve üzerinde, düşüşler yaşandığı tespit edilmiştir. Artan sıcaklık değerlerine karşın ortalama güç üretiminin, iniş-çıkışlar sergileyerek dalgalanmasında ve Eylül ayındaki maksimum çevre sıcaklık değerlerine karşılık 100 W’tan daha az elektrik üretimi elde edilmesinde, artan çevre sıcaklığı ve ışınım miktarına bağlı olarak artan panel sıcaklığının ve diğer atmosferik koşullarının etkili olduğu düşünülmektedir.

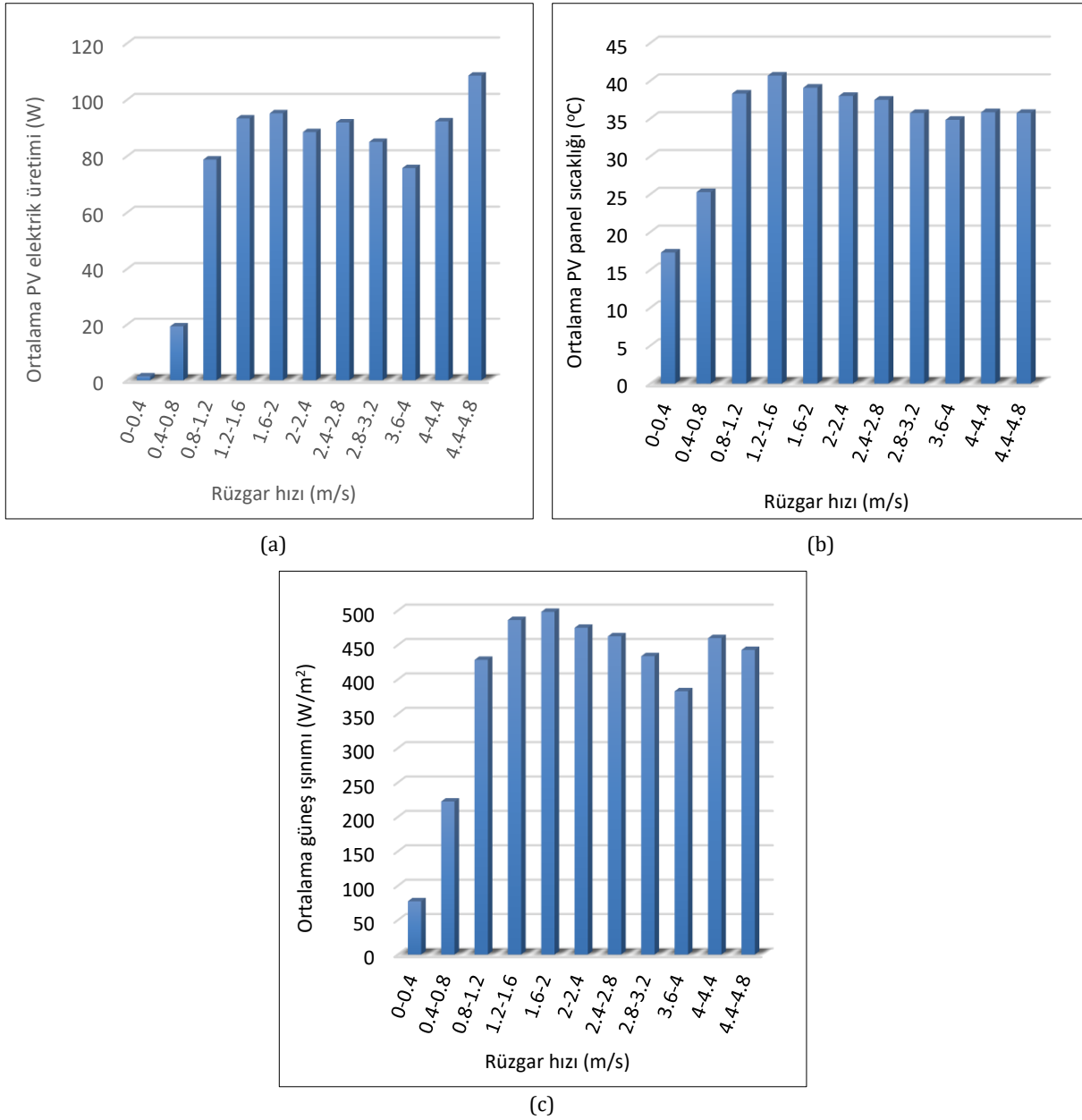
3.3. Rüzgar Hızının PV Modül Güç Üretimine Etkisinin İncelenmesi (Investigation of the Effect of Wind Speed on PV Module Power Generation)

Deneylerde kullanılan polikristal güneş panelinin nominal çalışma sıcaklığı 45±2 °C’ dir. Bilindiği gibi panel sıcaklıklarının, nominal çalışma sıcaklık değerlerinin üzerine çıkması durumunda, elektrik enerjisine dönüştürülecek enerjinin bir kısmı ısı enerjisine dönüşmekte ve oluşan ısı kaybı sonucu PV panellerde verim kaybı yaşanmaktadır. PV panellerde meydana gelen ısı kaybının azaltılmasında rüzgarın verimli olup olmayacağı, rüzgar hızı-PV modül performansları dikkate alınarak incelenmiştir. Bu amaçla 0,4 m/s’lik gruplara ayrılan rüzgar hızı-ortalama PV modül güç üretim grafikleri, Ağustos ayı için Şekil 7’de, Eylül ayı için Şekil 8’de incelenmiştir.



Şekil 7. Ağustos ayı için, (a) ortalama PV elektrik üretiminin, (b) ortalama panel sıcaklığının, (c) ortalama güneş ışınımının rüzgar hızı ile değişimi (Variation of (a) average PV electricity generation, (b) average panel temperature, (c) average solar irradiance with wind speed, for the month of August)

Şekil 7 (a)'da, 1,2 - 2,4 m/s rüzgar hızlarında ortalama güç üretiminin yaklaşık aynı değerlerde ve 100 W üzerine olduğu, 2,4 m/s'den büyük rüzgar hızlarında ise güç üretiminin, düşmeye başladığı tespit edilmiştir. Bu durumda sadece Şekil 7(a) ile rüzgar hızı- PV modül güç üretimi arasındaki bağıntının açıklanamayacağı, bu durumu etkileyen diğer iki önemli husus olan panel sıcaklıkları ve güneş ışınım miktarlarının da dikkate alınması gerektiği ortaya çıkmıştır. Şekil 7'de verilen her üç grafik beraber incelendiğinde, 1,2 - 2,4 m/s rüzgar hızı aralığında, güneş ışınım şiddetlerinin yaklaşık aynı değerlerde olduğu görülebilmektedir. Bu durumda, artan rüzgar hızı ile panel sıcaklıklarının azaldığı Şekil 7(b)'de verilen grafikten görülebilmektedir. Ayrıca, 2,4 m/s'den daha yüksek rüzgar hızlarında ise azalan güneş ışınım miktarına bağlı olarak üretilen enerjinin de azaldığı tespit edilmiştir. Ağustos ayı için nominal rüzgar hızının seçiminde, panel sıcaklığı da dikkate alınmıştır. Buna göre, 1,2 - 2,4 m/s rüzgar hızı aralığında (3 grup) panellerden elde edilen güç değerleri hemen hemen aynı değerlerde olmasına rağmen, 2-2,4 m/s rüzgar hızı grubunda panel sıcaklığı bu 3 grup içindeki en düşük panel sıcaklığına (45,37°C) sahip olması etkili olmuştur. Ayrıca ışınım şiddeti ve üretilen güce göre, artan rüzgar hızlarında kabin sıcaklıklarının düştüğü Şekil 7(c) aracılığı ile görülebilmektedir. Daha net bulgulara ulaşmak ve karşılaştırma yapmak amacı ile Eylül ayında gerçekleşen durumlar da Şekil 8'de incelenerek karşılaştırılma yapılmıştır.



Şekil 8. Eylül ayı için, (a) ortalama PV elektrik üretiminin, (b) ortalama panel sıcaklığının, (c) ortalama güneş ışınımının rüzgar hızı ile değişimi (Variation of (a) average PV electricity generation, (b) average panel temperature, (c) average solar irradiance with wind speed, for the month of September)

Şekil 8 incelendiğinde, Eylül ayı için PV paneller tarafından üretilen elektrik enerjisinin genellikle 80-100 W arasında olduğu, bu değerlerin de 1,2 m/s'den daha yüksek rüzgar hızlarında üretildiği belirlenmiştir. Her üç grafik beraber değerlendirildiğinde, genel olarak ortalama güneş ışınım miktarı ile ortalama üretilen elektrik enerjisi arasında benzerlik olduğu tespit edilmiştir. Yani artan veya azalan güneş ışınım miktarına karşılık panellerde üretilen enerji miktarı bu değişime benzer eğilim göstermektedir. Ayrıca, Şekil 8(b) incelendiğinde, rüzgar hızının artan değerlerinde kabin sıcaklıklarının düştüğü açıkça görülmektedir. Ortalama PV elektrik üretiminin en yüksek değeri 4,4- 4,8 m/s rüzgar hızlarında 108,6 W değeri ile elde edilmiştir. Bu rüzgar hızı aralığında, ortalama güneş ışınım şiddetinin 442,833 W/m², panel sıcaklığının ise 35,74 °C olduğu tespit edilmiştir. Diğer şartlara göre daha az olan güneş ışınım miktarlarında daha fazla elektrik üretimi sağlanması Eylül ayı için nominal rüzgar hızının 4,4 ile 4,8 m/s arasında olması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu durum Ağustos ayı için değerlendirildiğinde, 2,0 – 2,4 m/s rüzgar hızı aralığında, ortalama güneş ışınımının 596,715 W/m², ortalama panel sıcaklığının 45,36 °C ve ortalama elektrik üretiminin 108,10 W değerleri ile nominal rüzgar hızının 2,0 ile 2,4 m/s arasında olması gerektiği sonucunu göstermektedir. Elde edilen bulgulara göre, rüzgar kullanılarak yapılacak panel soğutma işlemlerinde, bölgede sürekli esen rüzgar hızının belirlenen değerler arasında olması durumunda daha fazla verim sağlanacağı tespit edildiğinden bölgede deki rüzgar hızı sayıları da incelenerek Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Ağustos ve Eylül aylarında esen rüzgarların gruplandırılmış hızına göre sayısı (Number of winds blowing in August and September by grouped speed)

		Ağustos										
Rüzgar hızı		0-0,4	0,4-0,8	0,8-1,2	1,2-1,6	1,6-2,0	2,0-2,4	2,4-2,8	2,8-3,2	3,6-4,0	4,0-4,4	4,4-4,8
Rüzgar sayısı		87	182	446	660	461	232	106	53	28	6	2
		Eylül										
Rüzgar hızı		0-0,4	0,4-0,8	0,8-1,2	1,2-1,6	1,6-2,0	2,0-2,4	2,4-2,8	2,8-3,2	3,6-4,0	4,0-4,4	4,4-4,8
Rüzgar sayısı		90	173	346	517	483	337	134	49	39	16	6

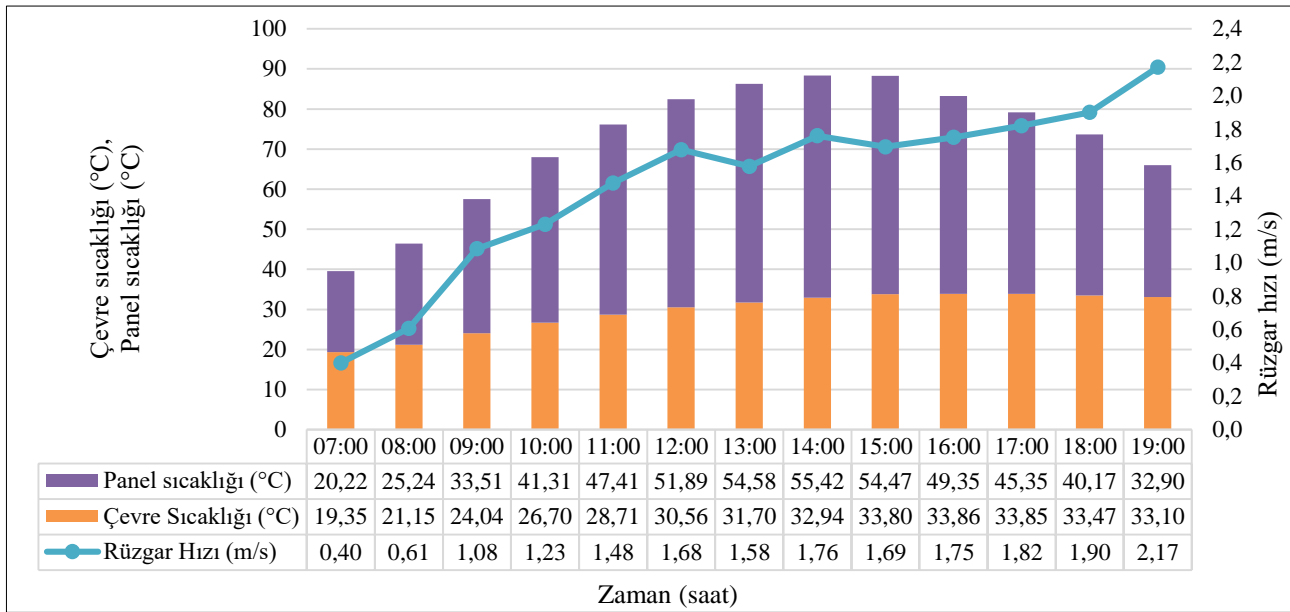
Tablo 2 incelendiğinde, Ağustos ayı için belirlenen nominal rüzgar hızı (2,0 – 2,4 m/s) aralığı için gruplandırılmış rüzgar hızı sayısının 232, Eylül ayı için belirlenen nominal rüzgar hızı (4,4-4,6 m/s) aralığı için gruplandırılmış rüzgar hızı sayısının 6 olduğu görülmektedir. Bu bulgulara göre belirlenen nominal rüzgar hızlarının, bölgede esen tüm rüzgar sayıları içindeki oranı değerlendirildiğinde, Ağustos ayı için yaklaşık %10'na, Eylül ayı için ise yaklaşık %0,26'sına karşılık geldiği tespit edilmiştir. PV panellerde üretilen bu gücün, 2°C aralıklarla gruplandırılmış tüm çevre sıcaklığı ve 0,4 m/s aralıklarla gruplandırılmış tüm rüzgar hızı değerlerine göre ortalama dağılımları Tablo 3'de sunulmuştur.

Tablo 3. Rüzgar hızı ve çevre sıcaklığına göre PV panellerde üretilen gücün yüzdelik dağılımı (Percentage distribution of power produced in PV panels according to wind speed and ambient temperature)

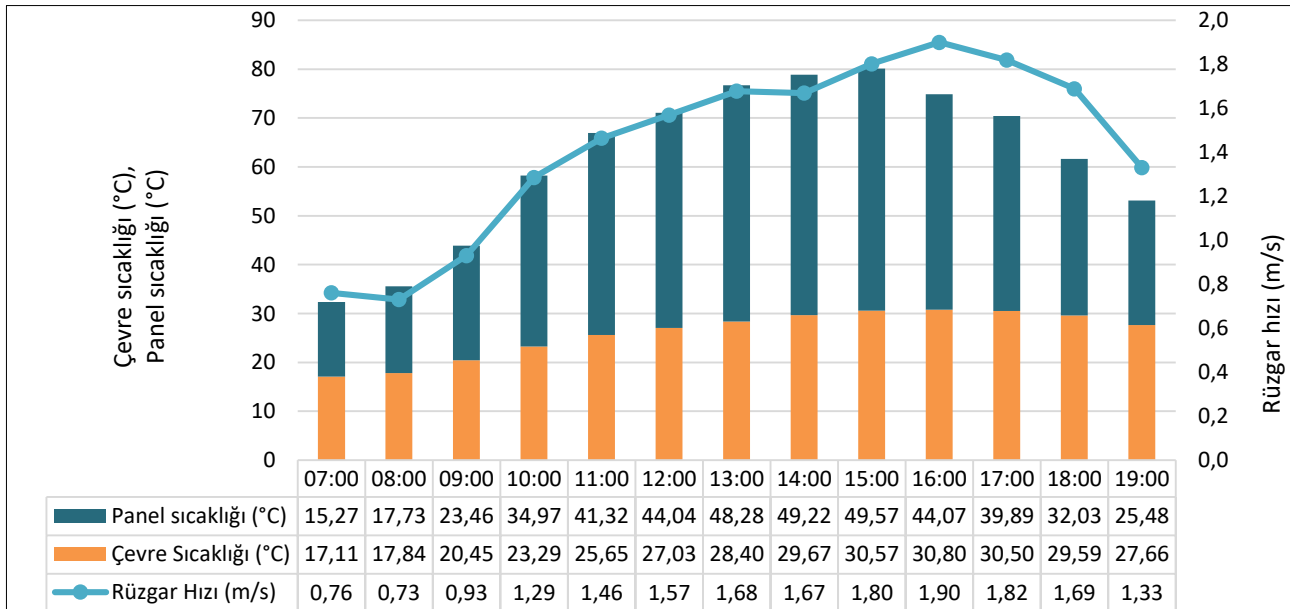
Ağustos					
Rüzgar hızı – Üretilen güç			Çevre sıcaklığı – Üretilen güç		
Rüzgar hızı (m/s)	Ortalama güç (W)	Yüzdesi (%)	Çevre sıcaklığı (°C)	Ortalama güç (W)	Yüzdesi (%)
0-0,4	1.29	0.21	15.6-17.6	0.27	0.03
0,4-0,8	13.83	2.20	17.6-19.6	0.83	0.11
0,8-1,2	70.64	11.25	19.6-21.6	4.31	0.55
1,2-1,6	109.42	17.43	21.6-23.6	14.42	1.83
1,6-2	108.31	17.25	23.6-25.6	31.13	3.95
2-2,4	108.11	17.22	25.6-27.6	75.97	9.63
2,4-2,8	93.77	14.94	27.6-29.6	112.82	14.31
2,8-3,2	71.09	11.32	29.6-31.6	110.23	13.98
3,6-4	33.89	5.40	31.6-33.6	108.45	13.75
4-4,4	12.74	2.03	33.6-35.6	110.26	13.98
4,4-4,8	4.63	0.74	35.6-37.6	105.67	13.40
			37.6-39.6	114.10	14.47
Eylül					
Rüzgar hızı – Üretilen güç			Çevre sıcaklığı – Üretilen güç		
Rüzgar hızı (m/s)	Ortalama güç (W)	Yüzdesi (%)	Çevre sıcaklığı (°C)	Ortalama güç (W)	Yüzdesi (%)
0-0,4	1.41	0.17	12.4-14.4	0.30	0.04
0,4-0,8	19.40	2.34	14.4-16.4	1.57	0.19
0,8-1,2	78.83	9.49	16.4-18.4	9.26	1.09
1,2-1,6	93.43	11.25	18.4-20.4	25.64	3.02
1,6-2	95.24	11.46	20.4-22.4	32.34	3.81
2-2,4	88.57	10.66	22.4-24.4	53.14	6.27
2,4-2,8	92.01	11.07	24.4-26.4	79.56	9.38
2,8-3,2	85.12	10.25	26.4-28.4	101.45	11.96
3,6-4	75.82	9.13	28.4-30.4	118.39	13.96
4-4,4	92.37	11.12	30.4-32.4	117.70	13.88
4,4-4,8	108.60	13.07	32.4-34.4	130.62	15.40
			34.4-36.4	107.01	12.62
			36.4-38.4	70.93	8.36

Tablo 3 incelendiğinde, rüzgar hızı ve çevre sıcaklığına göre sırasıyla Ağustos ve Eylül ayları için nominal rüzgar hızı ve çevre sıcaklığı gruplarının, 2-2,4 m/s ve 37,6-39,6 °C ile 4,4-4,8 m/s ve 32,4-34,4 °C olduğu görülmektedir.

Ayrıca, çevre sıcaklığına ve rüzgar hızına bağlı olarak değişen panel sıcaklığı, elektrik üretimini etkileyen en önemli etkenlerden biri olduğundan, bu unsurun arasındaki etkileşiminin daha net görülebilmesi için ölçüm yapılan toplam süre boyunca kayıt altına alınan verilerin saatlik ortalamaları alınarak incelenen her iki ay için oluşturulan grafikler de Şekil 9 ve 10'da sunulmuştur



Şekil 9. Ağustos ayı için, modellemede kullanılan veriler (For August, the data used in modeling)



Şekil 10. Eylül ayı için, modellemede kullanılan veriler (For September, the data used in modeling)

Şekil 9 ve 10' da deney yapılan her iki ay boyunca ölçülen tüm değerlerin saatlik ortalaması alınarak elde edilmiş grafikler sunulmuştur. Şekil 9 ve 10 beraber incelendiğinde, saatlik ortalama değerleri alınan çevre sıcaklığının ve panel sıcaklığının saat 15.00'e kadar sürekli yükseldiği, bu saatten sonra ise düşüşe geçtiği, rüzgar hızı ortalamasının ise saat 13.00'e kadar sürekli artış gösterdiği görülebilmektedir. Şekil 9'da, Ağustos ayı için belirlenen nominal rüzgar hızı olan 2-2,4 m/s hız grubundaki rüzgarların ortalama olarak saat 19.00'dan sonra oluştuğu, bu durumun PV panellerin güneş ısınımına bağlı olarak en çok elektrik ürettikleri 11.00-15.00 saat aralığının dışında kalması sebebi ile panel soğutulmasında önemli bir etki göstermediği belirlenmiştir. Benzer biçimde Şekil 10 incelendiğinde, Eylül ayı için belirlenen nominal rüzgar hızı grubu olan 4,4-4,8 m/s rüzgar hızlarının, PV panellerin elektrik ürettiği zaman zarfı boyunca mevcut olmadığı görülmektedir.

Şekil 9 ve 10, çevre sıcaklığının panel sıcaklığına olan etkisi bakımından incelendiğinde ise Ağustos ayı için belirlenmiş nominal çevre sıcaklığı değerleri olan 37,6-39,6 °C'nin saatlik ortalaması alınmış çevre sıcaklık değerleri içinde yer almadığı görülmektedir. Aynı durum Şekil 10'da verilen Eylül ayı için belirlenen nominal çevre sıcaklığı olan 32,4-34,4 °C sıcaklık aralığı için de geçerlidir.

4. Sonuçlar (Results)

Edirne iklim şartlarında polikristal paneller ile elektrik üretimi amaçlandığında, elektrik üretim performansı üzerine çevre sıcaklığı ve rüzgar hızının etkilerinin incelendiği bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, incelenen bölgedeki çevre sıcaklığının Ağustos ve Eylül aylarında 26-37 °C aralığında olduğu ve panellerin nominal çalışma sıcaklıkları olan 45±2 °C'nin üzerindeki panel sıcaklıklarında elektrik üretiminin düştüğü tespit edilmiştir. Ayrıca, fotovoltaik panellerin performansını etkileyen en önemli atmosferik etkenin güneş ışınımı olduğu, üretilen elektrik enerjisi ile gelen ışınımın doğru orantılı değiştiği tespit edilmiştir. Fotovoltaik panel performansına etkisi incelenen rüzgar hızı için elde edilen bulgulara göre, rüzgar hızının panel sıcaklıklarının düşmesine sebep olduğu, Ağustos ayı için en yüksek elektrik üretiminin ortalama 2,0-2,4 m/s, Eylül ayında ise ortalama 4,4-4,6 m/s rüzgar hızlarında elde edildiği tespit edilmiştir. Elde edilen bu değerlere göre bölgede incelenen zaman aralığındaki gruplandırılmış rüzgar hızı sayıları incelendiğinde, belirlenen nominal rüzgar hızlarının sayısının çok düşük değerlerde olduğu bu sebeple panellerin soğutulmasında rüzgarın direkt soğutucu olarak kullanılmasının yetersiz olacağı, fotovoltaik panellerin soğutulması için yardımcı soğutma sistemlerinin kullanılması durumunda panellerin çıkış gücünün artacağı sonucuna varılmıştır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Adreolli, F., 2015. Yeni Nesil Fotovoltaikler (Cilt Aydın Bodur). (Ç. Özşar, &A. Bodur, Çev.) Ankara: Elektrik Mühendisleri Odası.
- Akyuz, E., Coskun, C., Oktay, Z., Dincer, I., 2012. A novel approach for estimation of photovoltaic exergy efficiency. *Energy*, 44, 1059-1066.
- Aly, P.S., Ahzi, S., Barth, N., 2019. Effect of physical and environmental factors on the performance of a photovoltaic panel. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 200 (2019), 109948.
- Atmaca, M., Pekdemir, Z. İ., 2020. PV Panel Sıcaklığı Üzerinde Etkili Olan Atmosferik Parametrelerin Araştırılması. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 32(4), 458-466. DOI:10.7240/jeps.699181.
- Bashir, A.A., Al-Dweri, M., Al-Ghandoor, A., Hammad, B., Al-Kouz, W., 2020. Analysis of Effects of Solar Irradiance, Cell Temperature and Wind Speed on Photovoltaic Systems Performance, *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(1), 353-359. DOI: 10.32479/ijeep.8591.
- Bingöl, O., Özkaya, B. 2019. A Comprehensive Overview of Soft Computing Based MPPT Techniques for Partial Shading Conditions in PV Systems . *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7 (4), 926-939. DOI: 10.21923/jesd.570887
- Chandra, S., Agrawal, S., Chauhan, D.S., 2018. Effect of Ambient Temperature and Wind Speed on Performance Ratio of Polycrystalline Solar Photovoltaic Module: an Experimental Analysis. *International Energy Journal*, 18 (2018), 171–180.
- Durusu, A. , Erduman, A., Yıldız, F. 2020. Comparative Study of Photovoltaic Array Optimum Tilt Angle and Orientation with Multi-Objective Consideration. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8 (4) , 1031-1041. DOI: 10.21923/jesd.745835
- Gedik, E., 2016. Experimental Investigation of Module Temperature Effect on Photovoltaic Panels Efficiency. *Journal of Polytechnic*, 19 (4): 569-576.
- Goossens, D., Goverde, H., Catthoor, F., 2018. Effect of wind on temperature patterns, electrical characteristics, and performance of building-integrated and building-applied inclined photovoltaic modules, *Solar Energy*, 170, 64–75.
- Işıker, Y., Yesilata, B., Bulut, H., 2006. Fotovoltaik Panel Gücüne Etki Eden Çalışma Parametrelerinin Arastırılması ,I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, 1, 57-62.
- Lobera, T.D., Valkealahti, S., 2013. Dynamic thermal model of solar PV systems under varying climatic conditions, *Solar Energy*, 93, 183–194.
- Keçebaş, A., Gürel, B., Devlet, B. 2021. Optimize Edilmiş Fotovoltaik Güneş Panellerinin Sabit ve Mobil Uygulamalarda Kullanımının Karşılaştırmalı İncelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9 (3), 983-991. DOI: 10.21923/jesd.822528.
- Mekhilef, S., Saidur, R., Kamalisarvestani, M., 2012. Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 2920– 2925.
- Schwingshackl, C., Petittaa, M., Wagnera, J.E., Belluardoc, G., Moserc, D., Castella, M., Zebischa, M., Tetzlaff, A., 2013. Wind effect on PV module temperature: Analysis of different techniques for an accurate estimation. *Energy Procedia*, 40, 77-86.
- Tiano, A.F., Rizzo, G., Marino, M., Monetti, A., 2020. Evaluation of the potential of solar photovoltaic panels installed on vehicle body including temperature effect on efficiency. *eTransportation*, 5(2020), 100067.