


FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN PROJELENDİRME, KURULUM VE İŞLETİLMESİNDE ÖNEMLİ FAKTÖRLER

*Abdulvahap YİĞİT** 

*Nurullah ARSLANOĞLU** 

*Buket Seçil EKER*** 

Alınma: 08.05.2019 ; düzeltme: 22.07.2019 ; kabul: 27.09.2019

Öz: Güneş enerjisi bakımından zengin olan ülkemizde Güneş Enerjisi Santralleri (GES) ile ilgili önemli yatırımların yapıldığı bilinmektedir. Ancak bu yatırımların fizibilitelerinin çok doğru yapıldığını söylemek oldukça zordur. GES santrallerinin projelendirilmesi, kurulması ve işletilmesi aşamalarında birçok yanlışların yapıldığı ve bunun sonucu santrallerin verimsiz çalıştığı görülmektedir. Bu santrallerin projelendirilmesinde dikkat edilmesi gereken önemli noktalar olduğu gibi, kurulum ve işletmesinde de dikkat edilmesi gereken hususlar bulunmaktadır. Projelendirme esnasında yer seçimi, panel doğrultusu, panel açısı ve gölgeleme önemli parametreler arasındadır. GES santrallerinde panel sıcaklığının, rüzgarın ve kirliliğin panel verimini önemli ölçüde etkilediği bilinmektedir. Bu çalışmada; GES santrallerinin panel açısı, panel yönü, gölgeleme, sıcaklık, nem, rüzgar, kirlilik gibi parametrelerin panel verimine etkileri literatürde verilen çalışmalarla ortaya konulup, konunun tartışması yapılmıştır. Ayrıca, güneş takip sistemlerinin fotovoltaik sistemlerin verimleri üzerine etkileri tartışılmıştır. GES santrallerinin projelendirilmesi, kurulumu ve işletilmesi ile ilgili öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: GES, güneş enerjisi, fotovoltaik, verim

Important Factors in Project, Installation and Operation of Photovoltaic Systems

Abstract: It is known that significant investments have been made in our country which is rich in solar energy. However, it is very difficult to say that the feasibility of these investments is very accurate. It is seen that many mistakes have been made in the design, establishment and operation of the GES plants and as a result of this, very large plants are inefficient. There are important points to be taken into consideration in the design of these power plants as well as the points to be considered in the installation and operation. During projecting, location selection, panel direction, panel angle and shading are important parameters. It is known that panel temperature, wind and pollution significantly affect panel efficiency in solar power plants.

In this study; The effects of the parameters such as panel angle, panel direction, shading, temperature, humidity, wind, pollution of the GES plants on the panel efficiency were revealed by the studies given in the literature and the subject was discussed. In addition, the effects of solar tracking systems on the efficiency of photovoltaic systems are discussed. Suggestions for the design, installation and operation of the GES plants are presented.

Keywords: Solar power plant, solar energy, photovoltaic, efficiency.

* Bursa Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, TR-16059, Bursa, TÜRKİYE

** Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bil. Enst., Makine Mühendisliği Anabilim dalı, TR-16059, Bursa, TÜRKİYE
İletişim yazarı: Nurullah Arslanoğlu (nurullaharslanoglu@gmail.com)

1. GİRİŞ

Ülkemiz yenilenebilir güneş enerjisi açısından oldukça zengin ülkelerden birisidir. Güneş enerjisinden elektrik üretimi son yıllarda oldukça popüler olan bir yöntemdir. Ülkemizde birçok bölgede büyük GES tesisleri kurulmuş ve büyük ölçüde de kurulmaya devam etmektedir. Daha da önemlisi, yerli güneş hücresi ve paneli de ülkemizde 2019 yılı itibari ile üretilmiştir. Bu özellikle dışa bağlı olan enerji sektörü için önem arz etmektedir. Şu ana kadar dışardan döviz ödenerek satın alınan güneş panellerinin ülkemizde yerli üretim olarak üretilecek olması da, GES tesislerinin ülkemiz için önemini daha da artırmıştır.

Güneş panellerinin fiyatlarının dünyada hızla düşmesi güneş enerjisinden elektrik üretimini günümüzde cazip hale getirmiştir. Artan panel verimleri ve düşen fiyatların önümüzdeki yıllar içinde de süreceği düşünüldüğünde güneş enerjisinin daha da yaygınlaşacağı öngörülmektedir. Avrupa Enerji Ajansı (IRENA) (2017, 2018) verilerine göre tüm dünyada GES kurulu gücü 2014 yılında 180 GW iken, 2016 yılında 290 GW değerine ve 2017 yılında ise 450 GW değerine çıkmıştır. Bu kurulu gücün 315 GW kısmı ise Avrupa Birliği (AB) bölgesindedir. Bu bölgede yer alan ve güneş enerjisi potansiyeli açısından zayıf bir ülke olan Danimarka' da kurulu güç 4.5 GW değerindedir. GES santrallerinden üretilen elektrik fiyatları ise 2010 yılında 0.36 USD/kWh, 2017 de 0.10 USD/kWh ve 2020 de ise 0.060 USD/kWh olacağı tahmin edilmektedir. 2017 yılı itibari ile GES kurulum maliyetleri ise 1388 USD/kW değerine kadar düşmüştür. Yapılan araştırmada 2010-2017 arasında ortalama kurulum maliyetlerinin %70 civarına düştüğü görülmektedir. Bunda en büyük faktör ise modül fiyatlarındaki düşüş ve modül verimlerinin artmasıdır. Çin'de modül fiyatları 2015 yılında 0.52 USD/W değerinden 2016 yılında 0,43 USD/W değerine düşmüştür. Almanya da ise 0.59 USD/W değerinden 0.48 USD/W değerine düşmüştür.

Makine Mühendisleri Odası (MMO) raporuna göre (2018), ülkemizde GES tesisleri kurulu güç değerleri de hızla artmaktadır. 2016 yılında 800 MW olan kurulu güç 2017'de 2 GW değerine yükselmiştir. Lisansız GES tesisi sayısı ise 2442'ye yükselmiştir.

Ülkemizde hızla artan güneş enerjisi santrallerinin kurulumu ve işletilmesinde bazı hata ve eksiklerin de olduğu bilinmektedir. Santrallerin yüksek güç üretimi ve panellerin de yüksek verimle çalışması için dikkat edilmesi gereken hususlar, güncel literatür taranarak, bu makalede tartışılmıştır. Bu faktörler sırasıyla; aç, gölgeleme, sıcaklık, nem, toz ve rüzgardır.

2. PANEL AÇISI, YÖNÜ VE GÖLGELEME

Panel açısı ve yönü panel verimini etkileyen en önemli faktörlerdendir. Panel yönü genel bilgi olarak güney-kuzey doğrultusu olarak bilinir. Bu düz araziler ve düz çatılar için doğrudur. Ancak eğimli arazi ve çatılarda optimum yönün de tespit edilmesi gerekir.

Panel açısı ile ilgili yapılan çalışmalarda, enlem açısına göre optimum açıların değiştiği görülmektedir. Yapılan çalışmalar coğrafi konum bazlı çalışmalardır. Ayrıca yaz, kış ve yıllık optimum açıları tanımlanmıştır. Kapalı havalarda yani güneş ışınımının yayılı geldiği durumlarda ise yatay panellere daha fazla ışınım geldiği de bilinmektedir. Optimum eğim açısı için yapılan çalışmalarda güneş açılarına bağlı olarak belli eğimle yerleştirilmiş panel üzerine gelen ışınım hesaplamaları esas alınmaktadır. Hafez ve diğ. (2017) yaptıkları çalışmada dünyada panel eğim açıları ile ilgili çalışmaları özetlemişlerdir. Ülkemiz için yapılan çalışmalarda; Bakirci (2012) yaptığı çalışmada 8 ayrı bölgede bulunan 8 şehir için aylık ortalama optimum eğim açısını hesaplamış ve ülkemiz için optimum eğim açısı için şu eşitliği vermiştir:

$$\beta_{opt} = 34.783 - 1.4317\delta - 0.0081(\delta)^2 + 0.0002(\delta)^3 \quad (1)$$

Bu eşitlikte β_{opt} optimum eğim açısı ve δ ise deklinasyon açısıdır. Ülgen (2003); yaptığı çalışmada İzmir yaz ve kış için ayrı ayrı optimum eğim açılarını vermiştir. Kış ayları için $\beta_{opt} = \varphi + 19$ ve yaz ayları için ise $\beta_{opt} = \varphi - 34$ değerlerini vermiştir. Burada φ enlem açısını göstermektedir. Yıldırım ve Aktacir (2019) yaptıkları çalışmada Şanlıurfa için yıllık ortalama optimum açı değerini $\beta_{opt} = \varphi - 7$ olarak bulmuşlardır. Yapılan bu çalışmada ayrıca Ekim-Mart arası optimum eğim açısı $\beta_{opt} = \varphi + 19$ ve Nisan-Eylül arası $\beta_{opt} = \varphi - 28$ bulunmuştur. Mevsimsel optimum değerlere göre panel üzerine düşen enerjinin yıllık optimum açığa göre %2.5 daha fazla olduğu hesaplanmıştır. Bu açıların tamamı düz arazi veya yüzeyler için verilen değerlerdir. Arazinin eğimli olması durumunda veya eğik çatılarda optimum yön ve açı değerlerinin değişeceği yapılan çalışmalarda görülmektedir.

Bütün bu çalışma sonuçlarına göre bakıldığında PV panellerinin güney doğrultusunda yerleştirilmelerinin doğru olacağı görülmektedir. Ayrıca panel eğim açılarının en azından mevsimlik değiştirilmesinin sistemden elde edilen gücü dolayısıyla sistem verimini artıracığı yapılan bu çalışmalarla ortaya konulmuştur. Basit mekanizmalarla mevsimlik açısal değişimlerin GES verimlerini en az %3 ler mertebesinde artıracığı açıktır.

GES tesislerinin kurulumunda dikkat edilmesi gereken önemli faktörlerden birisi de gölgelemedir. PV panellerinde gölgeleme olayı birçok parametreye bağlıdır. Saat açısı, panel yüksekliği, paneller arasındaki uzaklık ve güneş geliş açısına bağlıdır. Gölgeleme panel verimini düşürdüğü gibi panel ömrünü de düşürmektedir. PV panellerinin birbirini gölgelememesi için aradaki uzaklık artırılmalıdır. Ancak bu durumda kullanılması gereken alan artmaktadır. Dolayısıyla burada farklı durumlar için bazı parametreler öne çıkacaktır. Arazinin fazla ve ucuz olduğu GES santralleri için aradaki uzaklık daha fazla seçilebilir. Aksi durumda ise aradaki uzaklığı daha az tutulması optimum çözüm olarak kabul edilebilir. Yani paneller arası mesafe için tek bir çözüm sunmak mümkün değildir farklı çözümlerin dikkate alınması doğru bir yaklaşım olacaktır. Fedorov (2015) yıllık enerji kaybının, farklı güneş panelleri için, bu açıklık faktörü değerinde, minimum olduğu yapılan bir çalışmada ortaya koymuştur. Ancak arazinin sınırlı olması durumunda paneller arasında bu kadar mesafenin bırakılması maliyeti artırabilir. Bu durumda optimizasyon yapılması faydalı olacaktır. Fedorov (2015) arazinin meyilli olması durumunda da paneller arası mesafe hesaplamalarının buna göre yapılması gerektiğini belirtmiştir. Güney-kuzey doğrultusunda meyilli arazilerde, panel eğim açısı daha düşük olacağından paneller arasındaki mesafe azalacak ve daha az arazi ihtiyacı olacaktır.

3. PANEL SICAKLIĞI , NEM VE RÜZGAR ETKİSİ

Güneş PV panellerinin verimi bilindiği üzere 25 °C sıcaklıkta ve 1000 W/m² ışınım akısında ölçülür. Bu panellerin verdiği güç bu değerler için verilen güçlerdir. Panel sıcaklığına bağlı olarak verim düşer ve panelin ürettiği elektrik gücü de düşer. Panel sıcaklığına bağlı olarak güç ve verimdeki düşüşler silikon esaslı güneş pillerinde daha keskindir. Panel sıcaklığını etkileyen en önemli parametreler; çevre sıcaklığı ve gelen ışınımıdır. Ancak son yıllarda yapılan çalışmalarda rüzgarın da önemli bir parametre olduğu belirlenmiştir. Meral ve Dinçer (2011) panel sıcaklığı ve buna bağlı olarak verimin değişimi üzerinde çok sayıda çalışmayı derlemiştir. Bu çalışmada daha basit olarak panel sıcaklığı ve verimini veren bağıntılar şu şekilde verilmiştir:

$$T_C = T_a + (T_{NOCT} - 20) \frac{I}{800} \quad (1)$$

Burada T_C ; güneş pili(cell) sıcaklığı(°C) , T_a ; çevre sıcaklığı (°C), T_{NOCT} ; güneş pilinin normal sıcaklığıdır ve 45 °C olarak kabul edilmiştir. I anlık güneş ışınımı (W/m²) değeridir. Bu ifadeye bağlı olarak güneş pili verimi ise şu şekilde verilmiştir:

$$\eta = -0.05T_C + 12.757 \quad (2)$$

Güneş pili sıcaklığı ile ilgili verilen diğer bağıntılar ise şu şekildedir (Tripanagnostopoulos vd. 2005).

$$T_C = 30 + 0.0175(I - 300) + 1.14(T_a - 25) \quad (3)$$

Ross(1976) verilen bağıntı

$$T_C = T_a - k_{\Delta T} I \quad (4)$$

Burada $k_{\Delta T} = 0.02-0.04 \text{ Km}^2/\text{W}$ şeklindedir.

Skoplaki ve diğ. (2016) rüzgarlı bölgelerde güneş pili sıcaklığı için şu ifadeyi vermişlerdir:

$$T_C = T_a + \omega \left(\frac{0.32}{8.91+2v} \right) I \quad (V > 0) \quad (5)$$

Burada v rüzgar hızı (m/s) ve w montaj katsayısıdır. Bu değer arazi üzerindeki paneller için 1.0, düz çatıda 1.2, eğimli çatıda 1.8 ve çephe kaplaması durumunda 2.4 olarak alınabilir.

Yukarıda verilen eşitlikler incelendiğinde, panel sıcaklık ve veriminin sıcaklıkla değişimini etkileyen iki önemli parametre görülmektedir. Bunlar gelen ışınım ve çevre sıcaklığıdır. Ancak rüzgar hızının da bir parametre olduğu (5) numaralı eşitlikten görülmektedir. Burada daha detaylı üzerinde durulması gereken husus, rüzgar yönüdür. Çok sayıda panelden oluşan GES için rüzgarın panellere geliş yönü de önemli bir parametredir. Poulek ve diğ. (2018) yapılan bir çalışmada çatı üzerine yerleştirilen panellerin çatıya entegre olması veya açıkta olması durumu karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada panellerden üretilen enerjiler karşılaştırılmıştır. Çatıya entegre panellerin daha sıcak olmasına bağlı olarak üretilen enerjinin yöreye bağlı olarak %3-5 daha az olduğu ortaya konulmuştur. Bu çalışmada ayrıca rüzgar hızının 0 m/s ve 3 m/s olması durumları da karşılaştırılmış ve rüzgarlı durumda panel veriminin kayda değer yüksek olduğu bulunmuştur. Kaplani ve Kaplanis (2014) yaptığı çalışmada PV panelin ön yüzünden panele gelen rüzgar durumunu incelemiştir. Bu çalışmada rüzgar hızının artması ile ısı taşınım katsayısının arttığı, rüzgar yönünün yüzeyin normali ile yaptığı açı(rüzgar açısı) azaldıkça ısı taşınım katsayısının arttığı belirlenmiştir. Mahboub ve diğ. (2011) yaptıkları çalışmada rüzgar açısının artmasıyla boyutsuz Nusselt sayısının azaldığını göstermişlerdir. Gökmen ve diğ. (2016) yaptıkları çalışmada Danimarka'da rüzgarın PV panel elektrik üretimine etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada rüzgarın üretilen gücü ortalama % 3-4 aralığında artırdığını göstermişlerdir. Kaldellis ve diğ. (2014) yaptıkları çalışmada rüzgar hızının panel sıcaklığı ve panelin toplam ısı transfer katsayısına etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada rüzgar hızı artıkça panel sıcaklığının düştüğü ortaya konulmuştur. Vassel ve Lakovidis (2017), İngiltere'de kurulu bir GES için yapılan ölçümler ve analizlerde rüzgar yönünün elektrik çıkış gücünü önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuştur. Güneyli rüzgarların verimi artırdığı tespit edilmiştir.

Meyilli arazilerde kurulacak GES için özellikle hakim rüzgar yönünün de dikkate alınması gerekir. Hakim rüzgarı kesecek şekilde meyilli araziye kurulan santraller için yüksek sıcaklıkların verimi düşüreceği dikkate alınmalıdır.

Mekhilef vd. (2012) toz,nem ve hava hızının fotovoltaik sistemlerin verimliliği üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmanın sonuçlarından biri, nemin güneş pili verimliliğinin olumsuz etkilediğidir. Kazem ve Chaichan (2015) yüksek bağıl nem değerlerinde panel verim değerlerinin düştüğünü belirtmişlerdir.

4. TOZ VE KİRLİLİK

Güneş panellerinde verimi azaltan önemli faktörlerden birisi de yüzeyler üzerinde toz birikmesidir. En üst cam tabaka üzerinde biriken tozlar yarı iletken tabaka üzerine ulaşan güneş

işinlarını azaltır ve dolayısıyla panel verimi düşer. Dolayısıyla GES kurulacak arazinin toprak yapısı da verim üzerinde etkilidir. Çok tozlanan bölgelerde kurulacak santrallerin enerji verimleri zaman içinde azalacaktır. Panel yüzeylerinin temizlenmemesi durumunda verimdeki düşüş zamana bağlı olarak artacaktır. Panel eğim açısına bağlı olarak yüzeylerde toz birikimi hızı da değişecektir.

Abdeen ve diğ. (2017) Mısır'da çöl şartlarında yaptıkları çalışmada yüzeylerin temiz ve tozlu olması durumları için optimum açıyı bulmuşlardır. Bu çalışmada temiz yüzeyler için optimum açı değerinin tozlu yüzeylere göre daha düşük olduğunu elde etmişlerdir. Panel üzerindeki tozun panelden elde edilen gücü (panel eğim açısı 30°) %5-10 düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Toz büyüklüğünün, biriken toz miktarı ve eğim açısının panel temizleme periyodu üzerinde etkileri Jiang ve diğ. (2011) tarafından araştırılmıştır. Paudyal ve Shakya (2016) toz büyüklüğü arttıkça temizleme periyodunun (gün sayısı) azalmakta, panel eğim açısı arttıkça temizleme periyodunun artmakta olduğunu belirtmişlerdir. Havadaki izafi nemin artmasıyla panel üzerinde biriken tozun azaldığını tespit etmişlerdir. Farklı toz çeşit ve miktarlarıyla yapılan çalışmada tozun ortalama elektrik gücünü %9 civarında azalttığı görülmüştür. Toz çeşidi olarak kumun külden daha fazla verim üzerinde etkisi olduğu bu çalışmada ortaya konulmuştur. Hammad ve diğ. (2018) yaptıkları bir simülasyon çalışmasında; GES için optimum temizlik periyodunu tespit etmişlerdir. Temizleme maliyeti ve verim düşüşleri dikkate alınarak yapılan çalışmada optimum değeri 12-14 gün olarak bulmuşlardır. Gholami ve diğ. (2018) tarafından İran Tahran'da yapılan bir çalışmada; güneş paneli üzerinde biriken toz miktarının ilk 6 haftada lineer olarak arttığı ve 6. Haftadan sonra artışın yavaşladığı ve 10 hafta sonra 6 gr/m^2 değerine ulaştığı ölçülmüştür. 10. Haftanın sonunda bir panelde güç kaybının %20 değerini aştığı belirlenmiştir. Biriken toz bileşimi de bu çalışmada analiz edilmiştir. Biriken toz analiz sonucu şöyledir: %50 kum, %27 CaO, %8 Al_2O_3 ve diğer bileşenlerdir.

5. GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİ

Güneş takip sistemleri, fotovoltaik sistemlerin tek eksenli ve çift eksenli olmak üzere güneşin hareketini takip etmesini sağlayan sistemlerdir. Tek eksenli sistemler, güneşin düşeydeki hareketini takip etmesini sağlayarak sabit sistemlere göre %20-25 daha yüksek verim elde edilmesini sağlar. Çift eksenli sistemler yatayda ve düşeyde hareket ederek güneşin doğuşundan batışına tüm hareketini takip ederek sabit sistemlere göre %35-40 daha yüksek verim elde edilmesini sağlar. Bu konuda literatürde yapılmış bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Abu-Khader vd. (2008) çok eksenli takip sistemi ile sabit eksenli fotovoltaik sistemi karşılaştırmıştır. Çok eksenli sistemin %30-45 daha fazla çıkış gücü ürettiğini göstermişlerdir. Sungur (2009) yılında yapmış olduğu çalışmada iki eksenli takip sistemine sahip fotovoltaik sistemin sabit eksenli fotovoltaik sisteme göre %42.6 daha fazla güneş enerjisi yakaladığını belirtmiştir. Şenpınar ve Cebeci (2012) fotovoltaik sistemlerde iki eksenli güneş takip sistemi kullanarak sabit eksenli sistemlere göre %13-%15 fazla elektrik enerjisi elde etmişlerdir.

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Dünyada ve özelde ülkemizde hızla artan GES yenilenebilir enerji kullanımını da artırmaktadır. Çok sayıda kurulan bu santrallerde çok sayıda güneş panelleri kullanılmakta ve bu paneller için önemli bir miktarda ithalat yapılmaktadır. Cari açığın büyük olduğu ülkemiz ekonomisi için bu durum oldukça önem arz etmektedir. Şu anda kurulan santrallerin büyük bir çoğunluğunda burada anlatılan faktörlerin büyük bir kısmı dikkate alınmamaktadır. Sadece optimum eğim açısı ile güneye dönük olarak paneller yerleştirilmektedir. GES tesisleri için panel sıcaklıklarının, nemin ve tozlanmanın verime etkilerinin ne ölçüde düşünüldüğü

belirsizdir. Rüzgarın panel sıcaklığı üzerinde etkisinin de dikkate alındığı büyük bir soru işaretidir. Özellikle rüzgarlı bölgelerde, rüzgarın etkisi dikkate alınmalıdır.

GES santrallerinin kurulması aşamasında tüm bu faktörlerin dikkate alınması gereklidir. Bu faktörler konusunda yatırımcının çok bilgili olduğu pek söylenemez. GES veriminde çok az düşüşün bile önemli bir enerji kaybı olduğu dikkate alınarak, bu milli servet olduğu için devlet tarafından bu hususları da dikkate alan bir yönetmelik hazırlanarak uygulamaya konulmalıdır. GES kurulum ve işletmesi denetlenmelidir. Panel kirliliğinin önüne geçmek için temizlenmesi zorunlu hale getirilmelidir. GES projelendirmesinde söz konusu tüm faktörler dikkate alınarak projelendirme yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Abdeen, E., Orabi, M., Haseneen, E. (2017). Optimum tilt angle for photovoltaic system in desert environment, *Solar Energy*, 155, 267–280. doi: 10.1016/j.solener.2017.06.031
2. Abu-Khader, M. M., Badran, O. O., Abdallah, S. (2008). Evaluating multi-axes sun-tracking system at different modes of operation in Jordan, *Renewable and sustainable energy reviews*, 12(3), 864-873. doi: 10.1016/j.rser.2006.10.005
3. Bakirci, K. (2012). General models for optimum tilt angles of solar panels: Turkey case study, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 6149–6159. doi: 10.1016/j.rser.2012.07.009
4. Fedorov, A. (2015). Photovoltaic System Design for a Contaminated Area in Falun – Comparison of South and East-West Layout, *Yüksek Lisans Tezi*, European Solar Engineering School.
5. Gholami, A., Khazaei, I., Eslami, S., Zandi, M., Akrami, E. (2018). Experimental investigation of dust deposition effects on photo-voltaic output performance, *Solar Energy*, 159, 346–352. doi: 10.1016/j.solener.2017.11.010
6. Gökmen, N., Hu, W., Hou, P., Chen, Z., Sera, D., Spataru, S. (2016). Investigation of wind speed cooling effect on PV panels in windy locations, *Renewable Energy*, 90, 283-290. doi: 10.1016/j.renene.2016.01.017
7. Hafez, A.Z., Soliman, A., El-Metwally, K.A., Ismail, I.M. (2017). Tilt and azimuth angles in solar energy applications – A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 147–168. doi: 10.1016/j.rser.2017.03.131
8. Hammad, B., Al-Abed, M., Al-Ghandour, A., Al-Sradeah, A., Al-Bashir, A. (2018). Modeling and analysis of dust and temperature effects on photovoltaic systems' performance and optimal cleaning frequency: Jordan case study, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2218–2234. doi: 10.1016/j.rser.2017.08.070
9. IRENA, (2018). Renewable Power Generation Costs in 2018. Erişim Adresi: <https://www.irena.org/publications/2019/May/Renewable-power-generation-costs-in-2018> (Erişim Tarihi: 20.01.2019)
10. Jiang, H., Lu, L., Sun, K. (2011). Experimental investigation of the impact of airborne dust deposition on the performance of solar photovoltaic (PV) modules, *Atmospheric Environment*, 45, 4299-4304. doi: 10.1016/j.atmosenv.2011.04.084
11. Kaldellis, J.K., Kapsali, M., Kavadias, K.A. (2014). Temperature and wind speed impact on the efficiency of PV installations. Experience obtained from outdoor measurements in Greece, *Renewable Energy*, 66, 612-624. doi: 10.1016/j.renene.2013.12.041

12. Kaplani, E., Kaplanis, S. (2014). Thermal modelling and experimental assessment of the dependence of PV module temperature on wind velocity and direction, module orientation and inclination, *Solar Energy*, 107, 443–460. doi: 10.1016/j.solener.2014.05.037
13. Kazem, H. A., Chaichan, M. T. (2015). Effect of humidity on photovoltaic performance based on experimental study, *International Journal of Applied Engineering Research (IJAER)*, 10(23), 43572-43577.
14. Mahboub, C., Moumami, N., Moumami, A., Youcef-Ali, S. (2011). Effect of the angle of attack on the wind convection coefficient, *Solar Energy*, 85, 776–780. doi: 10.1016/j.solener.2011.01.008
15. 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. doi: 10.1016/j.rser.2012.02.012
16. Meral, M.E. ve Dinçer, F. (2011). A review of the factors affecting operation and efficiency of photovoltaic based electricity generation systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 2176–2184. doi: 10.1016/j.rser.2011.01.010
17. Oda Raporu, (2018). Türkiye'nin Enerji Görünümü , MMO, 691, Ankara.
18. Paudyal, B.R., Shakya, S.R.(2016). Dust accumulation effects on efficiency of solar PV modules for off grid purpose: A case study of Kathmandu, *Solar Energy* ,135, 103–110. doi: 10.1016/j.solener.2016.05.046
19. Poulek, V., Matuska, T., Libra, M., Kachalouski, E., Sedlacek, J. (2018). Influence of increased temperature on energy production of roof integrated PV panels, *Energy & Buildings* 166, 418–425. doi: 10.1016/j.enbuild.2018.01.063
20. Ross Jr, R. G. (1976). Interface design considerations for terrestrial solar cell modules. In 12th Photovoltaic Specialists Conference (pp. 801-806).
21. Skoplaki, E., Boudouvis, A. G., Palyvos, J. A. (2008). A simple correlation for the operating temperature of photovoltaic modules of arbitrary mounting. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 92(11), 1393-1402. doi: 10.1016/j.solmat.2008.05.016
22. Sungur, C. (2009). Multi-axes sun-tracking system with PLC control for photovoltaic panels in Turkey, *Renewable Energy*, 34(4), 1119-1125. doi: 10.1016/j.renene.2008.06.020
23. Şenpınar, A., Cebeci, M. (2012). Evaluation of power output for fixed and two-axis tracking PV arrays. *Applied Energy*, 92, 677-685. doi: 10.1016/j.apenergy.2011.07.043
24. Tripanagnostopoulos, Y., Souliotis, M., Battisti, R., Corrado, A. (2005). Energy, cost and LCA results of PV and hybrid PV/T solar systems, *Progress in Photovoltaics: Research and applications*, 13(3), 235-250.
25. Ulgen, K., Hepbasli, A. (2003). Comparison of the diffuse fraction of Daily and monthly global radiation for Izmir, Turkey, *Energy Sources*, 25, 637–49. doi: 10.1080/00908310390212444
26. Vassel, A., Lakovidis, F. (2017). The effect of wind direction on the performance of solar PV plants. *Energy Conversion and Management*, 153, 455–461. doi: 10.1016/j.enconman.2017.09.077
27. Yıldırım, E., Aktacir, M. A. (2019). Binaya entegre fotovoltaik sistemlerde azimut ve eğim açısı etkilerinin incelenmesi, *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 34(2), 609-619. Doi: 10.17341/gummfd.42149

