

AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 035202 (434-440)

AKU J. Sci. Eng. 20 (20120) 035202 (434-440)

DOI: 10.35414/akufemubid.662919

Araştırma Makalesi / Research Article

## Farklı Karakteristikteki Cam Çeşitlerinin Güneş Paneli Çıkış Gücüne Etkisinin İncelenmesi

Erol AYAZ<sup>\*1,2,3</sup>, Fatih Onur HOCAOĞLU<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.<sup>2</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Güneş ve Rüzgar Uygulamaları Merkezi, Afyonkarahisar.<sup>3</sup>Afyonkarahisar Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü, Afyonkarahisar.Sorumlu yazar\* e-posta: erolayaz-43@hotmail.com ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7236-9347>e-posta: fohocaoglu@gmail.com ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3640-7676>

Geliş Tarihi: 21.12.2019

Kabul Tarihi: 10.06.2020

### Öz

Fotovoltaik panellerde kullanılan camlar, güneş hücrelerini çevresel etmenlere karşı korumanın yanı sıra, ışığı geçirebilme kabiliyetlerine göre panellerin çıkış gücü performansını doğrudan etkilerler. Bu nedenle güneş panellerinin en önemli parçaları arasında yer aldıkları söylenebilir. Bu çalışmada, fotovoltaik güneş panellerinde yer alan "farklı karakteristik özelliklere sahip" camların güneş paneli çıkış gücüne etkilerinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, piyasadan aynı özelliklere sahip iki güneş paneli temin edilmiştir. Panellerden birinin üzerindeki cam, ısı ve ışık geçirgenlikleri birbirinden farklı camlar (birbirinden farklı 3 cam kullanılarak değiştirilmiş) ile değiştirilmiş ve panelin çıkış gücü, panel çıkışına bağlanan yük üzerinden ölçülerek kaydedilmiştir. Diğer taraftan aynı ışınım ve ortam şartları altında, orijinal camlı panel çıkışına da bir yük bağlanmış ve bu panelin de çıkış gücü ölçülerek kaydedilmiştir. Elde edilen veriler karşılaştırılarak optimize edilmiş yüksek geçirgenliğe sahip olan, orijinal güneş paneli camına göre ne kadar verim kaybı olduğu yorumlanmıştır.

### Anahtar kelimeler

Güneş Paneli Camı;  
Işık Geçirgenliği; Farklı  
Karakteristikteki  
Camlar; Işınım Şiddeti

## Investigation of the Effect of Different Types of Glasses on the Solar Panel Output Power

### Abstract

The glasses that are used on Photovoltaic panels (PV), directly affect the output power performance of the PVs according to their ability to transmit the solar light, beside protection of the PV cells against environmental effects. Therefore, it can be said that they are among the most important parts of solar panels. In this study, it is aimed to investigate "the effects of different type of glasses having different characteristicly properties" on the output power of solar panels. For this aim, two identical PV modules are obtained from the market. Consequently, the glass of one of the PV module is replaced with different type of glasses (Replaced using 3 different glasses) and the output power of the module is measured during experiments, by the help of a DC load that is connected at the output of the module. On the other hand, same load is connected to the output of the original module and the performances of each module are tested under same solar radiation conditions. Finally, the measured data are analyzed and the total efficiency lose are compared with the efficiency of the PV having original glass that was optimized to have high light transmit ability.

### Keywords

Solar Panel Glass;  
Light Transmission;  
Glasses of Different  
Characteristic; Solar  
Radiation

## 1. Giriş

Rezervleri hızla tükenen konvansiyonel yakıtlar bir yandan çevreyi kirletirken, öte yandan sera etkisini artırmaktadır (Tan *et al.* 2012). Bu nedenle olumsuz çevresel etkileri bulunmayan alternatif enerji kaynaklarına olan ilgi artmıştır (Akarslan vd. 2018). Güneş alternatif temiz enerji kaynaklarının başında gelmektedir. Güneş enerjisinden elektrik üreten güneş panellerinin üretimleri ve sahada montajları sırasında verimlerinin artırılması ve yatırım maliyetlerinin kısa sürede karşılanması hedeflenmektedir. Ayaz ve Hocaoğlu (2019) gerçek bir sistemi PVsyst programında 3 boyutlu olarak modellemiş etrafında ağaçlar bulunan sistemin enerji kayıplarını ortaya koymuşlardır. Sistemler tesis edilmeden önce sıcaklığa bağlı muhtemel enerji kayıpları da düşünülmelidir. Hava sıcaklığının her bir derece artışından panel çıkış gücü performansının % 0,7 azaldığı tespit edilmiştir (Daher *et al.* 2018). Bu sebeple 30 derece açıyla monte edilen panellerde sıcaklık etkisinin doğal havalandırmayla azaltılabileceği tespit edilmiştir (Charfi *et al.* 2018). Havalandırma mümkün olmadığı takdirde soğutma yapılmalıdır (Thorat *et al.* 2018). Termoelektrik modül kullanılarak soğutulan sistem koşullarında verimin arttığı belirlenmiştir (Kane *et al.* 2019). Yapılan diğer bir soğutma çalışmasında sistem performansı % 47 artırılmıştır (Peng *et al.* 2017). Güneş panelinden elektrik üretilirken en önemli parametrelerden biri de panel camının ışık geçirgenliğidir (Int Kyn. 1). Bir yandan panel camı ışığı yüksek oranda geçirirken, diğer taraftan yansıma miktarı minimum olmalıdır (Int Kyn. 2). PV panellerde kullanılan güneş paneli koruyucu camının farklı çevre koşullarındaki dayanıklılığı ve sıcaklık değişimleri test edilmiştir (Gürtürk vd. 2020). Panel verimini artırıp, yansımaya engel olabilmek amacıyla polimer bazlı bir cam kaplama sistemi yapıldığında % 5,6 oranında bir çıkış gücü artışı tespit edilmiştir (Jalaly *et al.* 2019). Tasarımı güve gözü şeklinde yapılan bir başka koruyucu anti-reflektif camda ışık geçirgenliğinin % 95'e ulaştığı belirlenmiştir (Huh *et al.* 2017). Diğer bir çalışmada güneş paneli camlarında kullanılan, yansımayı önleyerek ışık geçirgenliğinin maksimumda tutulmasını hedefleyen anti reflektif (AR) kaplamalardaki basit

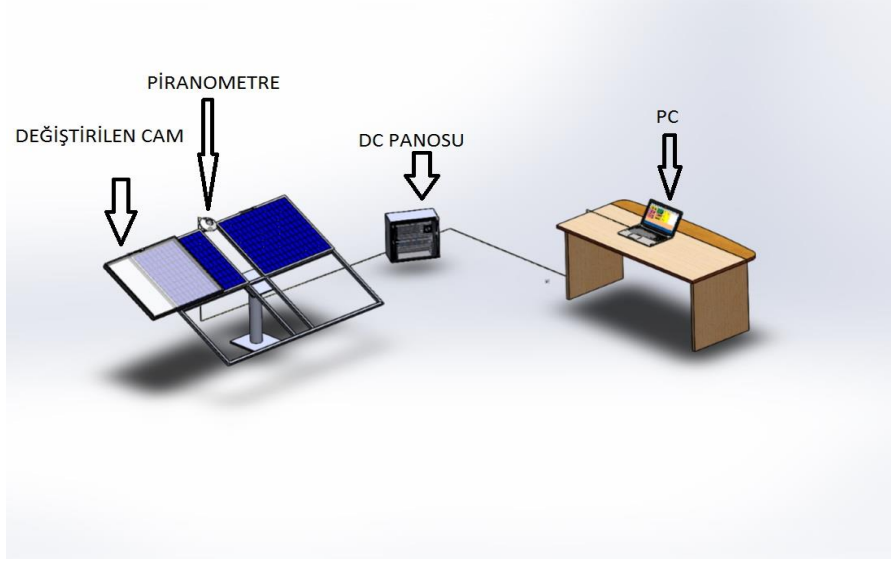
daldırma yöntemindeki molar oranı incelenerek sistem verimi artırılmıştır (Huang *et al.* 2017). Yansıma ve kırılmayı artıran bir başka unsurun da cam yüzeylerindeki pürüzlülük olduğundan yola çıkılarak yapılan bir diğer çalışmada buhar biriktirme yöntemi ile yüzey nano gümüş tabaka ile kaplanmış ve camın ışığı geçirme oranının % 90'a ulaştığı belirlenmiştir (Simões and Neto 2015). Panel yüzeylerinde biriken tozlar panel çıkış verimlerini düşürmektedir. Bu bağlamda farklı karakteristikteki kaplama malzemeleri içeren paneller ile yapılan bir çalışmada nano ölçekteki süper hidrofobik kaplamanın toz birikmesinden sonra en yüksek ışık geçirgenliğine sahip olduğu ve güç çıkışını çok az düşürdüğü tespit edilmiştir. Başka bir deyişle panel camındaki kaplama sayesinde kendiliğinden bir yüzey temizliği olmaktadır (Pan *et al.* 2019). Panel camındaki desen şekilleri de verimliliği etkileyen unsurlar arasında yer almaktadır. Bu bağlamda piramit şeklinde desenlerin olduğu panel camında 2,5 mA/cm<sup>2</sup> güç artışı görülmüştür. Buda çıkış gücünün % 12,9'dan % 13,8'e çıktığı manasına gelmektedir (Pociask-Bialy *et al.* 2018). Desen şekillerini belirleyen faktörler bulunmaktadır. Yoğunluk, derinlik bunlara örnek gösterilebilir. Bu parametrelerde bir takım iyileştirmeler yapılarak üretilen cam numunesinde % 2 verim artışı gözlemlenmiştir (Eisenhauer *et al.* 2019). Literatürdeki çalışmalar üretim aşamasında güneş paneli camlarının ışık geçirgenliğinin artırılmasına odaklanmıştır. İklim ve coğrafi şartlara uygun spesifik panel camlarının üretilmesi için yeterli sayıda araştırma yoktur. Sistemlerin tesis edildiği bölgenin iklim koşullarına göre camlar takılması sistem performansını artıracaktır. Sıcak bölgelerde, örneğin çöllerde güneşin sadece ışık dalga boyunu geçiren, soğuk bölgelerde örneğin rakımı yüksek aşırı soğuk ve güneşli bölgelerde ise bir miktar ısıyı panel içerisine alabilen camlar üretilerek panellerin katalog değerlerinde yer alan sıcaklık değerleri arasında çalışması sağlanabilir. Bu çalışmanın iklim veya coğrafi özelliklere göre en verimli camların üretilebileceği konusuna ışık tutabileceği düşünülmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

PV sisteminin güç analizinin yapılabilmesi için öncelikle akım ve gerilim değerlerinin bilinmesi gerekir. Panellerin artı (+) ve eksi (-) uçlarındaki gerilim ve akım değerlerini ölçmek için bu uçlar PLC'ye bağlanarak labview tabanlı bir ara yüz vasıtası ile bilgisayara kayıt yapılması sağlanmıştır. Gerilim ve akım değerlerinin çarpımından güç hesaplanır.

$$P = V \cdot I \quad (1)$$

Ayrıca panellerin ortasında yer alan piranometre sayesinde ışınım şiddeti Kipp & Zonen meteon marka datalogger'a kaydedilir. Buradan da bilgisayara kopyalanır. Datalogger hafızası sınırlı olduğundan belirli periyotlarla ışınım şiddeti verileri kayıt yapıldıktan sonra silinerek hafıza boşaltılır.



Şekil 1. Deney düzeneği tasarımı

Deneyde kolayca temin edilebilen 3 farklı mimari cam çeşidi kullanılmıştır. Bunlar test sırasına göre, ısıcam konfor, ısıcam sinerji ve temperli rodajlı camdır. Testler 15 Ağustos 2019 ile 30 Ağustos 2019 tarihleri arasında 3 farklı günde 09:00-15:00 saatleri arasında dakikada bir veri alınarak yapılmıştır. Aynı saatlerde ışınım şiddeti verileri de kaydedilerek bir veri seti oluşturulmuştur. Her cam farklı bir günde test edilmiştir (Ayaz ve Hocaoğlu 2019).



Şekil 2. Deney düzeneği resmi

Test sistemi ve cihaz yetersizliği nedeniyle nedeniyle orijinal cama sahip panel ve diğer camlar sırası ile değiştirilmiştir. Bu bakımdan çıkış güçleri ve yüzey sıcaklıklarının birbirlerine göre değişimleri incelenmiş ve yorumlanmıştır.

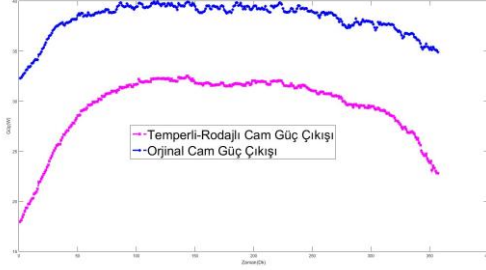
### 3. Bulgular

Öncelikle güneş enerjisi sisteminden ara yüz programı vasıtası ile kaydedilen veriler ile datalogger'dan kopyalanan ışınım şiddeti verileri tek tabloda birleştirilmiş ve maksimum-minimum değerler Çizelge 1'de verilmiştir. 5. Porta bağlı veriler Şekil 2'deki resimde sol tarafta verilen test camının, 6. Porta bağlı veriler ise sağ taraftaki referans panelin verileridir.

#### 3.1 Deneysel Veriler

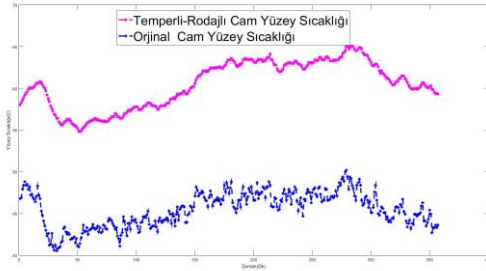
Cam numunelerinin az miktarda demir ihtiva eden yüksek geçirgenliğe sahip, orijinal cama göre ne kadar verim kaybına sebep olacağını ölçmek amacıyla sırasıyla temperli-rodajlı, sinerji ve

konfor cam ile testler yapılmış, testin yapıldığı günün test paneli ile referans panelin güç ve yüzey sıcaklığı çıktıları karşılaştırılmıştır.



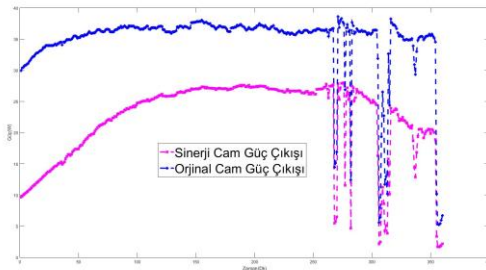
**Şekil 3.** Aynı ışınım şartları altında temperli-rodajlı cam ve orijinal cama sahip olan güneş panellerinin çıkış performansı

Şekil 3'te verilen grafik verileri incelendiğinde ortalama temperli rodajlı cam gücünün ortalama referans panel gücüne göre % 22,91 oranında azaldığı görülmüştür.



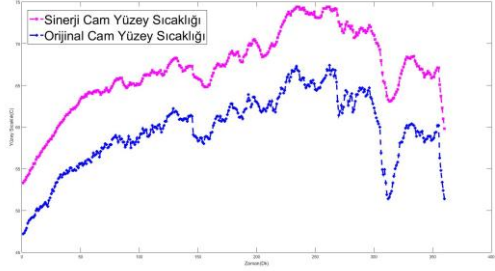
**Şekil 4.** Aynı ışınım şartları altında temperli-rodajlı cam ve orijinal cama sahip olan güneş panellerinin yüzey sıcaklığı

Şekil 4'de verilen grafik verileri incelendiğinde ortalama temperli rodajlı cam yüzey sıcaklığının ortalama referans panel yüzey sıcaklığına göre % 33,09 oranında arttığı belirlenmiştir.



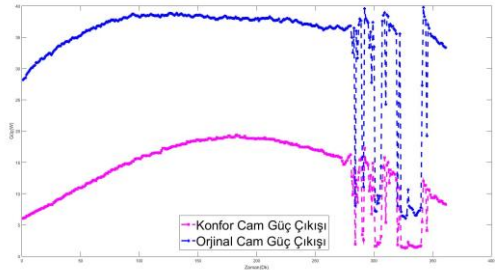
**Şekil 5.** Aynı ışınım şartları altında sinerji cam ve orijinal cama sahip olan güneş panellerinin çıkış performansı

Şekil 5'te verilen grafik verileri incelendiğinde ortalama sinerji cam gücünün ortalama referans panel gücüne göre % 34,82 oranında azaldığı görülmüştür.



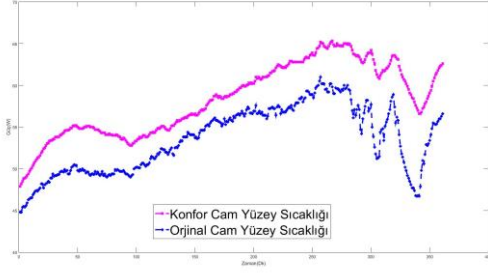
**Şekil 6.** Aynı ışınım şartları altında sinerji cam ve orijinal cama sahip olan güneş panellerinin yüzey sıcaklığı

Şekil 6'da verilen grafik verileri incelendiğinde ortalama sinerji cam yüzey sıcaklığının ortalama referans panel yüzey sıcaklığına göre % 12,43 oranında arttığı belirlenmiştir.



**Şekil 7.** Aynı ışınım şartları altında konfor cam ve orijinal cama sahip olan güneş panellerinin çıkış performansı

Şekil 7'de verilen grafik verileri incelendiğinde ortalama konfor cam gücünün ortalama referans panel gücüne göre % 60,08 oranında azaldığı görülmüştür.



**Şekil 8.** Aynı ışınım şartları altında konfor cam ve orijinal cama sahip olan güneş panellerinin yüzey sıcaklığı

Şekil 8’de verilen grafik verileri incelendiğinde ortalama konfor cam yüzey sıcaklığının ortalama referans panel yüzey sıcaklığına göre % 8,97 oranında arttığı belirlenmiştir.

Güç ve yüzey sıcaklığı değerlerinin maksimum-minimum değerleri hem test hem de referans panel verilerinden alınarak çizelge 1’de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Ölçümü yapılan verilerin maksimum-minimum değerleri.

	Güç(W)		Yüzey Sıcaklığı(C°)	
	Test	Referans	Test	Referans
Soğutmalı Panel (Maks.)	51,54	51,52	63,90	57,60
Orjinal Panel (Min.)	0,29	0,28	30,70	26,70
Soğutma+Konfor (Maks.)	22,31	42,74	69,40	54,30
Orjinal Panel (Min.)	1,16	4,47	45,30	38,80
Soğutma+Sinerji (Maks.)	35,45	45,65	64,90	54,30
Orjinal Panel (Min.)	0,79	2,53	37,70	28,80
Soğutma+Temperli (Maks.)	28,21	40,77	82,80	58,30
Orjinal Panel (Min.)	1,71	3,47	51,20	40,20
Temperli (Maks.)	32,50	40,00	65,10	50,20
Orjinal Panel (Min.)	17,95	32,29	54,80	40,50
Sinerji (Maks.)	28,00	38,58	74,40	67,40
Orjinal Panel (Min.)	1,68	5,22	53,30	47,20
Konfor (Maks.)	19,40	39,75	65,30	61,00
Orjinal Panel (Min.)	1,31	6,05	48,20	44,80

Şekil 3-8’de verilen güç çıkışı ve yüzey sıcaklığı karşılaştırma sonuçları çizelge 2’de verilmiştir. Güç kaybı ve ısı artış hesaplarında eşitlik 2 ve 3 kullanılmıştır.

$$Güç\ kaybı(\%) = \frac{(P_r - P_t)}{P_r} 100 \quad (2)$$

$$Isı\ artışı(\%) = \frac{(T_t - T_r)}{T_r} 100 \quad (3)$$

Burada Pr, Referans panelin çıkış gücünü, Pt, test panelinin çıkış gücünün, Tr, Referans panelin yüzey sıcaklığını, Tt, test panelin yüzey sıcaklığını ifade etmektedir. Eşitlik 2 ve 3 kullanılarak hesaplanan ortalama değerlere göre güç kayıpları ve ısınma artışları çizelge 2’de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Ölçümü yapılan verilerin karşılaştırılmaları

	Ortalama Üretilen Güç(W)	Ort. Sıcaklık(C°)	Güç Kaybı(%)	Isınma Artış(%)
Temperli/Rodajlı Cam	29,46	60,4	22,91	33,09
Orjinal Cam	38,22	45,4		
Sinerji Cam	22,63	66,9		
Orjinal Cam	34,72	59,5	34,82	12,43
Konfor Cam	13,69	58,3	60,08	8,97
Orjinal Cam	34,30	53,5		

Çizelgede testler sırasında ölçümü yapılan verilerin ortalamaları yüzdesel olarak karşılaştırılmıştır.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma Afyon Kocatepe Üniversitesi Güneş ve Rüzgar Uygulamaları Araştırma Merkezi’nde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 2 adet 60 W mono kristal güneş paneli kullanılmıştır. Panellerden birinin koruyucu camı 3 farklı cam çeşidi ile değiştirilmiş ve panellerin çıkış performansları her defasında, hiçbir işlem yapılmayan orijinal cama sahip panelin performansı ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılırken, panellerin akım, gerilim ve yüzey sıcaklığı değerleri ölçülmüştür. Ayrıca dış sıcaklık ve ışınım şiddeti de ölçülmüştür. Testler konstrüksiyon ve cihaz yetersizliği nedeniyle farklı günlerde yapılmış ve testin yapıldığı güne ait ışınım şartları altında orijinal cama sahip referans panel ile farklı cama sahip aynı tip panelden elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Ölçümü yapılan güç ve yüzey sıcaklığı değerlerinin maksimum ve minimum değerleri test günündeki sonuçlara göre referans panel gücüne göre ne kadar kayıp olduğu veya yüzey sıcaklığında ne kadar artış olduğu yorumlanmıştır. Deneysel sonuçlara göre en fazla güç kaybı % 60,08 ile konfor camda, en fazla ısınma % 33,09 ile temperli-rodajlı camda yaşanmıştır. Güç çıkışı performans sıralamasında ise % 22,91 kayıp ile temperli-rodajlı camın ilk sırada olduğu, ısınmanın en az yaşandığı camın ise % 8,97 ile

konfor cam olduğu tespit edilmiştir. Literatürdeki çalışmalar üretim aşamasında güneş paneline özel, geçirgenliği yüksek camlar tasarlamaya odaklanmıştır. Ancak iklim ve coğrafi özelliklere, sistemin kurulacağı bölgeye göre spesifik camlar üretilebilmesi konusunda yeterli çalışma olmadığından yapılan çalışmanın bu minvalde fikir vereceği düşünülmektedir. Yapılabilecek diğer çalışmalar arasında şunlar sayılabilir. Örneğin elektrik hatlarının olmadığı yüksek rakımlı aşırı soğuk noktalardaki baz istasyonlarında güneş panelleri kullanılmaktadır. Bu panellerin katalog değerlerinin altındaki soğuklardan etkilenecek güç çıkışlarının düşmesi, hatta bozulması ihtimaline karşı bir miktar ısıyı içine alan ve istenen sıcaklık parametreleri arasında çalışabilen bir güneş paneli camı tasarımı yerinde olacaktır. Diğer taraftan, çöl koşullarında güneşin sadece ışık dalga boyunu geçiren sıcaklığı içine almayarak yansıtan bir panel üretilebilir. Bütün bunlar ile birlikte farklı karakteristikteki cam çeşitlerinin farklı iklim bölgelerinde vereceği güç çıktıları yapay sinir ağları ile tahmin edilebilir. Ağ girdileri artırılarak farklı tahmin modelleri oluşturulabilir. Ayrıca alternatif koruyucu camların fiyat performans analizi yapılarak yatırımcıya daha az maliyetli ancak amortisman süresi uzun cam seçenekleri sunulabilir. Son olarak yapılan deneysel çalışmaların sonuçları, güneş panellerinde yer alan camların panel performansına ciddi etkilerinin olduğunu ve cam parametrelerinin kullanım yerlerine göre belirlenmesinin gerekliliğini ortaya koymuştur.

#### Teşekkür

Bu çalışmaya destek veren herkese gönülden teşekkür ederiz.

#### 5. Kaynaklar

Tan, Z., Zhang, H., Xu, J., Wang, J., Yu, C. and Zhang, J., 2012. Photovoltaic Power Generation in China: Development Potential, Benefits of Energy Conservation and Emission Reduction. *Journal of Energy Engineering*, **138** (2), 73-86.

Akarşlan, E., Hocaoglu, F.O. and Edizkan, R., 2018. Novel short term solar irradiance forecasting models. *Renewable Energy*, **123**, 58–66.

Ayaz, E. and Hocaoğlu, F.O., 2019. Afyonkarahisar Bölgesinde Tesis Edilen Gerçek Bir Güneş Enerjisi Sisteminde Gölge Analizi Yapılması. *Şırnak Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **1**, 41-57.

Daher, D.H., Gaillard, L., Amara, M. and Ménéz, C., 2018. Impact of tropical desert maritime climate on the performance of a PV grid-connected power plant. *Renewable Energy*, **125**, 729-737.

Charfi, W., Chaabane, M., Mhiri, H. and Bournot, P., 2018. Performance evaluation of a solar photovoltaic system. *Energy Reports*, **4**, 400-406.

Thorat, P.A., Edalabadkar, A.P., Chadge, R.B. and Ingle, A., 2017. Effect of sun tracking and cooling system on Photovoltaic Panel. *Materials Today, Proceedings*, **4**, 12630-12634.

Kane, A., Verma, V. and Singh, B., 2017. Optimization of thermoelectric cooling technology for an active cooling of photovoltaic panel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **75**, 1295-1305.

Peng, Z., Herfatmanesh, M.R. and Liu, Y., 2017. Cooled solar PV panels for output energy efficiency optimisation. *Energy Conversion and Management*, **150**, 949-955.

Gürtürk, M., Benli, H. and Ertürk, N.K., 2020. Determination of the effects of temperature changes on solar glass used in photovoltaic modules. *Renewable Energy*, **145**, 711-724.

Jalaly, S., Vahdani, M., Shahabadi, M. and Sadeghi, G.M.M., 2019. Design, fabrication, and measurement of a polymer-based anti-reflection coating for improved performance of a solar panel under a specific incident angle. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **189**, 175-180.

Huh, D., Shin, J.H., Byun, M., Son, S., Jung, P.H., Choi, H.J., Kim, Y.D. and Lee, H., 2017. Analysis of long-term monitoring data of PV module with SiO<sub>x</sub>-based anti-reflective patterned protective glass. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **170**, 33-38.

Huang, Q.Z., Shi, J.F., Wang, L.L., Li, Y.J., Zhong, L.W. and Xu, G., 2016. Study on sodium water glass-based anti-reflective film and its application in dye-sensitized solar cells. *Thin Solid Films*, **610**, 19-25.

Simões, R. and Neto, V.F., 2015. Nanodiamond Coated Glass as a Protective Layer in Solar Cells. *Materials Today Proceedings*, **2**, 230-235.

Pan, A., Lu, H. and Zhang, L.Z., 2019. Experimental investigation of dust deposition reduction on solar cell covering glass by different self-cleaning coatings. *Energy*, **181**, 645-653.

Ayaz, E. and Hocaoğlu F.O., 2019. Bir Güneş Panelinin Çıkış Gücü İle Işınım Şiddeti Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. Uluslararası Bilimsel Çalışmalar Kongresi, **3**, 163-168.

Pociask-Bialy M., Mynbaev, K.D. and Kaczmarzyk, M., 2018. Light trapping by chemically micro-textured glass for crystalline silicon solar cells. *Opto-Electronics Review*, **26(4)**, 307-311.

Eisenhauer, D., Trinh, C.T., Amkreutz, D. and Becker, C. 2019. Light management in crystalline silicon thin-film solar cells with imprint-textured glass superstrate. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **200**.

#### **İnternet kaynakları**

1-<http://www.sisecam.com.tr>, (10.10.2019)

2-<http://www.sar-cam.com.tr>, (26.10.2019)