

Orijinal Makale/Research Article

Fotovoltaik panellerin verimliliğinin artırılmasında su soğutmalı otomasyon sistemi uygulaması: Antalya örneği

Abdülkadir Çakır¹, Esra Onay¹

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 32200, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Fotovoltaik panel
Panel verimliliği
Panel soğutma
Su soğutmalı panel

Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 10.02.2021
Kabul Tarihi: 26.04.2021

Öz: Günümüzde uygulamaları oldukça artmış olan güneş enerji santrallerinin sorunlarından biri sıcaklık arttıkça panel veriminin düşmesidir. Bu çalışmada sıcaklıkla panel verim düşüşünün önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada Antalya ilinde bulunan 1,75 kW'lık bir güneş enerji tesisinde su ile soğutma yöntemi kullanılarak sistemin verim artışı analiz edilmiştir. Su ile soğutmada; su deposu, su pompası, ventiller, borular ve otomasyon sistemi (kontrol kartı, sensörler ve röleler) kullanılmıştır. Su pompası çıkışında kullanılan ventiller ile sistemdeki sıcaklık değişimine bağlı olarak su sirkülasyonu hızı kontrol edilmiş olup, panel soğutma için tam kontrollü bir sistem elde edilmiştir. Panellerin en çok ısınan kısmı olan DC kablo bağlantı noktalarına 2 adet sıcaklık sensörü yerleştirilmiş ve bu sıcaklık sensörlerinden okunan değerlerin ortalaması alınarak referans sıcaklık değeri belirlenmiştir. Sistemde, panellerin sıcaklık değerleri arttıkça aktif olan ventil sayısı artırılmış, dolayısıyla da suyun debisi artırılmış ve suyun sirkülasyonu daha hızlı olduğundan minimum buharlaşma ve hızlı soğutma ile sistem verimliliğinin en kısa zamanda artması sağlanmıştır.

Panel yüzeyi sıcaklığı 70 °C'ye ulaştığında soğutma sistemi 4 ventilde aktif olacak şekilde devreye girmiştir. Panel ön yüzü sıcaklık ortalaması 55 °C'ye indiğinde 1 ventil devreden çıkarak sıcaklık 40 °C'ye inene kadar 3 ventil çalışmıştır. Sıcaklık ortalaması 30 °C'ye indiğinde ise sadece 1 ventil devrede kalmıştır. Panel yüzeyleri 25 °C'ye indiğinde soğutma sistemi devreden çıkmıştır. Sonuç olarak ısınım değeri en yüksek illerimizden olan Antalya ilinde yapılan deneylerde soğutma işlemi ile birlikte güçte %24,3'lük, verimde ise %2,2'lük artış sağlanmıştır.

Atıf için/To Cite:

Çakır A. Onay E. Fotovoltaik panellerin verimliliğinin artırılmasında su soğutmalı otomasyon sistemi uygulaması: Antalya örneği. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 13(1), 22-33, 2021.

Water-cooled automation system application in increasing the efficiency of photovoltaic panels: Antalya example

Keywords

Photovoltaic panel
Panel efficiency
Panel cooling
Water cooled panel

Article history:

Received: 10.02.2021
Accepted: 26.04.2021

Abstract: One of the problems of solar power plants, whose applications have increased considerably today, is that the efficiency of the panel decreases as the temperature increases. In this study, it is aimed to prevent panel efficiency decrease with temperature. In the study, the efficiency increase of the system was analyzed by using the water cooling method in a 1.75 kW solar energy facility in Antalya. In cooling with water; water tank, water pump, valves, pipes and automation system (control card, sensors and relays) are used. With the valves used at the outlet of the water pump, the water circulation rate was controlled depending on the temperature change in the system, and a fully controlled system was obtained for panel cooling. Two temperature sensors were placed at the DC cable connection points, which are the most heated part of the panels, and the reference temperature value was determined by taking the average of the values read from these temperature sensors. In the system, as the temperature values of the panels increased, the number of active valves increased, consequently, the flow of water was increased and the circulation of the water was faster, with

minimum evaporation and rapid cooling, and the system efficiency was increased in the shortest time.

When the panel surface temperature reaches 70 °C, the cooling system has been activated in 4 valves. When the average temperature of the front of the panel decreased to 55 °C, 1 valve was deactivated and 3 valves operated until the temperature decreased to 40 °C. When the average temperature drops to 30 °C, only 1 valve remained active. When the panel surfaces are down to 25 °C, the cooling system is deactivated. As a result, in the experiments conducted in Antalya, one of our provinces with the highest radiation value, an increase of 24.3% in power and 2.2% in efficiency was achieved with the cooling process.

1. Giriş

Günümüzde ülkelerin ve toplumların enerji ihtiyacı her alanda ve sürekli artmaktadır. Artan enerji ihtiyacını karşılamada mevcut kaynakların yetersiz kalması nedeniyle alternatif enerji kaynakları bulma ve geliştirme çalışmaları da önem arz etmektedir. Klasik fosil yakıt kaynaklı enerji üretim sistemleri yerine çevreye olumsuz etkisi daha az olan, sürdürülebilirlik ve yenilenebilirlik özelliği olan enerji kaynaklarından güneş enerjisi bu konuda önem kazanmıştır.

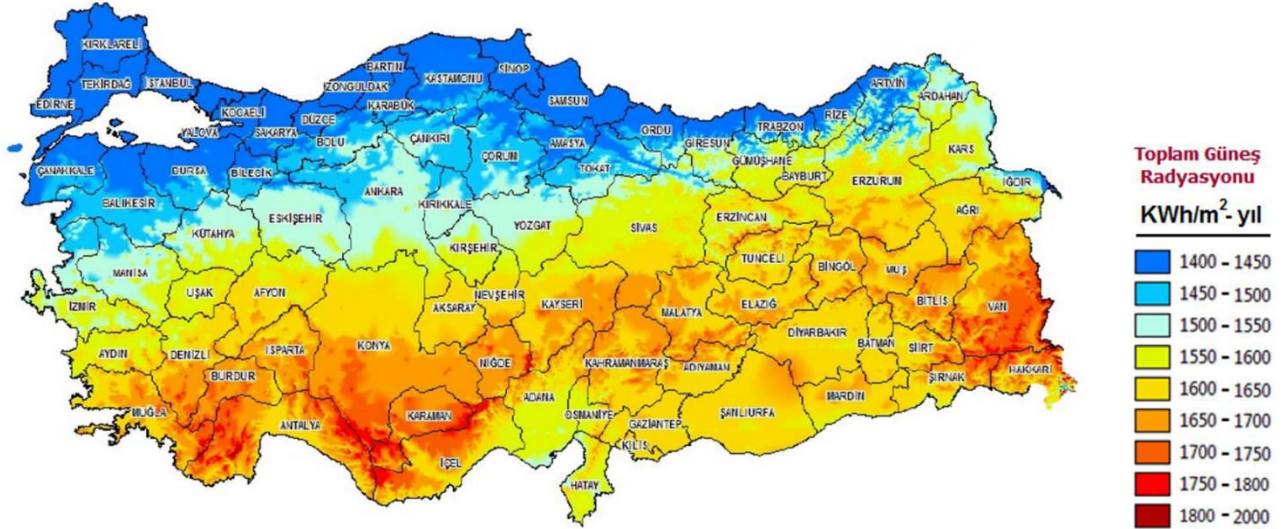
Dünyada ve ülkemizde güneş enerjisinden elektrik üreten fotovoltaik sistemler her geçen gün artmaktadır. Artan bu sistemlerin iyileştirilmesine yönelik çalışmalarda bu kapsamda daha önemli hale gelmektedir. Fotovoltaik sistemlerde; düşük ve düzgün dağılımlı hücre sıcaklığı, sistem güvenilirliği ve kapasite en önemli tasarım parametrelerindedir. Ancak bu tür sistemlerde fotovoltaik hücrelerin soğutulması büyük problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu problem, fotovoltaik hücrelerin en fazla %25 verimle çalışması nedeniyle kayıp enerjinin bir kısmının ısı enerjisine dönüşmesinden kaynaklanmaktadır. Bu hücrelerdeki aşırı sıcaklık artışı kısa vadede verim düşüşüne, uzun vadede ise geri dönüşü olmayan arızalara sebep olabilmektedir [1]. Fotovoltaik sistemler; aktif ve pasif olmak üzere iki şekilde soğutulabilmektedirler. Pasif soğutma, genellikle ısınan yüzeye hava sirkülasyonunu artırmaya yönelik mekanik eklemeler yapılarak gerçekleşmektedir. Aktif soğutma ise fotovoltaik hücrelerin ısınan yüzeylerinin akışkanla soğutulması esasına dayanmaktadır [2]. Yapılan çalışmalarda aşırı yoğunluklu güneş ışınlarının etki ettiği sistemlerde aktif soğutmanın daha iyi sonuç verdiği görülmüştür [3]. Fotovoltaik hücre yüzeylerinde sıcaklığın düşürülmesi ve sıcaklığın yüzeye homojen ve sabit dağılması sistem verimini artırmaktadır [4].

Panel yüzeyinin ısınması verimi %11,9'dan %8 seviyelerine düşürmektedir [5]. Panel verimliliğine etki

eden faktörlerin incelenmesinde ortam hava sıcaklığının fotovoltaik modül sıcaklığı üzerinde oldukça fazla etkili olduğu tespit edilmiştir. Bir fotovoltaik panelin verimliliğini arttırmanın en etkili yolunun modülün sıcaklığının düşürülmesi olduğu sonucuna varılmıştır [6]-[8].

Verimlilik oranı panellerin üzerinde temizleme (şebeke, kuyu ve taşıma su) sonucu oluşan kireç, kireç kalıntısı, toz, kir, polen, kuş dışkısı ve çeşitli partiküllerin birikip yapışmasıyla azalmaktadır. Kirli ve tozlu bir ortamda kurulu ve sürekli açık alanda kalan güneş panellerinde panel gücü %30'a kadar düşebilmektedir. Deterjanlar ve çeşitli kimyasal temizleyicilerle panelleri temizlemek zaman alıcı, pahalı, çevre ve personel için tehlikeli hatta panellerin yapısına önemli ölçüde zararlar verebilmektedir. Ayrıca bu uygulamalar özellikle büyük güneş tarlaları için oldukça zor ve maliyetlidir. İdeal güneş panelleri maksimum verimlilik için düzenli aralıklarla saf su ile yıkanarak temizlenmelidir. Fotovoltaik sistemlerde amaç verimliliği maksimumda tutmak, bakım ve maliyeti en aza indirmektir [9]-[15].

Türkiye'de en yüksek potansiyelli yenilenebilir enerji kaynağı güneştir. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nce hazırlanan, Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2737 saat (günlük 7,5 saat), yıllık güneş enerjisi potansiyeli 1527 kWh/m² yıl (ortalama günlük 4,2 kWh/m²) olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışma kapsamında ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli dağılımını gösteren bir atlas/harita oluşturulmuştur. Şekil 1'de Enerji Kaynakları Etüt Dairesi Başkanlığı (EİE)'nin vermiş olduğu Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli atlası/haritası görülmektedir [16]. Bu atlas incelendiğinde Türkiye'nin güney bölgelerinde güneş enerjisi potansiyelinin yüksek olduğu, özellikle de Antalya, Burdur, Isparta, Konya'nın güneyi ve Karaman illerini içerisine alan bölgenin bir güneş havzası oluşturduğu görülmektedir.

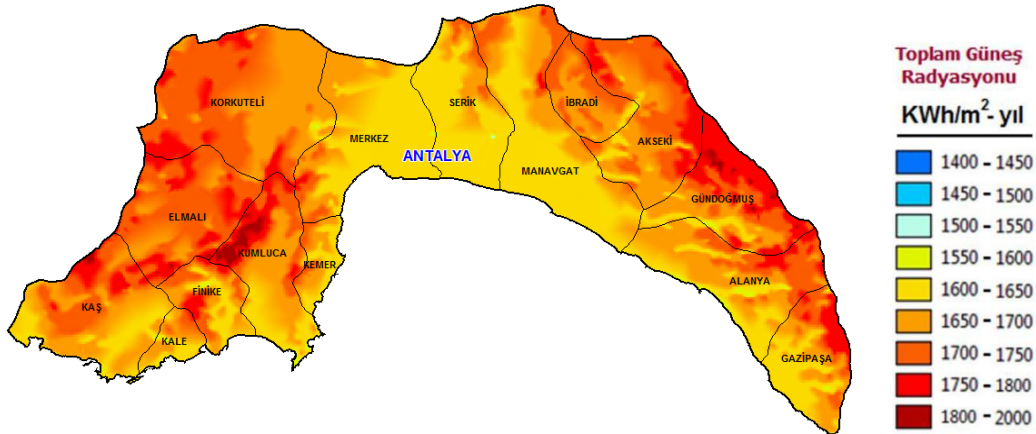


Şekil 1. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli atlası/haritası [16]

Tablo 1. Türkiye'nin Bölgelere Göre Güneşlenme Potansiyeli [16]

Bölgeler	Toplam Güneş Işınımı (kWh/m ² -Yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/Yıl)
Ege	1304	2738
Karadeniz	1120	1971
İç Anadolu	1314	2628
Doğu Anadolu	1365	2664
Marmara	1168	2409
Akdeniz	1390	2956
Güneydoğu Anadolu	1460	2993

Tablo 1'den güneş enerjisinden elektrik üretiminde öncelikli bölgelerin Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz sahilleri olduğu görülmektedir. Akdeniz bölgesi illerimizden Antalya güneş enerjisi bakımından yüksek potansiyele sahiptir. Antalya ilinin yıllık ortalama güneş ışınım potansiyeli yaklaşık 1700 kWh/m² dir (Şekil 2). Bu değer Türkiye ortalaması yaklaşık 1311 kWh/m² olarak gerçekleşmektedir. Bundan dolayı Antalya Türkiye'de güneş enerjisi potansiyeli açısından çok uygun yerlerden biridir [16].



Şekil 2. Antalya'nın güneş haritası [16]

2. Panel Verimliliğinin Sıcaklıkla İlişkisi

Fotovoltaik sistemin güç analizini yapabilmek için panel gerilim ve akım değerlerinin bilinmesi gerekir. Ölçü aleti ile akım ve gerilim değerleri ölçülen panellerin güç analizi Denklem 1 kullanılarak yapılır.

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

Sistemin elektriksel verim hesabında ise; panel yüzey alanı, panele düşen ışınım değeri ile akım ve gerilim değerlerinin bilinmesi gerekir. Sistemin elektriksel verimi Denklem 2 kullanılarak hesaplanabilir.

$$\eta_p = (V \times I) / (A \times E) \quad (2)$$

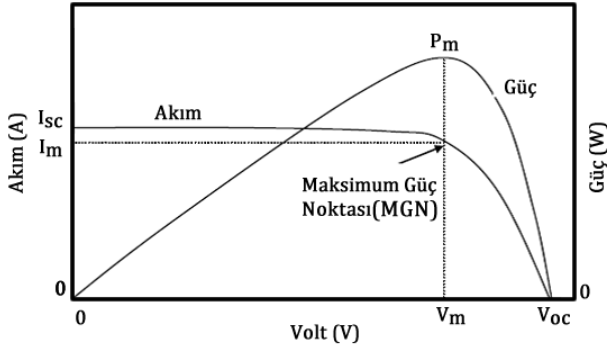
PV panel hücre sıcaklığı (T_1), hava sıcaklığı (T_2) ve ışınım (E) değeri için *NOCT* sıcaklığı için Denklem (3) kullanılır.

$$T_1 = T_2 + (NOCT - 20) / 0,8 \times E \quad (3)$$

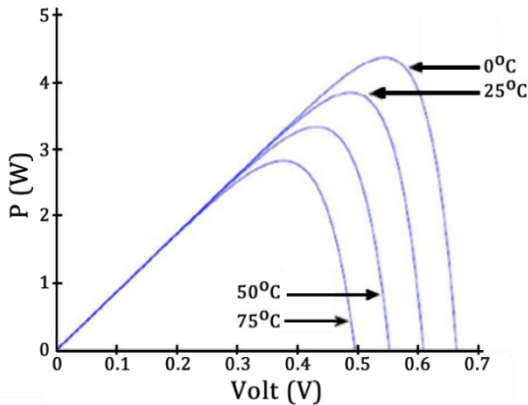
Panelin çıkış gücü (P_m); Denklem 4 yardımıyla ve bu denklemde T_1 sıcaklık değeri ile standart test koşullarındaki panel gücü sıcaklığa bağımlılık katsayısı η_P yerine konularak hesaplanabilir.

$$P_m(T_1) = P_m \times [1 - \eta_P \times (T_1 - 25)] \quad (4)$$

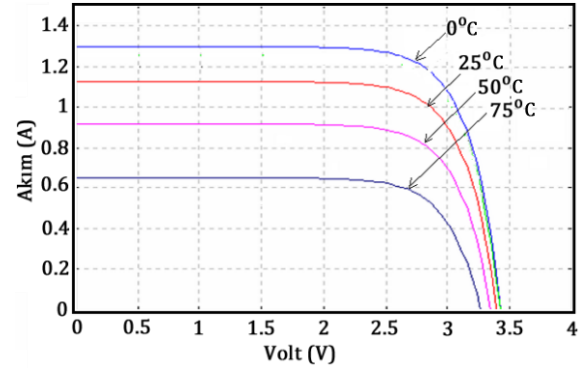
Aşırı ısınmanın PV panellerin verimliliğini azalttığı bilinen bir gerçektir. PV panel sıcaklığı 45 °C'nin üstüne çıkmadan soğutma işlemi başlatılmalıdır [7]. Şekil 3'te PV modül için ideal I-V ve güç karakteristiği verilmiştir. Bu I-V ve güç karakteristiği; güneş ışınımı (E) ile modül sıcaklığı (T_1) sabitken, PV çıkış akımı, elektriksel çıkış gücü (P) ve çıkış voltajı (V) arasındaki ilişkidir. Bu iki parametreden ($E-T_1$) birisi değişirse, bu değişmeden kaynaklı P-I karakteristiği de değişir. Bir PV modülün 0-75 °C aralığında değişik modül sıcaklığı için ideal P-V karakteristiği Şekil 4'te ve V-I karakteristiği Şekil 5'te verilmiştir [17].



Şekil 3. PV modülün ideal V-I ve Güç karakteristiği [17]



Şekil 4. Modül sıcaklığının fonksiyonu olarak ideal P-V karakteristiği [17]

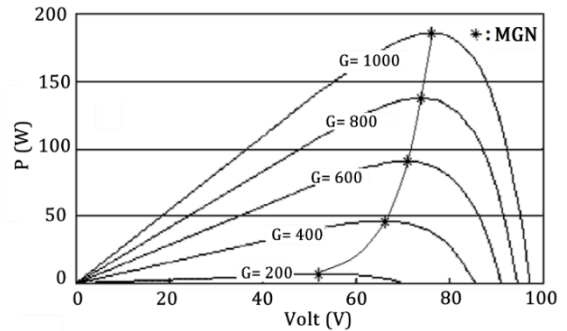


Şekil 5. Modül sıcaklığının fonksiyonu olarak ideal V-I karakteristiği

Güneş ışınımı (E) sabitken, modül sıcaklıkları 0-25-50-75 °C değerlerinde PV'nin elektriksel çıkış gücü (P) ile çıkış voltajı (V) arasındaki ilişki Şekil 4'teki gibidir. Şekil 4'teki P-V karakteristiğinden de görüldüğü gibi PV modülden elde edilecek maksimum çıkış gücü, modül sıcaklığı ile ters orantılıdır. Bu şekil, panel sıcaklığının artmasının çıkış gücüne olumsuz yönde etki edeceğini göstermektedir. Bu noktadan hareketle, özellikle yüksek ortam sıcaklığı olan bölgelerde güneş panellerinden yüksek verim elde edebilmek için soğutma yapılması önemlidir.

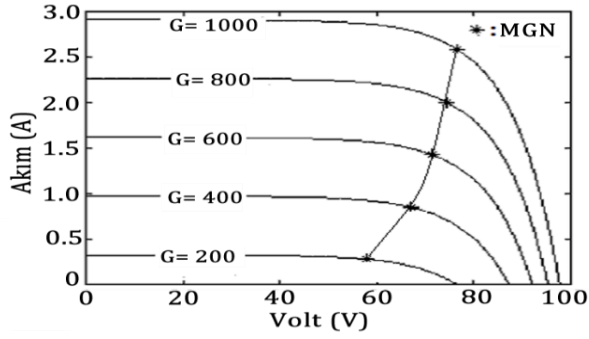
3. Verimliliğinin ışımla ilişkisi

Güneş paneli üzerine güneş ışınlarının düşme açısına göre panelin gücü değişmektedir. Şekil 6'da değişik güneşlenme düzeyleri (radyasyon düzeyleri) için ideal P-V karakteristiği görülmektedir. Bu şekilden de görüleceği gibi panelden çekilen maksimum güç (MGN) ışınım şiddeti ile doğru orantılıdır.



Şekil 6. Güneş ışınımının fonksiyonu olarak ideal P-V karakteristiği (Maksimum Güç noktası (MGN) G: Güneşlenme düzeyi (W/m^2)) [18]

Şekil 7'de ise değişik güneşlenme düzeyleri için ideal V-I karakteristiği verilmiştir. Bu şekilden görüleceği gibi, panelden çekilen akım ve maksimum güç noktası (MGN) güneşlenme düzeyi ile doğru orantılıdır.



Şekil 7. Güneş ışınımının fonksiyonu olarak ideal V-I karakteristiği [18]-[20]

Maksimum çıkış voltajı değeri 3,6 V ve maksimum çekilebilecek akım değeri 60 mA olan tek Monokristal tipi güneş paneliyle yapılan deneysel çalışmada; güneş ışınlarının panel ön yüzüne geliş açısı 0° ile 180° arasında değiştirilerek güneş pilinin akım ve gerilim değerlerindeki değişimler ölçülmüştür. Bu, güneş ışınları panel yüzeyine 90° 'lik açı ile düştüğünde panel gücünün maksimum değere ulaştığını göstermiştir. Ayrıca bu çalışma, güneş ışınlarının panel yüzeyine geliş açısının 90° 'den uzaklaşması ile panel gücünün azaldığını ortaya koymuştur [19]-[25].

4. Deneysel Çalışma

PV panellerde aşırı ısınma verimliliği azaltmaktadır. Bu yüzden de panel sıcaklığının 45°C 'ye çıkmadan soğutulması gerekmektedir [20]-[29]. Antalya ışınım bakımından Türkiye'nin en iyi bölgesinde yer almaktadır. Panellerin ısınmasından kaynaklı kurulan sistemlerin verimi düşmekte ve sistem verimi beklentilerin gerisinde kalmaktadır. Bu durumu

minimize etmek için Antalya şartlarında kurulan otomasyon sistemli deney düzeneği modeli Şekil 8'de görülmektedir.

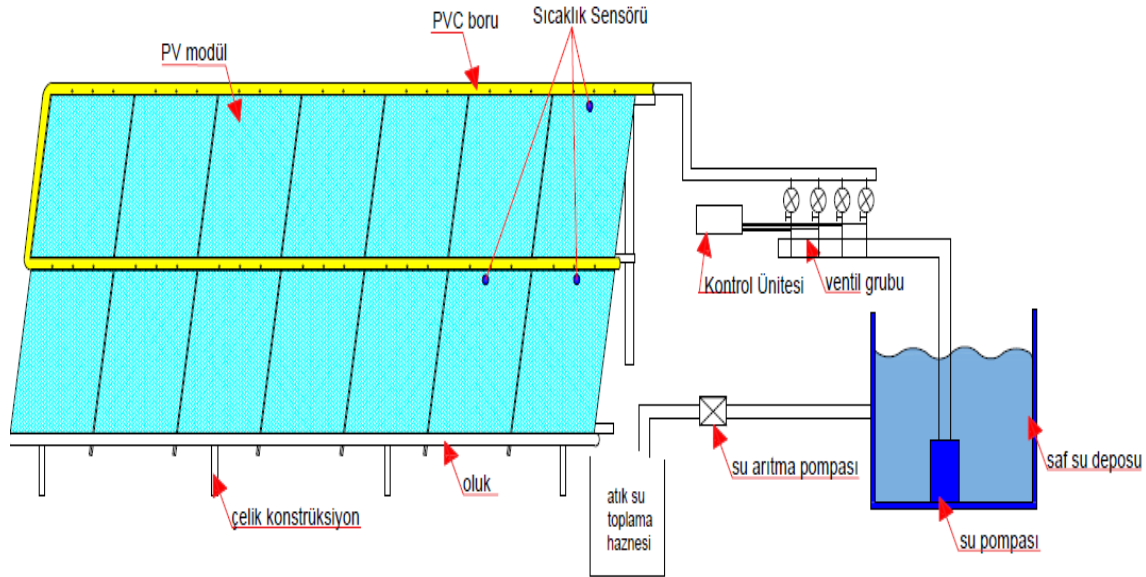
Deneysel kurulan sistemde 125 Wp gücündeki 14 adet ince film panel kullanılmıştır. Paneller 25° 'lik açı ile tam güneşe dönmüş şekilde çelik konstrüksiyon üzerine yerleştirilmişlerdir (Şekil 9-a). Daha sonra panellerin DC kabloları çekilmiş ve 14 panel birbirine seri bağlanarak invertere giriş yapılmıştır. Seri bağlama işleminde paneller birbirine $1 \times 4 \text{ mm}^2$ PV1-F solar DC kablolar ile bağlanmıştır.

Panellerin standart test koşullarındaki elektriksel verileri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Panelin standart test koşullarındaki elektriksel verileri

Parametre	Değer
Nominal güç P_n	125 W
Nominal güç toleransı	$\%0/+4$
Modül verimliliği	$\%13,2$
Açık devre gerilimi V_{oc}	60,2 V
Kısa devre akımı	3,19 A
Mppt gerilimi V_{mpp}	44 V
Mppt akımı I_{mpp}	2,85 A
Aşırı akım koruma	5 A
Maksimum sistem gerilimi	1000 V

Sistemde 2 kW gücünde on-grid inverter kullanılmıştır (Şekil 9-b). DC kabloların invertere girişi yapıldıktan sonra inverter çıkışında da $5 \times 6 \text{ mm}^2$ NYY bakır kablo kullanılarak sistem, çatısına kurulum yapılan binanın alçak gerilim panosuna bağlanmıştır. Bu sistemde kullanılan inverter elektriksel verileri Tablo 3'te görülmektedir.



Şekil 8. Soğutmalı Sistem Deney Düzeneği Modeli [20]

Deney düzeneğinin uygulaması ise Şekil 9'da gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 9. Soğutmalı Sistem Deneş Düzeneği [20]

Tablo 3. İnerterin elektriksel verileri

Teknik Veriler	Birim	UNO-2.0-I-OUTD-US
Nominal çıkış gücü	W	2000
Maksimum çıkış gücü	W	2200
Başlangıç AC gerilimi	V	208
MPPT sayısı	adet	1
MPPT gerilim aralığı	V	170-470
Çalışma gerilim aralığı	V	145-520
Max. çalışma akımı	A	12,5
Max. kısa devre akımı	A	15

İnerter bağlantıları tamamlandıktan sonra inverterin haberleşme portundan ethernet kablosu ile dataloggera giriş yapılmıştır. Böylece dataloggera veri akışı sağlanmıştır. Ölçümlerde kullanılan Datalogger Şekil 9-c'de gösterilmiştir. İnertere aktarılan bilgiler bilgisayar ortamında kolayca takip edilebilmektedir. Dataloggerın IP numarası, kullanıcı adı ve şifre ile bütün veriler anlık takip edilebilmektedir.

Antalya ilinde bulunan 1,75 kW'lık güneş enerji tesisinde (Şekil 9-d) panel soğutma işlemi yapılarak sistemin verim artışının analiz edildiği bu çalışmada; sistem çalışır hale getirildikten sonra, deney için

gerekli otomasyon ve su soğutma sistemi kurulmuştur. Su ile soğutmada; su deposu, su pompası, ventiller, borular, otomasyon sisteminde ise; kontrol kartı (Arduino UNO kartı), sensörler ve röleler kullanılmıştır. Panel yüzeyine su ile temas etmeyecek şekilde yerleştirilen sıcaklık sensörlerinin ölçüm sonuçlarının ortalaması otomatik hesaplanarak sistem devreye girip girmeyeceğine karar vermektedir. Panel yüzeyinde ölçülen sıcaklık değeri 70 °C iken 4 ventilin hepsi devreye girerken, sıcaklık 55 °C indiğinde 1 ventil devreden çıkarak sıcaklık 40 °C'ye inene kadar 3 ventil çalışmıştır. Sıcaklık ortalaması 30 °C'ye indiğinde ise sadece 1 ventil devrede kalmıştır. Panel yüzeyleri 25 °C'ye indiğinde soğutma sistemi devreden çıkmıştır.

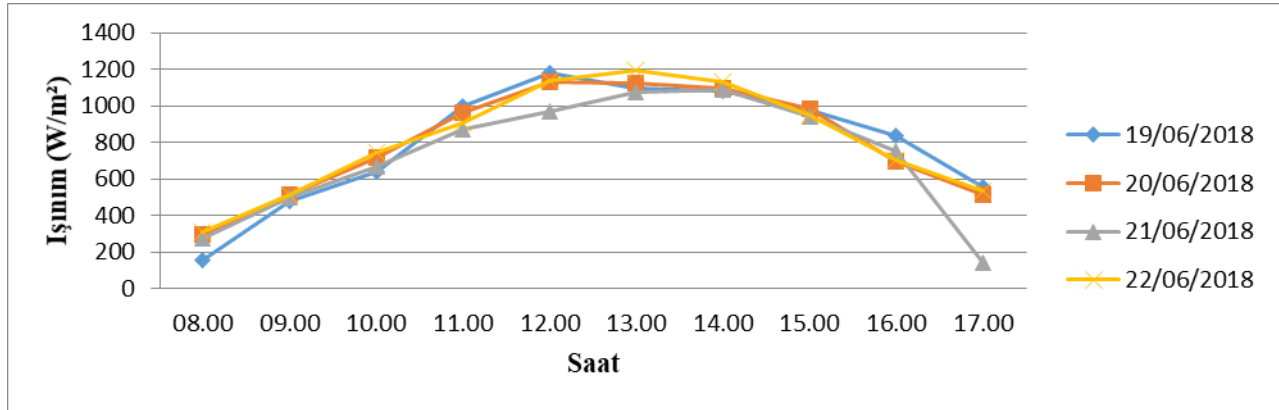
Su ile panel temizleme yöntemlerine bakıldığında direkt olarak şebeke suyu kullanıldığında panel üzerinde kireçlenme olduğu görülmektedir [19]. Bu durum başlı başına panel verimini olumsuz etkilemektedir. Çalışmada, su ile soğutmanın etkisini tam analiz edebilmek için bu olumsuzluktan kurtulmak adına kireçten arındırılmış 25 °C su ile panel yüzeyi soğutulmuş ve kireçlenme sorununun önüne geçilmiştir. Soğutma işleminde kullanılan su panel yüzeyindeki toz vb. birikintileri de beraberinde

götürdüğünden suyun geri kazanımı için akan suyu toplayan oluklar yapılmış ve toplanan su, küçük bir pompa ve bu pompanın girişine takılan bir filtre ile geri kazanılmıştır.

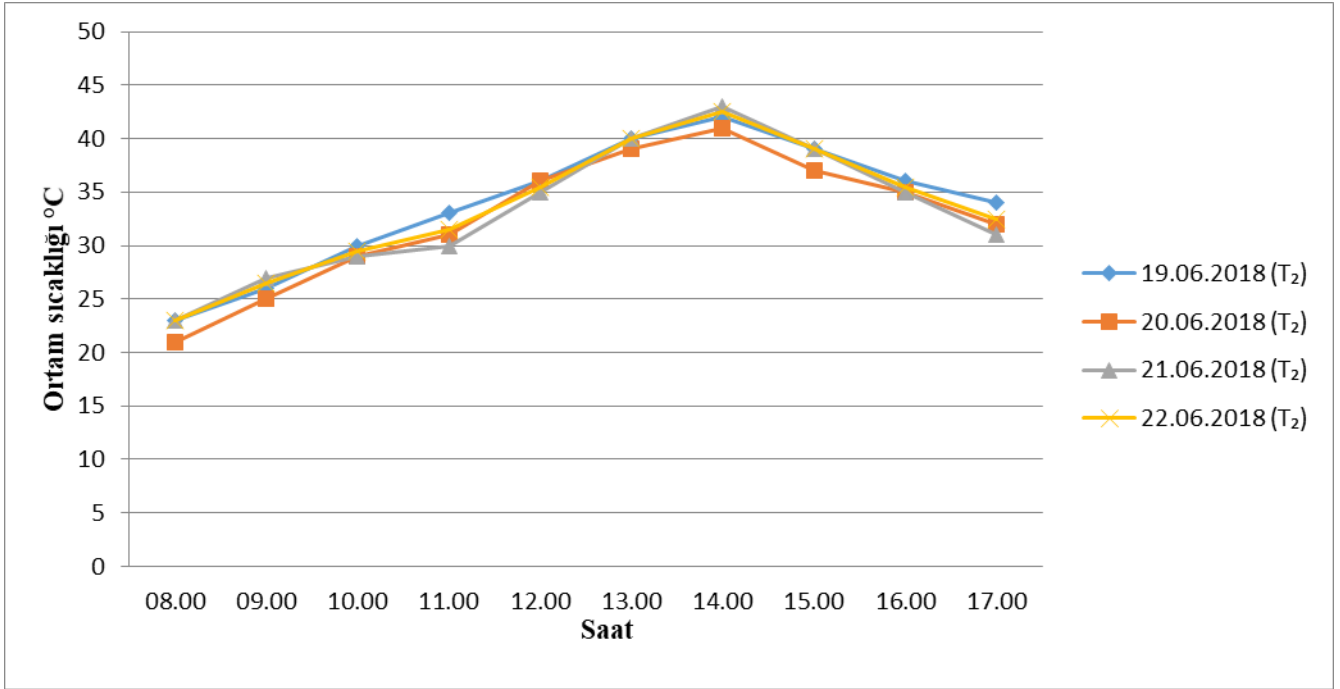
Ön görülen hava şartlarına bağlı olarak soğutma sistemi testi için hava sıcaklığının en yüksek olduğu dört gün (19-20-21-22 Haziran 2018) belirlenmiş ve ölçümler bu günlerde gerçekleştirilmiştir. Bu günlere ait Şekil 10'da verilen Piranometre kullanılarak ölçülen ışınım değerlerini gösteren grafik Şekil 11'de ve ortam sıcaklığı değerini gösteren grafik Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 10. Uygulamada kullanılan piranometre (SolarEdge SE1000-SEN-IRR-S1) [20]



Şekil 11. Deneylerin yapıldığı günlere ait ölçülen ışınım değerleri



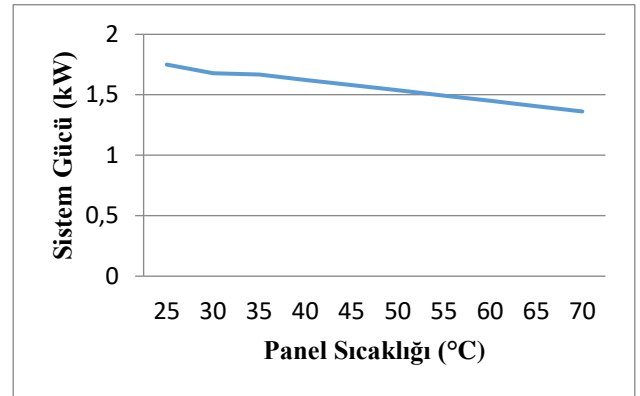
Şekil 12. Deneylerin yapıldığı günlere ait ortam sıcaklık değerleri

Ölçülen ışınım değerleri dört gün boyunca birbirine çok yakın değerlerdedir. Sistemin verim analizi için gerilim ve akım değeri ölçümleri ise ikişer gün halinde soğutmalı ve soğutmasız sistem ile yapılmıştır. Böylece yapılan ölçüm sonuçlarını karşılaştırma imkânı oluşmuştur.

Kullanılan 1,75 kW'lık sistemin T-I, T-V ve T-P karakteristiğini tespit edebilmek için öncelikle soğutma sistemini devreye almadan ölçümler yapılmıştır. Çizelge 4'te verilen ölçüm değerlerine göre kullanılan panellerin sıcaklık-güç karakteristiği Şekil 13'te verilmiştir. Tablo 4'te de görüleceği gibi sistem soğutmasız ve normal şartlar altında çalışırken modül sıcaklığının 25 °C'den 70 °C'ye kadar çıkması güçte %38,7'lik kayba neden olmaktadır.

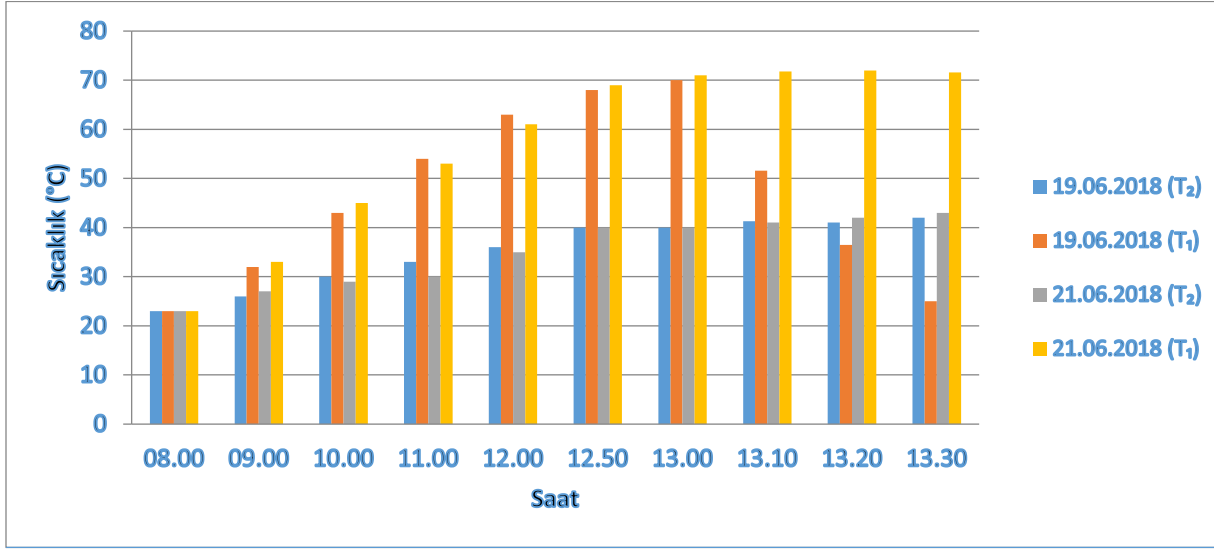
Tablo 4. Sıcaklığa bağlı sistemin akım ve gerilim değerleri

Sıcaklık (°C)	Sistem Gerilimi (V)	Akım (A)	Güç (kW)
25	616,0	2,850	1,750
30	600,6	2,850	1,679
35	585,2	2,851	1,668
40	569,8	2,851	1,624
45	554,4	2,852	1,581
50	539,0	2,852	1,537
55	523,6	2,853	1,493
60	508,2	2,853	1,450
65	492,8	2,854	1,406
70	477,4	2,854	1,363



Şekil 13. Soğutmasız sistem gücünün panel sıcaklığı ile değişimi

Şekil 14'te 19-20 Haziran tarihinde soğutmalı sistem ile 21-22 Haziran tarihinde soğutmasız sistem için panel yüzeylerinin sıcaklık değişimleri saatlere göre verilmiştir. Ölçümler sonucunda soğutma yapılarak, sistemde %64,3'lük sıcaklık düşüşü gözlenmiştir.



Şekil 14. Soğutmalı ve soğutmasız sisteme ait sıcaklık verileri

Su pompasının kontrollü çalışma ile sistemdeki sıcaklık değişimine bağlı olarak su sirkülasyonu hızı kontrol edilmiş olup, panel soğutma için tam kontrollü bir sistem elde edilmiştir. Sıcaklık değerinin en yüksek seviyeye çıktığı saatler 13:00-13:30 arasında olduğundan deneyler bu saatler arasında yapılmıştır. Soğutma işleminin uygulanmadığı 21.06.2018 tarihinde saat 13.30'da ortam sıcaklığı 43 °C iken panel yüzey sıcaklığı 71,6 °C'ye çıktığı görülmüştür. Soğutma işleminin yapıldığı 19.06.2018 tarihinde saat 13.30'da ortam sıcaklığı 42 °C iken panel yüzey sıcaklığı 25 °C'ye inmiştir.

19.06.2018 tarihinde yapılan soğutmalı sistem verileri Tablo 5'te verilmiştir. Tablo 5'te de görüldüğü gibi sıcaklığın 70 °C'den 25 °C'ye düşürülmesi için sistem yaklaşık 30 dakika aktif kalmıştır. Bu süre içerisinde güçte 0,34 kW'lık artış olmuştur. Yani 30 dakika içerisinde güçte %24,3 oranında artış sağlanmıştır. Tablo 6'da deneysel verilerin günlere göre değişimi verilmiştir. Tablo 6'daki deneysel verilere göre ortam sıcaklığının ve ışınım değerinin birbirine en yakın olduğu günler kıyaslanırsa; 4. gün olan 22.06.2018 tarihinde; ortam sıcaklığının 41,8 °C, panel sıcaklığının 67,2 °C olduğu durumda sistem gücünde %18,7 oranında azalma olmuştur. Elektriksel verim ise %8,3 olarak hesaplanmıştır. 1. gün olan 19.06.2018 tarihinde ise; ortam sıcaklığının 42 °C olduğu ve panel sıcaklığının 70 °C olduğu anda soğutma sistemi devreye girmiş ve panel sıcaklığı 25 °C'ye düşene kadar çalışmıştır. Sistem gücünde %24,3'lük artış sağlanmıştır. Elektriksel verim ise %10,5 olarak hesaplanmıştır. Bu şartlarda Elektriksel verimde %2,2 oranında artış sağlanmıştır.

Tablo 5. 19.06.2018 tarihinde soğutulan sistemin çıkış verileri

Zaman (Saat)	Panel Yüzey Sıcaklığı (°C)	Gerilim (V)	Akım (I)	Güç (kW)
13.00	70,0	490,0	2,85535	1.399
13.01	68,1	495,3	2,85501	1.414
13.02	66,2	500,6	2,85467	1.429
13.03	64,3	506,0	2,85433	1.444
13.04	62,4	514,3	2,85399	1.468
13.05	60,5	521,6	2,85365	1.488
13.06	58,7	528,6	2,85331	1.508
13.07	56,8	532,0	2,85297	1.518
13.08	54,9	538,3	2,85263	1.536
13.09	53,2	542,0	2,85229	1.546
13.10	51,6	546,5	2,85195	1.559
13.11	49,2	551,2	2,85161	1.572
13.12	47,5	556,0	2,85127	1.585
13.13	45,8	559,8	2,85093	1.596
13.14	44,2	561,2	2,85059	1.600
13.15	42,5	565,0	2,85025	1.610
13.16	40,9	567,5	2,84991	1.617
13.17	39,2	569,2	2,84957	1.622
13.18	38,3	571,8	2,84923	1.629
13.19	37,4	573,3	2,84889	1.633
13.20	36,5	576,8	2,84855	1.643
13.21	35,6	580,3	2,84821	1.653
13.22	34,7	584,8	2,84787	1.665
13.23	33,6	590,9	2,84753	1.683
13.24	32,2	593,1	2,84719	1.689
13.25	31,1	597,9	2,84685	1.702
13.26	29,5	600,4	2,84651	1.709
13.27	28,1	606,3	2,84617	1.726
13.28	27,2	608,8	2,84583	1.733
13.29	26,3	610,4	2,84549	1.737
13.30	25,0	611,3	2,84546	1.739

Tablo 6. Deneysel veriler

	Gün	Saat	Gerilim (V)	Akım (A)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	Işınım (kW/m ²)	Verim
Soğutmalı	19.06.2018	13.30	611,3	2,8454	25	42	1097	0,105
	20.06.2018	13.30	612,1	2,8438	25	39,8	1112	0,104
Soğutmasız	21.06.2018	13.30	490	2,8553	70	42,1	1076	0,086
	22.06.2018	13.30	500,6	2,8546	67,2	41,8	1135	0,083

1. günde yapılan deneylere göre, sistem soğutmasız çalışırken gücü 1,39 kW'a düşmüştür. Sistem soğutulduğunda ise güç 1,739 kW olacaktır. Otomasyon sisteminde kullanılan su pompasının gücü 0,372 kW (0,5 HP) tr. Pompanın yarım saat çalışması 0,186 kWh güç harcaması demektir.

5. Sonuçlar

Kurulan sistemde incelenen panellerin 1000 W/m² ışınım değeri ve 25 °C sıcaklıkta ısıl verimi %13,2'dir. Panellerde verim modülün sıcaklık artışı ile azalmaktadır. Bu verim düşüşü uzun vade de büyük kayıplara neden olmaktadır. Deneysel çalışma ile 1,75 kW'lık bir tesisin verimdeki kayıplarını en aza indirmek için otomasyonlu su ile panel ön yüzey soğutması yapılmıştır.

Deneyde ışınım ve sıcaklık değerleri en yüksek ve birbirine en yakın olan 4 gün belirlenmiştir. Soğutmasız çalışan sistemin panel sıcaklığı ve gücü ile soğutmalı çalışan sistemin panel sıcaklığı ve gücü karşılaştırılarak verim analizi yapılmıştır. Güneş enerji sistemleri için en yüksek verimi görmeleri gereken saatler öğle saatleriyken bu saatlerde panellerin aşırı ısınmasından kaynaklı verim oldukça düşmektedir. Deneysel çalışmada ortam sıcaklığı 42,1 °C iken panel yüzey sıcaklığı 70 °C'ye ulaşmıştır. Soğutma sistemi devreye girip yarım saatlik soğutma yaptıktan sonra panel yüzey sıcaklığı 25 °C'ye düşürülerek %64,3'lık azalma sağlanmıştır.

Sonuç olarak ışınım değeri en yüksek illerimizden olan Antalya ilinde yapılan deneylerde soğutma işlemi ile birlikte güçte %24,3'lük, verimde ise %2,2'lik artış sağlanmıştır.

Semboller

V	Gerilim (Volt)
I	Akım (Amper)
P	Güç (Watt)
PV	Fotovoltaik Panel
MPPT	Maksimum Power Point Tracker
MGN	Maksimum Güç Noktası
E	Işınım (W/m ²)
G	Güneşlenme düzeyi (W/m ²)
η_p	Panel Verimi
A	Kollektör Alanı (m ²)
NOCT	Nominal Test Koşulları

P_m	Panel Çıkış Gücü
T_1	Panel Hücre Sıcaklığı
T_2	Hava Sıcaklığı

Kaynaklar

- [1] Royne A, Dey CJ, Mills DR. Cooling of photovoltaic cells under concentrated illumination: a critical review. *Solar energy materials and solar cells*, 86(4), 451-483, 2005.
- [2] Liu L, Zhu L, Wang Y, Huang Q, Sun Y, Yin Z. Heat dissipation performance of silicon solar cells by direct dielectric liquid immersion under intensified illuminations. *Solar Energy*, 85(5), 922-930, 2011.
- [3] Zhu L, Boehm RF, Wang Y, Halford C, Sun Y. Water immersion cooling of PV cells in a high concentration system. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 95(2), 538-545, 2011.
- [4] Sheeba KN, Rao RM, Jaisankar S. A study on the underwater performance of a solar photovoltaic panel. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 37(14), 1505-1512, 2015.
- [5] Ömeroğlu G. Fotovoltaik - Termal (PV/T) Sistemin Sayısal (CFD) ve Deneysel Analizi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(1), 161-167, 2018.
- [6] Gedik E. Experimental Investigation of Module Temperature Effect on Photovoltaic Panels Efficiency. *Journal of Polytechnic*, 19(4), 569-576, 2016.
- [7] Rahman MM. Effects of various paramaters on PV-module power and efficiency. *Energy Conversion and Management*, 103, 348-358, 2015.
- [8] Kabul A, Duran F. Isparta İlinde Fotovoltaik/Termal (PV/T) Hibrit Sistemin Performans Analizi. *SDU International Technologic Science*, 6(1), 31-43, 2014.
- [9] Bozkurt ON. Güneş Enerjisi Santrallerinde Panel Kirliliği ve Panel Temizliği. <https://www.yenienerji.com/teknik/gunes-enerjisi-santrallerinde-panel-kirliligi-ve-panel-temizligi> (Erişim Tarih: 02.05.2019).
- [10] Kızılkın, Ö. *Arkadan su soğutma ile fotovoltaik panellerin verimliliğinin artırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Siirt Üniversitesi, 2017.

- [11] Altınışık U. *Su Soğutma İle Fotovoltaik Panellerin Verimliliğinin Arttırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Siirt Üniversitesi, Siirt, Türkiye, 2016.
- [12] Erkul A. *Monokristal, Polikristal ve Amorf-Silisyum güneş panellerinin verimliliğinin incelenmesi ve aydınlatma sistemi uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2010.
- [13] Sarhaddi F, Farahat S, Ajam H, Behzadmehr A. Exergetic performance assessment of a solar photovoltaic thermal (PV/T) air collector. *Energy and Buildings*, 42(11), 2184-2199, 2010.
- [14] Sobhnamayan F, Sarhaddi F, Alavi MA, Farahat S, Yazdanpanahi J. Optimization of a solar photovoltaic thermal (PV/T) water collector based on exergy concept. *Renewable Energy*, 68, 356-365, 2014.
- [15] Tonui JK, Tripanagnostopoulos Y. Air-cooled PV/T solar collectors with low cost performance improvements. *Solar Energy*, 81, 498-511, 2007.
- [16] Anonim. <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/tgues.html> (Erişim Tarihi 05.02.2019).
- [17] Moharram KA, Abd-Elhady MS, Kandil HA, El-Sherif H. Enhancing the performance of photovoltaic panels by water cooling. *Ain Shams Engineering Journal*, 4(4), 869-877, 2013.
- [18] Karamanav, M. *Güneş enerjisi ve güneş pilleri*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2007.
- [19] Anonim. Güneş Paneli Bakımı ve Temizliği, <http://www.solarportal.com/gunes-paneli-bakimi-ve-temizligi> (Erişim Tarihi: 17.03.2019).
- [20] Onay E. *Fotovoltaik Panellerin Verimliliğinin Artırılmasında Otomasyon Sistemli Su Soğutma Uygulaması: Antalya Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, 2019.
- [21] Boz O. *Günümüzün alternatif enerji kaynağı güneş pilleri*. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 2011.
- [22] Anonim. <http://www.solarportal.com/gunes-paneli-bakimi-ve-temizligi> (Erişim Tarihi: 17/03/2019).
- [23] Deepali K, Tiwari GN. Determination of efficiency of hybrid photovoltaic thermal air collectors using artificial neural network approach for different PV technology. *BVICAM's Int. J. Inf. Technol*, 4(1), 397-404, 2012.
- [24] Demirbaş A, Bakıs R. Energy from renewable sources in Turkey: status and future direction. *Energy Sources* 26, 473-484, 2004.
- [25] Fıratoğlu ZA, Yeşilata B. Lineer elektriksel yüke bağlı PV panellerin optimizasyonu ve bölgesel uygulanabilirliğinin araştırılması, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1(1), 65-72, 2003.
- [26] Koç İ, Başaran K. PV/T Tabanlı Bir Sistemde MATLAB/Simulink Kullanılarak Yapılan Performans Analizi. *Politeknik Dergisi*, 22(1), 229-236, 2019.
- [27] Kostic L, Pavloviz T, Pavlovic Z. Optimal design of orientation of PV/T collector with reflector. *Applied Energy*, 87(10), 3023-3029, 2010.
- [28] Keçel S, Güçlü Yavuzcan H. Türkiye'deki bölgesel sıcaklık değişimlerinin güneş panellerinin verimliliklerine etkisi, *Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22, 12-20, 2008.
- [29] Zimmermann S. A high-efficiency hybrid high-concentration photovoltaic system. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 89, 514-521, 2015.