



Fotovoltaik (PV) Panel Sisteminde Yüzey Soğutma İşleminin Elektrik Üretimine Etkisinin Deneysel İncelenmesi

Experimental Investigation of The Effect of Surface Cooling on Photovoltaic (PV) Panel System for Electricity Production

Alper Kerem^{*1} , Mehmet Atik² , Aydın Bayram² 

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 46100, K.Maraş, TÜRKİYE

²Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 80000, Osmaniye, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 14/12/2019

Kabul / Accepted: 20/05/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Bu çalışmada güneş paneli (PV) yüzeyi soğutma işleminin elektriksel verime olan etkisi araştırılmak istenilmiştir. Bu maksatla özdeş her biri 50cmx100cm olan ve 80W güçte iki adet PV Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'ne montajlanmıştır. Yan yana ve eş açılarla montajlanan panellerden birinin üst kısmına suyu homojen bir şekilde gönderebilecek bir boru sistemi yerleştirilmiştir. Boru içerisinden belirli periyotlarda soğuk su gönderilerek PV yüzey alanının soğutulması sağlanmıştır. Her iki durumda da ölçülen akım, gerilim ve güç değerleri kayıt altına alınarak performans kıyaslaması yapılmıştır. Çalışmada PV yüzey sıcaklığı 32oC'den 19oC'ye düşürüldüğünde üretilen elektriksel güç değeri 5 günün sonunda ortalama 79,621W'tan 91,149W'a çıkarılarak %14,47 verim artışı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

Fotovoltaik (PV) panel, güneş enerjisi, su soğutma, verim, elektrik üretim

Abstract

It's aimed to investigate the effect of photovoltaic panel (PV) surface cooling on electrical efficiency in this paper. For this aim each of the two PV which were 50cmx100cm and 80W power, mounted in Osmaniye Korkut Ata University at Engineering Faculty. A pipe system was placed on top of one of the PV that was mounted side by side and at the same angles, which could send water homogeneously. The cold water was sent from the pipe in certain periods, and the PV surface area was cooled. The current, voltage and power values were recorded and performance comparison was performed in both cases. When the PV surface temperature was decreased from 32°C to 19°C, the electrical power was increased from 79,621W to 91,149W at the end of 5 days, and 14,47% efficiency increase was observed.

Key Words

Photovoltaic (PV) panel, solar energy, water cooling, efficiency, electricity production

1. Giriş

Hızla gelişen teknoloji ve artan dünya nüfusu enerjiye olan talebi günden güne hızlandırmaktadır. Enerji üretimi açısından yenilenemeyen enerji kaynaklarının doğadaki sınırlı rezervlerinin kalması ve çevreye verdikleri zararlar yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi hızlandırmıştır. Güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında en çok tercih edilen enerji çeşidi olarak yerini almıştır.

Güneş ile elektrik enerjisi üretmenin yolları arasında başlıca PV teknolojisi gelmektedir. Bu teknolojinin ilk dönemlerinde veriminin düşük ve fiyatının pahalı olması sebebiyle pek tercih edilemezken (Muntasser vd. 2000) gelişen teknoloji ile verimleri artırılıp fiyatlarının düşürülmesiyle cazip hale gelmiştir. Buna rağmen PV verimini başta gölgelenme ve sıcaklık olmak üzere birçok parametre olumsuz yönde etkilemektedir.

PV sistemlerin verimlerinin artırılmasıyla ilgili literatür çalışmaları incelendiğinde Gül ve Akyüz (2019) PV verimini artırmak için su ile PV yüzey sıcaklığını düşürmek istemişlerdir. Üç farklı akışkan hızlarında (0,015kg/s, 0,044kg/s ve 0,069kg/s) yapılan ölçümlerde sistemin termal veriminin %49,9 ile %52,11 arasında değiştiğini ve 12,9W'lık maksimum güç artışı ile %12 elektriksel verim artışı gözlemlenmiştir. Rawat vd. (2017) PV yüzeyini soğutmak için PV/T sisteminde hava ve su kullanmışlardır. PV verimlerini hava ile %6,5 ve su ile %7,5 artırmışlardır. Du vd. (2016) panel yüzey sıcaklığının verime olan etkisini incelemek için rüzgâr hızının 4m/s'den fazla olduğu bir günde PV yüzey sıcaklığının 40oC altına indirilebildiğini ve PV verimini %9'a yükseltebildiklerini göstermişlerdir. Sahay vd. (2015) PV hücrelerinde sıcaklık artışına bağlı olarak 1oC sıcaklık artışında %0,85 verim düşüşü kaydetmişlerdir. PV'deki bu düşüşü minimize etmek için düşük maliyetli bir soğutma sistemi yapılmasını ve PV'lerin soğutulmasında uzaklaştırılan ısının ise evsel veya endüstriyel kullanımlar için uygun olabileceğini belirtmişlerdir. Chandler vd. (2015) monokristal PV'lerde sıcaklığın etkisini panellerin seri ve paralel bağlanması durumuna göre incelemişlerdir. 25-60oC aralığında hücre sıcaklığındaki PV ile 550W/m² ışınımı bulunan ortamda deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Sıcaklığın açık devre gerilimi, dolun faktörü ve verimi düşürdüğünü, aksine kısa devre akımını ise artırdığını gözlemlenmiştir. Fudholi vd. (2014) fotovoltaiik/termal (PV/T) sistemde 800W/m² ışınım seviyesinde ve farklı debilerde su kullanarak elektriksel verimi %13,8, termal verimi ise %54,6 gözlemlenmiştir. Farklı debilerde yapılan analizlerde akış hızının panel yüzeyi soğutulması ve termal enerji performansını etkilediğini göstererek, suyun debisini 0,041kg/s'den 0,024kg/s'ye indirdiklerinde sıcaklığın önemli ölçüde etkilendiğini belirtmişlerdir. Kabul ve Duran (2014) sıcaklığın 39,9oC olduğu bir günde özdeş iki panelden (175W) birinin arka yüzeyine borular yerleştirmiş ve içinden soğuk su çevrimi yaparak panel yüzeyini soğutmuşlardır. Yüzey soğutmalı PV'de %35'lik güç artışı ve %7'lik verim artışı gözlemlenmiştir. Ike vd. (2013) ortam sıcaklığının PV performansına etkisini araştırmış ve ortam sıcaklığı ile sistemin güç çıkış performansı arasında dolaylı bir orantı olduğunu göstermişlerdir. PV'lerin daha fazla hava akımına maruz kalabilecekleri bir yere montajlanmasıyla PV yüzeylerinin aşırı ısınmadan daha az etkilendiğini ve PV yüzey sıcaklığının düşük kaldığını dolayısıyla güç çıkışının daha yüksek olduğunu gözlemlenmiştir. Bhaidarah vd. (2013) PV performansına sıcaklığın etkisini araştırmak için PV'nin arka yüzeyinden soğuk su dolaştırmışlar ve aktif soğuma yapmışlardır. Modül sıcaklığını %20 azaltarak verimi %9 artırmışlardır. Tyagi vd. (2012) PV/T hibrit sistemler için araştırma, geliştirme ve uygulanabilirliğine ilişkin genel bir araştırma yapmışlardır. Çalışmalarında PV/T soğutma kullanarak %7 verim artışı elde etmişlerdir. Teo vd. (2012) sıcaklığın belirgin şekilde artmasıyla PV sistemlerindeki elektriksel verimin olumsuz yönde etkilendiğini gözlemlenmiştir. Çalışmalarında aktif soğutma için havayı homojen olarak PV panelin arkasından dolaştırıp soğutmayı başarmışlar ve %12-14'lük verim artışı elde etmişlerdir. Kamkird vd. (2012) sıcaklığın akım, gerilim, güç ve verim üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Silisyum PV'nin diğer panellere göre sıcaklığın olumsuz etkisinden daha az etkilendiğini göstermişlerdir. Sarhaddi vd. (2010) panel altına yerleştirdikleri hava kanalları ile soğutma yapmışlardır. PV/T hava toplayıcının termal ve elektriksel parametrelerini hesaplamak için simülasyon geliştirmişlerdir. PV/T hava toplayıcısının ısı verimi, elektriksel verimi ve toplam enerji verimleri sırasıyla %17,18, %10,01 ve %45 olarak gözlemlenmiştir. Engin vd. (2005) doğal ve zorlanmış (pompa) sistemleri İzmir ili iklim koşullarında incelemişlerdir. Doğal dolaşimli sistem ve pompa yardımıyla oluşturdukları zorlanmış dolaşimli sistem üzerinde yaptıkları deneyde elektriksel verimi %4,5 artırmışlardır.

Literatür çalışmaları Tablo 1'de sunulmuştur

Tablo 1. Literatür çalışmaları

Çalışma modelleri	PV cinsi	Verim artışı	Referans
PV/T soğutma sistemi (su)	monokristal	%12	Gül ve Akyüz (2019)
PV/T hibrit sistem incelemesi (su-hava)	polikristal	%6,5-7,5	Rawat vd. (2017)
PV yüzeyinde rüzgâr etkisi inceleme (hava)	belirtilmemiştir	%9	Du vd. (2016)
PV sıcaklık etkisi inceleme	belirtilmemiştir	0,85	Sahay vd. (2015)
PV sıcaklık etkisi inceleme	monokristal	-	Candler (2015)
PV soğutma sistemi (su)	belirtilmemiştir	%13,8	Fudholi vd. (2014)

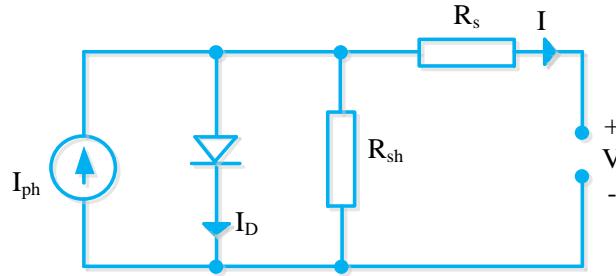
Tablo 1 (devam). Literatür çalışmaları

Çalışma modelleri	PV cinsi	Verim artışı	Referans
PV soğutma sistemi (su)	monokristal	%7	Kabul ve Duran (2014)
PV sıcaklık etkisi inceleme (hava)	monokristal	-	Ike vd. (2013)
PV soğutma sistemi (su)	monokristal	%9	Bhaidarah vd. (2013)
PV/T hibrit sistem inceleme (su-hava)	belirtilmemiştir	%7	Tyagi vd. (2012)
PV modüllerde aktif soğutma (hava)	polikristal	%12,5	Teo vd. (2012)
PV sıcaklık etkisi inceleme (hava)	polikristal	-	Kamkird vd. (2012)
PV soğutma sistemi (hava)	monokristal	%10,01	Sarhaddi vd. (2010)
PV verimi etkileyen faktörler (hava)	polikristal	%4,35	Engin vd. (2005)

Bu çalışmada PV yüzey sıcaklığının elektriksel verime olan etkisi araştırılmak istenilmiştir. Bu amaçla aynı ebat ve aynı teknik özelliklere sahip özdeş iki güneş panellerinden (PV-1 ve PV-2) birine yüzey soğutma işlemi yapılmıştır. Her iki PV panelde üretilen akım, gerilim ve güç değerleri tablolar halinde kıyaslamalı bir şekilde sunularak verim farklılıkları deneysel bir şekilde incelenmiştir.

2. PV Sistem

Şekil 1’de verilen PV eşdeğer devresinde I : dış devreye aktarılan akım (A), I_D : diyot akımı (A), I_{ph} : ters sızıntı akımı (A), R_s ve R_{sh} : göz verimliliklerini etkileyen dirençlerdir (R) (Bayrak ve Cebeci, 2012).



Şekil 1. PV eşdeğer devresi (Bayrak ve Cebeci, 2012)

Şekil 1’deki devreye Kirschoff uygulandığında dış devreye aktarılan I akımı $I = I_g - I_d$ olmaktadır.

$$I = I_{PH} - I_D = I_{PH} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q \cdot V}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) \quad (1)$$

Burada q : elektron yükü ($1,6 \times 10^{-19} C$), k : Boltzman sabiti ($1,38 \times 10^{-23}$), T : Kelvin biriminden sıcaklık, n : diyot faktörüdür (Bayrak ve Cebeci, 2012). Buna göre (1) nolu denklemde $V=0$ değerinde kısa devre akımı, $I=0$ ’da açık devre gerilimi V tanımlanabilmektedir. Açık devre gerilimini bulmak için;

$$V_0 = \left(\frac{n \cdot k \cdot T}{q} \right) \cdot \ln \left[\frac{I_{ph} + I_0}{I_0} \right] \quad (2)$$

kullanılır. PV akımını ve gerilimini değiştirmek için seri veya paralel bağlama yöntemleri kullanılmaktadır. N_s kadar seri ve N_p kadar paralel bağlı sistem için akım-gerilim ilişkisi (Bayrak ve Cebeci, 2012);

$$I_p = N_p \cdot I_g - N_p \cdot I_0 \cdot \left(e^{\frac{q \cdot V_p}{N_s \cdot n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) \quad (3)$$

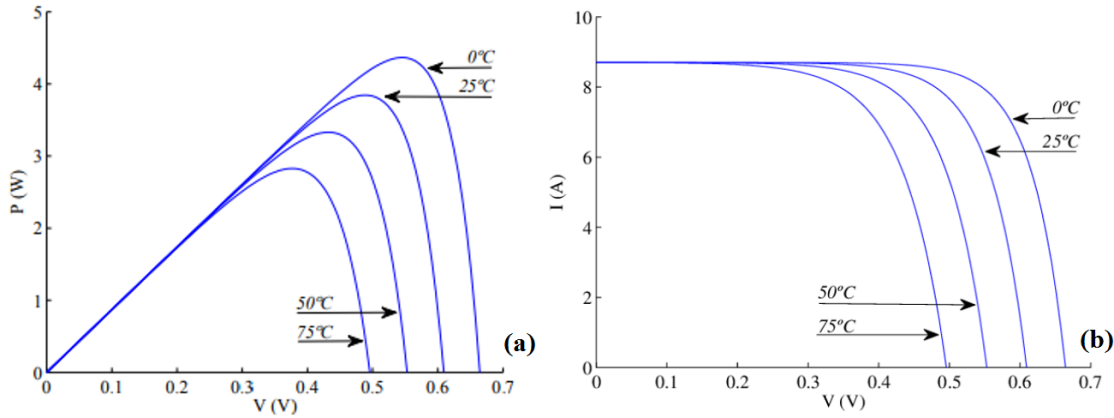
şeklinde ifade edilir.

PV sistemde üretilen güç değerini panel ebatları, montaj açısı, ışınım şiddeti, yüzey/çevre sıcaklığı, rüzgâr, tozlanma, gölgelenme, inverter, AC ve DC kablo kaybı, uyumsuzluk gibi parametreler olumsuz şekilde etkilemektedir (Işıker vd. 2006; Deniz 2013). Tablo 2’de PV verimini etkileyen parametreler ve açıklamaları verilmiştir.

Tablo 2. PV verimini etkileyen parametreler

Parametre	Açıklama	Etki oranı	Referans
Gölgelenme	Sisteme güç kaynağı yerine yük bağlanmış gibi bir etki oluşturacağından güç tüketimine sebep olmakta ve verim kaybına yol açmaktadır	%7	Rodrigues vd. (2011) Sathyanarayana vd. (2015)
Sıcaklık	Aşırı ısınma panel verimini önemli ölçüde azaltmaktadır	%4,60	Wardowski vd. (1996)
Yansımama	Bir foton n tipi ve p tipi malzeme üzerine düştüğünde yasak bant aralığından daha büyük enerjiye sahip olan fotonlar eşit sayıda elektron ve boşluk çifti oluştururlar. Güneşten gelen ışınının %100'ü kullanılmaz ve bir kısmı geri yansır	%2,50	Navruz (2013)
Tozlanma	Oluşan toz panel üzerine gelen ışınının azalmasına yol açarak geçirgenliği azaltmakta ve kısa devre akımını etkileyerek verimi azaltmaktadır	%2	Boppa (2015)
İşınım	Enerjinin güneşten tanecik biçiminde yayılmasıdır ve gelen ışınının %100'ü kullanılmaz, bir kısmı geri yansır	%1,50	Navruz (2013)
Spektrum	Fotovoltaik olayda güneş ışığını soğuracak malzeme yasak enerji aralığı güneş spektrumu ile uyumlu ve elektrik yüklerinin birbirinden ayrılabilmesine izin verebilecek özellikte bir yarı iletken olmalıdır	%1	Grunov vd. (2009)
DC kablo kaybı	Sistemde kullanılan kabloların iç direncinden kaynaklanan kayıplardan kaynaklanır	%5	Deniz (2013)
İnverter	İnverterdeki yarı iletken, manyetik malzeme ve kapasitörlerin iletim ve anahtarlama kayıplarına bağlıdır	%3	Giesler (2010)
AC kablo kaybı	Sistemde kullanılan kabloların iç direncinden kaynaklanan kayıplardır	%1	Deniz (2013)
Uyumsuzluk	Şebekeye bağlı bir sistemde uygun gerilim seviyesine ulaşmak için çok sayıda hücre kullanılır. Bu durum çok sayıda PV hücresinin birbirine seri bağlı olarak aynı DC akımda çalışmasına yol açar	%0,70	Sathyanarayana vd. (2015)

PV sistemlerde panel verimliliğini etkileyen önemli etmenler arasında sıcaklık gelmektedir. Aşırı ısınma panel verimini önemli ölçüde azaltmaktadır (Wardowski vd. 1996). Hücre sıcaklığındaki her 1°C artışta üretilen gerilim yaklaşık 0,5V azalmaktadır (Rodrigues vd. 2011). Şekil 2'de 0-75 °C sıcaklıklarındaki P-V ve I-V grafikleri gösterilmiştir.

**Şekil 2.** 0-75 °C sıcaklıklarındaki (a) P-V grafiği (b) I-V grafiği (Rodrigues vd. 2011)

PV hücre sıcaklığı (T_c), istenilen bir hava sıcaklığı (T_a) ve ışınım (G) değeri için nominal hücre işletim sıcaklığı kullanılarak tahmin edilebilmektedir;

$$T_c = T_a + \frac{\text{Nominal İşletme Sıcaklığı} - 20}{0,8} G \left(\frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \right) \quad (4)$$

Bulunan sıcaklık değeri, panel gücünün sıcaklığa bağımlılık katsayısı (μ_p) ile kullanılarak PV çıkış gücü hesaplanabilir;

$$P_m(T_c) = P_{m,STC} [1 - \mu_p (T_c - 25)] \quad (5)$$

Burada (P_m), STC standart test koşullarındaki panel gücünü ifade etmektedir. PV'lerde (T_c) nominal hücre işletme sıcaklığı 40-50°C aralığında değişmektedir. Aradaki bu 10°C'lik fark sıcaklığa bağımlılık katsayısını (μ_p) ifade etmektedir. μ_p değeri 0,30-0,40%/K alındığında %3,0-4,0 aralığında bir güç farklılığı ortaya çıkmaktadır (Karatepe vd. 2007).

3. Metot

Bu deneysel çalışmada PV yüzey soğutma işleminin PV üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla iki adet özdeş PV (PV-1 ve PV-2) kullanılmıştır. Her biri 80W güçteki PV modüllerinden birinin yüzey alanı su ile soğutulmuştur. Soğutma işlemi uygulanan (PV-1) ve uygulanmayan (PV-2) modüllerde üretilen akım, gerilim ve güç değerleri her saat başında beş (5) gün boyunca kayıt altına alınmıştır. Şekil 3'te kurulan deney setinin koordinatı gösterilmiştir.



Şekil 3. Proje montaj koordinatları

PV modüllerinin maksimum seviyede elektrik enerjisi üretilebilmesi için güneşten gün boyunca en fazla yararlanacak açı ile montajlanması gerekmektedir. Bu sebeple Osmaniye ilinin enlemi dikkate alınarak panel açıları 34° olarak ayarlanmış ve 37°02'18.0" N ve 36°13'20.3" E koordinatlarına montajlanmıştır. Deney setinde kullanılan PV ve montaj bilgileri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Deney seti bilgileri

koordinat		mevki		montaj açısı	deney zamanı	ölçüm sıklığı	ölçüm süresi	
37°02'18.0" N ve 36°13'20.3" E		Osmaniye/ Merkez		34°	Nis.2019	60dk	5gün	
hücre tipi	nominal güç	max. gerilim	max. akım	açık devre gerilimi	kısa devre akımı	max. sistem gerilimi	tolerans	ebat (boy/en)
polikristal	80W	18V	4.44A	22,1V	4,86A	1000V	± %5	50cm x 100cm

Yüzey soğutması yapılmak istenilen panelin (PV-1) yüzeyine suyun homojen bir şekilde dağılabilmesi için boru sistemi tasarlanmıştır. Borulardan su çevrimi yapılarak PV-1 yüzeyine püskürtülmüştür. Analizlerin sağlıklı yapılabilmesi için PV-1'e püskürtülen su sıcaklığı, panel yüzeyini dolaştıktan sonra kovaya akıtılan su sıcaklığı ve her iki panelin (PV-1 ve PV-2) yüzey sıcaklıkları ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Bu işlemler 30dk'lık periyotlarda avometre (tt techni MY 62) ile kayıt altına alınmıştır. Deney seti Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Deney seti

Deney süresince PV yüzeylerinde dikkate alınmayacak miktarda kireç oluşumu ve az miktarda toz parçacıkları tespit edilmiştir. Yüzey kirecinin oluşumuna püskürtülen sudaki az miktardaki kireç sebep olurken, toz parçacıklarının sebebi ise arazide rüzgâr kaynaklı uçan toz parçacıkları olmuştur. Bu her iki durumun panel verimini etkilememesi için belirli periyotlarda ve hızlı bir şekilde nemli bir bez ile yüzey temizliği yapılmıştır.

4. Araştırma Bulguları

Bu çalışmada, Osmaniye ili iklim koşullarında 25-29.04.2019 tarihleri arasında 60dk aralıklı PV paneli yüzey soğutma işleminin PV verimine etkisi incelenmiştir. Aynı koordinat ve aynı açılarla montajlanan iki özdeş PV'lerden birinin yüzeyine soğuk su püskürtülerek soğutma işlemi yapılmış ve elektriksel verim değişimi gözlemlenmiştir. Soğutma işlemi soğutma suyunun panel yüzeyinden homojen bir şekilde geçirilmesi ile gerçekleştirilmiş ve panel yüzeyinde oluşan fazla ısının suya aktarılması sağlanmıştır. Soğutma yapılan panele (PV-1) ait yüzey sıcaklığı 19°C , soğutma yapılmayan panelin (PV-2) yüzey sıcaklığı ise $30-32^{\circ}\text{C}$ civarında olduğu gözlemlenmiştir.

Deney esnasında panellerin yüzey sıcaklıkları, ortam sıcaklığı ve panele püskürtülen su sıcaklığı olmak üzere 8 farklı noktadan sıcaklık değerleri sıcaklık probu kullanılarak ölçülmüş ve kaydedilmiştir. PV-1 ve PV-2 çıkışlarına reosta bağlanmış ve multimetre yardımı ile akım ve gerilim değerleri ölçülerek grafiklere aktarılmıştır. PV-1 ve PV-2'de ölçülen akım, gerilim ve güç değerleri sırasıyla Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'da kıyaslamalı olarak verilmiştir.

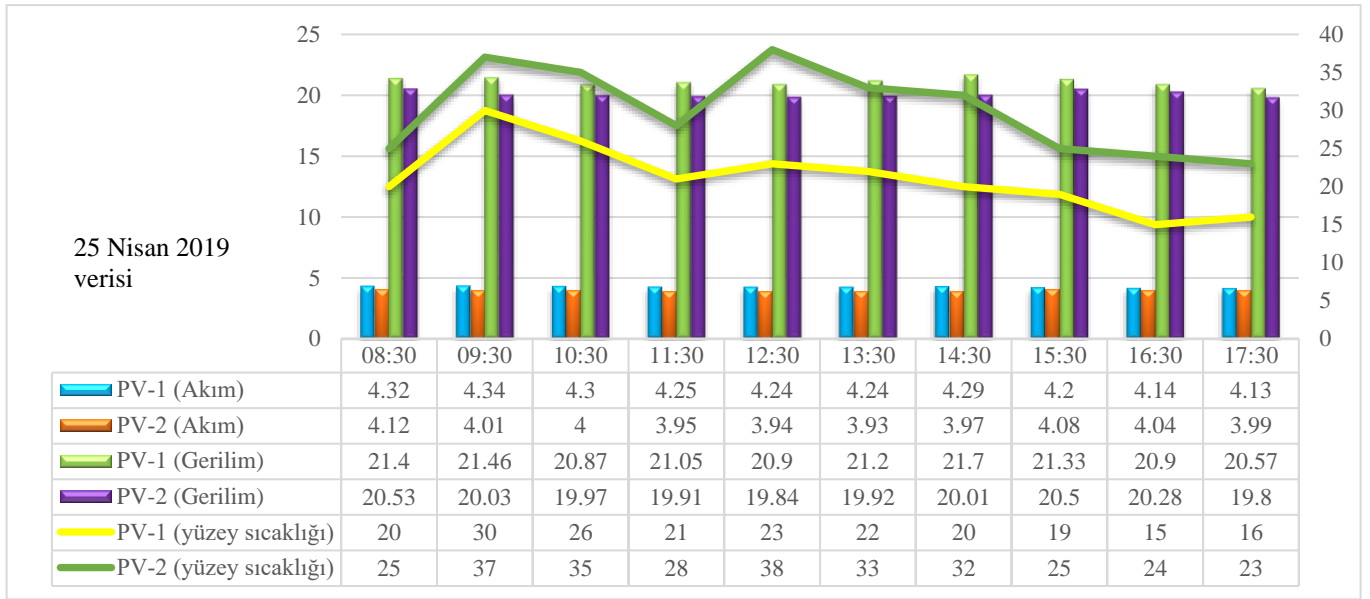
Tablo 4 incelendiğinde 5 günlük ölçümlerin tamamında PV-1'den elde edilen akım (A) değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu değerler PV-1 için sırasıyla 4,245A, 4,298A, 4,238A, 4,297A ve 4,345A olurken, PV-2 için sırasıyla 4,003A, 4,016A, 3,982A, 3,976A ve 3,929A olarak ölçülmüştür. Aradaki akım farkları ise sırasıyla 0,245A, 0,282A, 0,256A, 0,321A ve 0,416A olarak gözlemlenmiştir.

Tablo 5 incelendiğinde 5 günlük ölçümlerin tamamında PV-1'den elde edilen gerilim (V) değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu değerler PV-1 için sırasıyla 21,138V, 21,309V, 20,971V, 21,323V ve 21,593V olurken, PV-2 için sırasıyla 20,079V, 20,108V, 19,991V, 19,959V ve 19,81V olarak ölçülmüştür. Aradaki gerilim farkları ise sırasıyla 1,059V, 1,201V, 0,98V, 1,364V ve 1,783V olarak gözlemlenmiştir.

Tablo 6 incelendiğinde 5 günlük ölçümlerin tamamında PV-1'den elde edilen güç (W) değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu değerler PV-1 için sırasıyla 89,740W, 91,608W, 88,905W, 91,648W ve 93,844W olurken, PV-2 için sırasıyla 80,386W, 80,761W, 79,739W, 79,374W ve 77,849W olarak ölçülmüştür. Aradaki güç farkları ise sırasıyla 9,354W, 10,847W, 9,166W, 12,274W ve 15,995W olarak gözlemlenmiştir.

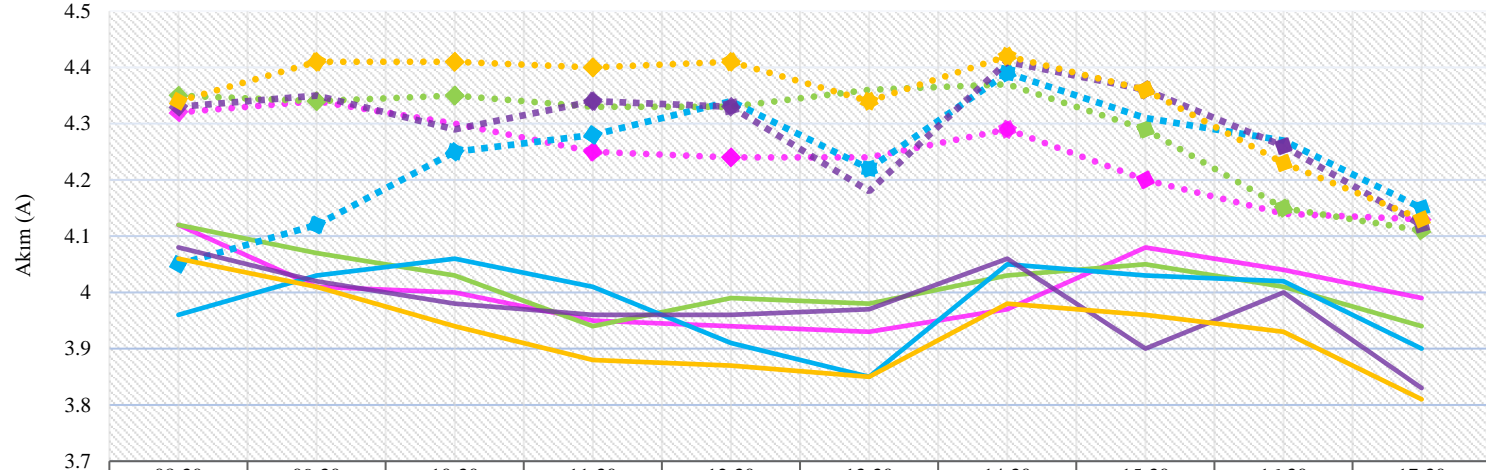
Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'nın tamamında PV-1'de üretilen gerilim ve güç değerleri genel olarak stabile yakın (fazla dalgalı olmadan) gözlemlenmiştir. Buradaki temel etki yüzey soğutma işlemi yapılarak yüzey sıcaklığını sabit tutmaya çalışılmaktadır. PV-2'nin ise yüzey sıcaklığı herhangi bir müdahale edilmeden performansı kayıt altına alınmış ve üretilen gerilim ve güç değerlerinin ise PV-1'e kıyasla daha dalgalı olduğu görülmüştür. PV-2'nin serin sabah saatlerinde öğle saatlerine kıyasla daha iyi performansla çalıştığı, öğle-ikinci arasında ise yüksek sıcaklık nedeniyle düşük performansla çalıştığı görülmüştür. Her iki PV'de üretilen akım değerleri ise gerilim ve güç değerleri kadar dalgalı bulunmamıştır.

Şekil 5'te PV-1 ve PV-2'ye ait sıcaklığa bağlı akım-gerilim (I-V) değişim grafiği verilmiştir.

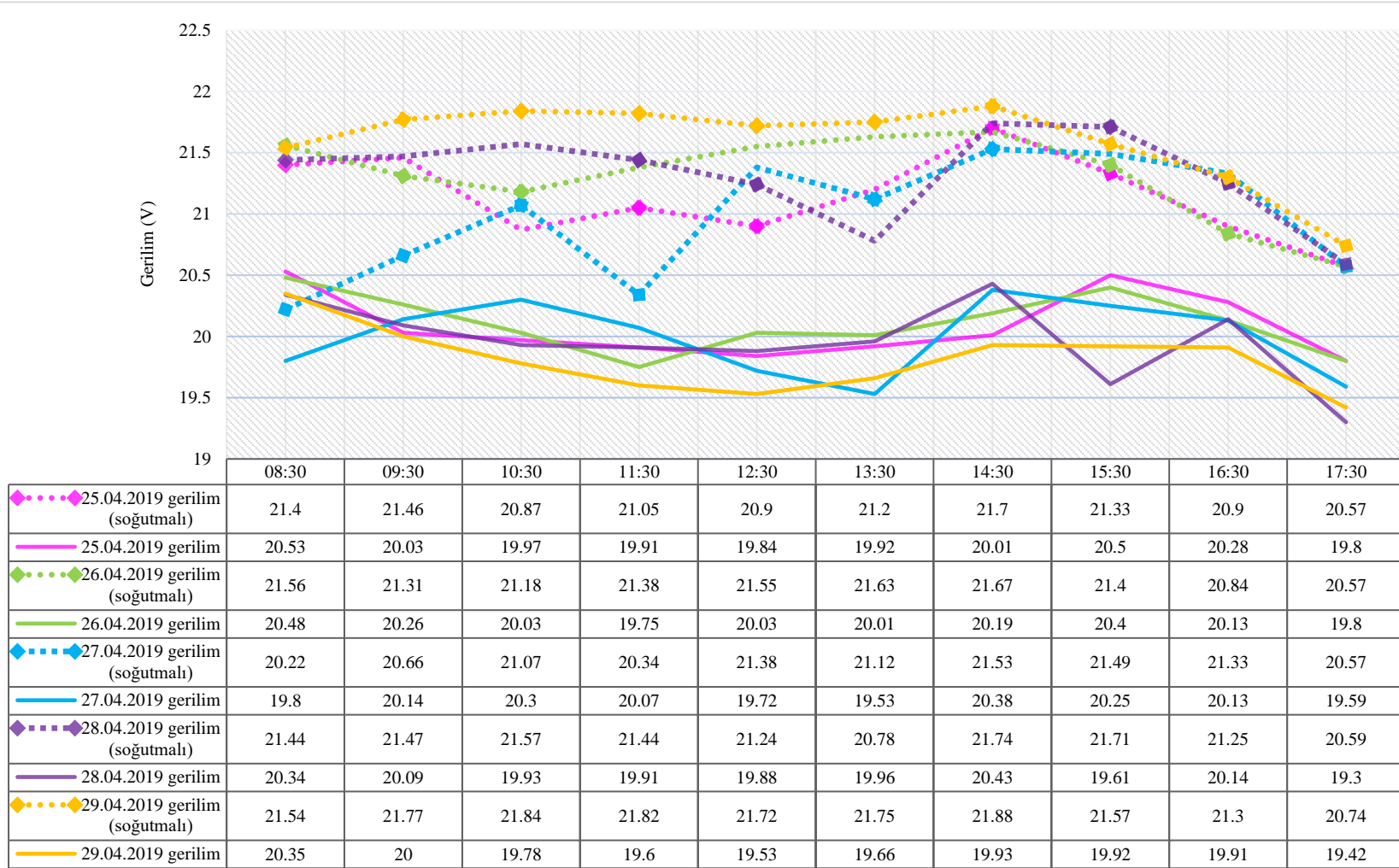


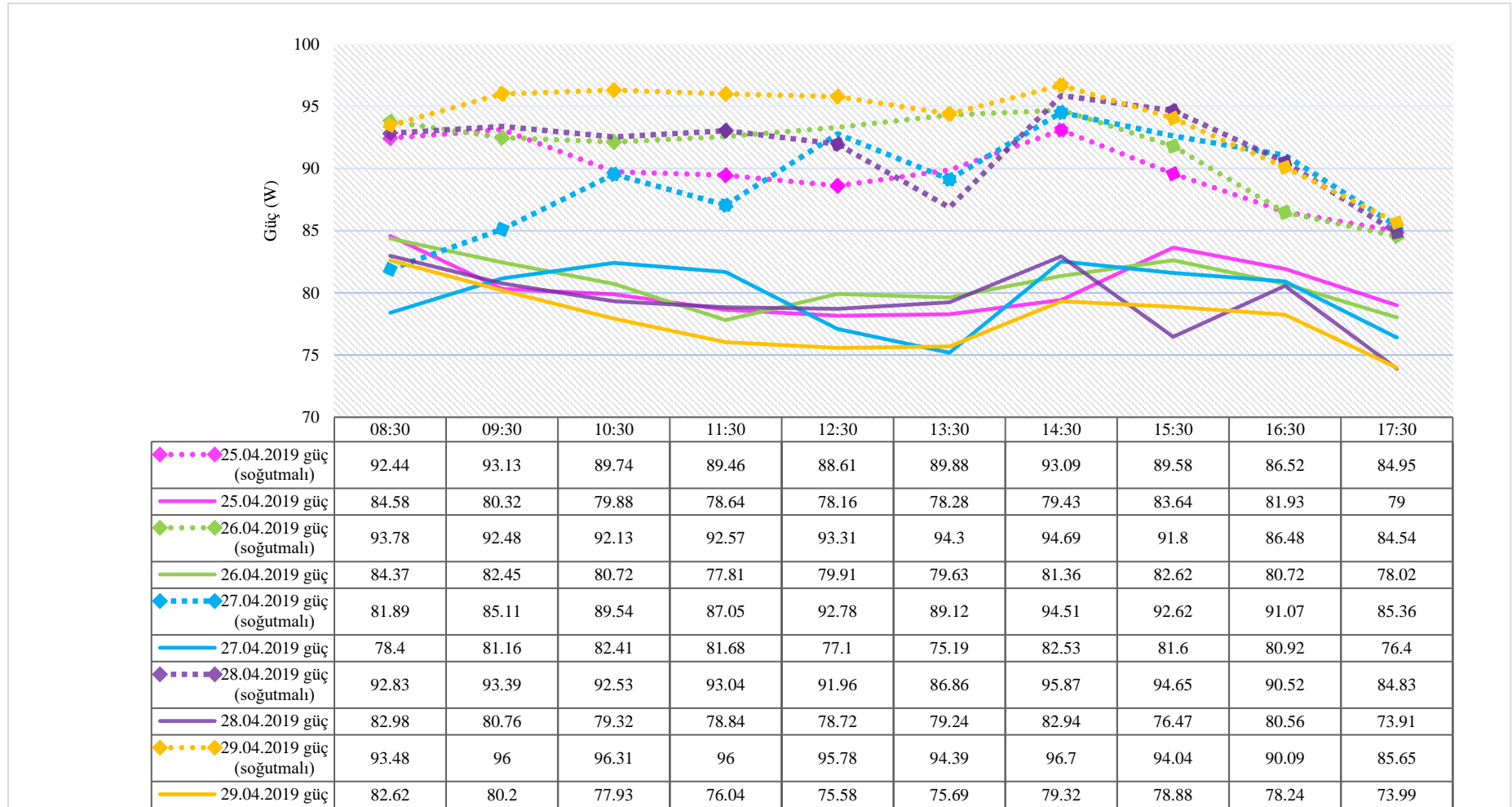
Şekil 5. PV-1 ve PV-2'ye ait sıcaklığa bağlı I-V değişim grafiği (25 Nisan 2019)

Tablo 4. PV-1 ve PV-2’de ölçülen akım değerleri



	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30
◆◆◆◆◆ 25.4.2019 akım (soğutmalı)	4.32	4.34	4.3	4.25	4.24	4.24	4.29	4.2	4.14	4.13
— 25.4.2019 akım	4.12	4.01	4	3.95	3.94	3.93	3.97	4.08	4.04	3.99
◆◆◆◆◆ 26.4.2019 akım (soğutmalı)	4.35	4.34	4.35	4.33	4.33	4.36	4.37	4.29	4.15	4.11
— 26.4.2019 akım	4.12	4.07	4.03	3.94	3.99	3.98	4.03	4.05	4.01	3.94
◆◆◆◆◆ 27.4.2019 akım (soğutmalı)	4.05	4.12	4.25	4.28	4.34	4.22	4.39	4.31	4.27	4.15
— 27.4.2019 akım	3.96	4.03	4.06	4.01	3.91	3.85	4.05	4.03	4.02	3.9
◆◆◆◆◆ 28.4.2019 akım (soğutmalı)	4.33	4.35	4.29	4.34	4.33	4.18	4.41	4.36	4.26	4.12
— 28.4.2019 akım	4.08	4.02	3.98	3.96	3.96	3.97	4.06	3.9	4	3.83
◆◆◆◆◆ 29.4.2019 akım (soğutmalı)	4.34	4.41	4.41	4.4	4.41	4.34	4.42	4.36	4.23	4.13
— 29.4.2019 akım	4.06	4.01	3.94	3.88	3.87	3.85	3.98	3.96	3.93	3.81

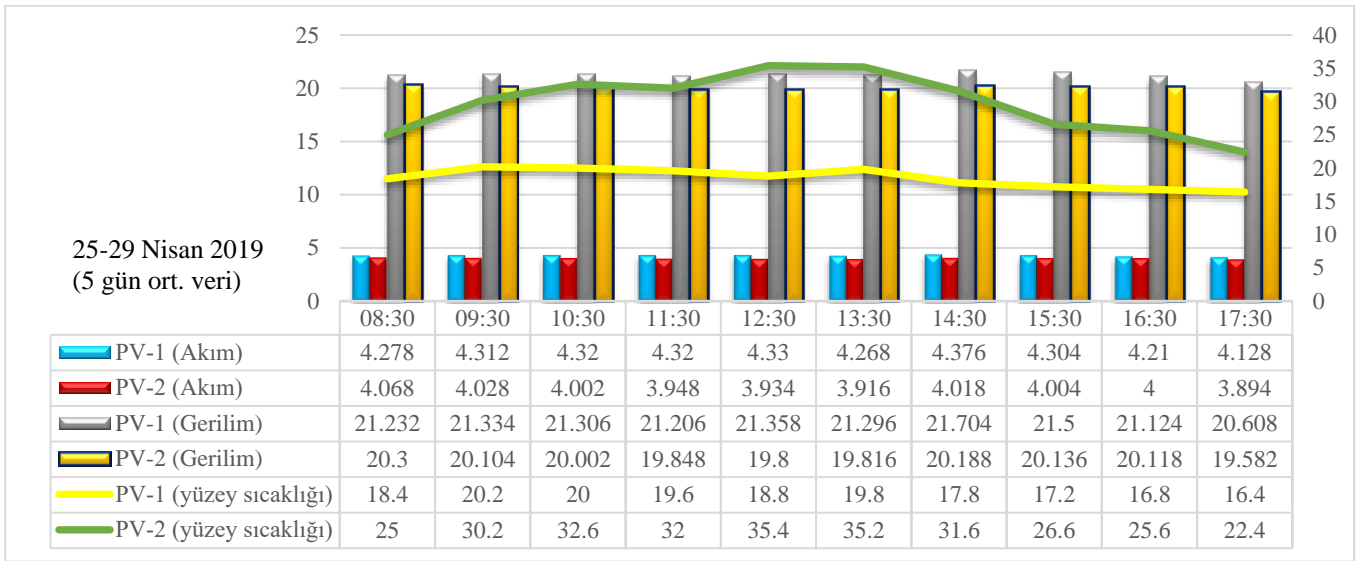
Tablo 5. PV-1 ve PV-2'de ölçülen gerilim değerleri

Tablo 6. PV-1 ve PV-2'de ölçülen güç değerleri

Şekil 5'te görüldüğü gibi yüzey soğutması yapılan PV-1'e ait yüzey sıcaklığı değerleri, soğutma yapılmayan PV-2'ye göre belirgin derecede daha düşük olduğu görülmüştür. 08:30, 09:30, 10:30, 11:30, 12:30, 13:30, 14:30, 15:30, 16:30 ve 17:30 zaman dilimlerinde ölçülen bu fark sırasıyla 5°C, 7°C, 9°C, 7°C, 15°C, 11°C, 12°C, 6°C, 9°C ve 7°C olarak ölçülmüştür. Aradaki sıcaklık farkı öğle saatlerinde (12:00-15:00) artış göstermiştir.

PV-1 ve PV-2'de üretilen gerilim değerleri incelendiğinde PV-1'de üretilen gerilim (V) değerlerinin PV-2'ye kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. 08:30, 09:30, 10:30, 11:30, 12:30, 13:30, 14:30, 15:30, 16:30 ve 17:30 zaman dilimlerinde ölçülen bu fark sırasıyla 0,87V, 1,43V, 0,9V, 1,14V, 1,06V, 1,28V, 1,69V, 0,83V, 0,62V ve 0,77V olarak ölçülmüştür. Aradaki gerilim farkı öğle saatlerinde (12:00-15:00) artış göstermiştir.

PV-1 ve PV-2'de üretilen akım değerleri incelendiğinde PV-1'de üretilen akım (A) değerlerinin PV-2'ye kıyasla yüksek olduğu görülmüştür. 08:30, 09:30, 10:30, 11:30, 12:30, 13:30, 14:30, 15:30, 16:30 ve 17:30 zaman dilimlerinde ölçülen bu fark sırasıyla 0,20A, 0,23A, 0,3A, 0,3A, 0,3A, 0,31A, 0,32A, 0,12A, 0,10 ve 0,14A olarak ölçülmüştür. Aradaki bu küçük akım farkı öğle saatlerinde artış göstermiştir. PV-1 ve PV-2'de üretilen akımlar arasındaki farkın PV-1 ve PV-2'de üretilen gerilimler arasındaki farktan daha düşük olduğu görülmüştür. Bu sonuca göre, üretilen gerilimlerin sıcaklıktan daha fazla etkilendiği anlaşılmıştır. Şekil 6'da PV-1 ve PV-2'ye ait sıcaklığa bağlı akım-gerilim (I-V) değişim grafiği 5 gün ortalamalı olarak verilmiştir.



Şekil 6. PV-1 ve PV-2'ye ait sıcaklığa bağlı I-V değişim grafiği (5 gün ortalamalı)

Şekil 6'da görüldüğü gibi PV-1'e ait yüzey sıcaklığı değerleri, PV-2'ye göre belirgin derecede daha düşük olduğu görülmüştür. 08:30, 09:30, 10:30, 11:30, 12:30, 13:30, 14:30, 15:30, 16:30 ve 17:30 zaman dilimlerinde ölçülen bu fark sırasıyla 6,6°C, 10°C, 12,6°C, 12,4°C, 16,6°C, 15,4°C, 13,8°C, 9,4°C, 8,8°C ve 6°C olarak ölçülmüştür. Aradaki sıcaklık farkı öğle saatlerine doğru artış göstermiştir ve ikindi-akşam saatlerinde düşüşe geçmiştir.

PV-1 ve PV-2'de üretilen gerilim değerleri incelendiğinde PV-1'de üretilen gerilim (V) değerlerinin PV-2'ye kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. 08:30, 09:30, 10:30, 11:30, 12:30, 13:30, 14:30, 15:30, 16:30 ve 17:30 zaman dilimlerinde ölçülen bu fark sırasıyla 0,93V, 1,23V, 1,3V, 1,35V, 1,55V, 1,48V, 1,51V, 1,36V, 1V ve 1,02V olarak ölçülmüştür. Aradaki gerilim farkı öğle saatlerine doğru artış göstermiştir ve ikindi-akşam saatlerinde düşüşe geçmiştir.

PV-1 ve PV-2'de üretilen akım değerleri incelendiğinde PV-1'de üretilen akım (A) değerlerinin PV-2'ye kıyasla yüksek olduğu görülmüştür. 08:30, 09:30, 10:30, 11:30, 12:30, 13:30, 14:30, 15:30, 16:30 ve 17:30 zaman dilimlerinde ölçülen bu fark sırasıyla 0,21A, 0,28A, 0,32A, 0,37A, 0,39A, 0,35A, 0,35A, 0,30A, 0,21 ve 0,23A olarak ölçülmüştür. Aradaki bu küçük akım farkı öğle saatlerine doğru artış göstermiştir ve ikindi-akşam saatlerinde düşüşe geçmiştir. PV-1 ve PV-2'de üretilen akımlar arasındaki farkın PV-1 ve PV-2'de üretilen gerilimler arasındaki farktan daha düşük olduğu görülmüştür. Bu sonuca göre, üretilen gerilimlerin sıcaklıktan daha fazla etkilendiği anlaşılmıştır.

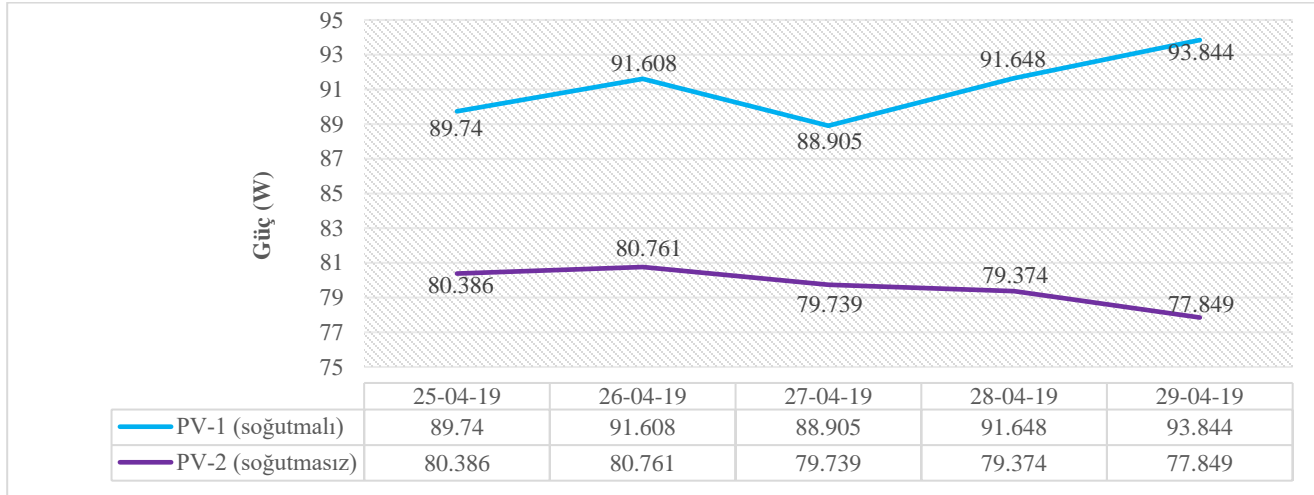
Tablo 7'de PV-1 ve PV-2'den ölçülen ortalama değerler (akım, gerilim, güç) verilmiştir.

Tablo 7. PV-1 ve PV-2'den ölçülen günlük ortalama değerler

	25.4.2019		26.4.2019		27.4.2019		28.4.2019		29.4.2019	
	PV-1 (soğutmalı)	PV-2 (soğutmasız)	PV-1 (soğutmalı)	PV-2 (soğutmasız)	PV-1 (soğutmalı)	PV-2 (soğutmasız)	PV-1 (soğutmalı)	PV-2 (soğutmasız)	PV-1 (soğutmalı)	PV-2 (soğutmasız)
Akım (A)	4,245	4,003	4,298	4,016	4,238	3,982	4,297	3,976	4,345	3,929
Gerilim (V)	21,138	20,079	21,309	20,108	20,971	19,991	21,323	19,959	21,593	19,81
Güç (W)	89,740	80,386	91,608	80,761	88,905	79,739	91,648	79,374	93,844	77,849

Tablo 7'de görüldüğü gibi PV-1 ve PV-2'de ölçülen günlük ortalama değerlere göre PV-1'de ölçülen akım, gerilim ve güç değerlerinin tamamının PV-2'den daha yüksek olduğu görülmüştür. Her iki PV'nin tüm parametreleri eşit ve aynı koşullarda üretim yapmalarına rağmen performans farklılıkları tespit edilmiştir. PV-1'in yüzey sıcaklığının düşürülmesiyle performans artışı gözlenirken, PV-2'de herhangi bir soğutma işlemi yapılmadığından bu modülün performansı PV-1'in gerisinde kalmıştır. Aradaki bu performans farklılıklarının en belirgin etkeninin sıcaklık olduğu kanaatine varılmıştır.

Şekil 7'de PV-1 ve PV-2'de ölçülen günlük ortalama güç değerlerinin karşılaştırmalı gösterimi verilmiştir.

**Şekil 7.** PV-1 ve PV-2'ye ait ölçülen günlük ortalama güç değerleri

Şekil 7'de görüldüğü gibi 5 gün boyunca PV-1'de üretilen güç değeri PV-2'de üretilen güç değerine kıyasla daha yüksektir. Aradaki güç farkı ise 1. 2. 3. 4. ve 5. günler için sırasıyla 9,354W, 10,847W, 9,166W, 12,274W ve 15,995W olarak ölçülmüştür.

5. Sonuç

Yapılan bu deneysel çalışmada PV yüzey alanı soğutma işleminin üretilen elektriksel verime etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla 50cmx100cm ve 80W değerinde iki adet özdeş PV (PV-1 ve PV-2) Osmaniye iline 37°02'18.0" N ve 36°13'20.3"E koordinatlarına 34° lik açı ile montajlanmıştır. Birbirlerinin gölgesinden etkilenmeyecek şekilde yan yana montajlanan PV'lerden birinin yüzeyine soğuk su göndermek amacıyla boru sistemi yerleştirilmiş ve PV yüzeyinde 60dk aralıklarla su çevrimi yapılmıştır. Deneyler 25-29.04.2019 tarihleri arasında toplam 5 günü kapsamıştır. Bu süreçte PV-1 ve PV-2'den elde edilen akım, gerilim ve güç değerleri kayıt altına alınmıştır.

PV-1 ve PV-2'nin özdeş iki modül olmaları, aynı konum ve aynı açı ile yanyana montajlanmalarına rağmen farklı güç üretmelerinin nedeni sıcaklık etkisi olduğu görülmüştür (Şekil 7). Bilimsel çalışmalarda (Kumar vd. 2007; Silva&Fernandes 2010; Rodrigues vd. 2011) da belirtildiği gibi sıcaklığın her 1°C artışı üretilen gerilimi yaklaşık 0.5V azaltarak toplam gücü düşürdüğü, sıcaklığın her 1°C azalışı ise üretilen gerilimi yaklaşık 0.5V artırarak toplam gücü yükselttiği bu deneysel çalışma ile gösterilmiştir.

Literatürde su kullanılarak yapılan deneysel çalışmalardaki verim artışlarını Gül ve Akyüz (2019), Fudholi vd. (2014), Kabul ve Duran (2014) ve Bhaidarah vd. (2013) sırasıyla %12, %13,8, %7 ve %9 olarak hesaplamışlardır. Su-hava kullanılarak yapılan deneysel verim artışlarını Rawat vd. (2017), Tyagi vd. (2012) sırasıyla %6,5-7,5 ve %7 olarak, sadece hava kullanılarak yapılan deneysel verim artışlarını ise Du vd. (2016), Teo vd. (2012), Sarhaddi vd. (2010), Engin vd. (2005) sırasıyla %9, %12,5, %10,01 ve %4,35 olarak hesaplamışlardır.

Su kullanılarak yapılan bu deneysel çalışmada PV yüzey sıcaklık değeri 32°C'den 19°C'ye düşürülerek üretilen elektriksel güç değeri 5 günün sonunda ortalama 79,621W'tan 91,149W'a çıkarılmış ve %14,47 verim artışı elde edilmiştir. Bu değer literatür çalışmalarındaki en yüksek verim artışı olarak kaydedilmiştir. Ayrıca, soğutma işleminin daha etkin sonucunu gözlemek için benzer bir çalışma sıcaklığın 40°C'nin üstünde olduğu çevre koşullarında ve/veya PV yüzeyine odaklayıcı kullanılmasıyla yüzey sıcaklığını 50°C'nin üstüne çıkarılmasıyla yapılabilir. İlaveeten, bu çalışmaya alternatif bir yöntem olarak gelecek çalışmalarda soğutucu içeren akışkanların PV alt yüzeyinden dolaştırılması yöntemiyle soğutma işlemi denenebilir.

Teşekkür

Yazarlar bu çalışmada kullanılan ekipman desteklerinden dolayı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi bünyesindeki ilgili akademik/ıdari birimlere teşekkür etmektedir.

Referanslar

- Giesler B. (2010). String vs. Central inverters: Dimension of the inverter, Photon's 1st PV Inverter Conference, Stuttgart, Germany, 1-23
- Bahaidarah H., Subhan A., Gandhidasan P., Rehman S. (2013). Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions, *Energy* 59: 445-453
- Bayrak G., & Cebeci M. (2012). 3.6 kW Gücündeki Fotovoltaik Generatörün Matlab Simulink İle Modellenmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 28(3): 198-204
- Boppana S. (2015). Outdoor soiling loss characterization and statistical risk analysis of photovoltaic power plants, Thesis for the Degree Master of Science, 1-103
- Chandler, S. Purohit A., Sharma A., Nehra S.P., Dhaka M.S. (2015). Impact of temperature on performance of series and parallel connected monocrystalline silicon solar cells, *Energy Reports* 1 (2015) 175–180
- Da Silva RM., & Fernandes JLM. (2010). Hybrid photovoltaic/thermal (PV/T) solar systems simulation with Simulink/Matlab. *Sol Energy*; 84: 1985–96.
- Deniz E. (2013). Güneş Enerjisi Santrallerinde Kayıplar. III. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri, İzmir
- Du C.J., Fell B., Duck D., Chen K., Liffman Y., Zhang M., Gu Y. Zhu (2016). Evaluation of photovoltaic panel temperature in realistic scenarios, *Energy Conversion and Management* 108: 60–67
- Engin D. (2008). Yarı-Saydam Güneş Pili/Termal Toplayıcı PV/T Hibrit Sistemin İzmir Koşullarında Analizi, *CBÜ Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, 10(2)
- Fudholi A., Sopian K., Yazdı M., Ruslan., Kazem, H. (2014). Performance analysis of photovoltaic thermal (PVT) water collectors, *Energy Conversion and Management*, 78: 641-651
- Grunow, P., Preiss, A., Koch, S. & Krauter, S. (2009). Yield and Spectral Effects of A-Si Modules, *Proceedings of the 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, pp. 2846-2829, ISBN 3-936338-25-6, Hamburg, Germany
- Gül M., & Akyüz E. (2019). Fotovoltaik-termal (PV/T) bir sistemin deneysel performansının incelenmesi. *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, 21(1): 444-458
- Ike C.U. (2013). The Effect of Temperature on the Performance of A Photovoltaic Solar System In Eastern Nigeria, *International Journal Of Engineering And Science*, 3(12):10-14
- Işıker, Y., Yeşilata, B., & Bulut, H. (2006). Fotovoltaik Panel Gücüne Etki Eden Çalışma Parametreleri, *UGHEK'2006: I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, ESOGÜ, Eskişehir

- Kabul A., & Duran, F. (2014). Isparta İlinde Fotovoltaik/Termal (PV/T) Hibrit Sistemin Performans Analizi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 6(1): 31-43
- Kamkird N. Ketjoy W. Rakwichian S. Sukchai (2012). Investigation on Temperature Coefficients of Three Types Photovoltaic Module Technologies under Thailand Operating Condition” *Procedia Engineering* 32: 376-383
- Kumar K., Sharma S.D., Jain L. Standalone (2007), Photovoltaic (PV) module outdoor testing facility for UAE Climate. Submitted to CSEM-UAE Innovation Centre LLC.
- Muntasser, M. A., Bara, M. F., Quadri, H. A., EL Tarabelsi, R. ve La-azeb, I. F. (2000) Photovoltaics marketing İn Developing Countries , *Applied Energy*, 65: 67-72
- Navruz, T. S. (2013). Arabant yapılı güneş pillerinde verim optimizasyonu. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 28(3): 1-143
- Rawat P, & Dhiran T.S. (2017). Comparative Analysis of Solar Photovoltaic Thermal (PVT) Water and Solar Photovoltaic Thermal (PVT) Air Systems, *International Journal of Civil, Mechanical and Energy Science (IJCMES)*, 3(1)
- Rodrigues E., Melicio R., Mendes V. (2011). Simulation of a Solar Cell considering Single-Diode Equivalent Circuit Model, *RE&PQJ*, 1(9)
- Sarhaddi F., Farahat S., Ajam H., Behzadmehr A. (2010). Exergetic performance assessment of a solar photovoltaic thermal (PV/T) air collector. *Energy and Buildings*, 42(11): 2184-2199
- Sahay A., Sethi V. K., Tiwari A. C., Pandey, M. (2015). A review of solar photovoltaic panel cooling systems with special reference to Ground coupled central panel cooling system (GC-CPCS). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42: 306-312
- Sathyanarayana, P., Ballal, R., Lasmi Sagar, L., & Kumar, G. (2015). Effect of Shading on The Performance of Solar PV Panel, *Energy and Power, Scientific & Academic Publishing*, 5(1A): 1-4
- Teo H.G., Lee P.S., Hawlader, M.N. (2012). An active cooling system for photovoltaic modules. *Applied Energy*, 90(1): 309-315
- Tyagi V., Kaushik S., Tyagi S. (2012). Advancement in solar photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid collector technology, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(3): 1383-1398
- Wardowski, T., & Akbarzadeh, A. (1996). Heat pipe-based cooling systems for photovoltaic cells under concentrated sorradiation. *Applied Thermal Engineering*, 16(1):