

FOTOVOLTAİK/TERMAL (PV/T) HİBRİT SİSTEMLERİN SOĞUTMA TEKNİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Ahmet KABUL*, Ersin YAŞAR

Geliş Tarihi/ Received: 20.03.2017, Kabul tarihi/Accepted: 26.04.2017

Özet

Günümüzde kullanılan ticari güneş pilleri % 30'dan daha düşük bir verimle güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürebilmekte ve dönüşüm verimi, sıcaklık artışı ile ters orantılı olarak azalmaktadır. Güneş pillerindeki sıcaklık artışını önleyebilmek için kullanım amacına göre değişik formda ve yapılarda PV/T hibrit sistemler geliştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı, güneş enerjisinden elektrik üretimi esnasında panel sıcaklığının artması sonucu azalan elektriksel verimini, paneli su ve hava ile soğutarak artırmaktır. Bu amaçla yapılan deneysel çalışmada, PV panelin arka yüzeyine yerleştirilen borular içerisinden geçirilen su ve hava kanalları içerisinden geçirilen hava sayesinde panel yüzeyinde soğutma sağlanmıştır. Panelin ısısını alarak sıcaklığı artan su, sıcak su ihtiyacında ve hava kanalları içerisinden geçen hava ise panelin ısısını alarak iç ortam ısıtmasında kullanılabilir. Bu şekilde panelin soğutulmasıyla hem fotovoltaik/termal (PV/T) sistemin verimi artırılmış hem de sıcak su ve iç ortam ısıtılması temin edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Güneş pili, PV/T sistem

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF COOLING TECHNIQUES OF PHOTOVOLTAİK/THERMAL (PV/T) HYBRID SYSTEMS

Abstract

In this study, a method is proposed to eliminate blurring which one of the biggest problems in image processing. The blurring can be expressed as being very soft color transitions and the lack of clear edge. In this study, a filtering process was performed using the edge transitions for out-of-focus. The row, column and cross-pixel values were used in order to obtain a sharper transition from blur transition in the image based on the blur image. The pixel values on image were re-calculated using the difference of rows, columns, cross-pixels. Sharper transitions are trying to achieve without distorting the originality of the image. The method is compared with mean, median, wiener, sharpening filters which are widely used in image processing research. Image quality metrics were used to as comparison parameters. The proposed method gave the best results according to these comparisons.

Key Words: solar energy, solar cell, PV/T system

* Süleyman Demirel Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü 32260 Çünür-Isparta
E-posta: ahmetkabal@sdu.edu.tr

Semboller

| | |
|---------------|----------------------------|
| A_{kol} | Kollektör Alanı (m^2) |
| I | Akım (Amper) |
| $I_{ış}$ | Işınım Şiddeti (W/m^2) |
| \dot{m} | Debi (kg/s) |
| η_p | PV panel verimi |
| $\eta_{PV/T}$ | PV/T panel verimi |
| T | Sıcaklık($^{\circ}C$) |
| V | Gerilim (Volt) |
| W | Güç (Watt) |

1. Giriş

Günümüzde uygarlığın ve bilgi toplumunun her alanda ihtiyaç duyduğu enerjinin önemi giderek artmaktadır. Enerji, uygarlığımızın temel girdisi olup, üretim ve tüketimi, kalkınma ve gelişmişlik düzeylerini ölçmede kullanılan en geçerli göstergelerdendir. Sürekli artan enerji ihtiyacını karşılamada mevcut kaynakların yetersiz kalması sonucu alternatif enerji kaynaklarını bulma ve geliştirme çalışmaları hız kazanmıştır. Zira klasik yöntemlerle yapılan, özellikle fosil yakıt kaynaklı enerji üretim ve tüketimi, doğada onarılması imkânsız zararlara yol açmaktadır (Dünya'da ve Türkiye'de Güneş Enerjisi Çalışma Grubu; 2009).

Bu nedenle, küresel ölçekte çevre kirliliğine ve iklim değişikliğine sebep olan klasik fosil yakıt kaynaklı enerji üretim sistemleri ve geleneksel üretim teknolojileri yerine, çevresel etkileri daha az olan sürdürülebilirlik ve yenilenebilirlik sağlayan enerji kaynaklarını bulmak ve yeni teknolojiler geliştirmek zorunlu hale gelmiştir. Hem fosil kaynakların sınırlı olması, hem de üretim ve tüketim yöntemlerinden kaynaklanan çevre kirliliği, yenilenebilir, sınırsız ve çevreye uyumlu teknolojilerin araştırılması ve geliştirilmesini gerekli hale getirmiştir. Güneş enerjisinin de dahil olduğu yenilenebilir enerji kaynakları bu nedenle önem kazanmıştır.

Türkiye enerji profili incelendiğinde; Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş açısından oldukça zengin bir ülke olmasına rağmen günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarına yeterince önem verilmemektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinden elektrik üretimi gibi projeler ve çalışmalar geliştirilerek güneş enerjisinden daha fazla yararlanılabilir (Bergene ve Lovvik, 1995; Engin ve Çolak, 2008; Küpeli, 2005). Güneş enerjisinden elektrik elde etmek için kullanılan fotovoltaiik modüllerin verimini azaltan en önemli etkenlerden biriside modülün sıcaklığında meydana gelen artıştır (Işıker vd., 2006; joshi vd., 2009).

Geçmişte yapılan çalışmalar incelendiğinde, fotovoltaiik sistemlerin çalışmalarındaki verimin artırılması için farklı deneysel ve teorik çalışmaların yapıldığı görülmektedir. Sarhaddi ve arkadaşları 2010 yılında yapmış oldukları çalışmada PV panelin yüzeyini soğutmak için panel altından bir hava kanalı oluşturmuşlardır. Bu hava kanalından hava geçirerek, panel yüzeyindeki ısınmayı ortadan kaldırmaya çalışmışlardır (Sarhaddi vd., 2010). He ve arkadaşları 2006 yılında hibrit kolektörlerde ısınan güneş pili hücrelerini soğutmak için akışkan olarak su kullanmışlardır. Su kullanarak güneş pili hücrelerinin soğutulması, sistemin

enerji performansını ve pilin verimini arttırmıştır (He vd., 2006). Erkaya ve Çolak 1998 yılında yapmış oldukları çalışmada, Türkiye’de hibrit PV/T sistem ile ilgili bir çalışmada, ısı taşıyıcı akışkan olarak suyun kullanıldığı termal toplayıcı ile güneş pili arasındaki açıklık mesafesini değiştirmişler, aynı zamanda hava dolaşımı ile hücre sıcaklığını düşürmüşlerdir. Bunun sonucu olarak güneş pilinin veriminde artış olduğu gözlemlenmiştir (Erkaya ve Çolak, 1998). Krauter ve arkadaşları 1999 yılında PV/T sistemlerin binaların termal olarak yalıtılmış cephelerine giydirmeye cephe sistemleri ile entegre edilmesini incelemişlerdir. Ölçümlerini, PV panellerin olduğu cepheye termal yalıtım katmanının entegre edilmesi ve aktif havalandırma veya su ile soğutulması üzerine yapmışlardır. İrdeleme sonucunda, su soğutmalı PV/T sistemde PV hücrelerdeki sıcaklık düşüşünün dolayısıyla elektriksel verimdeki artışın en fazla olduğunu göstermişlerdir (Krauter vd., 1999).

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde güneş enerjisinden elektrik üretimi için yalnızca PV modül yeterlidir fakat panel yüzeyine doğrudan gelen güneş ışınlarının yüzeyde ısınmaya neden olduğu tespit edilmiş ve ısınan panel yüzeyinin sistem veriminde düşme meydana getirdiği görülmektedir. Panel yüzeyinin soğutulmasıyla verimdeki bu düşüş azaltılabilir. Yapılan bu çalışmada, Isparta ilinde iki adet PV/T ve bir adet PV panel dikkate alınmış ve PV/T panellerin bir tanesi su ile diğeri ise hava ile soğutulurken üçüncü PV panel hiçbir soğutma işlemine tabi tutulmamıştır. Soğutmalı ve soğutmasız paneller karşılaştırılarak, su ve hava ile yapılan soğutma işleminin verimliliğe etkisi incelenmiştir.

2. Fotovoltaik Sistemler İçin Teorik Hesaplar

PV/T panellerin ve PV panelin güç analizinin yapılabilmesi için öncelikle PV/T ve PV panellerin gerilim akım değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Panellerin artı (+) ve eksi (-) çıkışlarından gerilim ve akım değerini ölçmek için, iki adet multimetre kullanılır. Multimetrelerden biri, gerilim değerini ölçmek için devreye paralel bağlanırken diğeri akım değerini ölçmek için devreye seri bağlanır. Gerilim ve akım değerlerinin ölçümleri yapılan sistemin güç analizi aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$W = I.V \quad (1)$$

Elektriksel verim hesabının yapılabilmesi için; Pyronometre cihazı ile ölçülen panel yüzeyine düşen ışınım değeri, panel yüzey alanı, gerilim ve akım değerlerinin bilinmesi gerekir. Elde edilen değerler ile aşağıdaki verilen formül kullanılarak sistemin elektriksel verim analizi yapılır.

$$\eta_{PV} = \frac{V.I}{A_{KOL} \cdot I_{IŞ}} \quad (2)$$

Isıl verim hesabının yapılabilmesi amacıyla paneli soğutmak için sistemde dolaştırılan suyun debisi, panele giriş – çıkış sıcaklıkları bilinmesi gereklidir. Bilinen değerler ile aşağıdaki formül kullanılarak ısıl verim hesabı yapılabilir.

$$\eta_{PV/Tsu} = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T}{A_{KOL} \cdot I_{IŞ}} \quad (3)$$

Burada, ΔT paneli soğutmak için sistemde dolaşan suyun panele giriş – çıkış sıcaklık farkı aşağıdaki formül ile tanımlanır.

$$\Delta T = T_{koll\ giriş} - T_{koll\ çıkış} \quad (4)$$

3. Deneysel Çalışma

Güneş enerjisinden elektrik üretiminde kullanılan PV/T güneş pillerinin enerji verimini su ve hava ile soğutarak artırmak için kurulan deney sistemi Şekil 1’de görülmektedir. Bu deneysel çalışmada, soğutma işleminin panel üzerinde etkisinin tespiti için iki adet PV/T panel ve bir adet PV panel kullanılmıştır. Kullanılan PV/T modüllerden bir tanesi su soğutulurken diğer PV/T modül hava ile soğutma işlemine tabi tutulmuş ve PV modülde ise hiçbir soğutma işlemi yapılmamıştır. Soğutma işlemi yapılan ve yapılmayan modüller kıyaslanarak soğutma işlemlerinin verimliliğe etkisi incelenmiştir.

Güneşten maksimum enerjiyi elde edebilmek için PV/T ve PV panellerin gün boyunca en fazla güneş göreceği açıya ayarlanması gerekmektedir. Bunun için panel açıları, Isparta ilinin enlemi dikkate alınarak 22° ve 33° olmak üzere yatay ile iki farklı açı belirlenmiştir.

Soğutma yapılacak panelde su, 0.66 kg/s ve 1.46 kg/s olmak üzere iki farklı debide devridaim edilmiştir. Analizlerin yapılması için, su ile soğutulan PV/T panelde giren ve çıkan suyun sıcaklıkları ve yüzey sıcaklığı, hava ile soğutulan PV/T panelin yüzey sıcaklığı, hava giriş sıcaklığı, hava çıkış sıcaklığı, soğutma işlemi yapılmayan PV panelin yüzey sıcaklığı olmak üzere yedi farklı noktadan sıcaklık değerleri termokupullar vasıtasıyla on dakikalık aralıklar ile ölçülerek dataloger vasıtasıyla kaydedilmiştir. Güneş ışınım değerini ölçmek için panel yüzeyine paralel olacak şekilde pyronometre panel sehmasına bağlanmıştır.



Şekil 1. Deney Sisteminin Genel Görünüşü

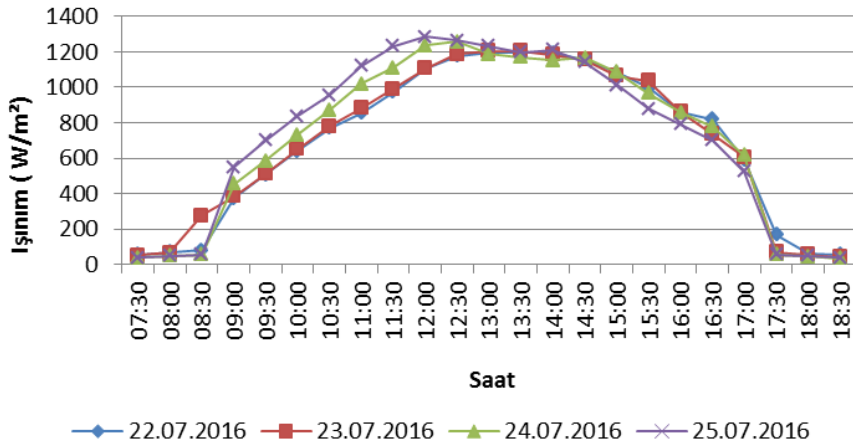
Soğutmalı ve soğutmasız panellerin elektrik çıkışlarında farklı direnç değerleri (minimum ve maksimum) reosta kullanılarak ayarlanmıştır. Sistemde multimetreler kullanılarak reosta ile ayarlanan yük değerlerine karşılık gelen gerilim değerini ölçmek için multimetreler sisteme paralel bağlanırken, akım değerlerini ölçmek için sisteme seri bağlanmıştır. Gerilim ve akım değerleri ölçüldükten sonra yukarıda belirtilen formüller kullanılarak sistemin güç değeri hesaplanmıştır.

4. Araştırma Bulguları

Bu deneysel çalışmanın amacı, güneş enerjisinden elektrik üretiminde kullanılan PV/T güneş panelinde su ve hava ile soğutma işlemi yapılmasının etkilerini incelemektir. Aynı zamanda PV/T panelin soğutma işleminde kullanılan su ve hava ile kullanım sıcak su ihtiyacı ve iç ortam ısıtılmasında kullanılabilecek sıcak hava ihtiyacının karşılanabilmesi hedeflenmektedir.

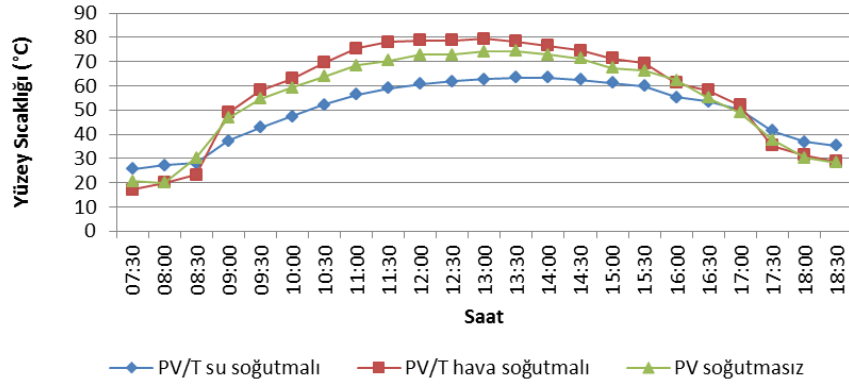
Deneyler, iki farklı panel açısı (22° ve 33°) ve PV/T_{su} panel için iki farklı debide (0.66 kg/s ve 1.46 kg/s) yapılmıştır. Aşağıda farklı panel açısı ve soğutma suyu debilerine göre yapılan deneyler sonucu elde edilen değerler grafikler halinde verilmiştir.

Deneyler Isparta ilinde 2016 yılı Temmuz ayının farklı günlerinde yapılmış ve ölçülen güneş ışınım değerlerinin saatlere göre değişimi Şekil 2’de verilmiştir. Ölçümler ulusal saat ile saat 7.30 ile 18.30 arasında yapılmış ve deneylerin yapıldığı günlerde ışınım şiddeti, saat bazında dikkate alındığında yakın değerler elde edilmiştir. Bu sayede farklı günlerde yapılan deneylerin karşılaştırılma imkanı bulunmuştur.

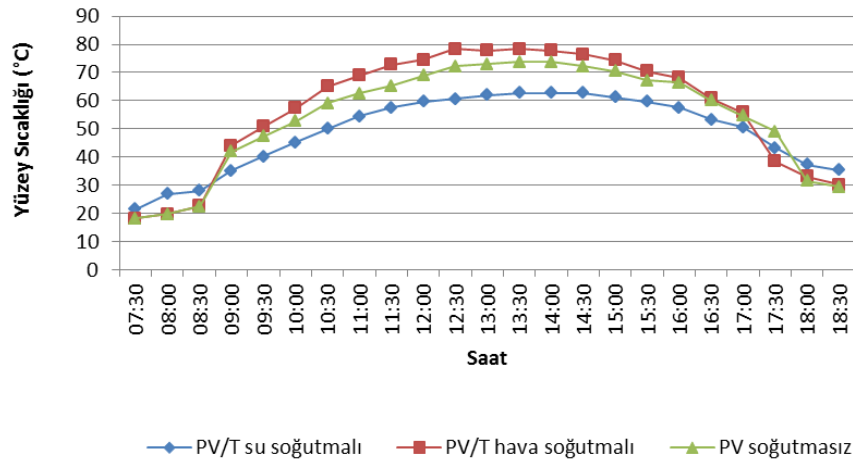


Şekil 2. Deneylerin Yapıldığı Günlere Ait Saatlik Işınım Değerleri

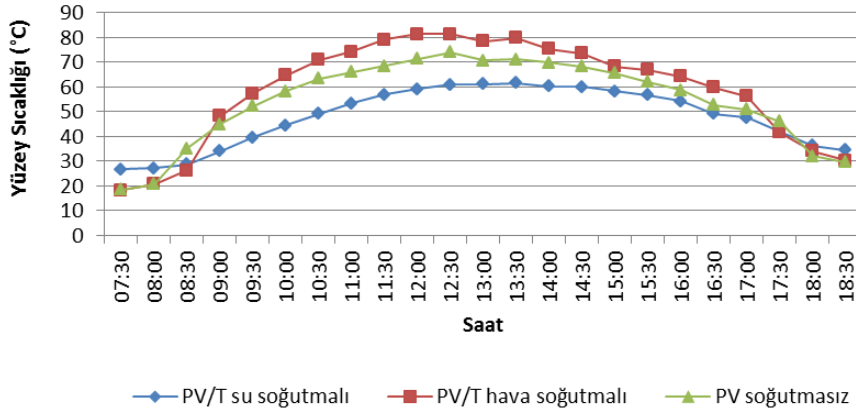
Şekil 3-6’da panel açılarının 22° ve 33° su debilerinin 0.66 kg/s ve 1.46 kg/s olduğu durumlar için zamana göre yüzey sıcaklıklarında meydana gelen değişimler verilmiştir. Grafiklerden görüldüğü gibi en yüksek yüzey sıcaklığı hava ile soğutma yapılan PV/T’de ölçülürken ikinci olarak soğutma işlemi yapılmayan PV’de ve en düşük yüzey sıcaklığı ise su ile soğutma işlemi yapılan PV/T’de olduğu gözlemlenmiştir. Soğutma yapılmayan PV ile karşılaştırıldığında su ile soğutulan PV/T’nin yüzey sıcaklığında yaklaşık % 21’lik bir azalma sağlanırken, hava ile soğutulan PV/T’de soğutma işlemi yapılmayan PV’ye göre yüzey sıcaklığında yaklaşık % 13 daha fazla sıcaklık görülmüştür. Hava ile soğutma işlemi yapılan sistemde yüzey sıcaklığının yüksek çıkmasının nedeni panelin arka tarafına sac malzemesinden yapılan kabinin hava akışını dış ortam şartlarına göre kısıtlamasından kaynaklanmaktadır.



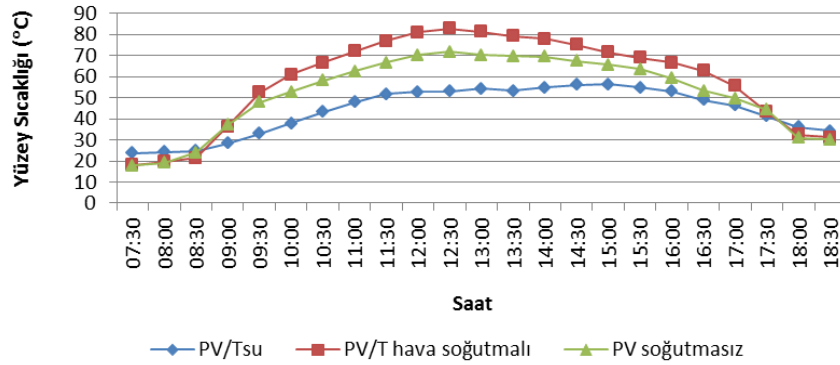
Şekil 3. Panel açılarının 22° su debisinin 0.66 kg/s olduğu durum için PV/T_{su}, PV/T_{hava} ve PV panellerin zamana göre yüzey sıcaklıklarının değişimi



Şekil 4. Panel açılarının 22° su debisinin 1.46 kg/s olduğu durum için PV/T_{su}, PV/T_{hava} ve PV panellerin zamana göre yüzey sıcaklıklarının değişimi

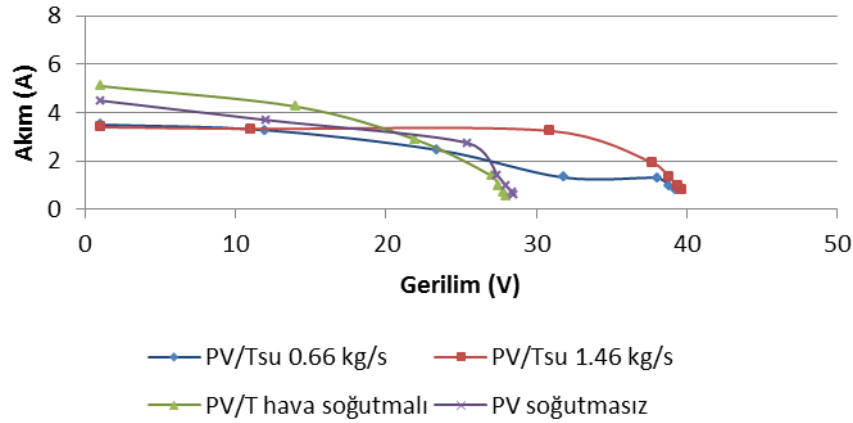


Şekil 5. Panel açılarının 33° su debisinin 0.66 kg/s olduğu durum için PV/T_{su}, PV/T_{hava} ve PV panellerin zamana göre yüzey sıcaklıklarının değişimi



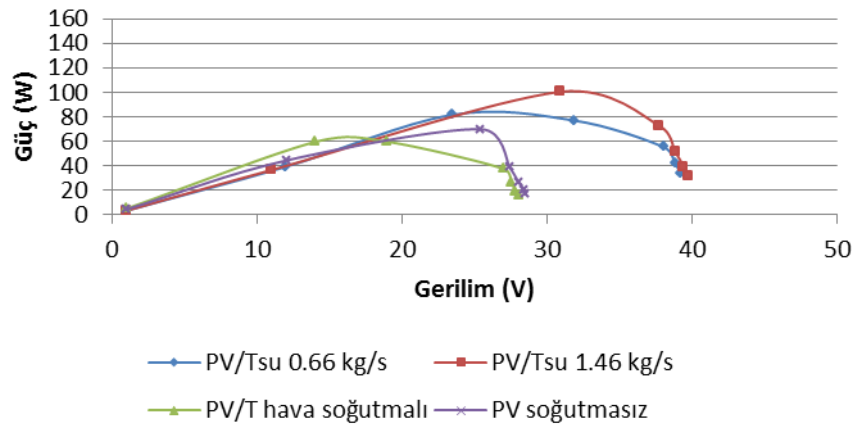
Şekil 6. Panel açılarının 33° su debisinin 1.46 kg/s olduğu durum için PV/T_{su}, PV/T_{hava} ve PV panellerin zamana göre yüzey sıcaklıklarının değişimi

Şekil 7'de panel açısının 22° ve ışınım şiddetinin 600 W/m² olduğu durum için Akım – Gerilim eğrisi verilmiştir. Deneysel olarak su ile soğutma yapılan panelde debiler 0.66 kg/s ve 1.46 kg/s olarak alınmıştır. 0.66 kg/s debi ile soğutulan PV/T_{su} panelde maksimum akım değeri 3.5 A iken 1.46 kg/s olduğu durumda 3.4 A, hava ile soğutulan panelde 4.5 A'dir. Sistem içerisinde akım değeri maksimuma ulaşan soğutma işlemi yapılmayan panelde 5.1 A olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3. Akım – Gerilim eğrisi (Panel Açılı: 22°, Güneş Işınım Değerleri ort. 600 W/m²)

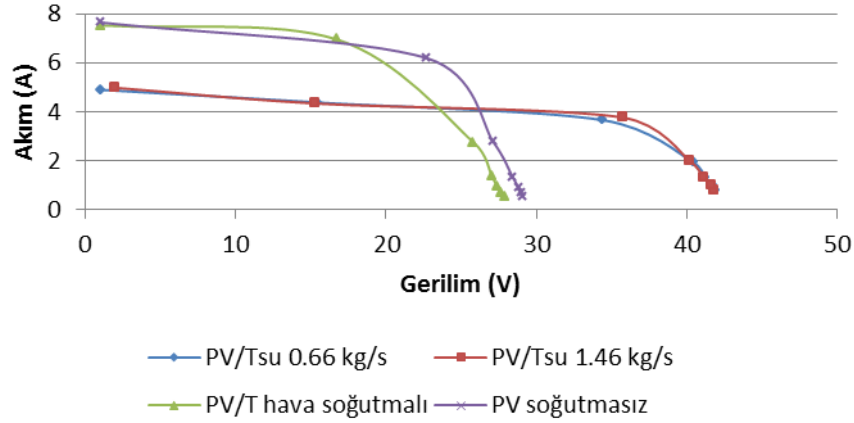
Şekil 8’de panel açılı 22°’de sabit tutulan sistemde gücün gerilime göre değişimi verilmiştir. Su soğutmalı panelde iki farklı debide ölçüm yapılarak debinin düşürülmesiyle çıkış suyu sıcaklığında artış görülmüştür. Maksimum güç değerleri 0.66 kg/s debi ile soğutulan PV/T_{su}’da 81.56 W ölçülürken 1.46 kg/s debiyle soğutma işlemi yapılan PV/T_{su}’da 100 W ve hava ile soğutma işlemine tabi tutulan PV/T_{hava}’da 59.69 W olduğu görülürken soğutma işlemi yapılmayan PV panelde 69.85 W’ a ulaştığı gözlemlenmiştir. Ölçümler sonucunda soğutma işlemi yapılmayan PV panelle karşılaştırıldığında 0.66 kg/s debi ile soğutulan panelde % 14 ve 1.46 kg/s debi ile soğutulan panelde % 30’luk bir güç artışı sağlanırken, soğutma işlemi yapılmayan PV panelin hava ile soğutulan panele göre % 14’lük bir güç artışı sağladığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4. Güç – Gerilim eğrisi (Panel Açılı: 22°, Güneş Işınım Değerleri ort. 600 W/m²)

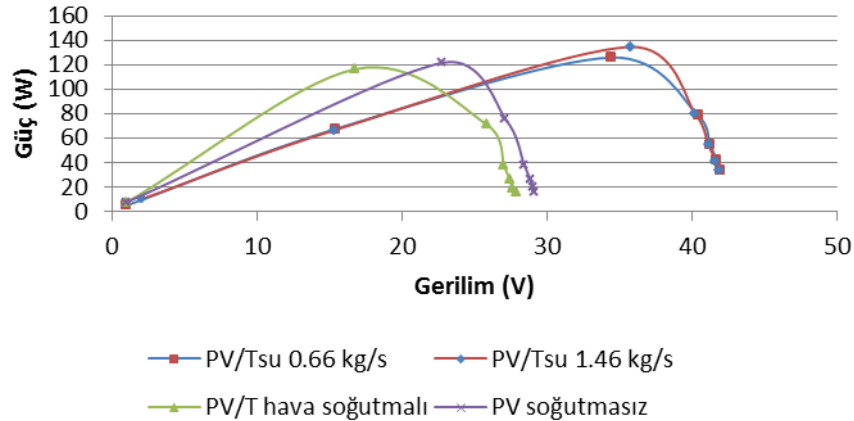
Şekil 9’da panel açılarının 22° ve ışınım şiddetlerinin 900 W/m² yükseltilerek soğutmalı ve soğutmasız sistemler için Akım – Gerilim eğrisi verilmiştir. Gerilim değerleri her iki debide soğutma işlemi yapılan PV/T_{su} panellerde hemen hemen aynı olduğu gözükmemektedir. En

düşük akım değeri 0.66 kg/s debiyle soğutulan PV/T_{su}'da 4.9 A iken 1.46 kg/s debi ile soğutulan PV/T_{su}'da 4.98 A ve PV/T_{hava}'da 7.53 A 'dir. Hiçbir soğutma işlemine tabi tutulmayan PV panelde maksimum akım değeri 7.65 A olarak ölçülmüştür.



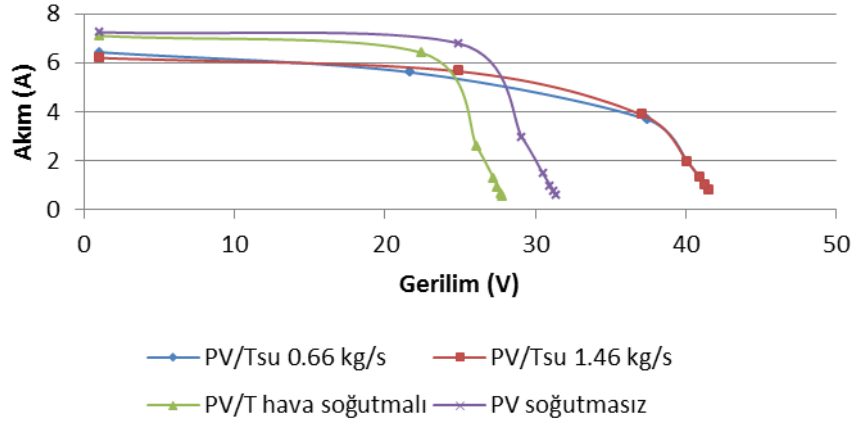
Şekil 5. Akım – Gerilim eğrisi (Panel Açılı: 22°, Güneş Işınım Değerleri ort. 900 W/m²)

Şekil 10'da panel açılı 22°'de sabit tutulan sistemde Güç – Gerilim grafiği verilmiştir. En düşük güç değerinin hava ile soğutma işlemi yapılan PV'de 116.23 W olduğu gözükmemektedir. İki farklı debi de soğutma işlemi yapılan PV/T_{su}'da 34.4V'a kadar gerilim değeri her iki debi için eşit iken 0.66 kg/s debi de PV/T_{su} 125.9 W ve soğutma işlemi yapılmayan panelde 121.51 W'dır. Tüm paneller içinde en yüksek güç değeri 1.46 kg/s debi ile soğutulan PV/T_{su}'da 134.58 W olarak ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda soğutma işlemi yapılmayan PV panelleri kıyaslandığında 0.66 kg/s debi ile soğutulan PV/T_{su} % 3 ve 1.46 kg/s debi ile soğutulan PV/T_{su}'da ise % 9'lük bir güç artışı sağlarken, soğutma işlemi yapılmayan panelin hava ile soğutulan panele göre % 4'lük bir güç artışı sağladığı gözlemlenmiştir.



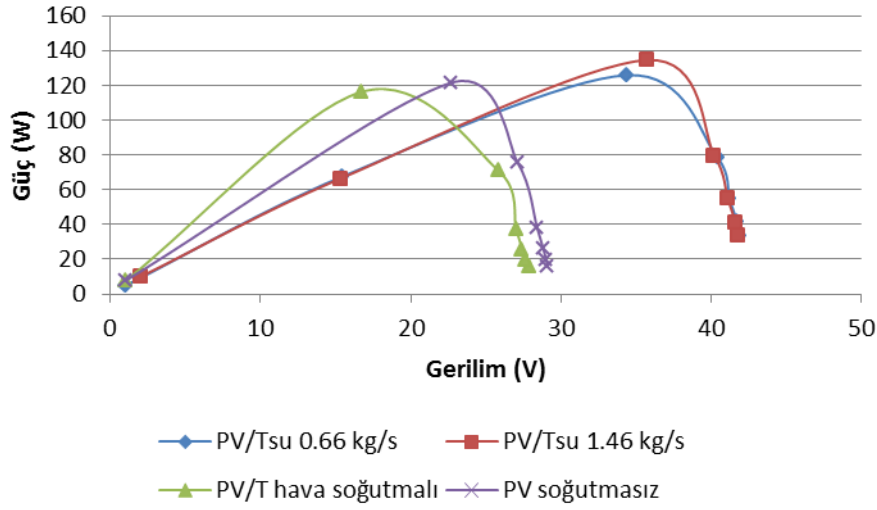
Şekil 6. Güç – Gerilim eğrisi (Panel Açılı: 22°, Güneş Işınım Değerleri ort. 900 W/m²)

Şekil 11’de panel açılarının 22° olduğu ve güneş ışınım şiddetinin 1200 W/m^2 ’ye çıkarıldığı sistem için Akım - Gerilim eğrisi verilmiştir. 0.66 kg/s debi ile soğutma işlemi yapılan PV/T_{su} 6.43 A iken 1.46 kg/s debi ile PV/T_{su} 6.2 A ’dir. Hava ile soğutma işlemine tabi tutulan $\text{PV/T}_{\text{hava}}$ 7.1 A olduğu gözlemlenirken sistem içerisinde maksimum akıma ulaşan soğutma işlemi yapılmayan PV panel 7.25 A ölçülmüştür.



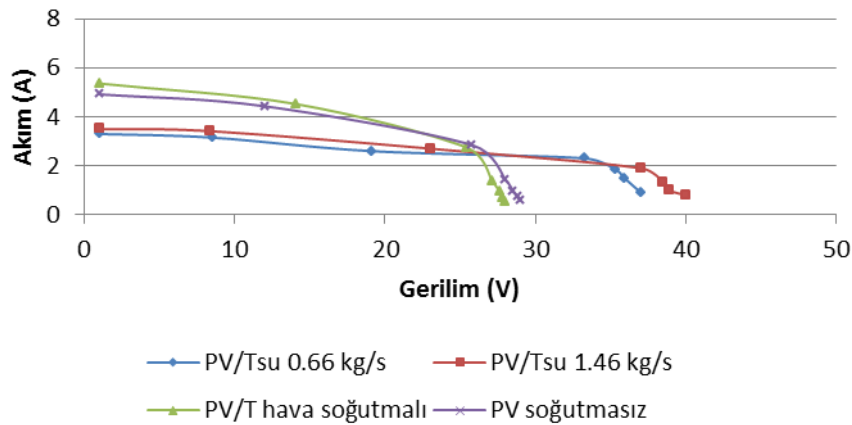
Şekil 7. Akım – Gerilim eğrisi (Panel Açılı: 22° , Güneş Işınım Değerleri ort. 1200 W/m^2)

Şekil 12’de panel açılarının 22° ’de sabit tutulduğu sistemde gücün gerilime göre değişimi verilmiştir. İki farklı debide soğutma işlemi yapılan PV/T_{su} ’da 40.1 V ’a kadar gerilim değerleri eşit iken, 0.66 kg/s debi de PV/T_{su} 138 W , hava ile soğutma yapılan $\text{PV/T}_{\text{hava}}$ 130.58 W olduğu gözükmemektedir. Soğutma işlemi uygulanmayan PV panel 134 W a ulaşırken 1.46 kg/s debi deki PV/T_{su} sistem içerisinde maksimum güç değerine ulaşarak 143.57 W olarak ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda soğutma işlemi yapılmayan PV panellerle kıyaslandığında 0.66 kg/s debi ile soğutulan PV/T_{su} % 2 ve 1.46 kg/s debi ile soğutulan PV/T_{su} ise % 6’lık bir güç artışı sağlarken, soğutma işlemi yapılmayan panel hava ile soğutulan panele göre % 2’lik güç artışı sağladığı görülmektedir.



Şekil 8. Güç – Gerilim eğrisi (Panel Açılı: 22°, Güneş Işınım Değerleri ort. 1200 W/m²)

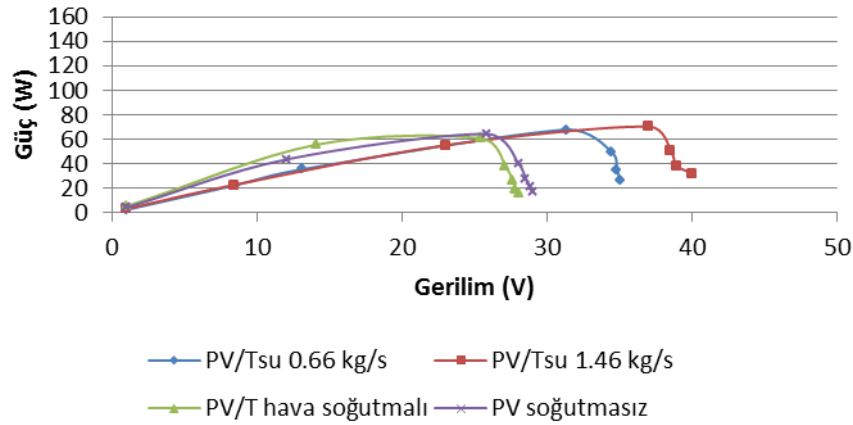
Şekil 13’de panel açılarının 33° ve güneş ışınım şiddetinin 600 W/m² olduğu sistemde Akım – Gerilim grafiği verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi 1.46 kg/s debi ile soğutulan PV/T_{su}’da 3.5 A akım ölçülürken 0.66 kg/s debide soğutma işlemi yapılan PV/T_{su}’da 3.3 A ve soğutma işlemi yapılmayan PV’de 4.92 A akım ölçülmüştür. Hava ile soğutma işlemi yapılan PV/T_{hava}’da ise en yüksek akım değeri 5.36 A olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 9. Akım – Gerilim eğrisi (Panel Açılı: 33°, Güneş Işınım Değerleri ort. 600 W/m²)

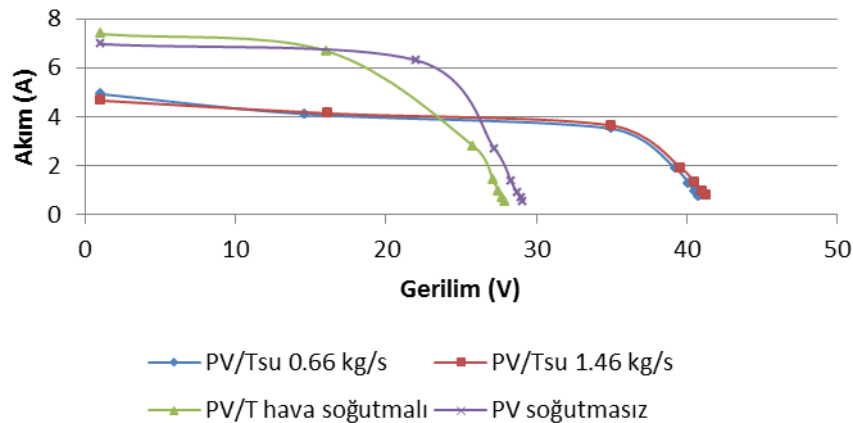
Şekil 14’de panel açılarının 33°’de sabit tutulduğu durum için gücün gerilime göre değişimi verilmiştir. Maksimum gücün en düşük olduğu hava ile soğutma işlemi yapılan PV/T_{hava}’da gerilim değeri 25.4 V iken güç değeri 60.85 W ölçülmüştür. 0.66 kg/s debi ile soğutulan

PV/T_{su} 67.81 W, soğutma işlemi yapılmayan PV'de 64.27 W ve 1.46 kg/s debi ile soğutulan PV/T_{su}'da gerilim değeri 37 V olduğunda en yüksek güç değeri olan 70.3 W'a ulaştığı gözlemlenmiştir. Ölçümler sonucunda soğutma işlemi yapılmayan PV panelleri kıyaslandığında, 1.46 kg/s debi ile soğutulan PV/T_{su} % 8 ve 0.66 kg/s debi ile soğutulan PV/T_{su} % 5'lik bir güç artışı sağlarken soğutma işlemi yapılmayan panel hava ile soğutulan PV/T_{hava}'ya göre % 5'lik bir güç artışı sağladığı gözlemlenmiştir.



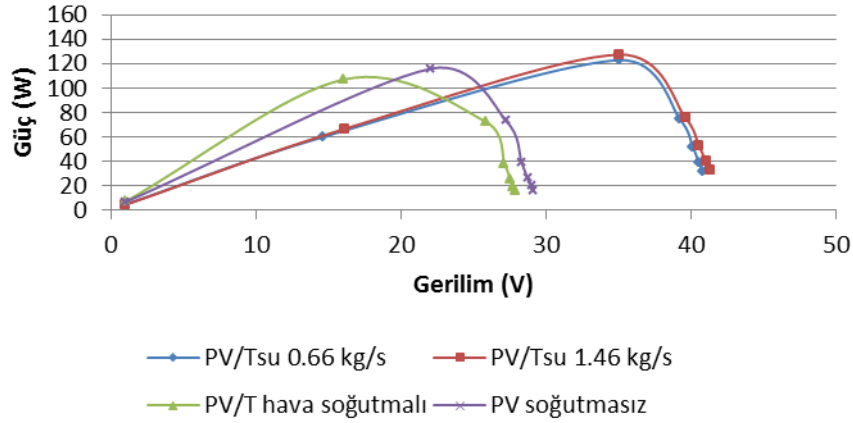
Şekil 10. Güç – Gerilim eğrisi (Panel Açılı: 33°, Güneş Işınım Değerleri ort. 600 W/m²)

Şekil 15'de panel açılarının 33° ve ışınım şiddetlerinin 900W/m² olduğu soğutmalı ve soğutmasız sistemler için Akım – Gerilim eğrisi verilmiştir. Su ile soğutma yapılan panellerde debiler 0.66 kg/s ve 1.46 kg/s olarak belirlenmiştir. 0.66 kg/s debi ile soğutulan PV/T_{su} panelde maksimum akım değeri 4.93 A iken soğutma işlemi yapılmayan panelde 6.97 A'dir. Sistem içerisinde akım değeri maksimuma ulaşan hava ile soğutulan PV/T_{hava}'da 7.38 A olduğu görülürken minimum akım değerleri 1.46 kg/s debi ile soğutulan PV/T_{su}'da 4.66 A olduğu gözlemlenmiştir.



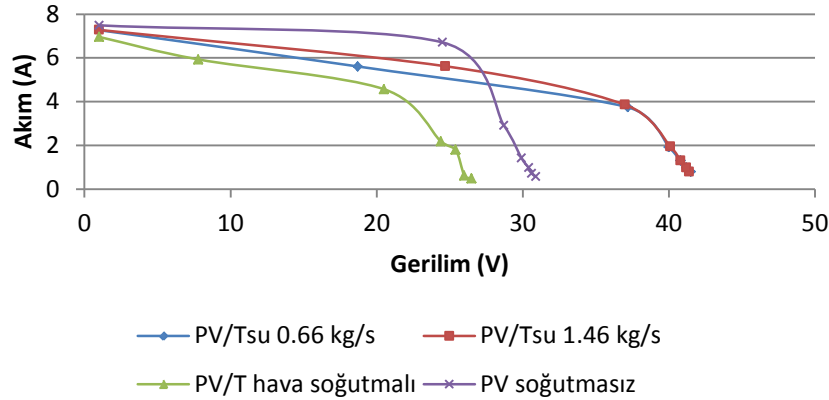
Şekil 11. Akım – Gerilim eğrisi (Panel Açılı: 33°, Güneş Işınım Değerleri ort. 900 W/m²)

Şekil 16’da panel açılarının 33° ’de sabit tutularak sisteme ait Güç – Gerilim eğrisi verilmiştir. Soğutma işlemi yapılmayan PV panel $115.82W$ ’lık bir güce ulaşırken, gerilim değerleri birbirine yakın olan su ile soğutma işlemi yapılan iki panelden 0.66 kg/s debi ile soğutma işlemi yapılan PV/T_{su} 122.85 W ve hava ile soğutma işlemine tabi tutulan PV/T_{hava} ’nın 107.04 W olduğu görülmektedir. 1.46 kg/s debi ile soğutulan PV/T_{su} sistemde en yüksek güce ulaşarak 127.4 W ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda soğutma işlemi yapılmayan panelle karşılaştırıldığında, 0.66 kg/s debi ile soğutulan PV/T_{su} % 5 ve 1.46 kg/s debi ile soğutulan PV/T_{su} ise % 9’luk bir güç artışı sağlarken soğutma işlemi yapılmayan panel, hava ile soğutma işlemi yapılan PV/T_{hava} ’ya göre % 7’lik bir güç artışı sağladığı gözlemlenmiştir.



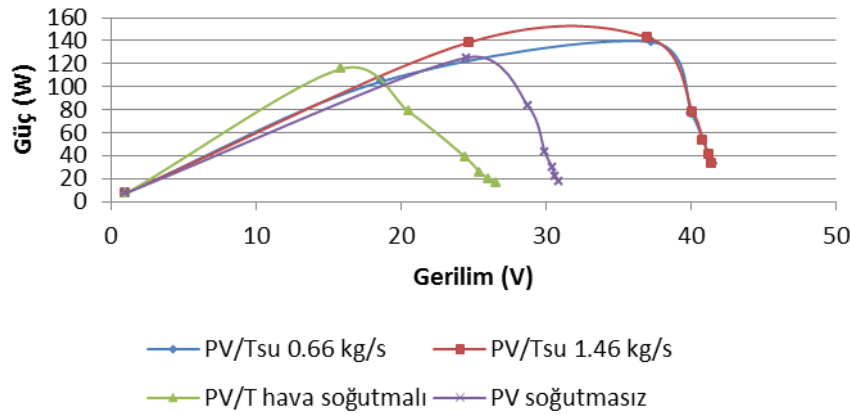
Şekil 12. Güç – Gerilim eğrisi (Panel Açılı: 33° , Güneş Işınım Değerleri ort. 900 W/m^2)

Şekil 17’de panel açılarının 33° ve ışınım şiddetlerinin 1200 W/m^2 olduğu soğutmalı ve soğutmasız sistemler için akımın gerilime göre değişimi verilmiştir. Hava ile soğutma işlemi yapılan PV/T_{hava} 6.96 A olduğu görülürken, su ile soğutulan iki panelde akım değerleri 1.31 A ’e kadar eşit iken 0.66 kg/s debi ile soğutulan PV/T_{su} 7.27 A ve 1.46 kg/s debi ile soğutulan PV/T_{su} 7.28 A ’e ulaşmıştır. Soğutma işlemi yapılmayan PV panelde en yüksek akım değeri 7.49 A ölçülmüştür.



Şekil 13. Akım – Gerilim eğrisi (Panel Açılı: 33°, Güneş Işınım Değerleri ort. 1200 W/m²)

Şekil 18’de panel açılarının 33°’de sabit tutulduğu sisteme ait Güç – Gerilim grafiği verilmiştir. Hava ile soğutma işlemi yapılan PV/T_{hava}’da 115.39 W güç elde edilirken 0.66 kg/s debi ile soğutulan PV/T_{su}’da 139.12 W ve 1.46 kg/s debi ile soğutulan PV/T_{su}’da 142.82 W güç elde edilmiştir. Hiçbir soğutma işlemi yapılmayan PV panelde ise güç 125.39 W’ya ulaşmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda soğutma işlemi yapılmayan PV panellerle karşılaştırıldığında 0.66 kg/s debi ile soğutulan PV/T_{su} % 9 ve 1.46 kg/s debi ile soğutulan PV/T_{su} % 12’lik bir güç artışı sağlarken, soğutma işlemi yapılmayan panelin hava ile soğutma işlemi yapılan PV/T_{hava}’ya göre % 7’lik bir güç artışı sağladığı gözlemlenmiştir.



Şekil 14. Güç – Gerilim eğrisi (Panel Açılı: 33°, Güneş Işınım Değerleri ort. 1200 w/m²)

5. Sonuç

Deneysel olarak incelenen sistemlerde su ile soğutma işlemi yapılan PV/T panelin yüzey sıcaklığının 61°C civarında ve hava ile soğutma işlemi yapılan PV/T panelin yüzey sıcaklığının 80°C civarında olduğu gözlemlenirken, soğutma yapılmayan PV panelin ise yüzey sıcaklığının ise 73 °C civarında olduğu görülmüştür. Su ile soğutma işlemi yapılan

PV/T yüzey sıcaklığında yaklaşık % 16'lık bir azalma sağlanırken, hava ile soğutulan PV/T'nin yüzey sıcaklığında soğutma işlemi yapılmayan panele göre % 8 daha fazla sıcaklık olduğu görülmüştür.

Su ile soğutma işlemi yapılan panele soğutma suyu 0.66 kg/s ve 1.46 kg/s olmak üzere iki farklı debide sirkülasyon pompası kullanılarak gönderilmiştir. Beklendiği gibi, 1.46 kg/s debideki soğutma işlemi, 0.66 kg/s de ki soğutma işlemine göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Suyun panelden daha yüksek debide geçişi, yüzeydeki ısının alınmasını kolaylaştırmaktadır. Soğutma işlemi yapılan panellerin soğutma işlemi yapılmayan panele göre; su soğutmalı panellerden 0.66 kg/s debi ile soğutulan PV/T yaklaşık % 5-7, 1.46 kg/s debi ile soğutulan PV/T yaklaşık % 10-14 gibi bir güç artışı sağladığı görülmüştür. Soğutma işlemi yapılmayan PV panelin hava ile soğutulan PV/T'ye göre daha verimli olmasının nedeni hava ile soğutma işlemi yapılan sistemde panelin arkasına yapılan sac levha ile kapatma ve yapılan hava kanalları işleminin hava akışını dış ortam şartlarına göre kısıtlaması ile sıcak havanın istenildiği gibi atılamamasından kaynaklanmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışmayı 4610-YL1-16 Numaralı Proje ile maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Bergene, T. and Lovvik, O.M., 1995, Model calculations on a flat plate solar heat collector with integrated solar cells, *Solar Energy*, 55(6), 453-462p.

Dünya'da ve Türkiye'de Güneş Enerjisi Çalışma Grubu; 2009, World Energy Council Turkish National Committee; EKC Form Ofset; Ankara; 1-2

Engin D., Çolak M., 2008. Yarı Saydam Güneş Pili/Termal Toplayıcı(PV/T) Hibrid Sistemin İzmir Koşullarında Analizi. Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, 2, s1-13.

Erkaya, K. ve Çolak, M.,1998, Fotovoltaik-fototermik Dönüştürücülerde Verim Optimizasyonu, Doktora tezi, E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Güneş Enerjisi A.B.D., İzmir

He, W.,Chow,T., Ji, J., Lu, J., Pei, G. andChan, L.,2006, Hybrid photovoltaic and thermal solar-collector designed for natural circulation of water, *Applied Energy*, 83, 199–210p.

Işıker Y.,Yeşilata B., Bulut H., 2006. Fotovoltaik Panel Gücüne Etki Eden Çalışma Parametrelerinin Araştırılması. I. Ulusal güneş ve hidrojen enerjisi kongresi, 21-23 Haziran 2006, Eskişehir, s57-62.

Joshi A., Dinçer İ., Reddy B., 2009. Thermodynamic Assessment of Photovoltaic Systems. *Solar Energy*, 83, s1139–1149.

Krauter, S., Araujo, R.G., Schroer, S., Hanitsch, R., Salhi, M.J., Triebel, C. and Lemoine, R., 1999, Combined photo voltaic and solar thermal systems for facade integration and building insulation, *Solar Energy*, 67(4-5), 239-248p.

Küpeli A.Ö., 2005. Güneş Pilleri ve Verimleri, Osman Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s1-146, Eskişehir.

Sarhaddi F., Farahat S., Ajam H., Behzadmehr A., 2010. Exergetic Performance Assessment Of A Solar Photovoltaic Thermal (PV/T) Air Collector. *Energy And Buildings*, 11, s2184-2199.