



Fotovoltaik termal (pvt) sistemlerinde farklı tip kanatçıklar kullanılarak optimum çalışma sıcaklığının tayini

Gökhan ÖMEROĞLU

Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Erzurum

İlhan Volkan ÖNER*

Atatürk Üniversitesi, Pasinler Meslek Yüksekokulu Elektrik ve Enerji Bölümü, Erzurum

ivoner@atauni.edu.tr ORCID: , Tel: (442) 661 39 82 (5399)

Geliş: 31.03.2017 , Kabul Tarihi: 12.06.2017

Öz

Yenilenebilir enerji kaynakları konusundaki çalışmalar gün geçtikçe hız kazanarak devam etmektedir. Bu kaynaklar içerisinde en yüksek potansiyele sahip olan güneş enerjisinin ısı ve fotovoltaik olmak üzere iki çeşidi vardır. Isıl sistemler genellikle güneş ışınımından kazanılan enerjiyi bir akışkana kazandırarak çalışırlar. Bu gibi sistemlere örnek olarak ev tipi veya sanayi tipi güneş kolektörleri ve güneş kuleleri söylenebilir. Fotovoltaik sistemler ise yarı iletken fiziği temelleriyle çalışarak güneş ışınımının belirli bir aralığını elektrik enerjisine çevirirler.

Örneğin, silisyum elementinin çeşitli şekillerde kristalize edilmesi ile tasarlanan güneş hücreleri güneş spektrumundaki elektromanyetik ışınımın 0 ile 1.12 eV enerji aralığındaki kısmını elektrik enerjisine çevirebilirler. Geri kalan aralığa denk gelen ışınım ise fotovoltaik hücrelerde ısı olarak depo edilmektedir. Sistemde depo edilen bu enerji, fotovoltaik hücre sıcaklığını artırmakta ve elektriksel verimi düşürmektedir.

Bu çalışmanın amacı imal edilen düzenerk ile sistemdeki bu fazla enerjinin yararlı enerjiye dönüştürülerek kullanılması ve elektriksel verimde bahsi geçen düşüş engellenerek optimum fotovoltaik çalışma sıcaklığının tespit edilmesidir. Başka bir deyişle, amaç güneşin birim metrekareye düşen ışınımından maksimum seviyede yararlanmaktır. Güneş ışınımının ısı enerji olarak geri kazanımı için fotovoltaik panel arkasına bir kontrol hacmi yerleştirilmiştir. Bu kanal içerisine çeşitli malzeme ve geometrilerde zorlanmış taşınımına maruz kanatçıklar yerleştirilmiştir. Kanatçıklar arasında en iyi sonucu veren bakır silindirik kanatçık olmuştur. Fotovoltaik hücre sıcaklığının açık devre geriliminde yaklaşık %20 etkisi olduğu saptanmıştır. Fotovoltaik sistemlerde düşük açık devre gerilimi kısa devre akımını, dolayısıyla da sistemin toplam verimini de düşürmektedir.

Anahtar Kelimeler: Pvt; elektriksel verim; optimum çalışma sıcaklığı; kanatçık;

* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI:

Giriş

Günümüzde, enerjinin tanımı, canlılık faaliyetlerinin başında gelen iş yapabilme yeteneği olarak yapılır. İlk çağlardan beri insanoğlunun yaşamını sürdürebilmesi için enerjiye ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyaç gün geçtikçe zorunluluk ölçütünden çıkıp konforlu yaşamak için enerji kullanımına dönüşmüştür. Bu sebeple de insanoğlunun tükettiği enerji gün geçtikçe artmıştır ve nüfus artışıyla birlikte artmaya da devam edecek gibi gözükmektedir (Othman vd., 2016). Bu gibi olaylar sebebiyle artan enerji yükü bir takım sıkıntıları da beraberinde getirmektedir.

Özellikle 1950'li yıllarda ivmesi artan sanayileşme, dünya üzerinde var olan fosil kökenli enerji kaynaklarını da süratle bitirmektedir. Fosil enerji kaynaklarının verimli olarak kullanılmamasının, çevre kirliliği ve iklim değişiklikleri başta olmak üzere birçok dezavantajı olmuştur. Likit petrol türevleri, doğalgaz ve kömür bu kaynakların başlıca olanlarıdır. (Wolf, 1976)

Güneş enerjisiyle alakalı çalışmalar 1970'ler den sonra hız kazanmış, güneş enerjisi teknolojileri ilerlerken maliyet bakımından düşüş göstermiş ve çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini ispat etmiştir (Çengel vd., 2008). Güneş enerjisi sistemleri denince akla ilk gelen ve teknolojik açıdan ilgi odağı olan sistemler fotovoltaik (PV) güneş enerjisi sistemleridir (Chegaar, 2004; Cuce, 2014). Fotovoltaik ismi güneş ışınımında var olan fotonların hücreye düşerek gerilim (voltaj) oluşturmasından gelmektedir.

Teorik olarak verimleri belirli olan bu sistemlerin gerçek işletme koşullarında ortaya çıkan yüzey sıcaklığı, tozlanma, ışınım şiddeti ve iklim koşulları gibi bir takım verimlilik parametreleri vardır (Cuce vd., 2013). Bu parametreler PV sistemlerde yatırım geri dönüş süresini belirlemede en öncelikli olarak düşünülmesi gereken parametrelerdir. Fotovoltaik verimi etkileyen en önemli parametre ise güneş radyasyonuna sürekli maruz kalarak sıcaklığı gittikçe yükselen hücrelerin kısa vadede verim düşüşüyle birlikte uzun vadede deforme

olmasıdır (Du, 2012; Kalogirou, 2009; Yılmaz vd., 2016).

Fotovoltaik sistemlerde termal enerji kazanımı yoktur. Sürekli olarak belirli bir ısı altında çalışan bu sistemlerin termal olarak da enerji kazandırabileceği fikri ilk olarak Martin Wolf tarafından öne sürülmüştür. Bu iki sistemin birleştirilmesiyle ortaya çıkan sistemlere pvt sistemleri denilmiştir (Karthick, 2009). Pvt sistemleri ilk olarak Martin Wolf tarafından 1970'li yıllarda kurulmuştur (Kolhe, 2012). Bu çalışma kendinden sonra gelen birçok çalışmaya ilham kaynağı olmuştur.

Pvt sistemlerde kullanılan iş akışkanı olarak hava, su ve soğutucu akışkanları kullanılabilir (Du vd., 2013; Han ve Park, 1988). Fotovoltaik sistemlerde soğutma işlemi verim düşüklüğü ve ikincil bir enerji kaynağı yaratmak adına büyük önem arz etmektedir (Öner vd., 2016).

Bu deneysel çalışmada ise söz konusu sıcaklık artışının bir takım ısı transferi yöntemleriyle önüne geçilmesi ve atılan bu ısının faydalı enerjiye dönüştürülmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda endüstride sıkça kullanılmakta olan monokristal fotovoltaik güneş hücrelerinin artan hücre sıcaklığıyla birlikte verimlerindeki düşüşünü önleyerek atık ısının değerlendirilmesi ve sistemin toplam veriminin artırılması amaçlanmıştır.

Sistem Tasarımı ve İmalatı

Fotovoltaik-Termal (pvt) sisteminin tasarımı Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Laboratuvarlarında ($T_{ortam} = 18^{\circ}C$) yapılmıştır. Yapılan deneyler sırasında testler gerçek zamanlı olarak kaydedilmiştir. Çalışmanın amacı sürekli olarak güneş ışınımına maruz kalan fotovoltaik hücrelerin sıcaklıklarının artması sonucu ortaya çıkan verim düşüşlerini minimize etmekle birlikte farklı malzemelerde ve ebatlardaki kanatçıkların termal performansını inceleyerek sistemin optimum çalışma sıcaklığını tayin etmektir.



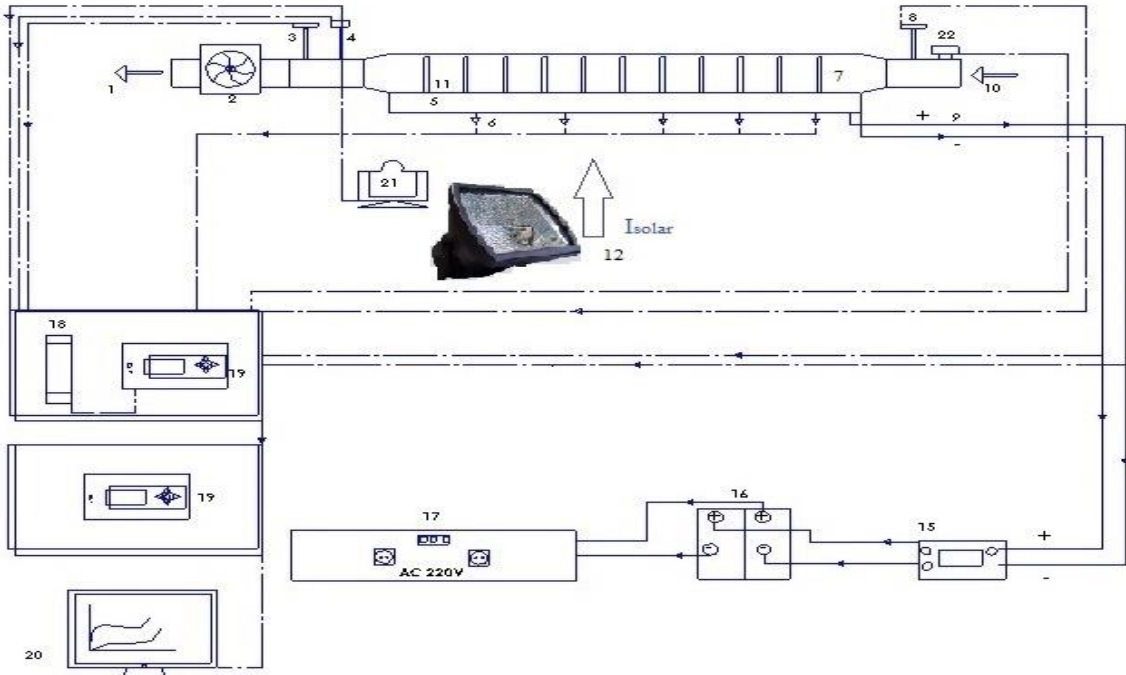
Şekil 1. PVT hibrid sistemi test görüntüsü.

Şekil 1’de görüldüğü üzere, kurulan düzenekte fotovoltaik panel ters konumlandırılarak alt kısmına 1350 W/m^2 gücünde ışınım sağlayan ışık kaynağı takılmıştır. Işınım sapsmalarını engellemek için etrafı ışığı yansıtıcı yüzey ile kaplanmıştır. Fotovoltaik panel metal elemanlar birleştirilerek sabitlenmiştir ve arka yüzeyinde soğutucu kanatçıkların yerleştirilmesine kolaylık sağlayacak şekilde bir kontrol hacmi tasarımı yapılmıştır. Kontrol hacminin yalıtımı için polistren köpük levha kullanılmıştır.



Şekil 2. Isı transfer elemanı alüminyum ve bakır silindirik kanatçıklar.

Fotovoltaik sistem için dizayn edilen kontrol hacmi içerisine Şekil 2’de görüldüğü gibi farklı kanatçıklar yerleştirilmiştir. Fotovoltaik yüzeye tam teması termal macun ile sağlanan alüminyum ve bakır malzemelerden yapılmış kanatçıklar iki farklı sayıda yerleştirilerek ayrı ayrı performansları incelenmiştir.



Test Bölümü	Ölçüm ve Kayıt Bölümü
1-Hava Çıkışı	10,22-Hava Girişi, Giriş sıcaklık ölçümü
2-Fan	11-Soğutucu Kanatçıklar
3-Sıcaklık-Nem Transmitteri	12,21-Yapay Güneş Işınımı, Piranometre
4-Giriş Hızı Anemometresi	15-Solar Şarj Regülatörü
5-Fotovoltaik Panel (NOCT = $37 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$)	16-Asidik Jel Batarya
6- Termoeleman	17-DC-AC İnvörtör
7-Kontrol Hacmi	18-Voltaj Ve Akım Transmitteri
8-Giriş Hızı Anemometresi	19-Veri Kaydedici (Data Logger)
9-Fotovoltaik Güç İletimi	20-Bilgisayar

Şekil 3. Deney sistemi şematik resmi.

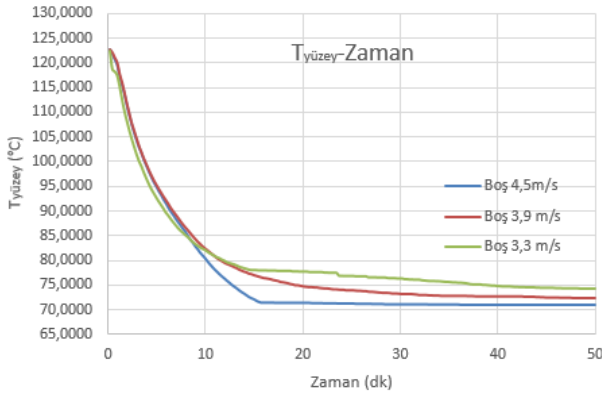
Sistemden yapılması gereken gerçek zamanlı ölçümler için Şekil 3'te görüldüğü gibi çeşitli noktalara sıcaklık, hız ve nem sensörleri yerleştirilmiştir.

Sonuçlar

Deney sisteminde kurulan kontrol hacmi içerisine yerleştirilen ve panel ile tam teması sağlanan kanatçık bölümü deney sisteminin en önemli kısmıdır. Kontrol hacminde hem alüminyum silindirik borular için hem de bakır silindirik borular için 108 adet sık konfigürasyon, 54 adet ise seyrek konfigürasyonda kanatçık kullanılmıştır. Kanatçıkların ısı transferine etkilerini görebilmek için ayrıca kontrol hacminde kanatçıksız deney de yapılmıştır. Deneyler yapay güneş ışınımı altında, nominal optimum hücre sıcaklığı (NOCT) 37 ± 2 °C olan monokristal panel kullanılarak ve gerçek zamanlı kayıt alınarak laboratuvar ortamında yapılmıştır. Fotovoltaik sistemler için, gerçek çalışma şartlarındaki optimum hücre sıcaklığı ise NOCT, ortam hava sıcaklığı (T_{hava}) ve güneş ışınımı değerinin bir fonksiyonu olarak Denklem (1)'deki gibi hesaplanmaktadır.

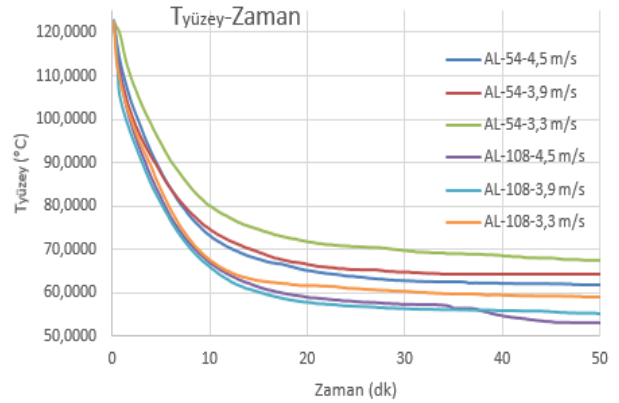
$$T_{hüc} = T_{\infty} [^{\circ}\text{C}] + \frac{NOCT [^{\circ}\text{C}] - 20 [^{\circ}\text{C}]}{800 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]} S \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \quad (1)$$

Sistemde kullanılan projektörler toplamda 1350 W/m^2 değerinde ışınım yaymaktadır. Bu ışınım değerinde kullanılan PV ünitesi için optimum çalışma sıcaklığı Denklem (1)'den $46,7$ °C olarak hesaplanmıştır. Matematiksel verim hesaplamalarında da bu ışınım şiddeti değeri ile hesaplama yapılmıştır.



Şekil 4. Kanatçık kullanılmadığı durumda farklı hızlarda kararlı hale gelme süresi.

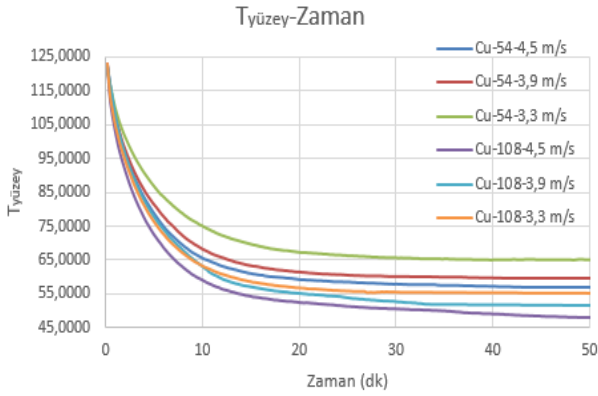
Şekil 4'te görüldüğü üzere tasarlanan düzenekte fotovoltaik panel arkasına kanatçık yerleştirilmeden yapılan deneylerde sistemden bir miktar ısı çekilmiştir. Şekil 4'ten görüldüğü gibi her üç hava hızında da fotovoltaik sistem yaklaşık 25 dakikada kararlı hale gelerek yüzey sıcaklığı sabitlenmiştir. Bu noktadan sonraki yüzey sıcaklığı düşüşleri yaklaşık 3°C civarındadır. Fotovoltaik panel 1350 W/m^2 ışınımına maruz bırakıldığında sistem yaklaşık 30 dakikada 122°C sıcaklığına ulaşmaktadır. Şekil 4'ten görüldüğü gibi 1350 W/m^2 ışınım altında kanatçık kullanılmadığı durumda fotovoltaik yüzey sıcaklıkları $71-74^{\circ}\text{C}$ aralığına kadar soğumaktadır. Fakat bu sıcaklık $46,7$ °C olan optimum çalışma sıcaklığının bir hayli üzerindedir. Bu sebeple fotovoltaik kontrol hacmi içerisine 108 adet sık ve 54 adet seyrek dizilime sahip silindirik alüminyum ve bakır kanatçıklar yerleştirilmiş ve 3 farklı hava hızında deneyler gerçekleştirilmiştir. Fotovoltaik kontrol hacmine yerleştirilen bu kanatçıkların, fotovoltaik yüzey sıcaklığını kanatçık sayısı ve hava hızı ile doğru orantılı olarak düşürdüğü görülmüştür.



Şekil 5. Alüminyum kanatçıkların yüzey sıcaklığına etkisi.

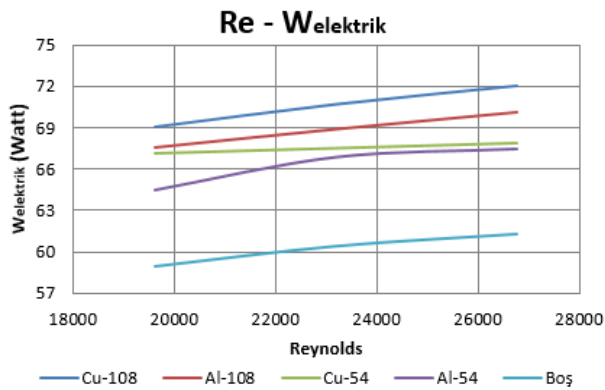
Fotovoltaik kontrol hacmine alüminyum kanatçıklar yerleştirilen düzenek için, yüzey sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 5'te görülmektedir. Alüminyum kanatçık eklenmiş durumda, kanatçıksız duruma göre yüzey

sıcaklığında daha fazla düşüş sağlanmıştır. Bu sayede, kontrol hacminde kanatçiksız olarak fan çalıştırıldığı zaman yüzey sıcaklığının en fazla 52°C düşmesi sağlanırken, yüzeye alüminyum kanatçıklar yerleştirilince aynı hava hızında yüzey sıcaklığının yaklaşık 70°C azaldığı görülmüştür.



Şekil 6. Bakır kanatçıkların yüzey sıcaklığına etkisi.

Şekil 6'dan, yapılan deneyler sonucunda bakır kanatçıkların kararlı çalışma rejimi sırasındaki yüzey sıcaklığı değerleri alüminyum kanatçıklı ve kanatçiksız yapılan deneylere oranla daha düşük olduğu görülebilir. Bakır kanatçıklar kullanılarak fotovoltaik çalışma sıcaklığı 48°C civarına indirgenmiştir.



Şekil 7. Fotovoltaik sistemde kanatçıkların elektriksel enerji etkisi.

Isı transferi uygulamalarında genellikle alüminyum malzemelerin kullanılmasının sebebi bakır ve gümüş malzemelere oranla maliyetlerinin bir hayli düşük olmasıdır. Kurulan düzenekte hem alüminyum hem de bakır malzemelerden yapılmış soğutucu

kanatçıkların performansları incelenmiştir. Tasarlanan kontrol hacminde zorlanmış taşınım ile kanala gönderilen havanın fotovoltaik yüzeyden ısıyı çekerek fotovoltaik sistemin ürettiği elektriksel enerjiyi artırdığı Şekil 7'den görülmektedir. Ayrıca, şekil 7'deki sonuçlar incelendiğinde; kanatçiksız olarak çalıştırılan kontrol hacminde 100W gücündeki fotovoltaik panelden alınan güç yaklaşık 60 W düzeyindedir. Ancak kontrol hacmi içerisine yerleştirilen ısı alıcı kanatçıklar elektriksel güç üretimini yaklaşık 73 W seviyelerine çıkarmıştır. Bu sonuç 108 adet bakır silindirik kanatçık kullanılarak elde edilmiştir.

Değerlendirme

Kurulan düzeneğe yardımıyla gerçek zamanlı kayıtlar alınarak ölçümler alınmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Kullanılan yapay güneş ışınımı projektörü 1350 W/m² gücünde ışınım yaymaktadır. Sonuçlardan görülmektedir ki fotovoltaik sistemlere entegre edilecek termal sistemlerin verimliliği yüksektir. Toplam verim sistemden elde edilen elektriksel ve ısı enerjisi kazançlarının toplamının birim metrekareye gelen ışınım şiddetine oranı ile elde edilmiştir. Sistemin total verimi geleneksel fotovoltaik sistemlerin elektriksel verimlerinden (yaklaşık %55) oldukça fazladır.

Fotovoltaik sistemler ile termal kollektörlerin birlikte kullanılması enerji verimliliği açısından oldukça önemlidir. PVT sistemlerinin birçok çeşidi bulunmaktadır. Kurulan düzeneğe hava ile soğutma uygulanmıştır. Literatüre bakıldığında hava, su, nano akışkan ve faz değiştiren malzeme ile fotovoltaik sistemler içerisinde hapsolan ısının yararlı hale getirilmesi uygulamaları mevcuttur (Bazilian ve Prasad, 2002).

Gelecekte fotovoltaik sistemlerin bu tarz sistemlerle birlikte kombine edilerek endüstride kullanılması ihtimali oldukça yüksektir. Gelişen malzeme teknolojisi ve ihtiyaç duyulan enerji ihtiyacı arttıkça yenilenebilir enerji kaynakları üzerindeki çalışmalar artacak gibi görünmektedir.

Kaynaklar

- Othman, M.Y., Hamid, S.A., Tabook, M.A.S., Sopian, K., Roslan, M.H. and Ibarahim, Z. 2016. Performance analysis of PV/T Combi with water and air heating system: An experimental study. *Renewable Energy*, 86: p. 716-722.
- Wolf, M., 1976. Performance Analyses of Combined Heating and Photovoltaic Power-Systems for Residences. *Energy Conversion*, 16(1-2): p. 79-90.
- Çengel, Y. A. B., M.A. 2008. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Palme Yayıncılık.
- Chegaar, M. 2004. Extracting DC Parameters of Solar Cells Under Illumination. *Vacuum*, 75(4), 367-72.
- Cuce, E. 2014. Improving thermodynamic performance parameters of silicon photovoltaic cells via air cooling. *International Journal of Ambient Energy* 35.
- Cuce, E., P. M. Cuce and T. Bali, 2013. An experimental analysis of illumination intensity and temperature dependency of photovoltaic cell parameters. *Applied Energy* 111: 374-382.
- Du, B. 2012. Performance analysis of water cooled concentrated photovoltaic (CPV) system. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 16: 6732-6736.
- Kalogirou, S. 2009. *Solar Energy Engineering Processes and Systems*, Elsevier Inc.
- Karthick, S. P. 2014. Modelling and Anaysis of Solar Photovoltaic Thermal Collector. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering* 3(4).
- Kolhe, M. 2012. Water Cooled Photovoltaic System. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy* 2.
- D. Du, J. Darkwa, G. Kokogiannakis. Thermal management systems for photovoltaics (PV) installations: a critical rewiev, *Sol. Energy* 97 (2013) 238-254.
- Han JC, Park JS. Developing heat transfer in rectangular channels with rib turbulators. *Int J Heat Mass Transfer* 1988;31:183-95
- Yılmaz, E.Ç., Öner, İ.V., Yeşilyurt, M.K., 2016, Degradation Mechanisms of Organic Solar Cells, *Int. J. of Eng. Res. &Sci (IJOER)*, Vol. 2 -10, 172-174.
- Öner, İ.V., Yeşilyurt M.K., Yılmaz, E.Ç., Ömeroğlu, G., 2016, Photovoltaic Thermal (PVT) Solar Panels, *International Journal of New Technology and Research (IJNTR)*, Vol. 2 -12, 13-16.
- M. Bazilian, D. Prasad. 2002 Modelling of a photovoltaic heat recovery system and its role in a design decision support tool for building professionals. *Renewable Energy*, 27, pp. 57-68

Determination of optimum operating temperature for photovoltaic/thermal (pvt) systems by using various fins

Extended abstract

The studies on renewable energy sources continues to increase. Solar energy, which has the richest potential among these sources, has two typical applications, thermal and photovoltaic. Thermal systems usually work by accumulating the solar energy into a fluid as heat. Examples of such systems are home or industrial solar collectors and sun towers. Photovoltaic systems work on the basis of semiconductor physics and convert a certain range of solar radiation into electricity. For instance, solar cells designed by crystallizing the silicon element in various shapes can convert electromagnetic radiation in the solar spectrum the energy within the range of 0 to 1.12 eV into electrical energy.

The radiation corresponding to the remaining portion is accumulated in the photovoltaic cells as heat. This energy stored in the system increases the photovoltaic cell temperature, hence reduce the electrical efficiency. The aim of this study is to use this excess energy which is accumulated in the system by converting it into useful energy, and determine the optimum operating temperature for the photovoltaic system by preventing the aforementioned reduction in the electrical efficiency.

In other words, the aim is benefiting solar irradiance, which is the power per unit area received from the sun, at the maximum level. A control volume is placed behind the photovoltaic panel for the recovery of excess solar radiation as thermal energy. Fins made of various materials in different geometries which are subject to forced convection were placed in this channel. Among the fins tested, it was the copper cylindrical fins that gave the best result. It has been determined that the effect of photovoltaic cell temperature on open circuit voltage is about 20%. In photovoltaic systems, reduced open circuit voltage also reduces the short circuit current, thus the total efficiency of the system.

In the control volume behind the solar panel, experiments were carried with cylindrical copper and aluminum fins arranged in sparse, a total of 54 pcs, and frequent intervals, a total of 108 pcs. In the experiments, the heat energy storage capacity of the system was tried to be increased by forced convection

at three different air speeds. An artificial solar radiation source providing 1350 W / m² irradiance was placed in front of the solar panel.

This study has shown that; In experiments carried out without placing any heat transfer enhancement elements in the control volume, the solar panel temperature, from 122 °C, could only be reduced to 71-74 °C. However, with aluminum and copper fins installed, the panel surface temperature could be cooled down to 60-65 °C and to 53-57 °C, respectively.

In addition to this information, when the effect of the electrical energy of the fins on the photovoltaic system is examined, While the power from the 100W-capacity photovoltaic panel without any heat transfer enhancement elements was around only 60W, it could be improved up to 73W with 108 pcs cylindrical copper fins.

Real time measurements were taken and the results obtained have suggested that the thermal systems to be integrated into the photovoltaic systems are likely to become highly efficient. Total efficiency was calculated considering the electrical and thermal energy gains obtained from the system against the radiation received per unit square meter. Total efficiency of the system is considerably higher (about 55%) than the electrical efficiencies of conventional photovoltaic systems.

The use of photovoltaic systems and thermal collectors in combination is very important in terms of energy efficiency. There are many types of PVT systems. While the test setup is air cooled, literature reports applications of air, water, nanofluid and phase changing materials in recovering excess heat trapped in photovoltaic systems and convert it into useful energy. It is very likely the photovoltaic systems be used in combination with such systems in the future. As material technology develops and the need for energy increases, so does researches on renewable energy sources.

Keywords: Pvt, electrical efficiency, optimum operating temperature, fins