

Fotovoltaik - Termal (PV / T) Sistemin Sayısal (CFD) ve Deneysel Analizi

Gökhan Ömeroğlu

Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 25070,Erzurum
gomeroglu@atauni.edu.tr

(Geliş/Received: 20.08.2017; Kabul/Accepted: 30.01.2018)

Özet

Yenilenebilir enerji kaynakları; rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, biokütle enerjisi, hidrolik enerji ve jeotermal enerji olarak genelleştirilebilir. Ancak güneş enerjisi bu enerji türlerinin dolaylı olarak tetikleyicisidir. Aynı zamanda güneş sisteminde enerjinin temel kaynağı olarak kabul edilmektedir. Güneş enerjisi konusundaki çalışmalar ısı ve fotovoltaik olarak iki genel gruba ayrılabilir. Fotovoltaik sistemler üzerine yapılan verim artırma çalışmaları da hücrelerin kristal yapısı ve fotovoltaik sistemlerle termal sistemlerin birleştirilmesi sonucu ortaya çıkan PVT (Photovoltaic/Thermal) sistemleri olarak iki grupta incelenebilir. Bu çalışmada güneş enerjisi uygulamaları içerisinde en dikkat çeken sistem olan fotovoltaik sistemlerin, yapay güneş ışınımı akısı altında (900 W/m²), PVT sistemi olarak dizayn edilerek, çalışma rejimi sırasındaki ısı ve elektriksel performansı incelenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) analizleri sonucu ortaya çıkan veriler ile kıyaslanarak doğruluğu teyit edilmiştir. 3 farklı hava hızında (3 m/s, 4 m/s, 5 m/s) ve 2 farklı yüzey konfigürasyonunda deneyler yapılmıştır. Isı transfer elemanı olarak bakır kanatçıklar kullanılmıştır. Sonuç olarak fotovoltaik panelin elektriksel ve termal veriminin aktif soğutma yapılarak nasıl iyileştirildiği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: PV/T, Isı Transferi, Verimlilik, Kanatçık, Bakır

Numerical (CFD) and Experimental Analysis of Photovoltaic - Thermal (PV / T) System

Abstract

Renewable energy sources can be generalized as wind energy, solar energy, biomass energy, hydraulic energy and geothermal energy. However, solar energy is an indirect trigger of these types of energy. At the same time, the sun is regarded as the main source of energy in the environment. The work on solar energy can be divided into two general groups as thermal and photovoltaic. Efficiency enhancement studies on photovoltaic systems can be examined in two groups as the crystal structure of the cells and the PVT systems resulting from the combination of photovoltaic systems and thermal systems. In this study, photovoltaic systems, which are the most prominent systems in solar energy applications, were designed as PVT system under artificial solar radiation (900 W / m²) and the thermal and electrical performance of the working regime was investigated. Experimental results obtained Computational Fluid Dynamics (CFD) analyzes confirmed the correctness of the results compared with the resulting data. Experiments were carried out at 3 different air velocities (3 m / s, 4 m / s, 5 m / s) and 2 different surface configurations. Copper fins were used as heat transfer element. As a result, it has been demonstrated how the electrical and thermal efficiency of the photovoltaic panel is improved by active cooling.

Keywords: PV/T, Heat Transfer, Efficiency, Fins, Copper

1.Giriş

Konvansiyonel enerji kaynakları olarak nitelendirilen fosil kökenli kaynakların sonunun hızla yaklaşmakta olduğu gerçeği, endüstriyi enerjiyi daha verimli kullanmaya veya yeni kaynak arayışlarına girmeye itmektedir. Yeni kaynak arayışları ise ülkemizde rüzgâr, güneş ve hidroelektrik enerji üretimi üzerine yoğunlaşmış durumdadır. Fakat bu kaynaklar içerisinde

üzerine en çok araştırma yapılanı güneş enerjisidir [1].

Bilindiği gibi güneş enerjisi ışınım yoluyla yayılmaktadır. Güneşten gelen bu ışınımı (foton) doğrudan elektriksel (voltaik) bir enerji elde etmek için kullanan sistemlere fotovoltaik (PV) sistemler adı verilmiştir.

Literatürde güneş hücreleri, güneş gözeleri, güneş pilleri ve güneş panelleri gibi birçok şekilde adı geçmektedir. Fotovoltaik sistemlerin tarihi 19. yüzyılın ilk dönemine kadar dayanmaktadır.

Fotovoltaik etki 1839 yılında Fransız fizikçi Edmond Becquerel (1820-1891) tarafından keşfedilmiş ve günümüzde kullanılan fotovoltaik güneş enerji sistemlerinin temelini oluşturmuştur [2].

Güneş, enerjisini foton denilen enerji yüklü tanecikler vasıtasıyla yayar ve bir fotonun enerjisi Planck Sabiti ($h = 6,625 \times 10^{-34}$ J.s) ve fotonun frekansı (Hz) ile bağıntılı olarak hesaplanmaktadır [3]. Güneşin enerjisini etrafına nasıl transfer ettiğini anlayabilmek için yüzey sıcaklığını bilmek gerekir. Güneşin yüzey sıcaklığının bir takım ışınım hesaplamaları vasıtasıyla 5770-5800 K ve yaydığı ışınım akısının da 1377 W/m^2 olduğu belirlenmiştir [4].

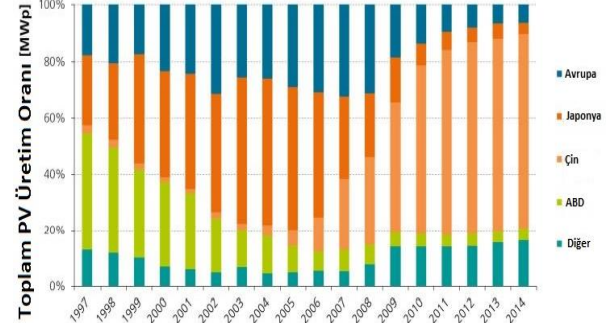
Güneşten yeryüzüne olan ısı transferi güneşten gelen akının ölçülen noktaya ne kadarının ulaştığına bağlıdır. Bu değer ise hava yoğunluğu (Air Mass, $AM=1/\cos\theta$) adı verilen sabit ile belirlenir. Fotovoltaik sistemler zenit açısı (θ)'nın 0° ve 45° olduğu durumlarda sıklıkla kullanılmaktadır [5].

11 Aralık 1997 tarihinde küresel ısınma ve iklim değişiklikleri konusunda yasal bir sınırlama olarak Kyoto Protokolü'nü imzalayan ülkeler karbondioksit ve sera gazı etkisi yapan gazların salınımını azaltmayı veya en azından karbon ticareti yoluyla haklarını arttırmak üzere anlaşmışlardır. Bu protokolün imzalanmasının akabinde yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi bir hayli artmış ve özellikle fotovoltaik güneş enerji sistemlerinin gelişimi hız kazanmıştır [5].

Bu konuda hem deneysel hem de teorik olarak yapılan bilimsel çalışmaların artmasıyla birlikte 2000 ve 2014 yılları arasında PV sistemi kurulum oranı da %44 artmıştır. Örneğin 2014 yılında Almanya'da 1,5 milyon PV sistemi kurulmuştur. Dünyada üretilen PV modüllerin, toplam PV üretim oranına göre en çok kullanılan ülkelerdeki değişimi Şekil 1'de gösterildiği gibidir.

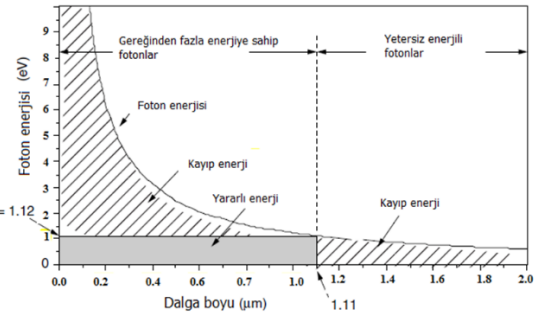
Güneş hücreleri, herhangi bir dönel elemana ihtiyaç duymadan güneşten aldığı enerjiyi direkt olarak elektriksel enerjiye çevirirken bir takım fizik kuralları çerçevesinde çalışırlar. Bu hücrelerdeki fotovoltaik etkiyi anlayabilmek için periyodik cetvelin 4A grubu elementleri olan yarıiletken materyallerin bazı temel özellikleri bilinmelidir. Bu gruptaki elementler içerisinde fotovoltaik malzeme olarak en çok kullanılan silisyumdur. Yarıiletken materyallerden

yararlanmak için bunları farklı tiplerde karıştırılarak (n veya p-tipi) eklemler oluşturulur.



Şekil 1. Dünyada toplam üretilen PV modül oranı [6]

Bu tip eklemlerin aynı tip (homojunction) ve farklı tip (heterojunction) olmak üzere iki farklı çeşidi vardır. Aynı tip eklemlerin üretimleri kolay ve maliyetleri azdır fakat çok verimli devre elemanları değildirler. Farklı tip eklemlerin ise üretimleri zor ve pahalıdır ancak bu malzemelerle verimli ve hızlı elektronik devre elemanları yapmak mümkündür. Fotovoltaik güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan materyaller farklı tipte (hetero) eklemlerden elde edilirler.



Şekil 2. Foton ile elektron koparmak için gerekli olan enerji [7].

Şekil 2'den görüldüğü gibi fotovoltaik hücre üzerine düşen güneş ışınımının elektron kopararak gerilim üretmesi için gerekli olan enerji aralığı 0-1,12 eV değerindedir [7]. Bu enerji aralığının üzerinde bir foton fotovoltaik hücre üzerine düşerse sistemde ısı olarak depo edilecektir [8]. Böylelikle fotovoltaik sistemin verimi düşecektir.

Bu çalışmada, deneylerde kullanılan kanatçık elemanlarının boyutları ve yüzey konfigürasyonları başka çalışmalarda olmadığı gibi, sistemin zorlanmış taşınımına maruz kalması için gerekli olan fan gücünde sistemin ürettiği

elektrikten beslenmiştir. Yapılan bu tasarım sayesinde ek bir elektrik tüketimine gerek kalmadan sistemin verimliliğinde ki düşüşün önüne geçilmiştir. Ayrıca kontrol hacminin boyutu, hava hızları ve fan yerleşim yeri de bu çalışmayı diğer çalışmalardan ayırmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Deney düzeneği

Fotovoltaik-Termal (PVT) sisteminin tasarımı ve imalatı Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Laboratuvarlarında yapılmıştır. Yapılan deneylerin ölçüm değerleri gerçek zamanlı olarak kaydedilmiştir.

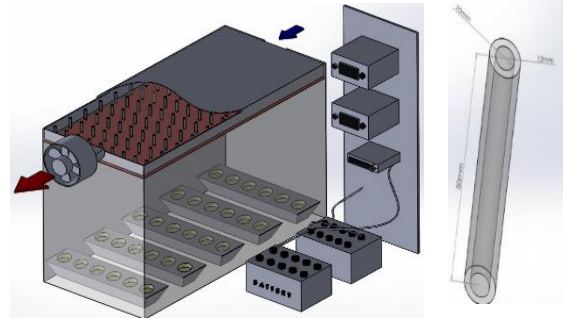
Çalışmanın amacı sürekli olarak güneş ışınımına maruz kalan ve çalışma rejimi sırasında yüzey sıcaklığı yükselen fotovoltaik hücrelerin verim düşüşlerini minimize etmekle birlikte farklı malzemelerde ve ebatlardaki soğutucu kanatçıkların termal performansını inceleyerek sistemin optimum çalışma sıcaklığını tayin etmektir.



Şekil 3. PV/T hibrid sistemi test görüntüsü.

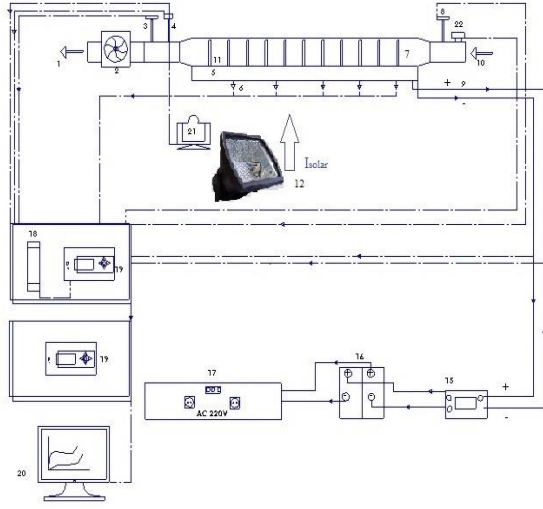
Kurulan düzenekte fotovoltaik panel yüzeyi yere doğru çevrilerek konumlandırılmıştır ve alt kısmına $900\text{W}/\text{m}^2$ gücünde ışınım sağlayan ışık kaynağı takılmıştır. Işınımın saçılmadan fotovoltaik yüzeye düşüşünü sağlamak için çevreden bağımsız bir şekilde yansıtıcılarla yalıtımı sağlanmıştır. Fotovoltaik panel profil elemanlar birleştirilerek sabitlenmiştir ve arka yüzeyinde soğutucu kanatçıkların yerleştirilmesine kolaylık sağlayacak şekilde bir kontrol hacmi tasarlanmıştır. Kontrol hacminde yalıtım malzemesi olarak polistren köpük levha kullanılmıştır. Sistemden yapılması gereken

gerçek zamanlı ölçümler için çeşitli sensör elemanları yerleştirilmiştir. Bu yerleştirilen sensörler ile kanal girişi hava hızı, panel yüzey sıcaklıkları, ortam ve kontrol hacmi nem değerleri, giriş çıkış basınç farkları ölçülmüştür. Fotovoltaik sistem için dizayn edilen kontrol hacmi içerisine Şekil 3'te görüldüğü gibi farklı sayılarda (54 ve 108 adet) silindirik bakır kanatçıklar yerleştirilerek performansları incelenmiştir. Bakır kanatçık elemanları 5 cm boyunda, silindirik(boru) elemanlardır. İç çapları 10mm ve dış çapları 12 mm'dir. Fan ısındıkça kontrol hacmi içerisine kendi ısısını vermemesi için emiş tarafına bağlanmıştır. Sistemde kullanılan kanatçık elemanları fotovoltaik hücrenin arkasına termal macun ile sabitlenmiş, kanatçık elemanlarının deneyler esnasında yer çekimi etkisi ile hücreden ayrılmaması için sistem ters çevrilmiştir. Yani ışınım, fotovoltaik hücreye Şekil 4'te görüldüğü gibi alttan yukarı doğru verilmiştir. Kanatçıklar panelin arka yüzeyine 54'lü dizilimde dikey eksende 13 cm yatay eksende 9 cm aralıklarla, 108'li dizilimde dikey eksende 11 yatay eksende 7 cm aralıklarla yerleştirilmiştir.



Şekil 4. Deney düzeneğinin ve ısı transfer elemanının şematik görünümü.

Şekil 5'te deney düzeneğinin 2 boyutlu şematik görünümü verilmiştir. Tüm sistem elemanlarının yerleşimi numaralandırılmıştır.

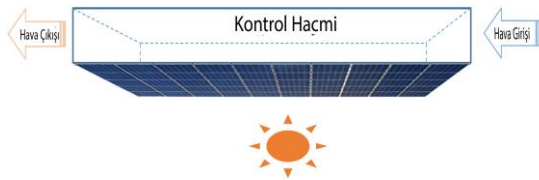


Test Bölümü	Ölçüm ve Kavıt Bölümü
1-Hava Çıkışı	10,22-Hava Girişi, Giriş sıcaklık ölçümü
2-Fan	11-Soğutucu Kanatçıklar
3-Sıcaklık-Nem Transmitteri	12,21-Yapay Güneş Işınımı, Piranometre
4-Giriş Hızı Anemometresi	15-Solar Şarj Regülatörü
5-Fotovoltaik Panel	16-Asidik Jel Batarya
6- Termoeleman	17-DC-AC 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 5. Deney düzeneğinin ayrıntılı 2 boyutlu şematik gösterimi.

2.2. Matematiksel metot

Termodinamiğin birinci ve en temel yasası olan kütle korunumu yasası (süreklilik denklemi) bütün termodinamik hesaplamalarda geçerlidir. PV/T sistemi bir kontrol hacmi olarak tasarlandığı için sürekli akışlı açık sistem denklemleri geçerlidir. Kontrol hacmi sınırından hem kütle hem de enerji giriş çıkışı olabilir [9, 10]. Deney sisteminin kontrol hacim şeması Şekil 6'da gösterildiği gibidir.



Şekil 6. Deney sistemi kontrol hacmi.

Güneşten gelen toplam solar güç ise ısı güç kazancı ile elektriksel güç üretiminin ($\dot{Q}_e = I.V$) toplamıdır.

$$\dot{Q}_g = \dot{m} \left[c_p(T_c - T_g) + \left(\frac{V_c^2 - V_g^2}{2} \right) \right] + I.V \text{ [kW]} \quad (1)$$

şeklinde ifade edilebilir ve genel olarak birinci yasa verimi:

$$\eta_U = \frac{\dot{Q}_e + \dot{Q}_h - W_{fan}}{\dot{Q}_g} \quad (2)$$

Sistemde havanın akışı söz konusudur ve bu akışın sıkıştırılabilir veya sıkıştırılmaz oluşunu belirlemek hesaplamalarda önemlidir. Bir akışta sıkıştırılabilirlik etkisinin önemli olup olmadığına Mach sayısı hesaplanarak karar verilir. Mach sayısı 0.3'ten küçük bir değerde ise veya 1 atmosfer basınç ve yaklaşık 25°C sıcaklıkta akış hızı 100 m/s'nin altında ise akış sıkıştırılmaz olarak kabul edilir.

$$Ma = \frac{V}{c} \quad (3)$$

burada c ($c = 299\,792\,458$ m/s) ışık hızı, V ise akışkanın hızını ifade etmektedir. Buradan akışın Newtonian akış olduğu sonucuna varılır.

$$Q = h \cdot A_{pv} \cdot (\Delta T_{air} - T_{pv}) \text{ [kW]} \quad (4)$$

PV/T sisteminde havanın kazandığı enerji yardımıyla sistemin toplam ısı taşınım katsayısı hesaplanabilir. Toplam ısı transfer katsayısı sistemden çekilen toplam ısının bir fonksiyonudur.

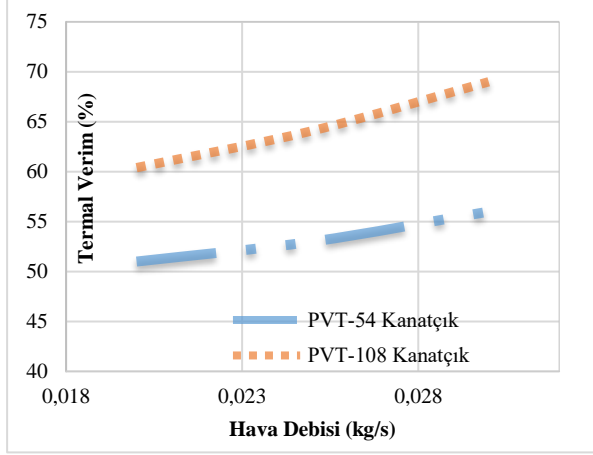
$$Nu = \frac{h \cdot D_h}{k_{air}} \quad (5)$$

Sistemde soğutucu akışkan olarak çalışan havanın farklı hızlarındaki her bir Reynolds değeri için farklı bir Nusselt katsayısı çıkacaktır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

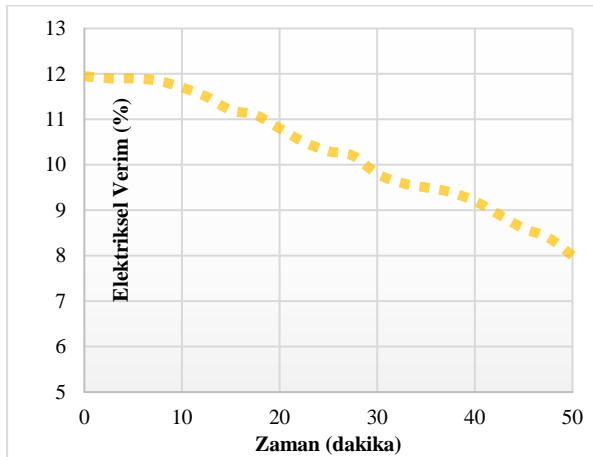
Deney sistemindeki kontrol hacmi içerisine yerleştirilen ve panel ile tam teması sağlanan kanatçık bölümü deney sisteminde ölçümlerinin yapıldığı kısımdır. Kontrol hacminde bakır silindirik kanatçıklar 108 adet sık konfigürasyon, 54 adet ise seyrek

konfigürasyonda kullanılmıştır. Deneyler yapay güneş ışınımı ile 900 W/m^2 ışınım akısı altında yapılmıştır.



Şekil 7. PV/T deney düzeneğinde kullanılan kanatçıkların termal verimi

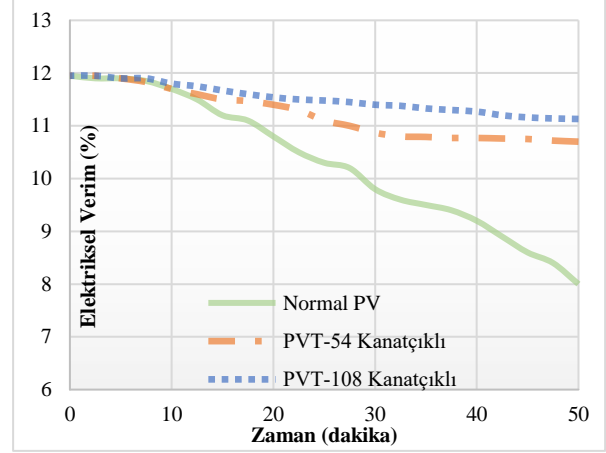
PV/T sistemindeki kontrol hacmi içerisine yerleştirilen kanatçıklar yardımıyla Şekil 7’de verilen grafikte görüldüğü gibi sisteme gönderilen 900 W/m^2 ışınım akısının belirli bir miktarı termal enerji olarak geri kazanılmıştır. Grafikte 54 adet bakır kanatçığın en yüksek termal verimi %56 civarında iken kanatçık sayısı 108 adet olduğu durumda en düşük hava debisinde bile bu değer %60 civarında olmaktadır. Yapılan deneyler sonucunda en yüksek termal verim ise $0,03 \text{ kg/s}$ hava debisinde %69 civarında olmaktadır.



Şekil 8: Soğutma yapılmadığı durumda fotovoltaik sistemin elektriksel veriminin düşüşü

Yukarıda Şekil 8’de görüldüğü gibi fotovoltaik panelde soğutma yapılmadan yapılan deneyde panelin ürettiği elektriksel verim

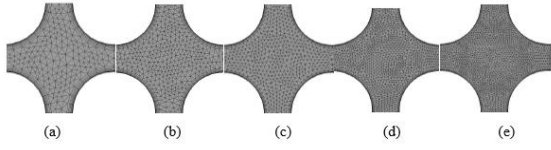
zamanla düşmektedir. Yüzey sıcaklığının yükselişinin bir sonucu olarak meydana gelen bu düşüş elektriksel verimi %11,9 seviyelerinden %8 seviyelerine düşürmektedir. Yaklaşık olarak 50 dakika sonunda fotovoltaik yüzey sıcaklığı 80°C değerinin üzerine çıkmıştır.



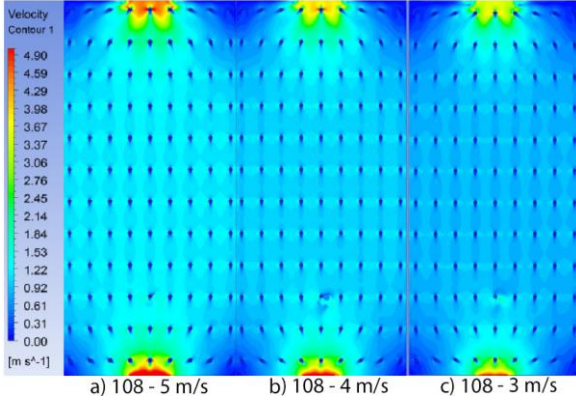
Şekil 9. Farklı sayıda bakır kanatçıkların elektriksel verime etkisi

Fotovoltaik sistemde Şekil 5 ile verilen deney sistemi görüntüsünde 7 numaralı eleman olan kontrol hacmi içerisine yerleştirilen bakır kanatçıklar, zorlanmış taşınım maruz bırakıldıklarında Şekil 9’dan görüldüğü gibi elektriksel verimdeki düşüşün dikkat çekici bir ölçüde önüne geçmiştir. Şekil 3’te görüldüğü gibi sisteme 108 adet bakır kanatçık eklendiğinde elektriksel verim % 11 seviyelerinin üzerinde seyretmektedir. Aynı şekilde 54 adet bakır kanatçık kullanıldığında da elektriksel verim % 10,7 civarındadır. Belirtilen ışınım altında sistem kanatçık kullanılmadığı durumda ise % 8 civarında bir verime sahiptir. Kanatçıkların olmadığı bölümlerdeki mesh görüntüleri Şekil 10’da gösterilmiştir. PVT sisteminde yapılan deneyler aynı şekilde CFD (Computational Fluid Dynamics) analizi yöntemiyle de çözümlenmiştir. CFD analiz sonuçları hız ve sıcaklık kontörleri (Şekil 11, Şekil 12, Şekil 13 ve Şekil 14’te) derlenerek sunulmuştur. Şekil-11 ve Şekil-12 de 108 adet bakır kanatçık için 3 farklı hava hızında sıcaklık ve hız dağılımları incelendiğinde artan hız değerine karşılık yüzey sıcaklıkları açısından en iyi yüzey soğumanın sırasıyla 5-4-3 m/s hız değerlerinde olduğu açıkça görülebilir.

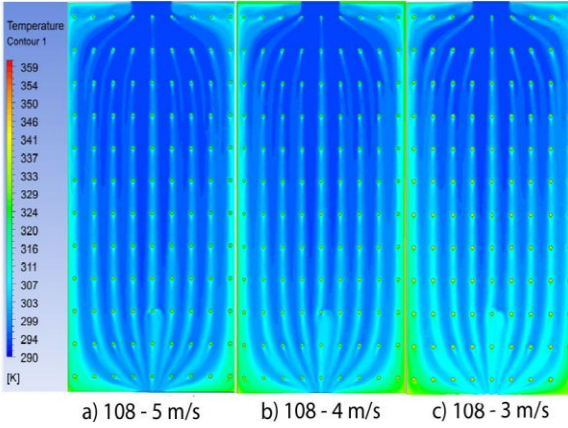
$$h_i = (\text{hacim} / i\text{-mesh sayısı})^{1/3}$$



Şekil 10. Kanatçıkların olmadığı bölümlerdeki mesh görüntüleri (h_1 değerleri $a=0.34$ $b=0.25$ $c=0.22$ $d=0.18$ $e=0.12$)

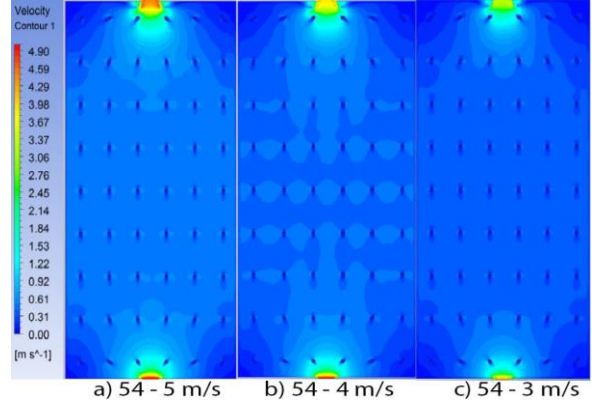


Şekil 11. 108 adet kanatçıkta hız vektörleri dağılımı

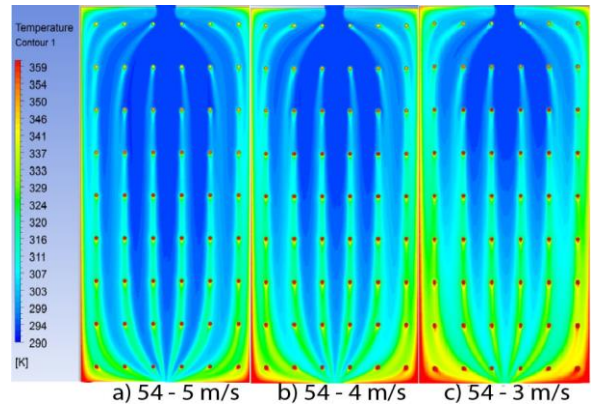


Şekil 12. 108 adet kanatçıkta sıcaklık vektörleri

Şekil-13 ve Şekil-14 de 54 adet bakır kanatçık için 3 farklı hava hızında sıcaklık ve hız dağılımları incelendiğinde artan hız değerine karşılık yüzey sıcaklıkları açısından en iyi yüzey soğutmanın 108'li dizilime benzer olarak sırasıyla 5-4-3 m/s hız değerlerinde olduğu görülmüştür. Ortaya çıkan bu sonuçlar çerçevesinde yüzey soğutmada artan hava hızının yüzeyi daha iyi soğuttuğu, kanatçık sayısına bağlı olarak artan yüzey alanı ile ısı transferinin daha verimli gerçekleştiği gözlemlenmiştir.



Şekil 13. 54 adet kanatçıkta hız vektörleri dağılımı.



Şekil 14. 54 adet kanatçıkta sıcaklık vektörleri.

Yapılan bu çalışmada termal verimleri ihmal edilen fotovoltaik sistemler için bir PVT sistemi imal edilerek termal bir yaklaşım ele alınmıştır. Yapılan deneyler sonucunda iş akışkanı olarak hava kullanılan PVT sistemlerinde ısı iletim katsayısı yüksek olan metaller kullanılırsa geleneksel PV sistemlerine göre daha verimli olacaktır. PV sistemleri termal açıdan incelenmek istenirse PVT sistemlerine en uygun dönüşümü sağlanarak bu yüksek verimler elde edilebilir.

Ayrıca PVT sistemlerin sıcaklığa bağlı elektriksel verimlerindeki azalmayı engellemeye yönelik sonraki çalışmalarda panel yüzeyine mikro kanal yapılması, ısı transferini artırma etkisi oldukça yüksek yeni malzemelerden alüminyum veya Bakır köpük malzemelerin kullanılması ve farklı dizilimlerinin etkilerinin incelenmesi gerekliliği sonucuna varılmıştır.

4. Kaynaklar

1. Messenger R, Abtahi A. (2017). Photovoltaic systems engineering, CRC press.

2. Web sitesi, Anonim. Son erişim tarihi: 22.12.2017 <http://www.gunessistemleri.com/fotovoltaiktarihce.php> p. 2008.
3. Green, M. A. (1982). Solar cells: operating principles, technology, and system applications.
4. Kuhn, J. R., Libbrecht, K. G., & Dicke, R. H. (1988). The surface temperature of the sun and changes in the solar constant. *Science*, 242(4880), 908-911.
5. Kropp, R. (2009). Solar expected to maintain its status as the world's fastest-growing energy technology. *Sustainability Investment News*.
6. Koç, E., & Şenel, M. C. (2013). Dünyada ve Türkiye'de enerji durumu-genel değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, 54(639), 32-44.
7. Masters, G. M. (2004). Photovoltaic materials and electrical characteristics. *Renewable and Efficient Electric Power Systems*, 445-504.
8. Cuce, E., & Riffat, S. B. (2017). A smart building material for low/zero carbon applications: heat insulation solar glass—characteristic results from laboratory and in situ tests. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 12(2), 126-135.
9. Radziemska, E. (2003). The effect of temperature on the power drop in crystalline silicon solar cells. *Renewable Energy*, 28(1), 1-12.
10. Rahman, M. M., Hasanuzzaman, M., & Rahim, N. A. (2015). Effects of various parameters on PV-module power and efficiency. *Energy Conversion and Management*, 103, 348-358.