

Fotovoltaik-termal (PV/T) bir sistemin deneysel performansının incelenmesi

Metin GÜL^{*1} Ersin AKYÜZ^{2,3},

¹Balikesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çağış Kampüsü, Balıkesir.

²Balikesir Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Çağış Kampüsü, Balıkesir

³Balikesir Üniversitesi Yenilenebilir Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi, Balıkesir

Geliş Tarihi (Received Date): 05.11.2018

Kabul Tarihi (Accepted Date): 01.02.2019

Özet

Bu çalışmada, Balıkesir Üniversitesi Çağış kampüsünde kurulan hibrit fotovoltaik termal (PV/T) bir sistemin elektriksel ve termal çalışma performansları incelenmiştir. Kurulan sistemin, şebeke bağımsız olarak akülerle birlikte elektriksel çalışma performansı değerlendirilmiştir. 0.015, 0.044 ve 0.069 kg/s' lik akışkan hızlarında yapılan ölçümlerde sistemin termal veriminin %49.9 ile %52.11 arasında değiştiği görülmüştür. Ağustos ayı için, belirlenen elektriksel yük profilinde, sistemin şebeke bağımsız elektriksel performans incelemesi sonucunda akülerle yük besleme yaparken şarj durumu %40 ile %100 arasında değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca PV/T panelin soğutmalı ve soğutmasız durumlarda elektriksel performansı incelenmiştir ve soğutma yapıldığı durumda elektriksel çıkış maksimum güç noktasında %12.9' luk bir artış belirlenmiş ve bu değerlerde elektriksel verim %12 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Hibrit fotovoltaik termal, PV/T, güneş enerjisi, yenilenebilir enerji.

Performance investigation of a hybrid photovoltaic-thermal (PV/T) system

Abstract

In this study, electrical and thermal performances of a hybrid photovoltaic thermal system (PV/T) which built in Balıkesir University Campus area were investigated. The off-grid electrical performance of the system with batteries has been evaluated. It is found that the thermal efficiency of this system changes between 49.9% and 52.11% by the measurements in 0.015, 0.044 and 0.069 kg/s flow rates. In August, the state of

* Metin GÜL, metingul@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0001-6168-1768>

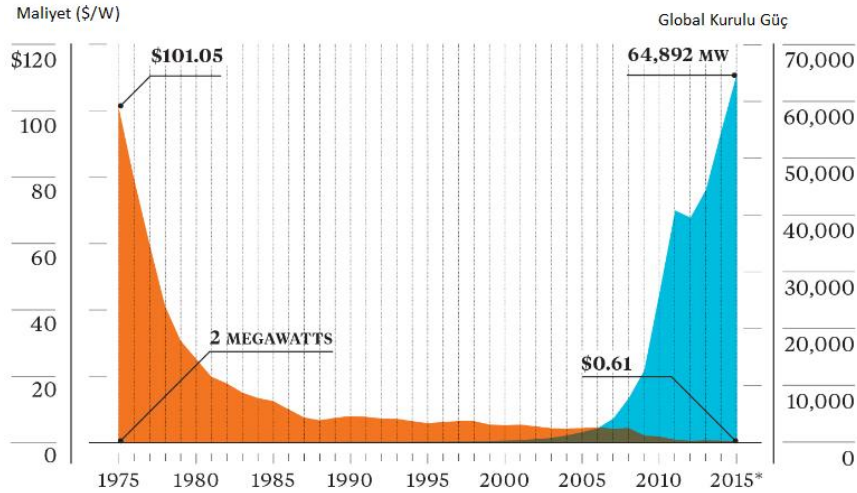
Ersin AKYÜZ, eakyuz@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0001-9786-3221>

charge of batteries change between 40% and 100% while the system feeds the specified load profile. Additionally, the electrical output of the cooling and uncooling of PV/T panel in the maximum power point were compared resulting approximately 12.9% increasing power. The electrical efficiency has been calculated as 12% for cooling system.

Keywords: Photovoltaic thermal, PV/T, solar energy, renewable energy.

1. Giriş

Geleneksel enerji kaynaklarına ulaşmadaki zorluklar, yarattığı çevre sorunları ve ülkelerin enerji kullanımında dışa bağımlılığını azaltmak istemesi son yıllarda yenilenebilir enerji yatırımlarının artmasında önemli rol oynamıştır [1]. Fotovoltaik (PV) panel maliyetlerindeki hızlı düşüşle beraber güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında ön plana çıkmıştır. Şekil 1’ de 1975 yılından günümüze PV hücre maliyetlerindeki hızlı düşüş ve buna bağlı olarak global kurulu güçteki artış trendi verilmiştir. Gözlenen PV hücre fiyatlarındaki düşüşle birlikte güneş enerjisinden faydalanma konusundaki uygulamalar 2000’ li yıllarda hızla artarak 2015 yılında küresel olarak 64.892 MW güç değerine ulaşmıştır [2]. Ülkemiz güneş enerjisi kurulu gücü açısından 2016 yılında 844 MW ile 25. sıradayken 2017 yılında 3422 MW’ lık kapasite ile 13. sıraya yükselmiştir[3]. Güneş enerjisi kurulu gücü 2018 haziran ayı verilerine göre 4725.9 MW’ a ulaşarak çok hızlı bir artış göstermiştir [4].

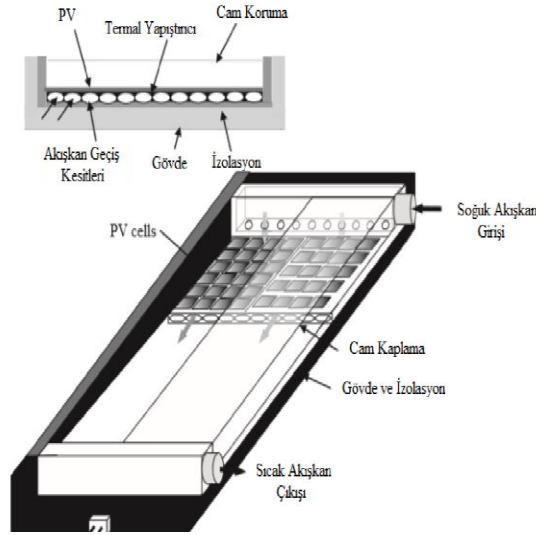


Şekil 1. PV fiyatlarının tarihsel değişimi [2].

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmeye yönelik kullanılan PV hücreler bu işlemi güneşten soğurulan foton enerjisinin dönüşümü ile gerçekleştirmektedir. Bu enerji dönüşümü için yarı iletken malzemelerle oluşturulmuş yüzeyler kullanılır [6]. PV hücreler tarafından kullanılan foton enerjisinin büyük kısmı elektrik enerjisine dönüştürülemez ve ısı enerjisi olarak sistemde bulunur. Bu ısı enerjisi PV hücrelerinin ısınmasına dolayısıyla elektrik veriminde azalmaya sebep olur. Hücredeki bu sıcaklığın bir akışkan yardımı ile çekilmesiyle, sistemin elektrik verimi daha yüksek seviyelere çıkartılabilir. Bun için düzlemsel PV kolektöre bağlı ısı soğuran elemanlardan oluşan Fotovoltaik/Termal (PV/T) hibrit sistemler kullanılmaktadır. Böylece sistemde eş zamanlı olarak ısı ve termal enerji üretilmektedir. Bu enerji miktarı, güneş ışınımına,

ortam sıcaklığına, rüzgâr hızına, sistemde bulunan elemanların çalışma sıcaklığına ve ısı çekme yöntemine göre değişiklik gösterir [7].

PV/T kollektörlerde, PV hücrede oluşan ısıyı soğurmak için genellikle hava ya da sıvı akışkanlar kullanılır. Deneysel çalışmada kullandığımız PV/T kollektör, ısıyı soğurmak için sıvı akışkanın kullanıldığı bir eşanjöre yapıştırılmış polikristal PV modülden (Şekil 2) oluşmaktadır. [8]. PV/T sıvı kolektörün tipik tasarımı, PV modül ve arkasına sabit bir şekilde yerleştirilmiş metal levha ve sıvı emici plakadan oluşmaktadır. PV yüzeyin arkasında sıvı tabii dolaşım ya da zorlamalı (pompalı) biçimde dolaştırılarak hem PV hücre sıcaklığını düşürür hem de çevreye yayılacak bu ısıyı yararlı, kullanılabilir hale getirir [9]. PV/T sıvı kollektörler içindeki sıvının akışına ve kollektör bileşenlerine göre çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. Bu çerçevede en geniş sınıflandırmayı Zondag ve arkadaşları levha ve boru tipi, kanal tipi, serbest akış tip ve iki kanallı çift soğuruculu model olmak üzere yapmışlardır [10].



Şekil 2. PV/T sıvı kollektör [8].

PV/T kollektörlerde akışkan olarak havanın kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde hava sıcaklığının 20°C'nin üzerinde olduğu durumlarda havanın PV hücre sıcaklığını soğutmadaki etkisinin suya göre daha düşük olduğu gözükmemektedir [11,12]. P. Rawat ve ark. PV/T hava ve su soğutmalı sistemleri karşılaştırarak toplam sistem verimlerini incelemiş ve sırasıyla % 62.57 ve % 70 olarak bulmuşlardır [13]. Bergene ve Lovvik ise PV/T sıvı akışkan sistemlerin enerji analizleri neticesinde toplam verimin % 60-80 arasında olduğunu hesaplamıştır [14]. Benzer bir çalışmada Fudholi ve ark., PV/T sistemin elektriksel ve termal performanslarını incelemiş, elektriksel verimi % 13.8, termal verimi % 54.6 olarak bulmuştur. Farklı debilerde yapılan analizlerde akış hızının PV yüzeyindeki soğuma ve termal enerji eldesini etkilediği belirlenmiştir [15].

Ülkemizde farklı coğrafi koşullarda yapılan deneysel çalışmalarda PV/T sistemlerin enerji ve ekserji analizleri gerçekleştirilmiştir. F. Duran Isparta iklim şartlarında PV/T sistemin soğutmalı ve soğutmasız elektriksel performansını incelemiş ve soğutmalı durumda elektriksel verimde %7' lik bir artış gerçekleştiğini hesaplamıştır. Ayrıca incelediği bu sistemin ekserji verimini ortalama %21 olarak hesaplamıştır [16]. D. Engin çalışmasında, doğal ve zorlanmalı sistemlerin karşılaştırılmasını İzmir iklim

şartlarında incelenmiştir. Doğal dolaşimli sistemde verim %41 olarak hesaplanırken, pompa ile dolaşım sağlandığında verimin %59' a kadar yükseldiği saptanmıştır [17].

H. İ. Dağ en yüksek verime sahip PV/T sistemi araştırmak için farklı boru çaplarında, dizilimlerde, tabaka tiplerinde ve özdeş PV hücelere sahip kollektörlerle deneysel çalışmalar yapmıştır. Buna bağlı olarak toplam sistem veriminin % 60.68 ile % 67.14 arasında değişen değerlerini hesaplamıştır [18]. Balıkesir ilinde deneysel ölçümlerle elde edilen meteorolojik veriler 15.08.2017 tarihinden itibaren bir yıllık süre için kayıt edilmiştir. Kurulan sistemin termal ve elektriksel verimlerinin incelenmesinin ötesinde şebeke bağımsız olarak belirlenen bir yük profili için çalışma performansı da değerlendirilmiştir. Bu noktada bu çalışma Balıkesir ilinde bu tip sistem kurulumları için kaynak niteliğinde veri sağlayacaktır.

Bu çalışmada, Balıkesir Üniversitesi kampüsünde kurulan bir PV/T hibrit sistemin deneysel performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu amaçla kollektör giriş-çıkış sıcaklıkları, kütleli akış hızı, hava sıcaklığı, güneş ışınımı, panel hücre sıcaklığı gibi fiziksel büyüklüklerin ölçümü yapılarak kaydedilmiştir. Aynı zamanda farklı kütleli akış hızlarında sistemin termal performansı incelenmiştir. Sistemin elektriksel performansının belirlenmesi için sistem elektriksel çıkışında maksimum çalışma noktasında ki akım ve gerilim değerleri ölçülmüştür.

Sistemin elektriksel performansının yanında şebeke bağımsız çalışma durumu aküler ve belirlenen bir yük profili ile birlikte değerlendirilmiştir. Bu yüklerin çektiği akım değerleri ile PV/T sistemden çekilen akım değerleri anlık kaydedilip, akü şarj seviyeleri ile sistemin anlık verim değerleri belirlenmiştir.

2. Deneysel çalışma

2.1 Deney düzeneği

PV/T sistemin elektriksel ve termal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsünde kurulan deney sisteminde iki adet PV/T panel, 100 lt. depo, sirkülasyon pompası, şarj regülatörü, 4 adet 98Ah-12V jel akü, 1 adet basınç tankı ve 1 adet inverter bulunmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Balıkesir Çağış kampüsünde kurulan PV/T sistemi.

Sistemde iki adet PV/T' nin su bağlantıları birbirine bağlanarak bir sirkülasyon pompası yardımıyla depodaki su devridaim edilmiştir. PV/T paneller elektriksel olarak MPPT şarj regülatörü kullanılarak 24 Volt 196 Ah' lik akü barasını beslemektedir. Akü barasına bağlı olan inverter yardımıyla sistemde kullanılacak A.C. elektrik enerji ihtiyacı karşılanmaktadır. İntertör sistemde bulunan sirkülasyon pompasını, datalogger ve belirlenen yük profiline sahip 3.6 kW/gün' lük A.C. yükleri beslemektedir. Tablo 1 ve Tablo 2' de deney sisteminde kullanılan malzemeler ve özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Deney düzeneğinde kullanılan malzemeler.

Malzeme Adı	Özelliği
Su Deposu	(100 Litre)
Şarj Regülatörü	PWM Juta CMP45, 12-24 V, 45 A
İntertör	1500 W
Akü	Jel Akü Banner 12 V-98 Ah (4 Adet)
Sirkülasyon Pompası	Welko 220 V-0.4 A
Elektrik yükü	Adet (3) 50 W-220 V

Tablo 2. PV/T panel özellikleri.

Ebatlar	1640x870x105 mm
Nominal Akım (A)	5.43
Kısa Devre Akımı (A)	5.67
Nominal Gerilim (V)	36.8
Açık Devre Gerilimi (V)	45.43
Dış Cam	Extra Solar Glass
Hücre Sayısı	2
Soğurucu Yüzey	Monokristal
Termal Güç (W)	680

2.2 Ölçüm düzeneği

Şekil 4' te temel prensip şeması verilen sistemin çalışma performansını incelemek için panel sıcaklıkları, akımları ve akü gerilimleri ölçülmüş ve ölçümler Tablo 3' de verilen ölçüm elemanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sistemin soğutmalı ve soğutmasız durumlardaki maksimum çıkış güçlerinin karşılaştırılması için panel çıkış akım-gerilimleri ölçülmüştür. Sistemin termal performansının için depo giriş-çıkış sıcaklıkları ve kollektöre giren akışkanın debisi ölçülmüştür. Ayrıca çalışma performanslarının belirlenmesi için gerekli meteorolojik ölçümler (ışınım miktarı, rüzgâr hızı ve hava sıcaklığı) yapılarak datalogger ile kayıt altına alınmıştır.

Campbell Scientific CR1000 veri kaydedicisi yardımıyla, veriler ölçülerek 1, 10 ve 60 dakikalık aralıklar ile kayıt altına alınmıştır. Dataloggerin giriş ve çıkışlarının programlanabilmesiyle, belirlenen zaman aralıklarında çalışan ve lambalardan oluşan bir yük profili elde edilerek kontrol edilmiştir. Ayrıca sistemdeki pompanın çalışma zamanlaması da datalogger kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

PV panellerde artan hücre sıcaklığıyla açık devre geriliminde ve doldurma faktöründe önemli ölçüde düşüş ve kısa devre akımında küçük bir artış meydana gelir. Bunun sonucunda elektriksel verimde bir düşüş görülür. Bu etkilere göre elektriksel verim yeniden düzenlenerek Denklem 2' de verilmiştir.

$$\eta_e = \eta_0(1 - \beta_0(T_c - 25)) \quad (2)$$

Burada η_0 PV hücrenin standart test koşullarındaki (25 °C hava sıcaklığı ve 1000 W/m² ışınım altında) elektriksel verimi ve β_0 sıcaklığa bağımlılık katsayısıdır [19].

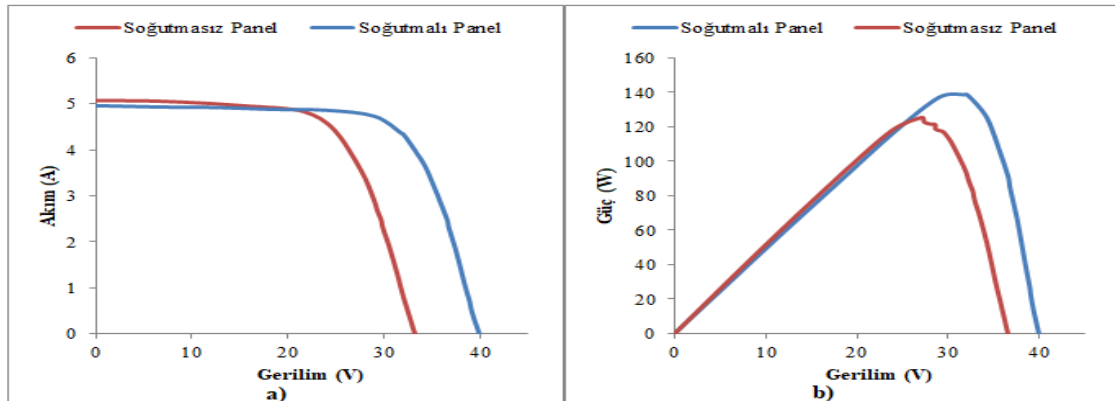
Sistemin termal verimi Denklem 3 kullanılarak hesaplanmıştır. Sistemin kütleli akış hızı, PV/T panele giren akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark, akışkanın özgül ısı ile doğru orantılı değişen verim toplam yüzeye gelen ışınım ile ters orantılı olarak değişmektedir [20].

$$\eta_t = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_c - T_g)}{I_T \cdot A} \quad (3)$$

Burada \dot{m} sistemin kütleli akış hızı olup birimi kg/s' dir. C_p kullanılan akışkanın özgül ısıdır ve birimi J/kg °C' dir. T_c ve T_g ise sisteme giren akışkanın sıcaklıkları olup birimi °C' dir.

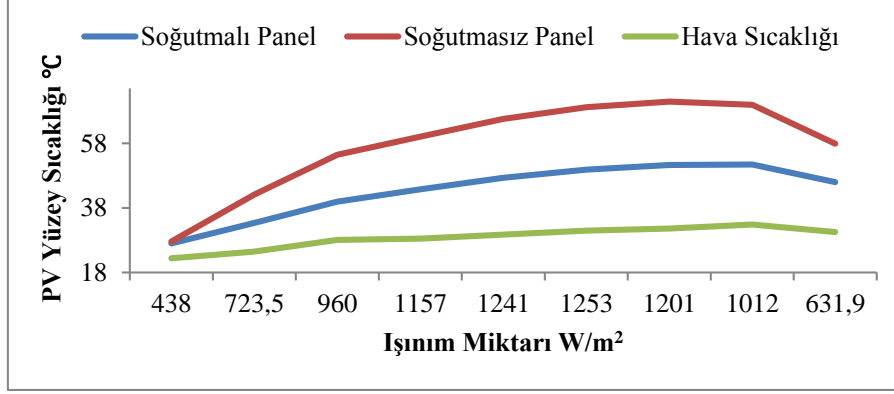
3. Bulgular ve tartışma

PV/T panelin akışkan yardımıyla soğutmalı ve soğutmasız olarak çalıştırılmasının çalışma performansına etkisinin incelenmesi için, maksimum çalışma noktalarındaki akım-gerilim ve güç değerleri ölçülerek Şekil 5' te karşılaştırmalı olarak verilmiştir. 23.08.2017 tarihinde, 950 W/m² ışınım değeri ve 33 °C lik hava sıcaklığında gerçekleştirilen ölçümlerde soğutmalı panelde 39.9 V olan açık devre gerilimi, soğutmasız panelde 33.2 V olarak ölçülmüştür. Soğutma yapılmayan panelin çıkış güç değeri 124 W iken soğutmalı panelin güç çıkışı 140 W olarak bulunmuştur. Panellerin soğutması durumunda yaklaşık olarak %12.9' luk bir güç artışı elde edilmiştir.



Şekil 5. a) Soğutmalı ve soğutmasız durumdaki panelin karakteristik akım, gerilim grafiklerinin karşılaştırılması b) Soğutmalı ve soğutmasız durumdaki panelin maksimum güç noktadaki değerlerinin karşılaştırılması.

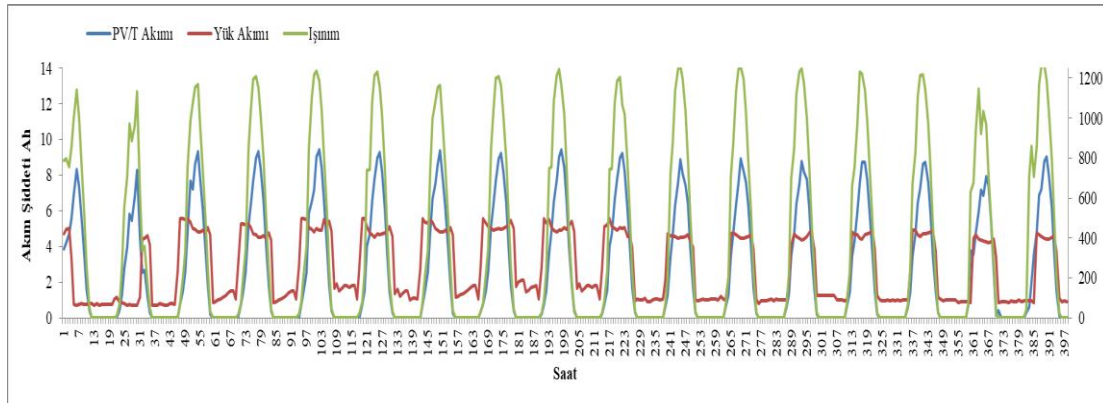
Soğutma yapıldığı durumda ışınım miktarındaki her 100 W/m^2 'lik artışının PV hücre sıcaklığını yaklaşık olarak $2.28 \text{ }^\circ\text{C}$ derece arttırdığı görülmüştür. Soğutma yapılmadığı durumda ise $4.51 \text{ }^\circ\text{C}$ 'lik bir artış olmuştur. Şekil 6' da verilen grafikte bir gün için soğutma yapılan ve soğutma yapılmayan panel için hücre sıcaklık değerleri gösterilmektedir.



Şekil 6. PV/T hücre sıcaklığı-güneş ışınımı değişimi grafiği.

PV/T sisteminin Balıkesir şartlarında şebeke bağımsız elektriksel çalışma performanslarının belirlenmesi için yapılan ışınım ölçümlerinde 15-31 Ağustos 2017 tarihleri arasında ışınımın en düşük olduğu gün $296 \text{ W/m}^2/\text{gün}$ ile 16 Ağustos olurken, en yüksek olduğu gün $443 \text{ W/m}^2/\text{gün}$ ile 31 Ağustos'tur.

Şekil 7' de, saatlik ışınım miktarına göre PV/T paneller tarafından üretilen akım değerleri ile sistem tarafından beslenen yükün çektiği akım ölçüm değerleri verilmiştir. Panellerin belirtilen tarih aralığında sisteme aktardığı toplam akım miktarı 911.091 Ah , yükün sistemden çektiği toplam akım miktarı 918.487 Ah olarak hesaplanmıştır. Bu akım değerlerine göre akü barasının şarj durumunun % 40 ile % 100 arasında değişmiştir.



Şekil 7. 15-31 Ağustos tarihleri arasında PV/T panellerin ürettiği ve yükün çektiği akım miktarları ile ışınım miktarı.

Sonuç olarak 15-31 Ağustos 2017 tarihleri arasında oluşturulan bu sistemde PV/T paneller ile üretilen elektrik enerjisi miktarı 25.788 kWh iken tüketilen elektrik enerjisi miktarı 26.598 kWh olmuştur. Bu tarihler arasında belirlenen yük sistemden üretilenden 0.8 kWh fazla enerji çekmiş olup bu miktar akülerde mevcut enerjiden karşılanmıştır.

Tablo 4' te, 23.08.2017 tarihinde saat 12:30 itibarıyla soğutma yapılan panelde maksimum çalışma noktasındaki akım ve gerilim değeri, su giriş ve çıkış sıcaklığı, hava sıcaklığı ve ışınım miktarı verilmiştir.

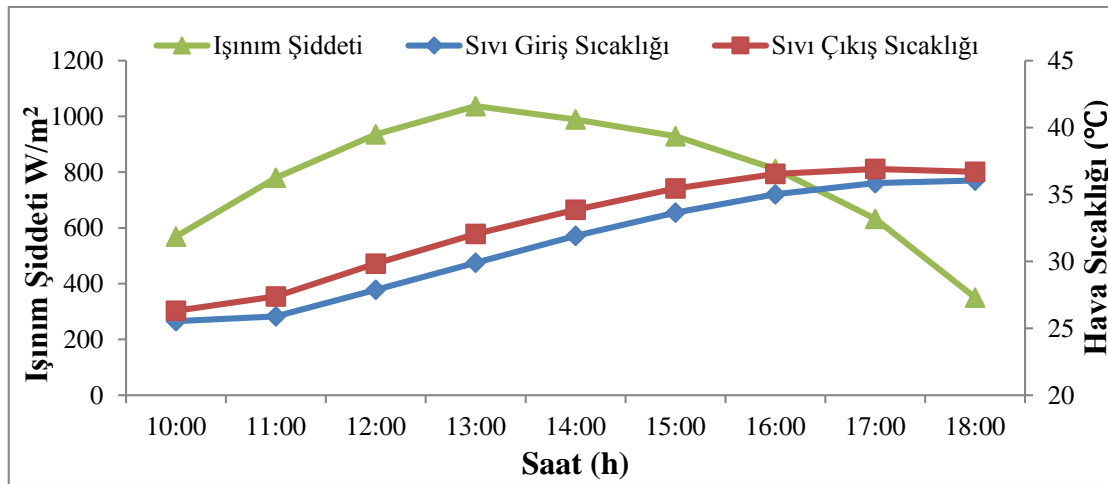
Tablo 4. PV/T panelin maksimum güç noktasında alınan veriler.

Tarih	Gerilim (V)	Akım (A)	T _g (°C)	T _ç (°C)	T _a (°C)	Işınım (W/m ²)
23.08.2017 12:30	32.4	4.3	30.83	28.88	33	950

Tablo 4 ile verilen değerlere göre sistemin elektriksel verimi Denklem 1 kullanılarak %12 olarak hesaplanmıştır.

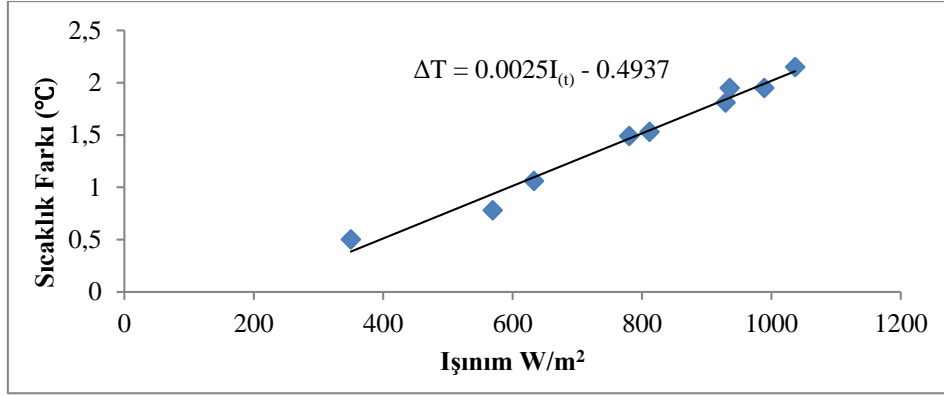
$$\eta_e = \frac{V_{MP} \cdot I_{MP}}{I_T \cdot A} = \frac{32,4V \cdot 4,3A}{950W/m^2 \cdot 1,222m^2} = 0.12$$

Akışkan debisinin sistemin termal performansına etkilerini incelemek için PV/T giriş ve çıkış su sıcaklıkları ölçülerek, akışa bağlı sıcaklık profilleri oluşturulmuştur. Şekil 8' de 0.069 kg/s kütleli debiyle çalışan sistem için su giriş çıkış sıcaklık profili verilmiş olup, ölçülen en düşük sıcaklık farkı 0.51 °C ve en yüksek sıcaklık farkı 2.15 °C dir. Bu değerler 0.044 kg/s' lik debi ile çalışan sistem için 0.93 °C ile 3.39 °C ve 0.015 kg/s' lik debi ile çalışan sistem için 2.37 °C ile 10.12 °C olarak ölçülmüştür.



Şekil 8. 0.069 kg/s debi değerindeki sıvı giriş-çıkış sıcaklığının ışınımına göre değişim grafiği.

Şekil 9' de 0.069 kg/s' lik debi değerinde ışınım miktarına göre su giriş-çıkış sıcaklıkları arasındaki farkı gösteren grafik verilmiştir. Buna göre, bu debi değerinde ışınım değerindeki her 100 W/m²' lik artış ile su giriş-çıkış sıcaklığı arasında 0.25°C' lik artış meydana gelmiştir. Bu artış miktarı 0.044 kg/s' lik debi değerinde 0.34 °C iken 0.015 kg/s' lik debi değerinde ise 0.97 °C olarak gerçekleşmiştir.



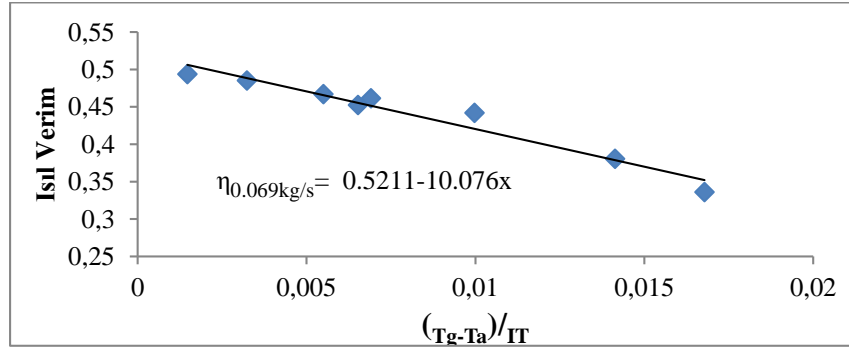
Şekil 9. 0.069 kg/s'lik debi değerinde su giriş-çıkış sıcaklıkları arasındaki farkın ışınımına bağlı grafiği.

Farklı debi değerleri için su giriş-çıkış sıcaklıkları farkının ışınımına bağlı denklemleri elde edilerek Tablo 5' te verilmiştir.

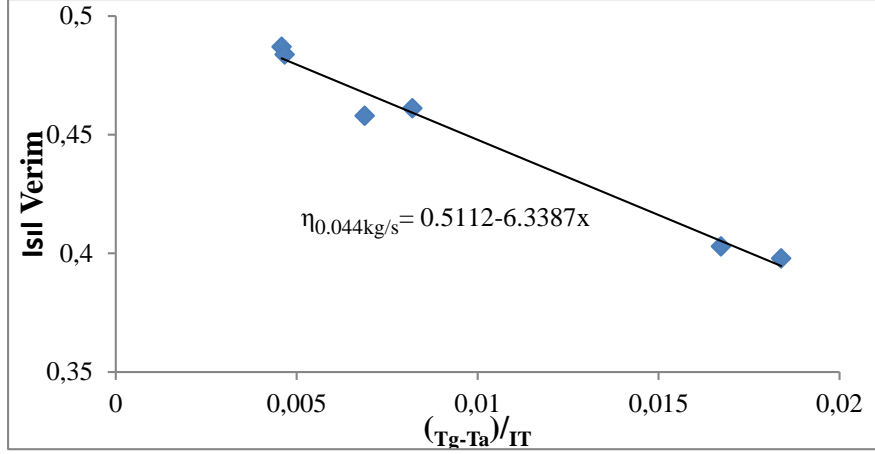
Tablo 5. Farklı debilerde sıcaklık farkının ışınım değerine bağlı denklemleri.

Debi Değeri (kg/s)	Denklem
0.015	$\Delta T = 0.0097I_{(t)} - 0.7058$
0.044	$\Delta T = 0.0034I_{(t)} - 0.3334$
0.069	$\Delta T = 0.0025I_{(t)} - 0.4937$

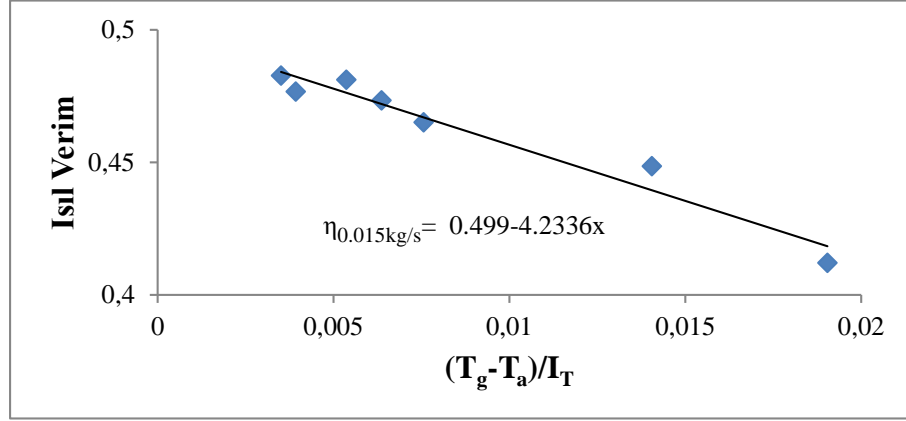
Şekil 10, 11 ve 12' de sırasıyla 0.069 kg/s, 0.044 kg/s ve 0.015 kg/s debi değerleri için yapılan ölçümler ile indirgenmiş sıcaklık farkına göre ısı verim eğrileri elde edilmiştir.



Şekil 10. 0.069 kg/s kütleli debide, ışınımın giriş ve çıkış su sıcaklık farkları ($T_g - T_o$) üzerine etkisi.



Şekil 11. 0.044 kg/s kütleli debide, ısı veriminin giriş ve çıkış su sıcaklık farkları ($T_g - T_o$) üzerine etkisi.



Şekil 12. 0.015 kg/s kütleli debide, ısı veriminin giriş ve çıkış su sıcaklık farkları ($T_g - T_o$) üzerine etkisi.

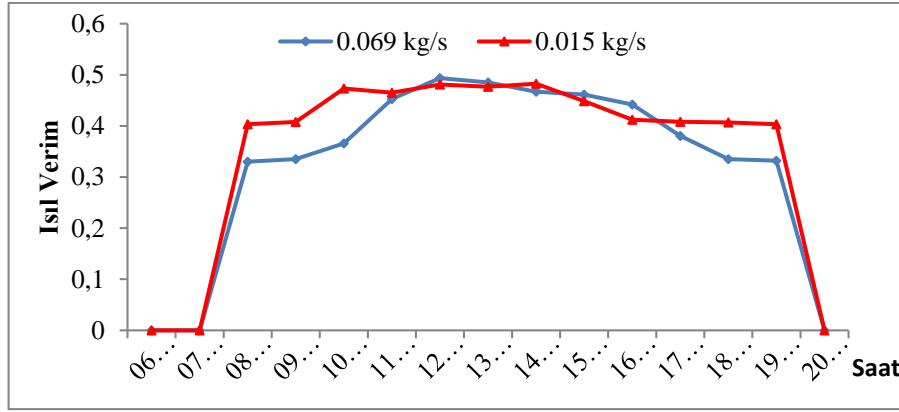
Farklı debilerde yapılan ölçümlerde akış hızının artmasının ısı verimi arttırdığı belirlenmiştir. Denklemlerdeki sıcaklığa bağlı kayıpları bulmamıza olanak sağlayan ikinci katsayılar incelendiğinde, debi değeri yüksek olan ölçümde bu katsayının yüksek olduğu görülmüştür. Kütleli debinin artmasının sıcaklığa bağlı kayıpları arttırdığı da gözlemlenmiştir.

Farklı debi değerlerinde yapılan ısı verim testlerine göre, elde edilen indirgenmiş sıcaklık farkına göre ($(T_g - T_a)/I_T$) ısı verim denklemleri Tablo 6' da verilmiştir

Tablo 6. Farklı debi değerleri için indirgenmiş sıcaklık farkına göre ısı verim denklemleri.

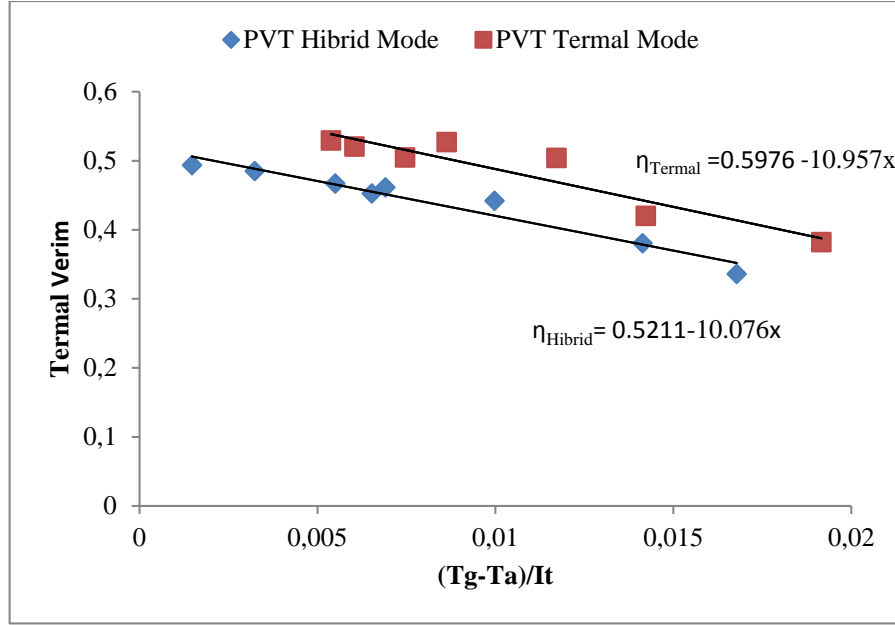
Debi Değeri (kg/s)	Denklem
0.069 kg/s	$\eta_{0.069kg/s} = 0.5211 - 10.076(T_g - T_a)/I_T$
0.044 kg/s	$\eta_{0.044kg/s} = 0.5112 - 6.3387(T_g - T_a)/I_T$
0.015 kg/s	$\eta_{0.015kg/s} = 0.499 - 4.2336(T_g - T_a)/I_T$

Şekil 13' de 0.069 kg/s ve 0.015 kg/s' lik debi değerleri için günlük toplam ısı verim değerleri saatlik olarak karşılaştırılmıştır. Sıcaklığa bağlı kayıplar dikkate alındığında gün içerisinde verim değerindeki düşüş miktarları 0.069 kg/s debi değerinde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. 0.069 kg/s' lik debi değerinde sıcaklığa bağlı olmayan optik verim % 52.11 seviyelerindedir. Gün içerisinde sıcaklığa bağlı verim düşüşünün en büyük değeri % 36 olarak bulunmuştur. 0.044 kg/s' lik debi değerindeki optik verim % 51.12 ve sıcaklığa bağlı maksimum verim düşüşü ise %23 seviyesinde olmuştur. Optik verimi % 49.9 olan 0.015 kg/s' lik debide alınan ölçümlerde maksimum verim düşüşü % 19 olarak hesaplanmıştır. Buna göre; sistemin debisinin artmasının sıcaklığa bağlı kayıplarda artışa neden olduğu belirlenmiştir.



Şekil 13. 0.069 kg/s ile 0.015 kg/s'lik debi değerlerinde günlük toplam ısı verim değerlerinin karşılaştırılması.

PV/T kolektörün 0.069 kg/s debi için, maksimum güç noktasında çalıştığı ve elektrik yüksüz çalıştığı durumlarda termal verim değerleri Şekil 14' te karşılaştırılmıştır. Yüksüz durumda termal verim daha yüksek çıkarken sıcaklığa bağlı kayıplar yüklü çalışma durumuna göre yüksektir. Yüksüz çalışma durumunda termal verim % 59.7 hesaplanırken, yüklü durumdaki verim % 52.1 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 14. PV/T Mode-T Mode termal verim karşılaştırılması.

4. Sonuçlar ve öneriler

Bu çalışmada Balıkesir Üniversitesi Çağış kampüsünde kurulan PV/T sistemin termal ve elektriksel performansı deneysel olarak incelenmiştir. PV/T panellerin soğutulması için kullanılan sıvı akışkanın panelin maksimum güç noktasındaki elektriksel çıkış gücünde % 12,9' luk bir artış sağladığı belirlenmiştir.

Farklı debilerde yapılan ölçümlerin termal performansa etkisi incelenmiş ve debiyi arttırmanın termal verimi arttırdığı gözlenmiştir. Bu noktada 0.069 kg/s debide verim % 52.11 iken 0.015 kg/s debide ise % 49.9 olarak hesaplanmıştır. Farklı debiler için yapılan ölçümlerden elde edilen veriler neticesinde, indirgenmiş sıcaklık farkına göre ısı verim denklemleri ve kolektör giriş/çıkış farkının ışıma bağılı denklemleri elde edilmiştir.

PV/T sistemde, elektriksel yükün termal verime etkisi incelenerek elektriksel yükün devrede olduğu durumda termal verimin % 52.1 olduğu yüksüz durumda ise termal verim değerinin artarak % 59.7 olduğu hesaplanmıştır.

Sistemin şebeke bağımsız elektriksel çalışma performansının değerlendirilebilmesi için, 15-31 Ağustos tarihleri arasında elde edilen elektriksel ölçümler neticesinde; sistemden 25.788 kWh elektrik enerjisi elde edilerek akülerde depo edilmiştir. PV/T panellerin ve yük profiline akülerin şarj durumuna etkisi bu tarihler arasında izlenmiştir ve akü şarj durumunun % 40-100 aralığında değiştiği gözlemlenmiştir.

Sistemin şebeke bağımsız çalışma performansı ağustos ayı için yeterli olmasına rağmen, 3.6 kWh/gün' lük yük için sistemin kış ayları için yeterli olmayacağı görülmüştür. Panellerin soğutulması için kullanılan deponun daha büyük olmasının panel sıcaklığının düşürülmesi ve elektriksel verimin artmasına olanak sağlayacağı belirlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışmaya 2017/056 ve 2017/163 numaralı projeler kapsamında maddi destek sağlayan Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Girgin, M. H., Bir fotovoltaik güneş enerjisi santralının fizibilitesi, karaman bölgesinde 5 mw'lık güneş enerjisi santrali için enerji üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, (2011).
- [2] <https://cleahtecnica.com/2016/02/12/is-this-the-best-solar-chart-yet/>
- [3] <https://www.solar.ist/irena-raporuna-gore-gunes-enerjisi-kurulu-gucunde-13-siraya-yukseldik/>.
- [4] https://www.teias.gov.tr/sites/default/files/2018-07/kurulu_guc_haziran_2018.pdf.
- [5] https://www.dunyaenerji.org.tr/wp/content/uploads/2017/10/2009_Youth_Energy_Report_Wec_Tnc.pdf.
- [6] Markvart, T. and Castaner. L., **Solar Cells: Materials, Manufacture and Operation**, Elsevier Ltd., (2005).
- [7] Tripanagnostopoulos, Y., Nousia, T., Souliotis, M. ve Yianoulis, P., Hybrid photovoltaic/thermal solar systems, **Solar Energy**, 72(3):217-234. (2002).
- [8] Cristofari, C., Notton, G., ve Canaletti, J. L., Thermal behavior of a copolymer PV/Th solar system in low flow rate conditions, **Solar Energy**, (83), pages:11231138, (2009).
- [9] Du, D., Darkwa, J., Kokogiannakis, G., Thermal management systems for photovoltaics (PV) installations: a critical review, **Solar Energy**, 97(2):38–54, (2013).
- [10] Zondag, H.A., De Vries, D.W., Van Helden, W.G.J., Van Zolingen, R.J.C., Van Steenhoven, A.A., The yield of different combined PV– thermal collector designs, **Solar Energy**, 74, 253–269, (2003).
- [11] Tiwari, G.N., Dubey S., **Fundamentals of Photovoltaic Modules and Their Applications**, RSC Publishing, Cambridge, (2010).
- [12] Kalogirou, S.A., Tripanagnostopoulos, Y., Energy conversion and management 47, 3368–3382, (2006).
- [13] Rawat, P., Dhiran, T.S., Comparative Analysis of Solar Photovoltaic Thermal (PV/T) Water and Solar Photovoltaic Thermal (PVT) Air Systems, **International Journal of Civil, Mechanical and Energy Science (IJCMES)**, - 3(1), (2017).
- [14] Bergene, T., Lovvik, O.M., Model Calculations On A Flat-Plate Solar Heat Collector with Integrated Solar Cells, **Solar Energy**, 55(6), 453-462, (1995).
- [15] Fudholi, A., Sopian, K., Yazdi, M., Ruslan, I., Kazem, H., Performance analysis of photovoltaic thermal (pvt) water collectors, **Energy Conversion and Management**, 78, s641-651, (2014).
- [16] Duran, F., PV/T Hibrit sistemlerin termodinamik ve performans analizi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, (2014).

- [17] Engin, D., Yapı ile bütünleştirilebilir güneş pili/termal toplayıcı (pv/t) hibrid sistemin performans analizi ve optimizasyonu, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, (2006).
- [18] Dağ, H.İ., Pv-termal kolektörlerin tasarımı, üretimi ve verimini etkileyen parametrelerin belirlenmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, (2015).
- [19] Ceylan, İ., Gürel, A.İ., Demircan, H., Aksu, B., Cooling of a photovoltaic module with temperature controlled solar collector, **Energy and Buildings**, 72, 96-101, (2014).
- [20] Engin D., Çolak M., Yarı-saydam güneş pili/termal toplayıcı (pv/t) hibrid sistemin İzmir koşullarında analizi, **Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi**, 2(10), (2008).