

# PV Panelinin Altına Serbest Olarak Yerleştirilen Siyah Emici Plakanın Termal Kapasitesinin Belirlenmesi

## Determination of Thermal Capacity of Black Absorber Plate that Freely Placed to Beneath of the PV Panel

Mustafa ATMACA<sup>1</sup> , İmdat Zafer PEKTEMİR<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 34722, İstanbul, Türkiye

### Öz

Fotovoltaik termal sistemler, aynı yüzeyden hem termal hem elektrik enerjisi kazanmak için oldukça popülerdir. Bu çalışmada, PV panelin altına yerleştirilmiş siyah boyalı absorber plakanın ısı kazancı deneysel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla bakır borulu bir ısı değiştirici dizayn edilmiştir. Ayrıca siyah boyalı bir alüminyum emici plaka dizayn edilerek absorber ve ısı değiştirici ısıl iletken bir yapıştırıcı sayesinde birleştirilmiştir. En sonunda absorber, PV panelin arkasına yerleştirilmiş ve ısı yalıtım malzemesi ile yalıtılmıştır. Ayrıca sistem, bir su ısıtma sistemi ile birleştirilmiş olup absorber plakanın ısı kazancı farklı iklim koşulları için araştırılmıştır. Araştırma, farklı güneş ışınımı, çevre sıcaklığı ve rüzgar hızları için yürütülmüştür. Sonuçlar, soğutmadan önce, absorber plaka sıcaklığının 70-80 °C seviyelerine ulaştığını göstermiştir. Ayrıca absorberin iyi oranda termal güneş enerjisi kazandığı görülmüştür. Bu enerji kolaylıkla su ısıtma sistemlerinde kullanılabilir. Ayrıca, su ısıtma sistemi sayesinde absorber sıcaklığının optimum değerlere düşürülebileceği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Fotovoltaik, Emici levha, Termal sistemler, Güneş ışınımı

### Abstract

Photovoltaic – thermal systems are very popular for gaining both thermal and electrical energy from same surface. In this study, thermal gain of black colored absorber plate that placed at beneath of PV panel was investigated experimentally. For this purpose, it was designed that copper tubes heat exchanger. Also it was designed that a black painted aluminum absorber plate. Absorber and heat exchanger were joined by means of thermally conductive adhesive. Finally, absorber was placed to beneath of the PV panel and it was insulated using heat insulation material. Also absorber system was integrated with a water heating system. Thermal gain of absorber plate was investigated for different climatic conditions. Research was conducted for different solar irradiance, ambient temperature, wind speed, relative humidity values. Results show that absorber temperature reaches up to 70 – 80 °C before the cooling. Also it has been seen that absorber, gained well amount solar thermal energy. This energy can be used for water heating systems easily. Also it has been seen that absorber temperature can be decrease to optimum value by means of water heating system.

**Keywords:** Photovoltaic, Absorber plate, Thermal systems, Solar irradiance

### I. GİRİŞ

Enerji, hayatımızın önemli parçalarından biri fakat enerji kaynakları sınırlıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının daha fazla kullanımı bu sorun için bir çözüm olabilir. Başlıca yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinin uygulamaları iki ana bölümden oluşmaktadır. Birincisi PV paneller sayesinde elektrik üretimidir. Diğer türü ise, termal kolektörler sayesinde termal enerji üretimidir. Ayrıca bu alanda, fotovoltaik-termal (PV/ T) sistemler vardır. Bu sistemler, fotovoltaik panel ve ona entegre edilmiş ısı değiştirici ünitelerden oluşur.

Güneş pilleri yüksek güneş radyasyonuna maruz kaldığında daha fazla elektrik üretir, sıcaklığı arttığında verimi düşer. Sonuçlar, bir hibrit PV/T modülün elektrik üretiminin, artan panel sıcaklığı ile azaldığını göstermektedir [1].

İşletme sıcaklığı, fotovoltaik süreçlerde önemli bir yere sahiptir [2]. PV panellerin elektriksel verimi çalışma sıcaklığına bağlıdır, performansın iyileştirilebilmesi için efektif soğutma gerekir [3]. Rawat ve arkadaşları [4] bakır absorber plaka kullanılınsu bazlı bir PV/T sistem üzerinde çalışmışlar ve PV/T sistemin elektriksel ve termal performansının PV modül performansına göre daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. İşte fotovoltaik-termal (PV/T) sistemler, artan PV panel sıcaklığını düşürmesinin yanı sıra, farklı şekillerde enerji dönüşümlerine olanak sağlarlar. Bu sistemlerin başlıcaları, hava esaslı ve su esaslı sistemlerdir.

Soni ve arkadaşları [5] su bazlı bir PV/T sistem üzerinde çalışmışlar ve soğutma yapılmadığında maksimum PV panel sıcaklığını 79.31 °C bulmuşlar, optimum debi değeriyle soğutma yapıldığında ise, PV panel sıcaklığının 47.13 °C değerine düştüğünü tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada, bir su esaslı PV/ T sisteme entegre edilen siyah emici yüzeyin ısı kapasitesi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu ısı kapasite, güneş radyasyonu ile birlikte diğer meteorolojik değişkenlere doğrudan bağlıdır. Meteorolojik değişkenlere bağlı olarak, PV panellerin sıcaklığını belirlemek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Örneğin, Muzathik [6], rüzgar hızının da hesaba katıldığı aşağıdaki formülasyonu ortaya koymuştur.

$$T_{\text{modul}} (\text{°C}) = 0,943 \times T_{\text{amb.}} + 0,0195 \times \text{Irridance} - 1,528 \times \text{Wind speed} + 0,3529 \quad (1)$$

Bu formülasyonda, üç önemli meteorolojik parametre olan, hava sıcaklığı, güneş radyasyonu ve rüzgar hızına bağlı olarak modül sıcaklığının değişimi incelenmiştir.

Meteorolojik parametrelere bağlı olarak, artan panel sıcaklığının azaltılması ve kazanılan enerjinin su ısıtma sistemlerinde kullanımı ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Kalogirou ve Tripanagustopoulos [7] yaptıkları çalışmada, tipik bir termal güneş kolektörüne entegre ettikleri amorf silikon ve polikristal güneş pilleri ile, doğal dolaşimli ve cebri dolaşimli su ısıtma üniteleri kullanarak, sistemlerin elektriksel ve termal enerji kazançlarının belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Çalışma sonuçlarına göre; cebri dolaşimli aktif sistem performansının doğal dolaşimli sisteme göre oldukça yüksek olduğu görülmüştür.

Güneş enerjisi kazancı, konuma bağlı olarak %60 ve %87 arasında değişmektedir. Hibrid olmayan PV sistem %38 civarında fazla elektrik üretmesine rağmen bu sistem, binaların sıcak su ihtiyacını yüksek oranda karşılayabilme özelliğine sahiptir.

Rekha ve arkadaşları [8] yaptıkları, çalışmada, düzlemsel güneş kolektörü ile iyileştirilmiş bir PV/T sistemin, ısı, elektriksel ve ekserji performansını sayısal olarak araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, ortalama toplam elektriksel, enerji ve ekserji verimleri sırasıyla; 11%, 63% ve 15% olarak belirlenmiştir. Bir başka çalışmada Hossain ve arkadaşları [9] paralel serpantin borulu bir su bazlı PV/T sistem üzerinde çalışmışlar ve sistemin maksimum termal verimini 76.58% bulmuşlardır.

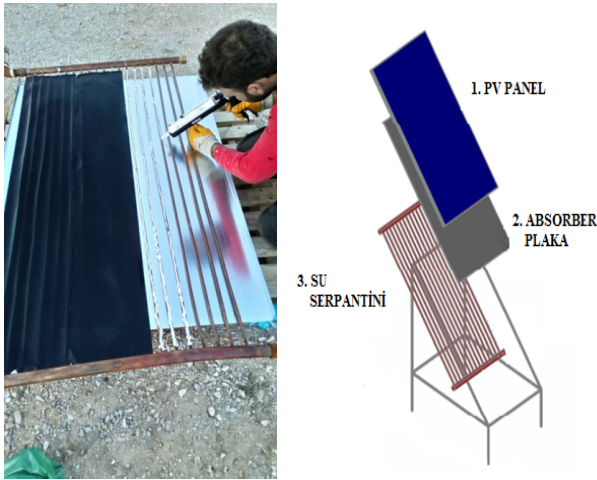
Bu çalışmada, PV panelin arkasına yerleştirilen siyah boyalı absorber plakanın termal kazanımı belirlenmeye çalışılmıştır. Deneilerin yürütüldüğü atmosferik koşulların değişimi de şekillere aktararak, bu konuda yapılacak çalışmalara ışık tutulmaya çalışılmıştır.

## II. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, siyah boyalı alüminyum plaka ile bakır ısı değiştirici, 0.88 W/ mK ısı iletkenlik değerine sahip ısı iletken bir yapıştırıcı ile birleştirilerek bir absorber ünite oluşturulmuştur. Siyah boyalı alüminyum plaka, yapıştırıcının daha düzgün yayılabilmesi için, şekil 1’ de görüldüğü gibi üç parça halinde su serpantini ile birleştirilmiştir. Absorber ünite, bir monokristal PV panelin altına serbest olarak yerleştirilmiştir ( Şekil 2 ). Sistem, 33° eğimli bir platform üzerine sabitlenmiş ve 50 mm kalınlığında ve 0.035 W/mK ısı iletkenlik değerine sahip, taş yünü esaslı yalıtım malzemesi ile yalıtılmıştır. Tablo 1’de kullanılan malzemeler ve özellikleri görülmektedir.

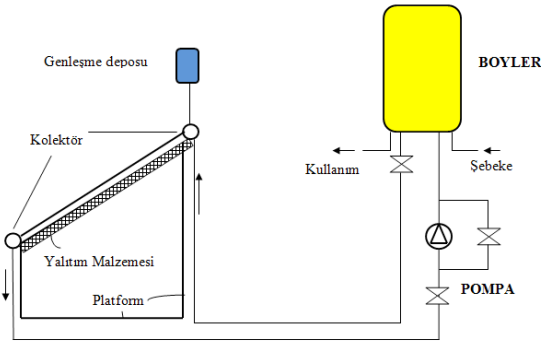
**Tablo 1.** Deney seti temel parça özellikleri

No	Adı	Özellikler
1	PV panel	TPSM6U Monocrystalline 200W, $V_{oc}$ : 45.4 V, $I_{sc}$ : 5.77, 808x1580mm
2	Absorber plaka	Alüminyum, 0.4 mm, siyah boyalı, 808x1580mm
3	Su serpantini	Bakır ( $\lambda$ : 394 W/ mK) kolektör çapı: 32mm, boru çapı: 10mm
4	Boylar	Isı değiştirici serpantinli, 100 lt
5	Pompa	Frekans konvertörlü



Şekil 1. Absorber montajı Şekil 2. Deney seti montaj şeması

Absorber ünite, şekil 3’de görüldüğü gibi su ısıtma devresi ile irtibatlandırılmıştır. Su ısıtma devresi, boyler, pompa, vanalar ve boru hattından oluşmaktadır. Ayrıca bir genişleme deposu, boyler serpantin seviyesini aşacak şekilde yerleştirilmiştir ( Şekil 3 ).Tablo 1’de de belirtildiği gibi serpantin malzemesi olarak ısı iletkenliği 394 W/mK olan bakır borular kullanılmıştır. Dağıtıcı borular 10 mm , alt ve üst kolektörler ise 32 mm çapında seçilmiştir. Absorber plaka ise; siyah boyalı alüminyumdan imal edilmiştir.



Şekil 3. Su ısıtma devresi şeması

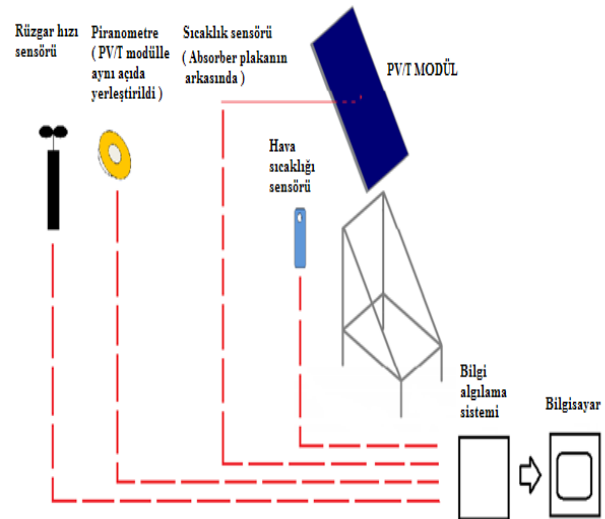
Isı değiştirici akışkan olarak, donma riskine karşı, 1/3 oranında etilen glikol ( antifiriz ) içeren su – antifiriz karışımı kullanılmıştır. Bu orandaki karışımın özgül ısısı ve yoğunluğu, Duffie ve Beckman [10] tarafından yapılan çalışma baz alınarak, 20 – 40 °C için yaklaşık;  $C_p = 3700 \text{ j/ kg}^\circ\text{C} = 0.885 \text{ kcal/ kg}^\circ\text{C}$ ,  $\rho = 1050 \text{ kg/m}^3$  olarak alınmıştır.

Tablo 2’de veri alma cihazlarının özellikleri ve Şekil 4’de bilgi algılama sistemi ve sensör yerleşimi görülmektedir. Veri alma sisteminde; veri alma cihazlarından alınan veriler,

analog 4-20 mA, Pt 100, mV okuma kabiliyetine sahip endüstriyel modüllere aktarılmaktadır. Modüller bu verileri, okunarak bilgisayar diline çevrilmesi için, RS-485 Modbus RTU protokolüne çevirmektedir. Bilgisayara aktarılan veriler ise bir program vasıtasıyla raporlanıp değerlendirilmektedir.

Tablo 2. Veri alma cihaz özellikleri

No	Adı	Yerleştirilme şekli	Özellikler
1	Sıcaklık sensörü	Su serpantini giriş, çıkışına ve absorber plakasının merkez noktasına yerleştirildi.	Pt 100
3	Piranometre	PV açısıyla aynı olacak şekilde 33° eğimli olarak yerleştirildi.	EKO MS – 410 Hassasiyet 11.78 $\mu\text{V/Wm}^2$ , 0-2000 $\text{W/m}^2$
4	Dış hava nem ve sıcaklık sensörü	Güneş ışınlarına doğrudan maruz kalmayacak şekilde, yerden 1 m yukarıya yerleştirildi.	Sıcaklık ve nem için iki farklı analog çıkışa sahip.
5	Rüzgar hız sensörü	PV panelin üst kenarı seviyesine yerleştirildi.	Encoder pulse’ leri 4-20 mA akıma çevrilmektedir.

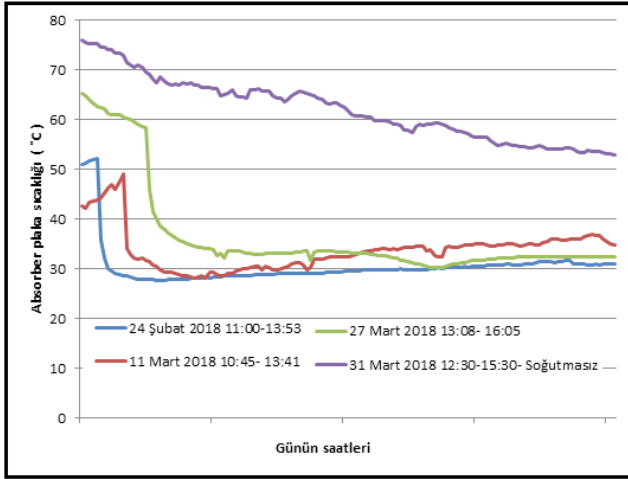


Şekil 4. Bilgi algılama sistemi ve sensör yerleşimi [11,12]

### III. BULGULAR

Çalışmalar, 37°N enlemi ile 32°E meridyenindeki Konya İli’nde, Şubat ve Mart ayları içerisinde farklı meteorolojik parametrelere sahip günlerde yürütülmüştür. Ölçümler, soğutmadan önce absorber sıcaklığının oldukça yüksek olduğunu ve soğutma işlemiyle sıcaklığının optimum değerlere

düşürülebildiğini göstermektedir (Şekil 5). Tablo 3'den anlaşılacağı üzere, ele alınan her üç günün, termal dönüşüm oranı ortalaması yaklaşık % 50 seviyesinde olmuştur. İletim boruları yalıtımsız olduğu için iletim hattından havaya ısı transferi oldukça yüksek seviyededir. Bu boruların yalıtılması ile birlikte boyler toplam ısı kazancı artacak, iletim hattından havaya olan ısı transferi azalacaktır.



Şekil 5. Soğutmasız gün ve soğutma yapılan günlerdeki absorber plaka sıcaklıklarının karşılaştırılması.

$$\text{Boyerler toplam ısı kazancı: } Q_{\text{boy}} = m C_p (T_s - T_i) \quad (2)$$

$$\text{Boyerler ısı kazancı } q_{\text{boy}} = ((Q_{\text{boy}}/\text{toplam saat})/860)1000 \quad (3)$$

$$\text{Ortalama boru hattı sıcaklığı: } T_{\text{ort}} = (T_g + T_c) / 2 \quad (4)$$

$$\text{Boru hattından havaya ısı kaybı } q_{\text{b-h}} = 2\pi L \lambda (T_{\text{ort}} - T_h) / \ln(r_2/r_1) \quad (5)$$

(Boru hattı özellikleri:  $L=20\text{m}$ ,  $\varnothing 32 \times 5,4\text{ mm}$  PP-R 80 PP3 boru  $\lambda=0,24\text{ W/mK}$ , boru hattı yalıtılmamıştır.)

$$\text{Absorberden çekilen ısı: } q_t = q_{\text{boy}} + q_{\text{b-h}} \quad (6)$$

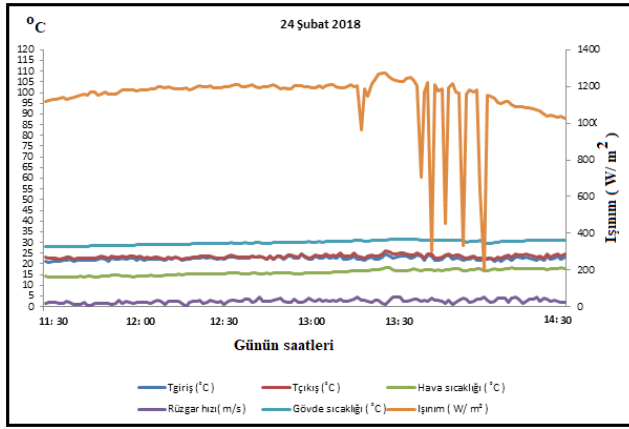
$$\text{Termal dönüşüm oranı: } \eta_{\text{th}} = q / (I \times A_p) \quad (7)$$

Tablo 3. Farklı günlere ait termal değerlerin karşılaştırılması

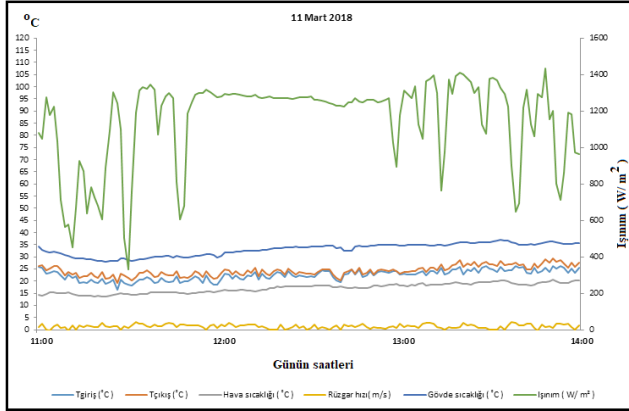
Parametre	24 Şubat 2018 11:30 – 14:30	11 Mart 2018 11:00-14:00	27 Mart 2018 13:40-18:40
Ortalama absorber plaka Sıcaklığı (°C)	29.97	33.03	31.19
Ortalama soğutma suyu giriş Sıcaklığı (°C)	22.60	22.58	24.79
Ortalama soğutma suyu çıkış sıcaklığı (°C)	23.51	24.33	28.98

Ortalama hava sıcaklığı (°C)	16.03	17.13	23.73
Ortalama ışınım değeri (W/m <sup>2</sup> )	1142.03	1152.09	581.93
Ortalama rüzgar hızı (m/s)	2.66	1.41	3.21
Boyerler ilk sıcaklığı (°C)	11.80	18.80	17.60
Boyerler son sıcaklığı (°C)	19.80	24.10	23.90
Boyerler toplam ısı kazancı (kcal)	708	530	630
Boyerler ısı kazancı (W)	274.42	205.43	146.51
Boru hattından havaya ısı kaybı (W)	514.32	463.43	230.98
Absorberden çekilen ısı (W)	788.74	668.86	377.49
Termal dönüşüm oranı (%)	54.38	45.71	51.07

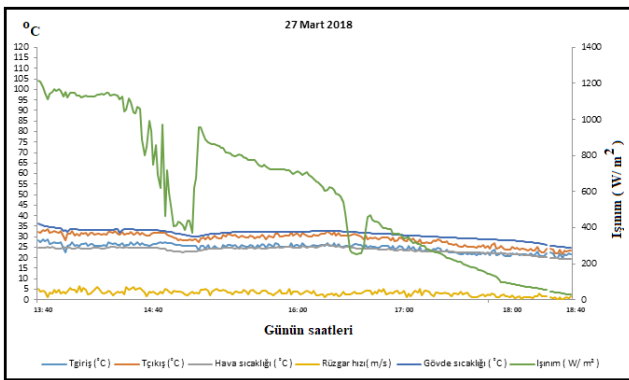
Şekil 6 da; 24 Şubat 2018, Şekil 7 de; 11 Mart 2018 ve Şekil 8 de; 27 Mart 2018 gününe ait absorber plaka termal kazanımı etkileyen, termal ve meteorolojik parametrelerin değişimleri görülmektedir. Bu şekillerde sağda yer alan birincil düşey ekseninde W/m<sup>2</sup>cinsinden güneş ışınımı, solda yer alan ikincil düşey ekseninde ise, °C cinsinden sıcaklık skalası yer almaktadır. Yatay eksen ise, gün içinde deneysel verilerin alındığı saatleri göstermektedir. 24 Şubat ve 11 Mart günleri ele alınan saatler, güneş ışınımının en yüksek olduğu öğlen saatleri iken, 27 Mart günü öğleden sonrayı da tam kapsayacak şekilde seçilmiştir. 27 Mart günü, ortalama rüzgar hızı ve ortalama hava sıcaklığı diğer günlerden fazladır. Her üç durumda da, absorber plakanın ısı kazanımının ortalama ışınım değerine oranı, 50 % seviyelerine yakın olarak gerçekleşmiştir. 11 Mart ve 27 Mart günleri gün boyunca, bulutluluk nedeniyle güneş ışınımında dalgalanmalar oluşmuştur (Şekil 7 ve 8). 24 Şubat günü ise 13:30 dan sonra kısmen ışınım dalgalanmaları oluşmuştur (Şekil 6). Her üç durumda da meteorolojik parametreler değişiklikler göstermekle birlikte, absorber plaka sıcaklıklarının 30-35°C civarında olduğu görülmektedir (Şekil 6-8). 50 mm yalıtım uygulanmış olması, absorber sıcaklığını daha kararlı hale getirmiştir. Kesin sayısal sonuç elde etmekten ziyade, montaj ve uygulama tekniği açısından, bu alanda yapılacak çalışmalara ışık tutmak amaçlandığından, belirsizlik analizi yapılmasına gerek duyulmamıştır.



Şekil 6. 24 Şubat 2018 11:30 – 14:30 arasında elde edilen değerler.



Şekil 7. 11 Mart 2018 11:00 – 14:00 arasında elde edilen değerler.



Şekil 8. 27 Mart 2018 13:40 – 18:40 arasında elde edilen değerler.

#### IV. SONUÇLAR

Yapılan çalışma, PV panelin arkasına serbest olarak yerleştirilen siyah boyalı plakanın oldukça yüksek sıcaklıklara ulaştığını ve PV/T sistemlerde kolaylıkla kullanılabilirliğini göstermektedir. Uygulanan hesap metoduna göre, absorber plaka ısı kazanımı, incelenen her üç günün ortalaması alınırsa 50% olarak gerçekleşmiştir. Soğutma işlemi ile, sıcaklık optimum PV çalışma sıcaklığı seviyelerine düşürülebilir ve kazanılan termal enerji su ısıtma sistemlerinde kullanılabilir. Bu çalışmada, sadece termal kazanım incelenmekle birlikte, bu şekilde yapılacak bir uygulama ile, aynı alandan hem elektriksel hem de termal enerji kazanılacağından, toplam verim oldukça yüksek olacaktır. Sıcak su iletim hatlarına, boyler ısı transfer oranının yetersiz kalabileceği düşünülerek ilk etapta yalıtım yapılmamıştır. Yalıtım yapılmış olsaydı, boylerden kullanım suyuna ısı transferi artacağından boyler suyu, kullanım için optimum değerlere çıkarılabilecekti. Sonuçlar, bu şekilde bir uygulama ile oldukça iyi termal kazanım elde edilebileceğini göstermektedir.

#### TERMİNOLOJİ

$T_m$  Ortalama absorber plaka sıcaklığı (°C)

$T_g$  Ortalama soğutma suyu giriş sıcaklığı (°C)

$T_ç$  Ortalama soğutma suyu çıkış sıcaklığı (°C)

$T_{ort}$  Ortalama boru hattı sıcaklığı (°C)

$T_h$  Ortalama hava sıcaklığı (°C)

$I$  Ortalama ışınım değeri (W/m<sup>2</sup>)

$V_r$  Ortalama rüzgar hızı (m/s)

$T_i$  Boyler ilk sıcaklığı (°C)

$T_s$  Boyler son sıcaklığı (°C)

$Q_{boy}$  Boyler toplam ısı kazancı (kcal)

$q_{boy}$  Boyler ısı kazancı (W)

$q_{b-h}$  Boru hattından havaya ısı kaybı (W)

$q_t$  Absorberden çekilen ısı (W)

$A_p$  Absorber alanı (PV panel alanı) (m<sup>2</sup>)

$\eta_{th}$  Termal dönüşüm oranı (%)

$C_p$  Sabit basınçta özgül ısı (kcal/kg °C)

$\rho$  Yoğunluk (kg/m<sup>3</sup>)

$m$  Boyler kütlesi (kg)

$\lambda$  Isı iletilenlik katsayısı (W/mK)

$r_2$  Boru dış yarıçapı (m)

$r_1$  Boru iç yarıçapı (m)

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı, 2017 FEN-C-DRP-070.317.0111 nolu proje ile destekleyen, Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne ve proje tesisatı için yer sağlayan, Konya İnnopark yönetimine teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- [1] Sirinivas, M., Jayaraj, S., ( 2013 ). Investigation on the performans of double pass hybrid – type ( PV/T ) solar air heater. *International Journal of Energy and Environment*, 4, 687-698.
- [2] Dubey S, Sarvaiya J.N, Seshadri B., (2013). Temperature dependent photovoltaic ( PV ) efficiency and its effect on PV production in The World – a review, *Energy Procedia*, 33:311-321
- [3] Alizadeh H, Ghasempour R, Shafii M.B, Ahmadi M.H, Yan W.M, Nazari M.A., (2018). Numerical simulation of PV cooling by using single turn pulsating heat pipe, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 127: 203-208.
- [4] Rawat P, Debbarma M, Mehrotra S, Sudhakar K., ( 2014 ). Design, Development and Experimental Investigation of Solar Photovoltaic/ Thermal ( PV/T ) Water Collector System, *International Journal of Science, Environment and Technology*, 3,3, 1173-1183.
- [5] Sanjeev J, Soni M.S, Gakkhar N., (2016). Parametric modeling and simulation of photovoltaic panels with earth water heat exchanger cooling, *Geothermal Energy*, 4:10
- [6] Muzathik, A.M. (2014 ). Photovoltaic modules operating temperature estimation using a simple correlation. *International Journal of Energy Engineering*, 4,151-158.
- [7] Kalogirou, S.A. and Tripanagnostopoulos, Y. ( 2006 ). Hybrid PV/T solar systems for domestic hot water and electricity production. *Energy Conversion & Management* 47, 3368-3382.
- [8] Rekha, L. Vijayalakshmi, M.M. and Natarajan, E. ( 2013 ). Photovoltaic thermal hybrid solar system for residential applications. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2,10,277-283.
- [9] Hossain M.S, Pandey A.K, Selvaraj J, Rahim N.A, Rivai A, Tyagi V.V., (2019). Thermal performance analysis of parallel serpentine flow based photovoltaic/thermal (PV/T) system under composite climate of Malaysia, *Applied Thermal Engineering*, 153, 861-871.
- [10] Duffie, J.A. and Beckman, W.A. ( 1980 ). *Solar engineering of thermal processes*. J. Wiley&Sons,
- [11] Atmaca M, Pektemir I.Z and Yılmaz E., (2018). Investigation of possibilities obtain heating, hot water and electricity from same solar panel by means of a new design called “Solenam” ( Solar Energy Absorber Machine ) 432 3. *International Multidisciplinary Studies Congress Kiev, Ukrain.*, pp 156-166.
- [12] Atmaca M and Pektemir I.Z., (2019). An Investigation on the Effect of the Total Efficiency of Water and Air Used Together as a Working Fluid in the Photovoltaic Thermal Systems, *Processes*, 7,516, pp 1-19