

# Güneş Enerjili Hava Kollektöründe Selektif Boya Kullanımının Isıl Verime Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi

<sup>1,\*</sup>Mesut ABUŞKA ve <sup>2</sup>Mehmet Bahattin AKGÜL

<sup>1</sup>Akhisar Meslek Yüksek Okulu, Makine Bölümü, Celal Bayar Üniversitesi, MANİSA

<sup>2</sup>Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği. Bölümü, Celal Bayar Üniversitesi, MANİSA

## Özet

Bu çalışmada, trapez tip yutucu plakalı güneş enerjili hava kolektörlerinde standart siyah boya ve selektif solar boyanın ısı verime etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel olarak dış hava sıcaklığı, global ışınım, yutucu plaka üzerinde iki noktadan yüzey sıcaklık değerleri, kolektör çıkış hava hızı ve sıcaklığı ölçülmüştür. Yapılan ölçümlere dayalı olarak ısı verimleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda selektif solar boyalı kolektörün, standart siyah boyalı kolektöre göre ısı veriminin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş enerjili hava ısıtma kolektörü, selektif boya, ısı verim.

## Abstract

In this study, effects of the standard black paint and the solar selective paint on the thermal efficiency in trapeze absorber plate solar air collector are investigated experimentally. In the experiments, outside air temperature, global radiation value, temperatures value of the two different points on the absorber plate, air velocity and temperature at the collector exit are measured. The thermal efficiency was calculated based on measurements. It is found that, thermal efficiency of selective coated solar collector is higher than that of standard black painted collectors.

**Keywords:** Solar air heater collector, selective paint, thermal efficiency.

## 1. Giriş

Dünya’da enerji fiyatlarının yükselmesine paralel olarak güneş enerjisinden faydalanma talebi her geçen gün artmaktadır. Türkiye’de güneş enerjisinden faydalanma ağırlıklı olarak sıcak su hazırlama şeklindedir. Güneş enerjisinin diğer bir faydalanma şekli olan hava ısıtma yönteminin ise gün geçtikçe popülaritesi ve talebi artmaktadır. Güneş enerjili hava ısıtma kolektörleri genellikle mahal ısıtma ve tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılmaktadır. Türkiye güneş kuşağı adı verilen ve güneş enerjisi bakımından zengin bir bölgede yer almasına karşın, güneş enerjisinden yeteri kadar faydalanamamaktadır. Coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan Türkiye'nin; Ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.640 saat (günlük toplam 7,2 saat), Ortalama toplam ışınım şiddeti 1.311 kWh/m<sup>2</sup>-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m<sup>2</sup>) olduğu tespit edilmiştir. Şubat ayı için Manisa 2.2 kWh/m<sup>2</sup> global radyasyon ve 5,45 saat güneşlenme süresi ortalama değerlerine sahiptir[1].

Güneş kolektörlerinde termal verimi etkileyen en önemli hususlardan biri yutucu plakaya uygulanan kaplamadır. Yutucu plaka, üzerine düşen ışınları daha fazla yutması için koyu renge

genellikle mat siyaha boyanır. Yutucu plaka kaplamalarının görevi güneş ışınımının mümkün olduğu kadar yutulması ve ısıya dönüştürülmesidir. Yutucu yüzey kaplaması olarak mat boya ve seçici yüzey kaplamaları kullanılır. Kullanılan kaplamanın yutma katsayısının (absorbtivite) yüksek, uzun dalga boylu ışınım yayma katsayısının (emissivite) düşük olması gerekmektedir. Mat siyah boyanın yutuculuğu ( $\alpha=0.90-0.98$ ) gibi yüksek oranda iken yayıcılığı da ( $\epsilon=0.85-0.92$ ) gibi istenmeyen yüksek bir değerdedir. Bu nedenle de bu özelliklere sahip seçici yüzeyler kullanılmaktadır. Yutucu yüzey kaplamaları; seçici olmayan kaplamalar ( $0.5 \leq \epsilon \leq 1.0$ ,  $\alpha > 0.9$ ), yarı seçici kaplamalar ( $0.2 \leq \epsilon \leq 0.5$ ,  $\alpha > 0.9$ ) ve seçici kaplamalar ( $0 \leq \epsilon \leq 0.2$ ,  $\alpha > 0.9$ ) olmak üzere üçe ayrılır [2]. Tablo 1.1.'de bazı selektif solar boya ve kaplama üretici bilgileri verilmiştir.

**Tablo 1.1.** Bazı yutucu plaka (absorber) boya ve kaplama üreticileri

Firma	Ürün ismi	Ürün tipi	Absorbtivite (%)	Emissivite (%)	Kaplama işlemi	Yutucu plaka
<b>Solec-Solar Corp., USA</b>	Solkote HI/Sorb-II	Boya	88-94	20-49 <sup>1</sup>	Elektrostatik püskürtme	Metaller, bazı plastikler
<b>Transfer-Electric Germany</b>	Solarlack M 40 Li	Boya	95	86	Püskürtme	Metaller, plastikler
<b>Almecco GmbH, Germany</b>	Tinox	Absorber kaplaması	90-95	4-5	Rulo kaplama	Alüminyum, bakır
<b>Alanod Solar Germany</b>	MirosoITS	Absorber kaplaması	90 ±2	20 ±3	Rulo kaplama	Alüminyum
<b>Hydro GmbH, Germany</b>	HySelect	Absorber kaplaması	90	12	Rulo kaplama	Alüminyum
<b>Arceo, Belgium</b>	Solarceo	Absorber kaplaması	95 ±2	5 ±2	Rulo kaplama	Alüminyum, bakır

<sup>1</sup> Yüzey uygulama işlemine göre değişmektedir.

Güneş enerjili hava ısıtma kolektörleri ile ilgili birçok akademik çalışma yapılmaktadır. Sebahi vd., çalışmasında çeşitli selektif kaplamaların termal performansa etkisini düzlemsel tip yutucu plakaya sahip hava kolektöründe inceleyerek matematik bir model sunmuşlardır. Nikel-tin kaplı yutucu plakanın siyah boyalı yutucu plakaya göre %29.23 daha verimli olduğunu belirtmiştir [3]. Hachemi, çalışmasında siyah boya ve selektif kaplamayı düzlemsel ve kanatçıklı tip yutucu plakalı kolektörlerde incelemiş ve selektif kaplamanın her iki yutucu plaka tipinde ısı veriminin yükseldiğini belirtmiştir [4]. Benli, çalışmasında farklı yutucu plaka şekillerine sahip hava ısıtmalı güneş kolektörünün verimini deneysel olarak incelemiştir. Gerçekleştirdiği çalışmada ısı veriminin kolektör geometrisi ve hava akış doğrultusunda göre önemli derecede değiştiğini tespit etmiştir. Yutucu plaka üzerinde bulunan engellerin artmasıyla ısı transferinin arttığını fakat bunun yanında basınç kayıplarının da önemli ölçüde büyüdüğünü tespit etmiştir [5]. Özgen vd., çalışmasında çift geçişli güneş kolektörünün ısı performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında düz plaka ve alüminyum kutular bulunan iki farklı yutucu plaka geometrisini incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda alüminyum kutu kullanılan güneş kolektörünün veriminin düz plakalı yutucu plakaya göre arttığını belirtmişlerdir [6]. Akpınar vd. çalışmasında dört farklı yutucu plaka tipinin termal verimini deneysel olarak araştırmışlardır. Yutucu plaka tipi olarak üçgen, yaprak, dikdörtgen engelli ve düz tip yutucu plakalarda en uygun verim değerinin

yaprak tip yutucu plakalı kolektörde tespit etmişlerdir [7]. Benli, iki farklı tip güneş enerjili hava kolektörünün ısı verimini deneysel olarak incelemiştir. Çalışmasında ısı veriminin tespiti için yapay sinir ağlarını kullanmıştır. Yapay sinir ağlarının güneş kolektörlerinin ısı verimini tespit etmede kullanılabileceğini vurgulamıştır [8]. Esen, yutucu plaka üzerine yerleştirilen farklı şekildeki engellerin güneş enerjili hava kolektörünün ısı verimine etkisini deneysel olarak incelemiştir. Engeller yerleştirilen yutucu plakalı kolektörün ısı veriminin düz tip yutucu plakalı kolektöre göre daha verimli olduğunu tespit etmiştir [9].

## 2. Materyal

Bu çalışmada, standart siyah mat ve selektif solar boyanın ısı verime etkisinin deneysel olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla iki adet aynı özelliklere sahip kolektörden ibaret deney düzeneği tesis edilmiştir. Deneylerde kullanılan kolektörler yutucu plaka boyası haricinde tamamen aynıdır. Kolektörler ana hatları ile kasa, yutucu plaka, saydam örtü ve yardımcı elemanlardan oluşmuştur. Kolektörler izolasyon ve montaj hatalarına karşı termal kamera yardımı ile test edilmiş ve gerekli iyileştirmeler yapılmıştır. Bu kolektörlere selektif solar boya ve standart siyah boya ile boyanmış trapez yutucu plakalar monte edilerek deneysel ölçümler gerçekleştirilmiştir. Selektif boyalı trapez yutucu plakalı kolektör "Model I", standart siyah boya ile boyanmış trapez yutucu plakalı kolektör ise "Model II" olarak isimlendirilmiştir. İmalatı yapılan kolektörlerin teknik özellikleri Çizelge 2.1.'de, deney seti resmi Şekil 2.1.'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Kolektör teknik özellikleri

Sistem Elemanları	Teknik Özellikleri
<b>Kolektörler</b>	1000x2000x200 mm ölçülerinde 0,8 mm'lik sacdan gaz altı kaynak birleştirmeli olarak imal edilmiştir.
<b>İzolasyon</b>	Kolektör taban ve yanlarında 50 mm'lik cam yünü kullanılmıştır.
<b>Yutucu Plaka</b>	1000x1900 mm ölçüsündeki 0,2 mm'lik alüminyumdan trapez şeklinde bükülerek 900x1900 mm ölçüsünde imal edilmiştir. Yutucu plaka altına uzunlamasına 300 mm ara ile dolaşım kanalı yapılmıştır.
<b>Saydam Örtü</b>	900x1900x3,2 mm ölçülerinde Durasol P+ marka prizma desenli düşük demirli temperli buzlu cam kullanılmıştır. Kullanılan cam <0,002 %Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Gün ışığı geçirgenlik T <sub>d65</sub> : %92 ve Güneş enerjisi geçirgenlik T <sub>sol</sub> : %90,7 değerlerine sahiptir.
<b>Fan</b>	180 mm uzunluğunda, 60 mm çapında, 20 W / 220V ve 2x180 mm uzunluğunda, 60 mm çapında, 40 W / 220V ileriye eğimli çapraz akışlı ikiz radyal fan kullanılmıştır.
<b>Sızdırmazlık</b>	Kolektör birleşim yerlerinde epdm fitil kullanılmıştır.
<b>Yutucu plaka boyası</b>	Yutucu plakalardan ilki (Model I) Selpa-1A marka selektif solar boya ile boyanmıştır. Kullanılan boyanın emissivitesi 0,20-0,49, absorpsivitesi 0,88-0,94 arasındadır. Kullanılan boya %100 silikon polimer bağlayıcılı ve xylene solventlidir. İkinci yutucu plaka (Model II) ise VR marka siyah mat boya ile boyanmıştır.



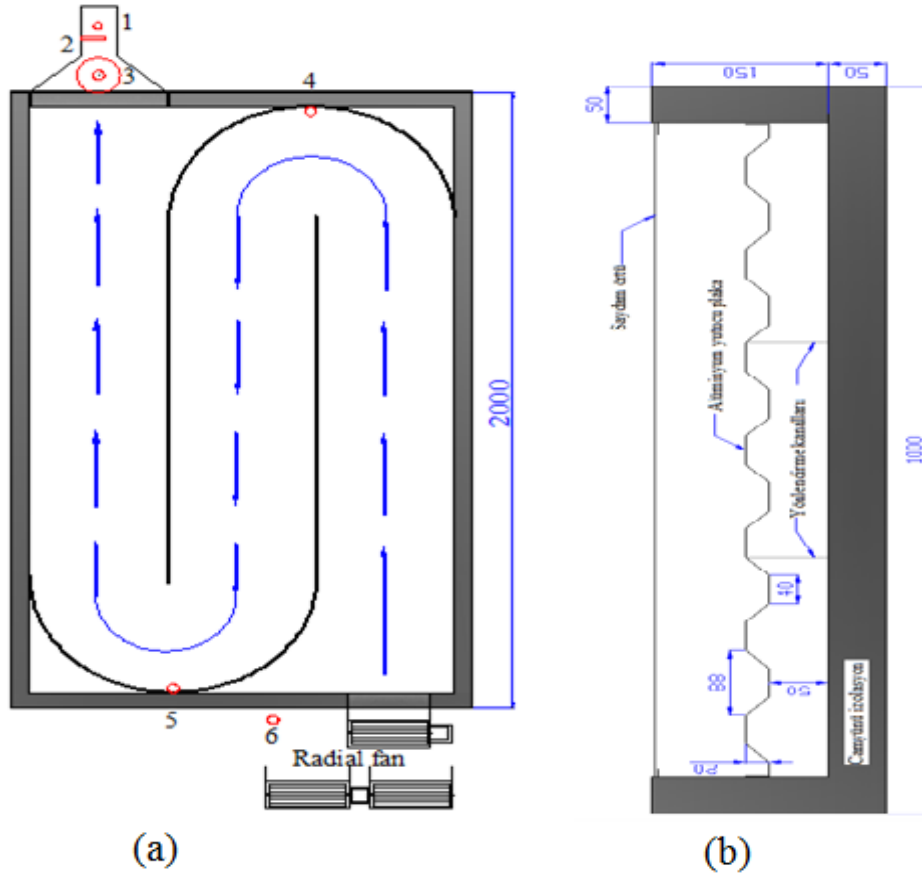
Şekil 2.1. Deney seti resmi

### 3. Metot

Deneyler 17-18 (tek fanlı) ve 20-27 (çift fanlı) olmak üzere iki ayrı hava debisinde Şubat 2014 tarihlerinde çift tekerrürlü olarak açık hava koşullarında 08:00–17:00 saatleri arasında Akhisar’da yapılmıştır. Kollektörlerde hava akış yolu üçe bölünmüştür. Yutucu plaka yüzeyinde iki noktadan sıcaklık problemleri kullanılarak yüzey sıcaklık ölçümü yapılmış ve Comet SO141 datalogger ile kaydedilmiştir. Hava hızı kollektör çıkışına yerleştirilen hotwire tipi anemometre ile ölçülmüştür. Global radyasyon değeri kollektör üst köşesine monte edilerek pironometre ile anlık ölçülmüştür. Hava çıkış ve çevre sıcaklığı PT1000 tipi prob ile ölçülmüştür. Yüzey sıcaklığı dışındaki ölçümler Comet MS6D datalogger ile kaydedilmiştir. Dataloggerlerin veri kaydetme aralığı 1 dakika olarak ayarlanmıştır. Saat 8:45’da kollektör fanları devreye alınmıştır. Kollektör eğimleri  $53^\circ$  olarak ayarlanmıştır.

Deney seti ölçüm noktaları ve kollektör kesiti Şekil 3.1.’de verilmiştir. Deney setinde altı noktadan aşağıdaki parametreler ölçülmüştür;

1. I. ve II. kollektör çıkış hava hızı ( $V_1$  ve  $V_2$ )
2. I. ve II. kollektör çıkış havası sıcaklığı ( $T_1$  ve  $T_2$ )
3. Güneş ışınım miktarı ( $I$ )
4. I. ve II. kollektör yutucu plaka yüzey sıcaklığı birinci noktası ( $T_{1a} - T_{2a}$ )
5. I. ve II. kollektör yutucu plaka yüzey sıcaklığı ikinci noktası ( $T_{1b} - T_{2b}$ )
6. Çevre sıcaklığı ( $T_a$ )



Şekil 3.1. (a) Kollektör hava akış ve ölçüm noktaları detayı, (b) Kollektör kesit detayı

Deneylerde kullanılan test cihazlarının kontrolü uygulamalı olarak kapalı ortamda yapılmıştır. Hava hızı ölçümü için Delta Ohm HD403TS1 model, 0,20-40 m/s ölçüm aralıklı ve  $\pm (0,2\text{m/s} + \%3 \text{ ö.d.})$  hassasiyetli hotwire tip anemometre kullanılmıştır. Hava sıcaklık ölçümü için Comet SN234 model,  $-80+200^\circ\text{C}$  ölçüm aralıklı ve  $\pm 0,15^\circ\text{C}$  hassasiyetli sıcaklık probu kullanılmıştır. Global radyasyon miktarı ölçümü için Delta Ohm LA PYRA 02 AC model  $0-2000 \text{ W/m}^2$  ölçüm aralıklı ve  $10 \text{ W/m}^2$  hassasiyetli piranometre kullanılmıştır. Yüzey sıcaklık ölçümü için Comet SN166 model,  $-30+200^\circ\text{C}$  aralıklı ve  $\pm 0,15$  hassasiyetli yüzey sıcaklık probu kullanılmıştır. Kollektör termal tetkikleri ise Flir SC325 model  $-20+350^\circ\text{C}$  aralıklı ve  $\pm \%2$  hassasiyetli termal kamera ile yapılmıştır.

#### 4. Isıl verim analizi

Güneş enerjili hava kolektöründe faydalı enerji, kolektörden geçen akışkanın giriş ve çıkış sıcaklığına bağlı olarak,

$$Q_u = \dot{m}c_p(T_o - T_i) \quad (4.1)$$

şeklinde hesaplanır. Burada  $\dot{m}$ , kollektörden geçen havanın kütleli debisi (kg/s),  $c_p$  havanın özgül ısıdır (J/kgK),  $T_o$  ve  $T_i$  sırasıyla kollektör hava giriş ve çıkış sıcaklıklarıdır (°C).

Kollektörden geçen havanın kütleli debisi ise,

$$\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A_k \quad (4.2)$$

şeklinde hesaplanır. Burada  $\rho$  havanın yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>),  $V$  hava akış hızı (m/s),  $A_k$  ise kollektörün çıkış kesit alanı (m<sup>2</sup>)'dir.

Termodinamiğin I. kanunundan faydalanarak kollektörün ısı verimi,

$$\eta = \frac{\dot{m}c_p(T_o - T_i)}{I A_c} \quad (4.3)$$

şeklinde belirlenir. Burada,  $\eta$  ısı verimi,  $I$  kollektör yüzeyine gelen güneş ışınımı (W/m<sup>2</sup>),  $A_c$  ise kollektör yüzey alanıdır (m<sup>2</sup>).

## 5. Deney Sonuçları

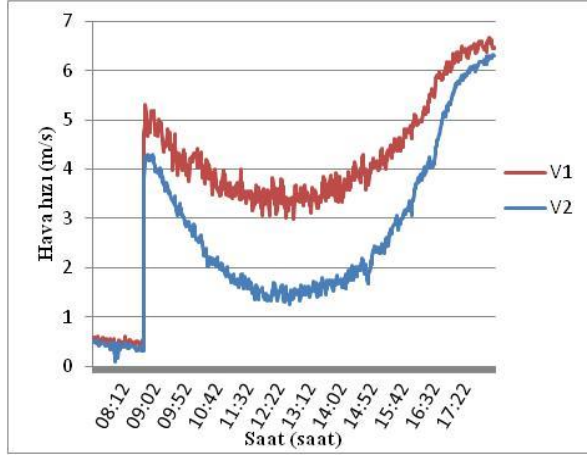
Yapılan ölçümler sonucunda belirlenen verim değerlerinin maksimum, minimum ve ortalama değerleri Çizelge 5.1.'de verilmiştir. **Görüldüğü gibi selektif boyalı trapez yutucu plakalı güneş kollektörünün ısı verimi standart siyah boyalı trapez plakalı güneş kollektörüne göre daha yüksektir.**

Çizelge 5.1. Deney verilerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri

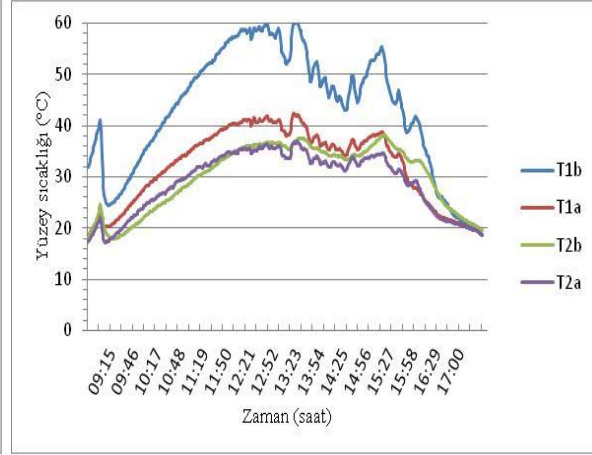
Fan	Tarih	Değer	I (W/m <sup>2</sup> )	T <sub>a</sub> (°C)	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>1a</sub> (°C)	T <sub>1b</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	T <sub>2a</sub> (°C)	T <sub>2b</sub> (°C)	V <sub>1</sub> (m/s)	V <sub>2</sub> (m/s)	η <sub>1</sub> (%)	η <sub>2</sub> (%)
Tek	17 Şubat 2014	Min.	35.7	5.9	19.2	0.4	0.6	20.1	0.0	0.3	1.6	1.2	9.8	12.1
		Mak.	1015.6	20.8	50.4	52.3	57.9	53.3	44.3	46.4	6.0	6.1	44.8	46.4
		Ort.	761.7	16.2	39.6	35.9	39.6	42.3	30.2	32.4	3.1	2.6	26.8	24.8
	18 Şubat 2014	Min.	39.0	6.8	21.0	20.2	21.2	22.2	15.2	18.5	2.1	1.3	12.7	13.3
		Mak.	1008.2	23.1	51.7	53.9	58.1	54.6	45.0	47.4	6.2	6.3	41.5	54.8
		Ort.	761.6	18.3	41.3	42.4	45.6	43.8	35.1	38.0	3.3	2.8	27.6	25.8
Çift	20 Şubat 2014	Min.	20.5	9.2	19.2	18.6	18.5	19.4	17.2	17.9	3.2	1.9	22.4	16.6
		Mak.	1054.3	23.5	47.9	42.4	60.4	50.7	37.0	38.1	6.3	6.1	63.2	60.5
		Ort.	650.5	19.1	37.0	32.5	43.4	39.0	29.3	30.3	4.4	3.5	35.4	31.9
	27 Şubat 2014	Min.	41.9	5.8	14.5	18.6	18.5	14.6	17.2	17.9	3.0	1.2	23.0	12.1
		Mak.	1022.3	16.6	43.1	42.4	60.4	45.4	37.0	38.1	6.5	6.0	83.0	78.2
		Ort.	723.0	13.2	33.3	32.1	43.2	35.1	28.9	30.0	4.2	2.7	33.8	23.5

Şekil 5.1.'de her iki kollektör tipi için çıkış hava hızının zamana göre değişimi verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi her iki kollektörde de hava hızı birbirlerine benzer bir değişim göstermekle birlikte Model I kollektör hava hızı daha yüksek seyretmiştir.





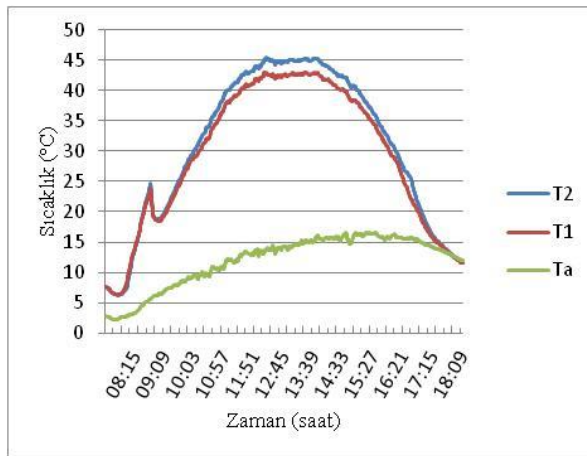
Şekil 5.1. Çıkış hava hızının zamana göre değişimi



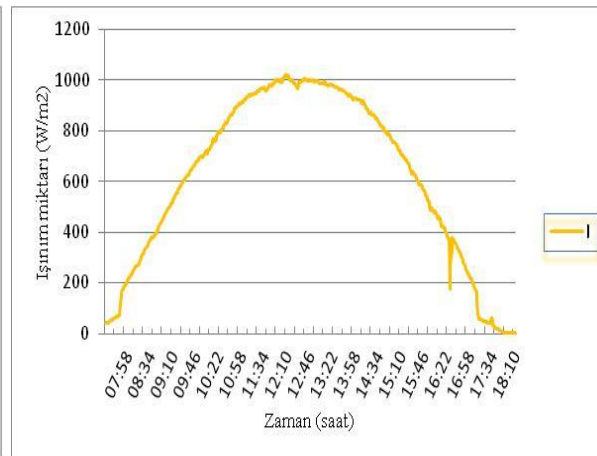
Şekil 5.2. Yutucu plaka yüzey sıcaklıklarının zamana göre değişimi

Şekil 5.2.'de ise her iki kollektöre ait yutucu plaka yüzey sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir. Burada  $T_{1a}$  ve  $T_{1b}$  sırası ile I. kollektör modeline ait iki farklı noktadaki yüzey sıcaklığını göstermektedir.  $T_{2a}$  ve  $T_{2b}$  ise II. kollektör modeline ait iki farklı noktadaki yüzey sıcaklığını belirtmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi selektif boyalı kollektöre ait yutucu plaka sıcaklığı standart siyah boyalı kollektöre ait yutucu plaka sıcaklığına göre farklılık göstermektedir. Özellikle I. kollektörün ikinci noktasındaki sıcaklık değeri çok bariz yüksek çıkmıştır.

Şekil 5.3.'de her iki kollektör modelinden çıkan havanın ve çevre hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi gösterilmiştir.  $T_1$  I. kollektör modelinden çıkan hava sıcaklığını,  $T_2$  II. kollektör modelinden çıkan hava sıcaklığını ve  $T_a$  ise çevre sıcaklığını belirtmektedir. Model II kollektöründen çıkan hava sıcaklığı Model I' ile benzer değişim göstermiş ancak sıcaklık olarak Model II'nin Model I'den az çıkması farklı hava debilerine sahip olmalarındandır.

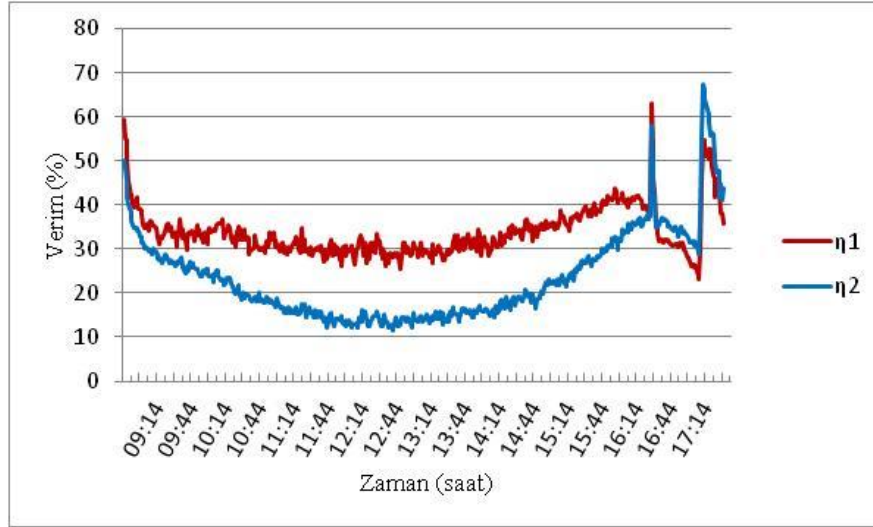


Şekil 5.3. Kollektör çıkış sıcaklıklarının zamana göre değişimi



Şekil 5.4. Güneş ışınımının zamana göre değişimi

Şekil 5.4.'de güneş ışınımının zamana göre değişimi verilmiştir. Şekil 5.5.'de ise her iki kollektöre ait ısı veriminin zamana göre değişimi gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere hava hızındaki ve kollektör çıkış sıcaklığındaki farklılıklardan dolayı selektif boyalı trapez yutucu plakalı kollektörün ısı verimi beklenildiği gibi mat boyalı kollektöre göre daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 5.5. Isıl verimin zamana göre değişimi

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada selektif boyalı ve standart siyah boyalı trapez yutucu plakalı güneş enerjili hava kolektörleriyle yapılan deneylerde ölçüm parametrelerine bağlı olarak termal verim hesaplanmıştır.

Tek fanlı yapılan deneylerde, ortalama değerler ile Model I – selektif boyalı trapez yutucu plakalı kolektörde 3,2 m/s çıkış hava hızı değerinde %27,4 ısı verim, Model II – standart siyah boyalı trapez yutucu plakalı kolektörde 2,7 m/s çıkış hava hızı değerinde %25,3 ısı verim değeri tespit edilmiştir.

Çift fanlı yapılan deneylerde, ortalama değerler ile Model I – selektif boyalı trapez yutucu plakalı kolektörde 4,3 m/s çıkış hava hızı değerinde %34,6 ısı verim, Model II – standart siyah boyalı trapez yutucu plakalı kolektörde 3,1 m/s çıkış hava hızı değerinde %27,7 ısı verim değeri tespit edilmiştir.

Deneylerde fanların yüke bindiğinde devirlerinin değiştiği görülmüştür. Daha hassas ölçümler için fark basınç sensörlü sabit debi kontrol ünitesi ile fan debilerinin sabitlenerek ölçüm yapılması gerektiği görülmüştür.



Sonuç olarak selektif boyalı trapez yutuculu güneş enerjili hava kollektörlerinin ısı verimlerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

### **Kaynaklar**

- [1] <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>. GEPA-Güneş enerjisi potansiyeli atlası.
- [2] Tırıs M, Tırıs Ç, Erdallı Y. Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri, Tübitak MAM 1997.
- [3] El-Sebaai A A, Al-Snani H. Effect of selective coating on thermal performance of flat plate solar air heaters. *Energy* 2010;42:1820–1828.
- [4] Hachemi A. Comparative study on the thermal performances of solar air heater collectors with selective and nonselective absorber-plate. Technical note. *Renewable Energy* 1999;17:103–112.
- [5] Benli H. Experimentally derived efficiency and exergy analysis of a new solar air heater having different surface shapes. *Renewable Energy* 2013;50:58-67.
- [6] Ozgen F, Esen M, Esen H. Experimental investigation of thermal performance of a double-flow solar air heater having aluminium cans. *Renewable Energy* 2009;34:2391–2398.
- [7] Akpınar E K, Koçyiğit F. Experimental investigation of thermal performance of solar air heater having different obstacles on absorber plates. *Int Com In Heat and Mass Transfer* 2010;37:416-421.
- [8] Benli H. Determination of thermal performance calculation of two different types solar air collectors with the use of artificial neural Networks. *Int J of Heat and Mass Transfer* 2013;60:1-7.
- [9] Esen H. Experimental energy and exergy analysis of a double-flow solar air heater having different obstacles on absorber plates. *Building and Environment* 2008;43:1046-1054.