



## Design, manufacture and thermal analysis of a single pass solar air collector at different mass flow rates

Selçuk Darıcı\*<sup>ID</sup>

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Konya Technical University, 42250, Konya, Turkey

### Highlights:

- Single pass solar air collector is investigated experimentally for different mass flow rates
- The maximum outlet temperature of air has reached to 66°C
- Average energy efficiency of 52% is obtained

### Keywords:

- Solar air collector
- Thermal efficiency
- Absorber plate
- Heat transfer
- Solar radiation

### Article Info:

Research Article  
Received: 27.11.2018  
Accepted: 21.12.2019

### DOI:

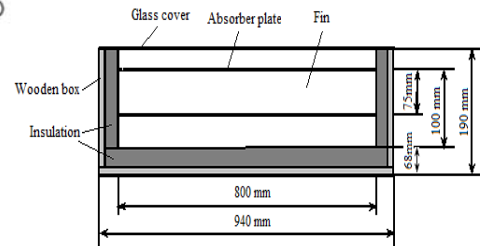
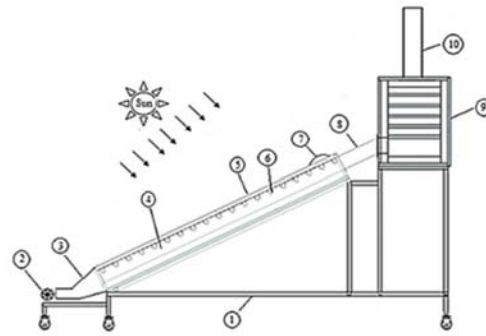
10.17341/gazimmfd.488518

### Correspondence:

Author: Selçuk Darıcı  
e-mail: sdarici@ktun.edu.tr  
phone: +90 332 205 1807

### Graphical Abstract

Solar air collectors are generally used for drying industrial and agricultural products or for space heating. Nowadays solar energy is paid more attention due to decrease in fossil fuels and increase in energy prices. In this study, a single pass, forced convective solar air collector has been designed, manufactured and analysed experimentally under climatic conditions of Konya/Turkey. Experiments have been conducted at three different mass flow rates, on different days and under clear weather conditions. Hourly variation of solar radiation, inlet and outlet air temperatures, glass cover temperature, absorber plate temperature and thermal efficiency of the solar air collector have been examined by using the experimental data. It is seen that with the increase in mass flow rate, temperature of the air at the outlet of the collector decreases while thermal efficiency of the collector increases.



**Figure A.** A schematic view of the experimental setup **Figure B.** Cross section of the collector

**Purpose:** In this study, thermal performance analysis of a forced convective solar air collector which is designed and implemented as single pass and finned absorber plate in Konya weather conditions is investigated experimentally.

### Theory and Methods:

The single pass solar air collector is constructed and investigated experimentally under weather conditions of Konya in the month of May. Aluminum fins with U-shaped are attached to lower surface of the absorber plate perpendicular to the air flow under the absorber plate. Hourly the inlet and outlet temperatures of the air, absorber plate temperature, glass cover temperature, ambient temperature and solar radiation intensities were measured and recorded.

### Results:

Thermal efficiency of the solar air collector depends on solar radiation intensity and mass flow rate of the air. Energy efficiency increases, while the temperature difference between inlet and outlet temperature of air decreases with increasing mass flow rate of air.

### Conclusion:

If the solar air collector is to be used especially in high temperature applications, it will be appropriate to operate the system at low mass flow rates. The maximum outlet temperature of air has reached to 66°C. Average energy efficiency of 52% is obtained for all mass flow rates.



## Tek geçişli bir havalı güneş kolektörü tasarımı, imalatı ve farklı kütle debilerinde ısı analizi

Selçuk Darıcı\*<sup>ID</sup>

Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 42250, Konya, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Tek geçişli bir havalı kolektör farklı kütle debilerinde deneysel olarak incelenmiştir
- Havanın maksimum çıkış sıcaklığı 66°C'a ulaşmıştır
- Kolektörün ortalama ısı verimi %52 olarak bulunmuştur

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 27.11.2018

Kabul: 21.12.2019

### DOI:

10.17341/gazimmfd.488518

### Anahtar Kelimeler:

Havalı kolektör,  
ısı verim,  
yutucu plaka,  
ısı transferi,  
güneş ışınımı

### ÖZET

Havalı güneş kolektörleri genellikle endüstriyel ve tarımsal ürünlerin kurutulmasında ve mahal ısıtma sistemlerinde kullanılmaktadır. Fosil yakıtların azalması ve enerji fiyatlarının yükselmesi nedeniyle günümüzde güneş enerjisine daha fazla önem verilmektedir. Bu çalışmada, tek geçişli, zorlanmış taşınımlı bir havalı güneş kolektörü tasarlanmış, imal edilmiş ve Konya iklim şartlarında deneysel olarak incelenmiştir. Kolektör ile üç ayrı kütledebide, farklı günlerde ve açık hava koşullarında deneyler yapılmıştır. Deneysel veriler kullanılarak güneş ışınımı, havanın kolektöre giriş, çıkış, cam örtü, yutucu plaka sıcaklıkları ve kolektör ısı veriminin saatlik değişimleri incelenmiştir. Sonuçlar, kütle debisindeki artış ile havanın kolektörden çıkış sıcaklığının azaldığını, kolektörün ısı veriminin ise arttığını göstermektedir

## Design, manufacture and thermal analysis of a single pass solar air collector at different mass flow rates

### H I G H L I G H T S

- Single pass solar air collector is investigated experimentally at different mass flow rates.
- The maximum outlet temperature of air has reached to 66°C.
- The average thermal efficiency of the collector was found to be 52%.

### Article Info

Research Article

Received: 27.11.2018

Accepted: 21.12.2019

### DOI:

10.17341/gazimmfd.488518

### Keywords:

Solar air collector,  
thermal efficiency,  
absorber plate,  
heat transfer,  
solar radiation

### ABSTRACT

Solar air collectors are generally used for drying industrial and agricultural products or for space heating. Nowadays solar energy is paid more attention due to decrease in fossil fuels and increase in energy prices. In this study, a single pass, forced convective solar air collector has been designed, manufactured and analysed experimentally under climatic conditions of Konya/Turkey. Experiments have been conducted at three different mass flow rates, on different days and under clear weather conditions. Hourly variation of solar radiation, inlet and outlet air temperatures, glass cover temperature, absorber plate temperature and thermal efficiency of the solar air collector have been examined by using the experimental data obtained. It is seen that with the increase in mass flow rate, temperature of the air at the outlet of the collector decreases while thermal efficiency of the collector increases.

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: sdarici@ktun.edu.tr / Tel: +90 332 205 1807

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Güneş enerjisi, yaygın uygulamaları nedeni ile yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak özellikle mühendislerin ve araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Güneş enerjisi sürdürülebilir ve temiz enerji kaynağı olarak önemli bir yere sahiptir. Güneş ışınının ısıya dönüştürülmesi genellikle güneş kolektörleri ile sağlanmaktadır. Güneş kolektörleri akışkana göre sıvılı veya havalı tip olarak sınıflandırılabilir. Güneş kolektörleri genellikle bina ısıtma sistemlerinde, endüstriyel ve tarımsal ürünlerin kurutulmasında ve bina havalandırmasında havanın ön ısıtılmasında kullanılmaktadır. Enerji ihtiyacının önemli bir kısmının ithalat ile sağlandığı Türkiye’de, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının yanında özellikle güneş enerjisi önemli bir kullanım potansiyeline sahiptir.

Havalı güneş kolektörleri genel olarak, yüksek ısı iletkenliğe sahip malzemeden yapılmış siyaha boyalı bir yutucu plakanın güneş ışınımını absorbe ederek ısı enerjisiye dönüştüren ve bu ısıyı kolektör içinden geçen çalışma akışkanı havaya aktaran özel bir ısı değiştirici tipidir. Sıvılı güneş kolektörlerine göre verimleri düşük olmasına rağmen; basit yapıda ve ucuz olmaları, ileri teknoloji gerektirmemeleri, bakım ve işletmelerinin kolay ve ucuz olması, uzman insan gücü gerektirmemeleri, donma, kaynama, korozyon, sızıntı vb. problemlerinin olmaması ve yerel imkânlarla mevcut malzemelerden üretilebilmeleri gibi avantajları nedeni ile havalı güneş kolektörlerinin kullanımına olan ilgi artmaktadır.

Havalı güneş kolektörlerinde havanın termodinamik özelliklerinin düşük değerli olması nedeni ile, ısı verim sıvılı kolektörlere göre daha düşüktür. Ancak yukarıda belirtilen avantajlarından dolayı havalı güneş kolektörlerinde havaya aktarılan ısı transferini arttırmak için değişik uygulamalar yapılmaktadır. Bunlardan bazıları; farklı malzemeden yapılmış yutucu plaka kullanılması, yutucu plakanın yüzey geometrisinin değiştirilmesi, yutucu plakaya kanatçıklar eklenmesi, hava akışının bir fan vasıtası ile türbülanslı hale getirilmesi, havanın kanal içinden birden fazla geçirilmesi, akış kanalına dolgu malzemesi yerleştirilmesidir.

Düz plakalı havalı güneş kolektörleri üzerine literatürde yayımlanmış çok sayıda akademik çalışma vardır. Bunlardan bazıları havalı kolektörün ısı enerjisi toplayan yutucu plaka yüzeyleri üzerinde değişiklikler yaparak kolektör verimini arttırmakla ilgilidir. Farklı profillerde yutucu plakalı kolektörlerle yapılan bir kıyaslama çalışmasında düz yüzeyli kolektörün ortalama verimi %32,9 iken, boru birleşimi üstte ve ortada olan zikzak kanallı kolektörlerin verimleri sırası ile %32,1 ve %36,3, parabolik kanallı kolektörün verimi ise %26,7 bulunmuştur [1]. Yutucu yüzeyleri farklı olarak imal edilen iki ayrı havalı güneş kolektörünün performanslarının araştırıldığı ve Karabük ili şartlarında deneysel olarak gerçekleştirilen bir çalışmada zigzag yutucu yüzeyli kolektörün enerji ve ekserji etkinliği

daha yüksek bulunmuştur [2]. Yutucu plaka yüzeyinde akışı türbülanslı hale getirerek kolektör verimini yükseltmek de mümkündür. Dairesel ve v-şekilli türbülötörlerin kullanıldığı tek geçişli bir hava ısıtıcısında performans iyileştirmesini ele alan deneysel bir çalışmada Reynolds sayısının ve türbülötör sayısının artışı ile sistem veriminin arttığı sonucuna varılmıştır [3].

Havalı kolektörlerin etkin kullanım alanlarından birisi de tarım sektöründeki kurutma uygulamalarıdır. Kurutucu olarak uygun bir havalı kolektör tasarımının ele alındığı bir çalışmada ise düz plakalı, kanatçıklı ve v-oluklu üç farklı tipte havalı kolektör deneysel olarak incelenmiştir [4]. Singapur iklim koşulları altında deneyleri yapılan bu çalışmada, v-oluklu kolektörün en yüksek verime, düz plaka kolektörün ise en düşük verime sahip olduğu belirlenmiştir. Elazığ ilinde yetişen kayısıların aynı bölge iklim şartlarında ondülün yüzeyli olarak tasarlanan bir havalı kolektör ile kurutulması işleminin deneysel olarak incelendiği başka bir çalışmada, farklı kütle debilerinde deneyler yapılmış ve hava debisinin artışı ile ürünün daha kısa sürede kuruduğu belirlenmiştir [5].

Havalı kolektörlerde güneş ışınımını yüksek oranda geçirmesi nedeniyle, plakadan çevreye ısı kayıplarını engellemek ve yutucu plakayı dış etkilerden korumak için saydam örtü olarak genellikle cam kullanılmaktadır. Esnek alüminyum bir folyo kanalın yutucu plaka olarak kullanıldığı bir güneşli hava kolektöründe camlı ve camsız olarak deneyler yapılmıştır [6]. Deney sonuçları, tasarlanan kolektörün düz kolektöre göre %15,9–41,2 daha yüksek verimli olduğunu göstermiştir. Çalışmanın diğer önemli bir sonucu ise, yutucu plaka olarak esnek hava kanalı uygulamasının, havalı kolektörlerde enerji-maliyet açısından verimli bir seçenek olarak kullanılabilabileceğidir.

Akış kanalına yerleştirilen kıvrımlı şeritler ısı değiştiricileri, iklimlendirme ve soğutma sistemleri gibi uygulamalarda ısı transferini arttırmak için kullanılan pasif elemanlardır. Farklı oranlarda bükülmüş şeritler ile donatılmış, genişletilmiş yüzeyli bir güneşli hava kolektörünün ısı ve termohidrolik performansı analitik bir çalışma ile belirlenmiştir [7]. Hava debisinin, şerit büküm oranının ve güneş ışınımının kolektör performansına etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada, havanın 0,025 kg/s kütle debisinde, plakaya kanatçık eklenmesi, düz plakaya nazaran kolektörün ısı verimini %26 arttırmıştır. Kanatçık aralarına büküm oranı 2 olan bükülmüş şeritler eklendiğinde kanatçiksız düz plakaya göre ısı verimindeki artış %43,5 olarak bulunmuştur.

Havalı güneş kolektörlerinde yutucu plakadan havaya geçen ısı miktarını arttırmak için yapılan uygulamalardan birisi de yutucu plaka yüzeylerine kanatçıklar eklenmesidir. Böylece daha geniş bir yüzey alanı ile temas eden havaya daha fazla ısı aktarılmış olur. Kanatçıklı ve kanatçiksız havalı güneş kolektörlerinin ısı performansının incelendiği bu tarz bir çalışmada, düşük debilerde kanatçıklı ısıtıcıda havanın daha fazla ısındığı ve ısı performansın daha yüksek olduğu

belirlenmiştir [8]. Tek geçişli, yutucu plakaya kanatçıklar ve engellerin tutturulduğu bir güneşli hava ısıtıcı incelenmiş ve sonuçlar, kanatçıklar ve engellerin düz bir kollektöre göre çıkış havası sıcaklığını ve ısı verimi etkin biçimde arttırdığını göstermiştir [9]. Tek cam örtülü ve tek geçişli olarak tasarlanan bir güneşli havalı ısıtıcı Mısır'ın Tanta şehri hava şartlarında test edilmiştir [10]. Düz, kanatçıklı ve v-oluklu plakalı güneşli havalı ısıtıcılarının performanslarının araştırıldığı bu çalışmada, aynı işletme şartlarında v-oluklu hava ısıtıcı düz plakalı ısıtıcıdan %8-14,5, kanatçıklı ısıtıcıdan ise %6-10,5 daha yüksek verimli bulunmuştur. Bir başka çalışmada ise yutucu plakası kanatçıklı ve çelik tel örgülü, tek ve iki geçişli güneşli bir hava ısıtıcının performansı deneysel olarak araştırılmıştır [11]. Deneysel sonuçlarına göre, kütle debisinin artması ile ısı veriminin arttığı ve çift geçişli kollektör veriminin tek geçişliye göre %7-9 daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Çift geçişli, kanatçıklı yutucu plakalı güneşli bir hava ısıtıcının teorik ve deneysel araştırmaları sonucunda, v-oluklu ısıtıcı veriminin kanatçıklı ısıtıcıya göre %93-11,9 daha yüksek bulunduğu belirtilmiştir [12]. Yutucu plaka yüzeyine kanatçıklar ekleyerek yüzey alanını artırmak çoğu zaman üretim maliyetini az miktarda etkilerken, havalı kollektörlerin ısı verimlerini önemli oranda iyileştirebilmektedir. Bu çalışmada, literatürdekilerden farklı olarak yeni tasarlanan, U-biçiminde kanatçıklar kullanılmış ve mevcut imkânlar ile imalatı yapılan güneş enerjili zorlanmış taşınım bir havalı güneş kollektörünün ısı performansı Konya iklim şartlarında deneysel olarak incelenmiştir. Isı transfer yüzey alanını ve akışın türbülans seviyesini artırmanın yanında, basınç düşüşüne olumsuz etkisini azaltmak için kanatçık geometrisi keskin köşeli yerine kavisli olarak tasarlanmıştır. Bu çalışma Konya iklim şartlarında havalı kollektör üzerine yapılan ilk çalışma olması yönünden de önemlidir. Tasarlanan kollektör, havanın üç farklı kütle debisinde deneylere tabi tutulmuş, hava debisinin yutucu plaka, cam örtü, havanın kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıklarına ve kollektörün ısı verimine etkileri belirlenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçların gelecekte yapılacak havalı kollektörlerde verim analizine yönelik araştırmalar ve uygulamalar açısından literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA VE PROSEDÜR (EXPERIMENTAL STUDY AND PROCEDURE)

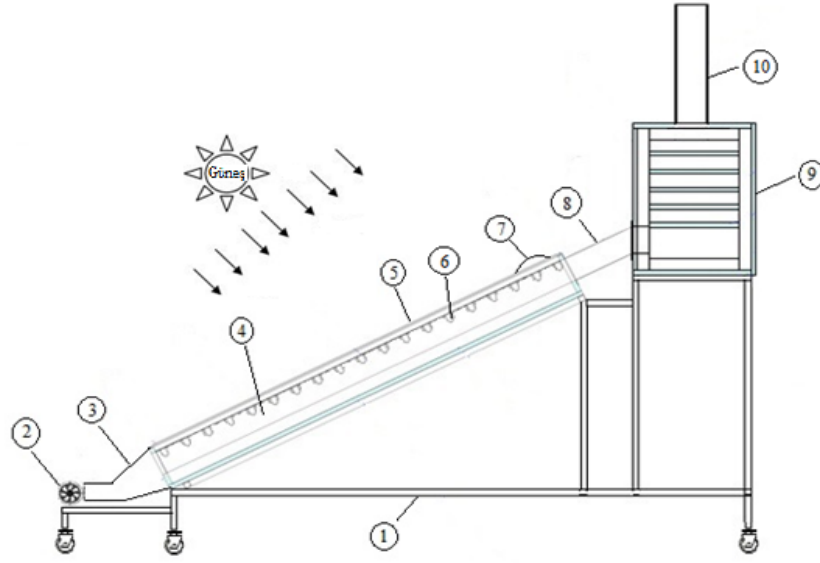
Bu çalışmada, tasarlanan ve kurulan deney düzeneğinin şematik ve fotoğraf görünümü Şekil 1'de verilmiştir. Havalı güneş kollektörünün tasarım parametreleri ise Tablo 1'de özetlenmiştir. Zorlanmış taşınım havalı kollektör kare profil çelik malzemeden yapılmış platform, hava giriş kanalı, kollektör sistemi, üst yüzeyi düz alt yüzeyi kanatçıklı yutucu plaka, cam örtü, hava dolaşım fanı, bacalı sıcak hava kabini, kollektör çıkışı ile kabini birleştiren hava kanalı, yalıtım ve yardımcı ölçme cihazlarından oluşmaktadır. Kollektör kasası 18 mm kalınlıkta (940 x 1840) mm boyutlarında ahşap (MDF) malzemeden yapılmıştır. Kollektör; cam örtü, yutucu plaka, yalıtım malzemesi ve alt plakadan oluşmaktadır. Hava akış kanalı (100 x 800 x 1800) mm boyutlarındadır. Yutucu

plakanın alt yüzeyine plaka ile aynı malzemeden U biçiminde (kavisli kısım aşağı yönde) akışa dik şekilde 24 adet kanatçık tutturulmuştur. Hava akışı kanatçıklı yutucu plakanın altından gerçekleşmektedir. Kollektörün kesit görünüşü Şekil 2'de verilmiştir. Çevreye ısı kayıplarını azaltmak amacı ile kasanın alt ve yan yüzeyleri ile kollektör çıkışındaki hava bağlantı kanalı 50 mm kalınlıkta XPS köpük levha ile yalıtılmıştır. Aşamalı alüminyum sac malzemeden yapılan 0,5 mm kalınlıkta yutucu plakanın güneşe bakan yüzeyi mat siyah boya ile boyanmıştır. Yutucu plakadan ısı kayıplarını azaltmak ve yutucu yüzeyi dış etkilerden korumak için saydam örtü olarak 4 mm kalınlıkta cam kullanılmıştır. Hava kanalının sızdırmazlığı silikon ile, cam örtünün sızdırmazlığı ise kauçuk conta ve cam macunu ile sağlanmıştır. Kollektör giriş ve çıkışında davlumbaz şeklindeki bağlantı kanalları 0,8 mm kalınlıkta galvanizli sac malzemeden imal edilmiştir. Kollektör, 2280 mm uzunlukta ve 490 mm genişlikte (25 x 25) mm kare profilden yapılan bir platform üzerine monte edilmiştir. Kollektörü taşıyan platform hareketli dört adet tekerlek üzerine sabitlenmiş ve bu sayede kollektör taşınabilir hale getirilmiştir.

Kollektör girişine 1400 dev/dak dönme kapasiteli radyal bir fan monte edilmiştir. Kanaldaki havanın akış hızını ve dolayısı ile kütle debisini değiştirebilmek için, fanın devir sayısı bir dimmer (voltaj değiştirici) ile kontrol edilmiştir. Gelecekte yapılması planlanan havalı güneş kollektörü ile kurutma çalışmalarında kullanılmak üzere, deney sistemine 18 mm kalınlıkta ahşap malzemeden yapılan bir sıcak hava kabini eklenmiştir. Kabinden çevreye ısı kayıplarını engellemek için kabin iç yüzeyleri 50 mm kalınlıkta XPS malzeme ile yalıtılmıştır.

Deneyler Konya Teknik Üniversitesi Kampüsünde (doğu boylam 32°, kuzey enlem 37°) 2015 Mayıs ayı meteorolojik şartları altında gerçekleştirilmiştir. Deneylere saat 09:00'da başlanmış ve saat 17:00'da son verilmiştir. Deneyler esnasında sıcaklık ve kollektöre gelen toplam güneş ışınımı değerleri birer saat aralıklarla ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Kollektör deneyleri 0,023, 0,046 ve 0,069 kg/s hava debileri için tekrarlanmıştır. Kollektörün yatay düzlem ile yaptığı eğim açısı, yaz mevsimi dikkate alınarak 27° (enlem açısı-10) [13, 14] olarak ayarlanmıştır. Tüm deneylerde kollektör güneşe bakacak şekilde konumlandırılmıştır.

Deneylerde dış ortam havası, havanın kollektöre giriş, kollektörden çıkış, yutucu plaka, kanatçık, cam örtü ve kabin havası olmak üzere toplam 14 farklı noktadan sıcaklıklar ölçülmüştür. Sıcaklık ölçümleri K tipi ısı elemanlar kullanılarak yapılmış ( $\pm 0,1^\circ\text{C}$ ), ölçülen değerler manuel ve bilgisayar ile kontrol edilebilen 16 kanallı bir veri kayıt cihazı (COMET MS6D) ile kaydedilmiştir. Kanaldan geçen havanın ortalama akış hızı ve ortamdaki rüzgâr hızı 0,4-60 m/s ölçüm aralığına sahip dijital bir termal anemometre (KESTREL 4300) ile ölçülmüştür ( $\pm 0,1$  m/s). Kollektör yüzeyine gelen toplam güneş ışınım yoğunluğunu ölçmek için 0-4000 W/m<sup>2</sup> aralığında ölçüm yapabilen bir ışınım ölçer (Kipp & Zonen CMP-11,  $\pm 1$  W/m<sup>2</sup>), ışınım verilerini kaydetmek için ise bir veri kayıt cihazı kullanılmıştır.



1) Platform 2) Radyal fan 3) Hava giriş kanalı 4) Kollektör 5) Cam örtü 6) Kanatçık 7) Işınım ölçer 8) Hava çıkış kanalı 9) Kabin 10) Baca  
 ((1) Platform (2) Radial fan (3) Air inlet duct (4) Collector (5) Glass cover (6) Fin (7) Solarimeter (8) Air outlet duct (9) Cabin (10) Chimney)

a)

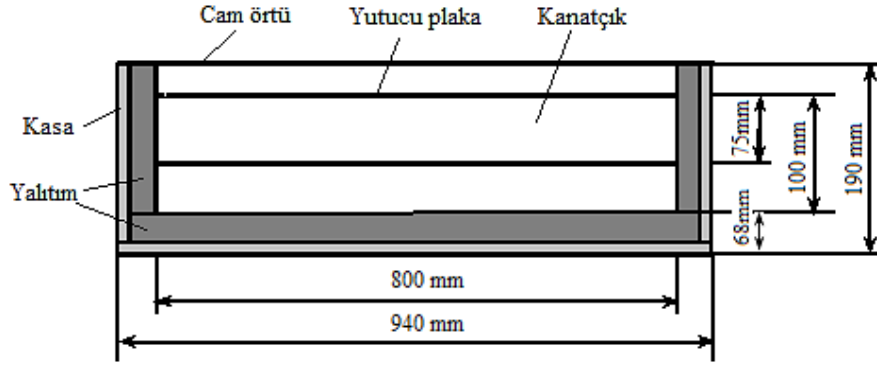


b)

**Şekil 1.** a) Deneysel setinin şematik görünümü ve b) deneysel setine ait bir fotoğraf  
 ((a) A schematic view of the experimental setup and (b) photograph of the solar air collector)

**Tablo 1.** Havalı güneş kolektörünün tasarım özellikleri (Design specifications of solar air collector)

Sistem Bileşenleri	Teknik Özellikler
Yutucu plaka	Alüminyum; (800 x 1800 x 0,5) mm
Plaka yüzeyi	Düz, mat siyah boyalı
Saydam örtü	Düz cam, kalınlık 4 mm, 1 adet
Yalıtım	XPS köpük, kalınlık 50 mm
Sızdırmazlık	Kauçuk conta, silikon ve cam macunu
Hava akış kanalı	100 x 800 mm
Kollektör kasası	Ahşap (MDF); (940 x 1840 x 18) mm
Kollektör eğim açısı	27°
Sıcak hava kabini	Ahşap (MDF); (450 x 540 x 600) mm



Şekil 2. Kollektörün kesit görünüşü (Cross section of the collector)

### 3. VERİ ANALİZİ (DATA ANALYSIS)

Kararlı durumda güneş enerjili bir havalı kolektörde, kolektöre gelen güneş ışınımından dolayı havaya aktarılan faydalı ısı enerjisi, akışkanın kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıklarına bağlı olarak Eş. 1'deki ifade ile hesaplanabilir.

$$\dot{Q}_u = \dot{m}C_p(T_o - T_i) \quad (1)$$

Kollektör içindeki akış kanalından geçen havanın kütle debisi Eş. 2 ile belirlenir.

$$\dot{m} = \rho V A_c \quad (2)$$

Düzlemsel bir havalı güneş kolektörünün anlık ısı verimi, kolektörde çalışma akışkanı olarak kullanılan havaya aktarılan faydalı ısı enerjisinin, aynı zaman aralığında kolektör yüzeyine güneş ışınımı ile gelen ortalama ısı enerjisiye oranı olarak tanımlanmaktadır. Kararlı durum şartlarında bir kolektörün anlık ısı verimi Eş. 3 ile ifade edilir.

$$\eta = \frac{\dot{Q}_u}{I A_p} = \frac{\dot{m}C_p(T_o - T_i)}{I A_p} \quad (3)$$

Havalı güneş kolektörünün ısı verimi; yutucu yüzeyin ve saydam örtünün optik verimi, yutucu yüzeyin geometrisi, akış düzenleme şekli, kolektör yüzeyine gelen güneş ışınım değeri, kolektör eğim açısı, havanın kütle debisi, çevre havası sıcaklığı ve rüzgâr hızı gibi çok sayıda parametreye bağlıdır. Bu nedenle kolektörler için uygulamada günlük ortalama verim daha önemlidir. Kollektörün günlük ortalama ısı verimini belirlemek için Eş. 4 kullanılabilir.

$$\eta_{da} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \dot{Q}_u}{A_p \int_{t_1}^{t_2} I} \quad (4)$$

Kollektörden geçen çalışma akışkanı havanın yoğunluğu ve özgül ısısı havanın ortalama yığık sıcaklığına göre belirlenmektedir. Havanın ortalama yığık sıcaklığı havanın kolektöre giriş ve kolektörden çıkış sıcaklıklarının aritmetik ortalaması hesaplanarak bulunur(Eş. 5).

$$T_b = \frac{T_i + T_o}{2} \quad (5)$$

Deneyisel çalışmalarda kullanılan ölçme cihazlarından, okuma hatalarından ve çevre şartlarından kaynaklanan belirsizlikler ortaya çıkmaktadır. Esasen belirsizlik, herhangi bir ölçümün sonucu hakkında ortaya çıkan kararsızlığın bir kriteridir.  $R$ ;  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  bağımsız değişkenlerine bağlı olarak bulunan bir sonuç olsun.  $W_R$ ,  $R$  sonucunun belirsizliği;  $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$  ise sırası ile  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  bağımsız değişkenlerinin belirsizlikleri olsun.  $W_R$  Eş. 6 [15] ile belirlenebilir.

$$W_R = \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

Deneyisel ölçümlerdeki belirsizlikler dikkate alınarak sıcaklık farkı, güneş ışınımı, kütle debisi, faydalı ısı enerjisi ve kolektör ısı veriminin belirsizlik değerleri belirlenmiş ve Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Ölçülen ve hesaplanan belirsizlikler (Uncertainties of measurements and calculated parameters)

Parametre	Belirsizlik
Kütle debisi (kg/s)	±0,003
Sıcaklık farkı (°C)	± 0,141
Güneş ışınımı (W/m <sup>2</sup> )	± 1
Faydalı ısı (W)	±5,13
Isı verim (%)	±2,43

### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Tek geçişli, kanatçıklı yutucu plakalı güneş enerjili bir havalı kolektörün performans analizi Konya ili iklim şartlarında deneysel olarak araştırılmıştır. Deneyler 2015 yılı Mayıs ayında tamamen açık hava şartlarında gerçekleştirilmiştir. Havalı kolektörün ısı verimliliği havanın farklı kütle debilerinde (0,023 kg/s, 0,046 kg/s ve 0,069 kg/s) incelenmiştir.

Bu çalışmada ardışık farklı günlerde havanın üç farklı kütle debisi için deneyler yapılmıştır. Her debi için deneyler en az üç gün (bazı deneylerde daha fazla) tekrarlanmıştır. Havanın farklı kütle debileri için deney günlerinde kollektör yüzeyine gelen anlık güneş ışınımı ve ölçülen ortam sıcaklığı değerlerinin birbirine yakın olduğu günler belirlenmiştir. Belirlenen söz konusu günlerde ölçülen güneş ışınımı ve çevre havası sıcaklık değerlerinin anlık değişimi Şekil 3'de verilmiştir. Işınım değerlerinin gün içerisindeki saatlik değişimi parabolik bir eğri oluşturmaktadır. Şekilden görüldüğü gibi, ışınım değerleri saat 09:00'da 552-569 W/m<sup>2</sup> arasında iken öğleye kadar artarak saat 13:00 civarında 965-970 W/m<sup>2</sup> aralığında maksimum değere yükselmektedir. Öğleden sonra ise ışınım değerleri hızlı bir şekilde azalmakta ve saat 17:00'de ortalama 435-470 W/m<sup>2</sup> değerine düşmektedir. Havanın 0,023, 0,046 ve 0,069 kg/s kütle debilerinde yapılan deneylerde ölçülen günlük ortalama ışınım değerleri sırası ile 781,0, 778,3 ve 778,8 W/m<sup>2</sup>'dir. Farklı debiler için ardışık günlerde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, güneş ışınımı değerlerinin kararlı halde ve birbirlerine oldukça yakın olduğunu göstermektedir.

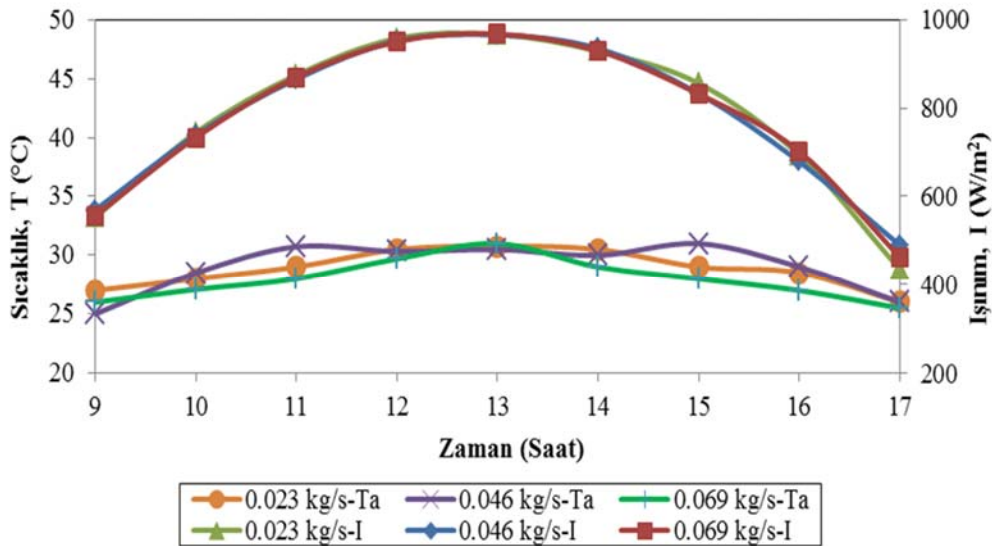
Deneylerin yapıldığı günlerde çevre havası sıcaklığı sabah saatlerinde 25°C civarında iken, öğleye doğru artarak 31°C'ye yükselmekte, öğleden sonra ise ışınım değerlerindeki düşmeye bağlı olarak azalmakta ve saat 17:00'de 26°C'ye düşmektedir.

Kütle debisi 0,023 kg/s için havanın kollektöre giriş, kollektörden çıkış, cam örtü ve yutucu plaka sıcaklıklarının günün saati ile değişimi Şekil 4'te görülmektedir. Havanın kollektöre giriş sıcaklığı, ışınım değerleri ve çevre havası sıcaklığına bağlı olarak gün içerisinde 25-36°C arasında değişmektedir. Havanın kollektörden çıkış, cam yüzey ve yutucu plaka sıcaklıkları ise, güneş ışınımının artışı ile öğleye kadar artarak saat 13:00'da maksimum değerlerine ulaşmaktadır. Öğleden sonra ise, güneş ışınım değerlerinin

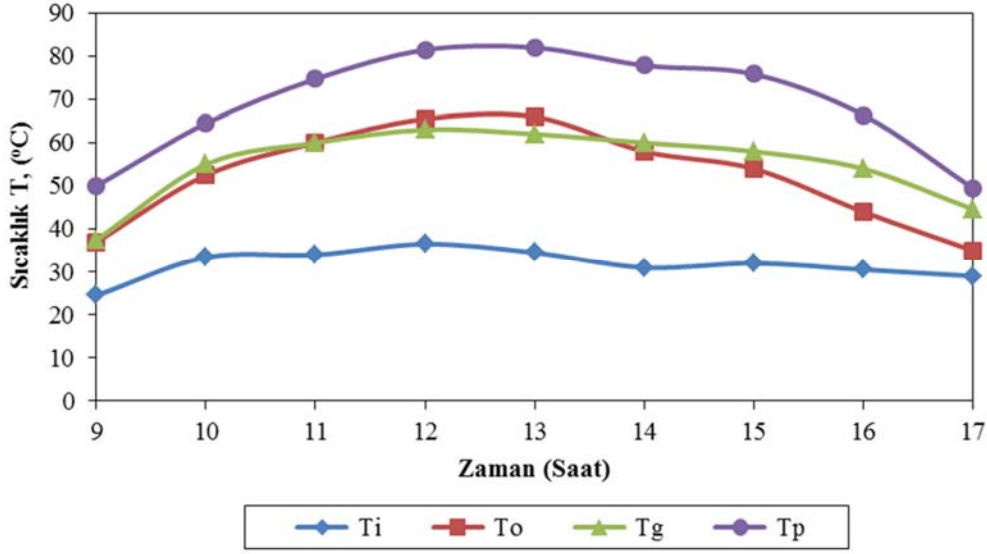
azalması ile birlikte sıcaklıklar da azalmaktadır. Deneylerde ölçülen saatlik değerlere göre yutucu plaka, havanın kollektörden çıkış ve cam yüzeyin gün içerisinde maksimum sıcaklıkları sırası ile 82°C, 66°C ve 62°C'dir. Yine ölçülen değerlere göre yutucu plakanın, kollektör çıkış havasının ve cam yüzeyin ortalama sıcaklık değerleri sırası ile 69°C, 52,5°C ve 54,5°C'dir. Şekilden görüleceği gibi, havanın çıkış sıcaklığı ile cam yüzeyin sıcaklıkları gün içinde bazı saatlerde birbirini kesmektedir. Bu durum rüzgâr hızının ve güneş ışınımının anlık değişimlerinden dolayı cam yüzey ve havanın çıkış sıcaklıklarının anlık değişmesinden kaynaklanmaktadır.

Kollektör çalışma akışkanı havanın 0,046 kg/s kütle debisinde yapılan deney süresince havanın kollektöre giriş, kollektörden çıkış, yutucu plaka ve cam yüzey sıcaklıklarının saatlik değişimi Şekil 5'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, güneşin kollektöre en dik olarak geldiği saat 13:00 civarında yutucu plaka sıcaklığı 82°C, havanın çıkış sıcaklığı ve cam yüzey sıcaklığı ise 52°C olarak en yüksek değerlerine ulaşmaktadır. Gün içerisinde yapılan saatlik ölçümlere göre, yutucu plakanın günlük ortalama sıcaklığı 67°C'dir. Havanın kollektöre giriş ve kollektörden çıkış sıcaklık farkının en yüksek değeri 20°C, günlük ortalama değeri ise 12°C'dir.

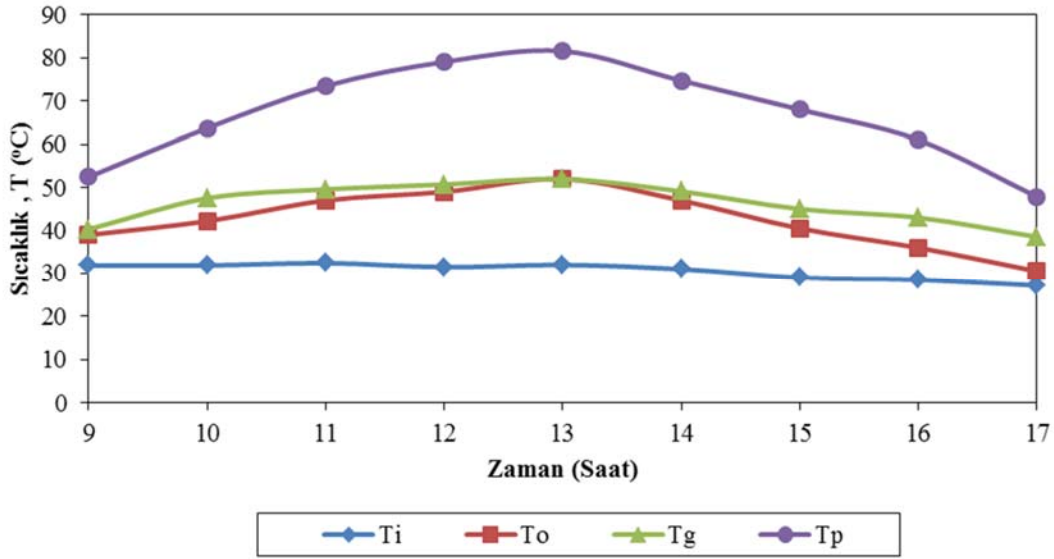
Havanın kollektöre giriş, kollektörden çıkış, cam örtü ve yutucu plaka sıcaklıklarının 0,069 kg/s hava debisi için anlık değişimi Şekil 6'da verilmiştir. Saatlik ölçülen değerlere göre yutucu plakanın günlük ortalama sıcaklığı 65,7°C'dir. Havanın kollektöre giriş ve çıkış sıcaklık farkının maksimum değeri 15,5°C'dir. Saatlik değerlere göre kollektör çıkışında havanın günlük ortalama sıcaklığı 40°C olup, bu değer çevre havası günlük ortalama sıcaklığının 11°C üzerindedir. Havanın sıcaklığındaki artış yönünden Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6 incelendiğinde 0,023, 0,046 ve 0,069 kg/s kütle debileri için havanın maksimum sıcaklık artışının sırası ile



Şekil 3. Güneş ışınımının ve ortam sıcaklığının anlık değişimi (Instantaneous change of solar radiation and ambient temperature)



Şekil 4. Sıcaklıkların zamanla değişimi ( $\dot{m} = 0,023 \text{ kg/s}$ ) (Variation of temperatures with time of day for  $\dot{m} = 0.023 \text{ kg/s}$ )

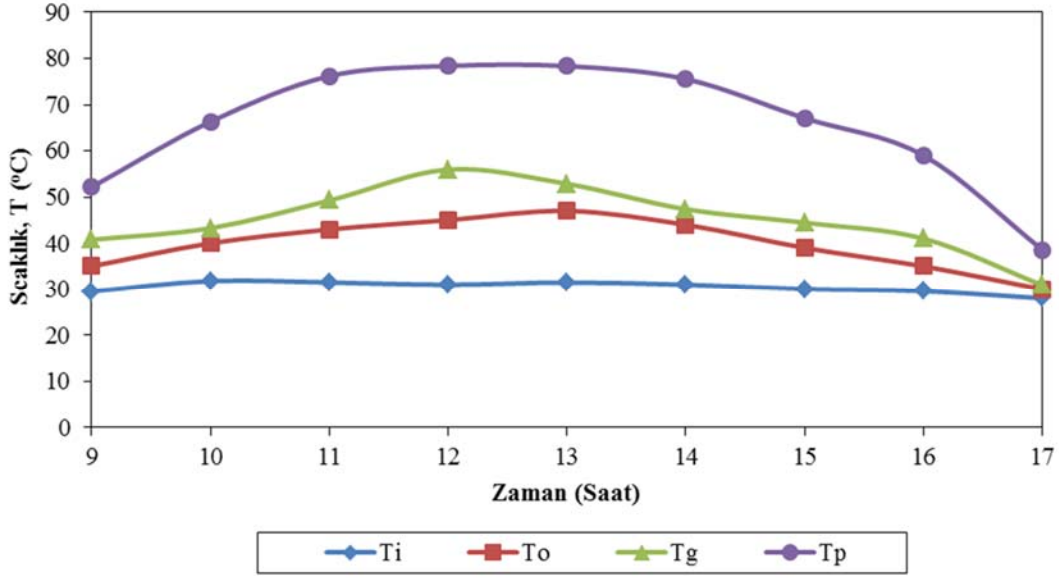


Şekil 5. Sıcaklıkların zamanla değişimi ( $\dot{m} = 0,046 \text{ kg/s}$ ) (Variation of temperatures with time of day for  $\dot{m} = 0.046 \text{ kg/s}$ )

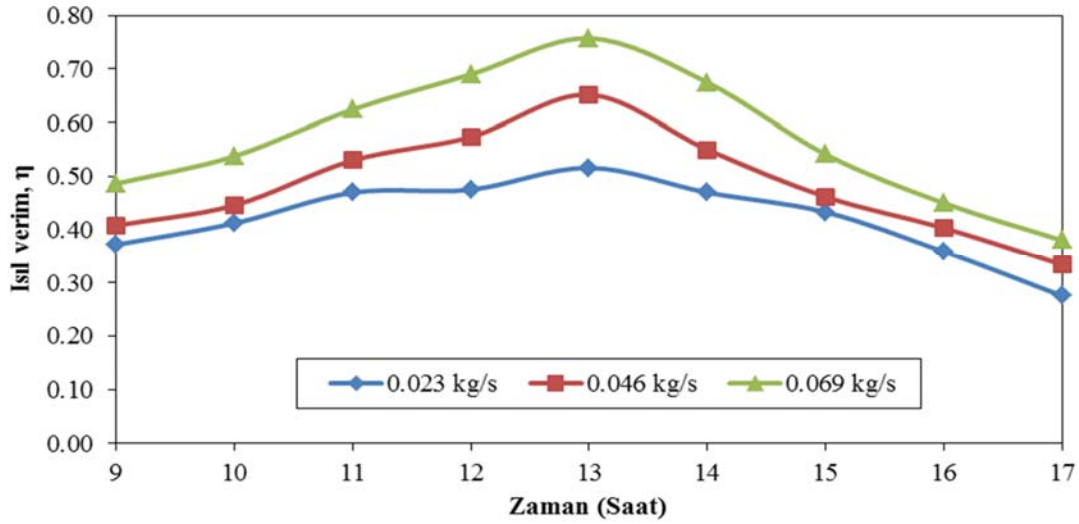
31,5°C, 20°C ve 15,5°C olduğu görülmektedir. Bu çalışmanın bir sonucu olarak, kollektörden geçen havanın sıcaklığındaki maksimum artış 0,023 kg/s kütle debisinde, öğle vaktinde 31,5°C olarak belirlenmiştir. Kütle debisine karşılık havanın sıcaklığındaki artış yönünden literatürdeki benzer çalışmalar incelendiğinde, sıcaklık artışının Karim ve Hawlader [4]'in çalışmasında 0,0118, 0,04, 0,045 ve 0,053 kg/s debiler için sırası ile 40, 19, 18 ve 17°C, Kabeel vd. [16]'nin çalışmasında 0,022, 0,031 ve 0,04 kg/s debiler için sırası ile 35, 30 ve 25°C ve Chang vd. [17]'nin çalışmasında 0,02, 0,03, 0,05, 0,07 kg/s debiler için sırası ile 32, 26, 20 ve 15°C olduğu görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen sonuçların bahsedilen literatür verileri ile yakın olduğu görülmektedir.

Şekil 7, havanın farklı debileri için kollektörün anlık ısı veriminin günün saati ile değişimini göstermektedir. Güneş ışınımı değerlerinin değişimine benzer olarak, verim değerleri de sabahtan itibaren saat 13:00'a kadar artmakta, öğleden sonra azalmaktadır. Havanın 0,023 kg/s, 0,046 kg/s ve 0,069 kg/s kütle debileri için maksimum kollektör verimleri sırası ile 0,52, 0,65 ve 0,76 bulunmuştur. Şekil incelendiğinde, hava debisinin artışı ile kollektör veriminin de arttığı görülmektedir. Hava debisinin düşük olduğu durumlarda yutucu plakanın ve kollektörden geçen havanın sıcaklıkları yükselmektedir. Yüksek plaka sıcaklıkları nedeni ile çevreye ısı kayıpları arttığından, ısı verim daha düşüktür. Hava debisinin yüksek olduğu durumlarda ise, yutucu plakada toplanan ısı hızla havaya geçtiğinden,





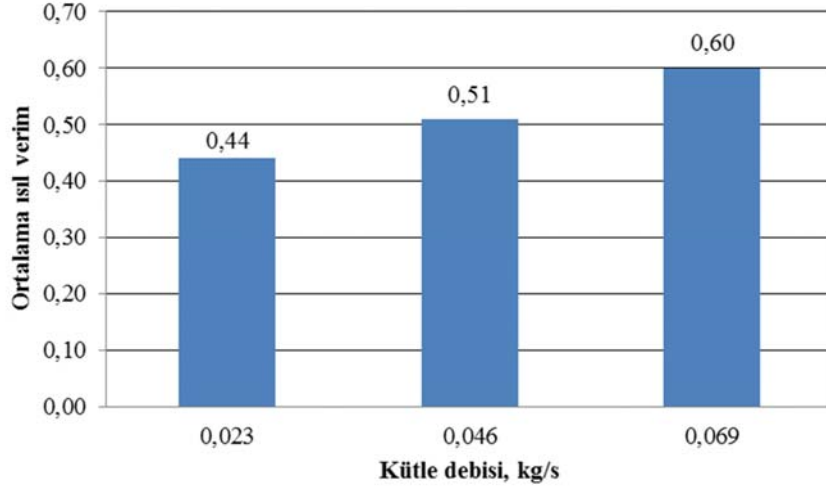
Şekil 6. Sıcaklıkların zamanla değişimi ( $\dot{m} = 0,069 \text{ kg/s}$ ) (Variation of temperatures with time of day for  $\dot{m} = 0.069 \text{ kg/s}$ )



Şekil 7. Isıl verimin zamana göre değişimi (Variation of thermal efficiency with time of day)

plakanın ve kolektörden geçen havanın sıcaklığı daha düşüktür. Böylece kolektörden çevreye ısı kayıpları azalmakta ve ısı verim değerleri yükselmektedir. Havanın kütle debisine karşılık kolektörün günlük ortalama ısı verim değerleri Şekil 8'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, 0,023 kg/s, 0,046 kg/s ve 0,069 kg/s kütle debileri için günlük ortalama ısı verim değerleri sırası ile 0,44, 0,51 ve 0,60 olarak bulunmuştur. Deneysel çalışmanın yapıldığı 0,023-0,069 kg/s kütle debisi aralığında kolektörün ortalama ısı verimi ise %52 olarak hesaplanmıştır. Havanın kütle debisinin artışı ile günlük ortalama ısı verim değerleri de artmaktadır. Yüksek debilerde havaya daha fazla ısı enerji aktarıldığından, yutucu plaka yüzey sıcaklığı azalmaktadır. Bu durumda kolektörden çevreye ısı kayıpları azaldığı için sonuç olarak daha yüksek kolektör verimleri elde edilmektedir. Güneş kolektörleri konusunda yapılan

deneysel çalışmalarda çok sayıda parametre kolektör verimini etkilemektedir. Bu parametreler; çevre havası sıcaklığı, havanın kolektöre giriş ve kolektörden çıkış sıcaklığı, güneş ışınımı yoğunluğu, rüzgâr hızı, kolektörün eğim açısı, hava debisi, yutucu plaka malzemesi, yutucu plaka geometrisi, yutucu plaka boyutları, saydam örtü tipi, saydam örtü sayısı, akış kanal derinliği, yalıtım durumu, kolektör akış modeli, kanatçık ve engellerin olup olmadığı vb.dir. Kolektör imalatında kullanılan malzemeler, deney prosedürü, iklim koşulları, hesaplama yöntemi gibi etkenlerin farklı olmasından dolayı elde edilen sonuçlar literatürdeki diğer çalışmalar ile genellikle tam olarak karşılaştırılamamaktadır. Bununla birlikte bu çalışmada belirlenen ortalama ısı verim değerlerinin incelenen sisteme benzeyen kanatçıklı havalı kolektörlerle ilgili literatürde mevcut çalışmalardan bazıları ile kıyaslanması Tablo 3'te



**Şekil 8.** Ortalama ısı verimin kütle debisi ile değişimi (Variation of average thermal efficiency with mass flow rate)

**Tablo 3.** Sonuçların önceki bazı çalışmalar ile kıyaslanması  
(Comparison of present results with some previous studies)

Kaynak	Kollektör tipi	Kütle debisi (kg/s)	Ort. ısı verim
Karim ve Hawlader [4]	Tek geçişli, tek camlı	0,0248	0,50
		0,0317	0,54
		0,0387	0,60
		0,056	0,65
Kabeel vd. [10]	Tek geçişli, tek camlı	0,028	0,38
		0,062	0,44
Kabeel vd. [16]	Tek geçişli, tek camlı	0,022	0,35
		0,031	0,40
		0,040	0,43
Kumar ve Chand [7]	Tek geçişli, tek camlı	0,020	0,47
		0,040	0,57
		0,060	0,64
Rai vd. [18]	Tek geçişli, tek camlı	0,020	0,34
		0,040	0,45
		0,060	0,55
Chang vd. [17]	Tek geçişli, tek camlı	0,02	0,47
		0,03	0,51
		0,05	0,63
		0,06	0,67
Omojaro ve Aldabbagh [11]	Tek geçişli, iki camlı	0,025	0,42
		0,031	0,46
		0,036	0,52
		0,038	0,54
Mevcut çalışma	Tek geçişli, tek camlı	0,023	0,44
		0,046	0,51
		0,069	0,60

verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi, havalı güneş kollektörlerinde ortalama ısı verim değerleri genel olarak aynı kollektör tipi için hava debilerine bağlı olarak 0,34 ile 0,67 arasında değişmektedir. Tabloda da belirtildiği gibi, mevcut çalışmada kollektörün verimliliği benzer diğer çalışmalardaki değerler ile uyum içerisindedir. Ayrıca yakın debilerdeki bazı çalışmalara göre ise bulunan verimin daha yüksek olduğu görülmektedir.

## 5. SİMGELER (SYMBOLS)

$A_c$	: kanal kesit alanı (m <sup>2</sup> )
$A_p$	: yutucu plaka yüzey alanı (m <sup>2</sup> )
$C_p$	: özgül ısı kapasitesi (J/kgK)
$I$	: güneş ışınımı (W/m <sup>2</sup> )
$\dot{m}$	: kütle debisi (kg/s)
$\dot{Q}_u$	: faydalı ısı enerjisi (W)

$R$	: herhangi bir değişken
$T_b$	: yığık sıcaklık (°C)
$T_i$	: havanın giriş sıcaklığı (°C)
$T_o$	: havanın çıkış sıcaklığı (°C)
$T_p$	: yutucu plaka yüzey sıcaklığı (°C)
$t_1, t_2$	: zaman adımı
$V$	: akış hızı (m/s)
$W_1, W_2,$	
$W_3, W_n$	: bağımsız değişkenlerin belirsizlikleri
$W_R$	: R için toplam belirsizlik

### 5.1. Yunan Simgeleri (Greek Symbols)

$\rho$	: yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
$\eta$	: ısı verim
$\eta_{da}$	: günlük ortalama ısı verim

## 6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Tek geçişli, üst yüzeyi düz, alt yüzeyi kanatçıklı yutucu plakalı yeni tasarlanan bir hava akışkanlı güneş kolektörünün ısı performansını Konya iklim şartlarında deneysel olarak araştırılmıştır. Havanın kütle debisinin 0,023, 0,046 ve 0,069 kg/s değerlerinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Düşük hava debilerinde havanın kolektörden çıkış sıcaklığı daha yüksektir. Havanın kolektörden ortalama çıkış sıcaklığı 0,023 kg/s debi için 52,5°C, 0,046 kg/s debi için 43°C ve 0,069 kg/s debi için 40°C'dir. Havalı kolektör özellikle yüksek sıcaklık istenilen uygulamalarda kullanılacaksa, sistemin düşük hava debilerinde çalıştırılması uygun olacaktır.

Havanın kütle debisinin artışı ile havaya kazandırılan faydalı ısı enerji ve kolektör verimi artmaktadır. Kolektörün en yüksek ısı verimi 0,069 kg/s hava debisinde öğle saatlerinde %76 bulunmuştur. Bu çalışmada deneyleri yapılan havanın üç ayrı kütle debisinde elde edilen verilere göre, kolektörün ortalama ısı verimi %52 olarak belirlenmiştir. Kolektör ısı verimi güneş ışınım değerlerindeki artışa paralel olarak artış göstermektedir. Daha yüksek hava debilerinde deneyler yapılarak kolektör performansının en yüksek olduğu optimum hava debisi belirlenebilir. Bu şekilde bulunacak sonuçların kolektörlerin tasarım süreçlerinde fayda sağlayacağı değerlendirilmektedir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Özkaya M.G., Variyenli H.İ., Korkmaz M., Düzlemsel güneş kolektörlerinde farklı profillerdeki emici plakaların deneysel incelenmesi, *Politeknik Dergisi*, 10 (2), 173-177, 2007.
- Gedik E., Keçebaş A., Öz Etem S., Effect to the performance of different type absorber plates on the solar air collectors, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 23 (4), 777-784, 2008.
- Rajaseenivasan T., Srinivasan S., Sritkar K., Comprehensive study on solar air heater with circular and V-type turbulators attached on absorber plate, *Energy*, 88, 863-873, 2015.
- Karim M.A., Hawlader M.N.A., Development of solar air collectors for drying applications, *Energy Conversion and Management*, 45 (3), 329-344, 2004.
- Durmuş, A., Kurtbaş, İ., Yeni tasarlanan havalı kolektör yardımı ile Elazığ yöresi kayısılarının kurutulmasında, kayısı yüzey sıcaklığının tespiti, *Isı Bilimi ve Tekniği*, 21 (1), 9-18, 2001.
- Şevik S., Abuşka M., Thermal performance of flexible air duct using a new absorber construction in a solar air collector, *Applied Thermal Engineering*, 146 (5), 123-134, 2019.
- Kumar R., Chand P., Performance prediction of extended surface absorber solar air collector with twisted tape inserts, *Solar Energy*, 169, 40-48, 2018.
- Indrajit M., Bansal N.K., Garg H.P., An experimental study on a finned type and non-porous type solar air heater with a solar simulator, *Energy Conversion and Management*, 25 (2), 135-138, 1985.
- Mohammadi K., Sabzphooshani M., Comprehensive performance evaluation and parametric studies of single pass solar air heater with fins and baffles attached over the absorber plate, *Energy*, 57, 741-750, 2013.
- Kabeel A.E., Khalil A., Shalaby S.M., Zayed M.E., Investigation of the thermal performances of flat, finned, and v-corrugated plate solar air heaters, *Journal of Solar Energy Engineering*, 138 (5), 1-7, 2016.
- Omojaro A.P., Aldabbagh, L.B.Y., Experimental performance of single and double pass solar air heater with fins and steel wire mesh as absorber, *Applied Energy*, 87, 3759-3765, 2010.
- El-Sebaï A.A., Aboul-Eneina S., Ramadan M.R.I., Shalaby S.M., Moharram B.M., Thermal performance investigation of double pass-finned plate solar air heater, *Applied Energy*, 88 (5), 1727-1739, 2011.
- Yadav A.K., Chandel S.S., Tilt angle optimization to maximize incident solar radiation: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 503-513, 2013.
- Li S., Wang H., Meng X., Wei X., Comparative study on the performance of a new solar air collector with different surface shapes, *Applied Thermal Engineering*, 114, 639-644, 2017.
- Holman J.P., *Experimental Methods for Engineers*, McGraw-Hill Book Company, Singapore, 1994.
- Kabeel A.E., Hamed M.H., Omara Z.M., Kandel A.W., On the performance of a baffled glazed-bladed entrance solar air heater, *Applied Thermal Engineering*, 139, 367-375, 2018.
- Chang W., Wang Y., Li M., Luo X., Ruan Y., Hong Y., Zhang S., The theoretical and experimental research on thermal performance of solar air collector with finned absorber, *Energy Procedia*, 70, 13-22, 2015.
- Rai S., Chand P., Sharma S.P., Evaluation of thermo hydraulic effect on offset finned absorber solar air heater, *Renewable Energy*, 125, 39-54, 2018.

