



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI AKIŞ MODELLERİNE SAHİP**  
**HAVALI GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN ISIL**  
**PERFORMANS ANALİZİ**

**Ahmet ALTUNSOY**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ocak-2020**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Ahmet ALTUNSOY tarafından hazırlanan “Farklı Akış Modellerine Sahip Havalı Güneş Kollektörlerinin Isıl Performans Analizi” adlı tez çalışması 16/12/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Doç.Dr. Faruk KÖSE

#### Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Selçuk DARICI

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Dilek Nur ÖZEN

### İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN  
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAP) tarafından 18201113 nolu proje ile desteklenmiştir.

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Ahmet ALTUNSOY

Tarih: 08.01.2020

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## FARKLI AKIŞ MODELLERİNE SAHİP HAVALI GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN ISIL PERFORMANS ANALİZİ

Ahmet ALTUNSOY

Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Selçuk DARICI

2020, 53 Sayfa

Jüri

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Selçuk DARICI  
Doç. Dr. Faruk KÖSE  
Dr. Öğr. Üyesi Dilek Nur ÖZEN

Bu çalışmanın amacı, yeni tasarlanan ve kurulumu yapılan farklı akış modellerine sahip havalı güneş enerjili kollektörlerin performanslarını belirlemektir. Bu amaçla akış modelleri farklı olan üç kollektör tasarlanmış ve bunların imalatı gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan kollektör modellerinden birincisi yutucu plakanın sadece altındaki kanaldan tek geçişli, ikincisi yutucu plakanın hem altındaki hem de üstündeki kanaldan çift akışlı-tek geçişli ve diğeri ise önce yutucu plakanın üstünden geçen, daha sonra kollektör dışından geri dönerek yutucu plakanın altındaki kanaldan geçen tek akışlı ve çift geçişlidir. Akış farklılıklarına göre tasarlanıp imal edilen düzlemsel kollektörlerin performansları Konya iklim koşulları altında deneysel olarak ölçülmüştür. Kollektörlerde çalışma akışkanı olarak kullanılan havanın farklı kütle debilerinde deneyler yapılmıştır. Çalışmada tüm kollektör modelleri için sıcaklıkların ve ısı verimlerin gün içindeki değişimleri belirlenmiştir. Ayrıca kütle debisinin ve güneş ışınım yoğunluğunun kollektörlerin performansına etkileri incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Havalı güneş kollektörü, çift geçişli, dıştan geri dönüşlü, ısı verim.

**ABSTRACT**

**MS THESIS**

**THERMAL PERFORMANCE ANALYSIS OF SOLAR AIR COLLECTORS  
WITH DIFFERENT FLOW MODELS**

**Ahmet ALTUNSOY**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Mechanical Engineering**

**Advisor: Asst. Prof. Dr. Selçuk DARICI**

**2020, 53 Pages**

**Jury**

**Advisor: Asst. Prof. Dr. Selçuk DARICI**

**Assoc.Prof.Dr. Faruk KOSE**

**Asst.Prof.Dr. Dilek Nur OZEN**

Purpose of this study is to determine the performances of the solar air collectors newly designed and implemented with different flow models. Three different collectors having different flow models were designed and manufactured for this study. First collector was produced so as to have single pass only through the channel under the absorber plate. Second collector was designed with single pass double flow through the channels both under and over the absorber plate. Third collector was with single flow double pass in which firstly flow passes over the absorber plate and then externally returns and passes through under the absorber plate. Performances of the flat plate solar air collectors which are designed and implemented considering different flow types have been measured experimentally under the climatic conditions of Konya/Turkey. Experiments were performed with different air mass flow rates as working fluid in the collectors. Daily changes in the temperatures and thermal performances of the all collector types were determined. Besides effects of the mass flow rate and solar radiation intensity on the collector performance were investigated.

**Keywords:** Solar air collector, double pass, external recycle, thermal efficiency.

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında akış modelleri birbirlerinden farklı olan üç adet havalı güneş kolektörünün kurulumu yapılmış ve bunların performans analizleri deneysel olarak araştırılmıştır. Bu çalışmanın, havalı güneş kolektörlerinin geliştirilmesi üzerine gelecekte yapılacak çalışmalara ışık tutmasını temenni ederim.

Bu çalışmayı bilimsel olarak yürüten, deney tesisatının kurulması, ölçme sisteminin oluşturulması, deneylerin yapılması, tezin yazımı ve düzeltmeleri aşamalarında çok emeği geçen, yardımlarını hiç esirgemeyen ve beni her aşamada yönlendiren değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Selçuk DARICI'ya teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Ahmet ALTUNSOY  
KONYA-2020

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	ix
ÇİZELGELER LİSTESİ .....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	3
3. GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ .....	7
3.1. Düzlemsel Güneş Kollektörleri .....	7
3.2. Vakum Tüplü Güneş Kollektörleri .....	7
3.3. Parabolik Güneş Kollektörleri .....	8
3.4. Odaklanabilen (Yoğunlaştırıcı) Güneş Kollektörleri .....	8
3.5. Sıvı Akışkanlı Güneş Kollektörleri .....	8
3.6. Hava Akışkanlı Güneş Kollektörleri .....	8
3.6.1. Yutucu Plaka .....	9
3.6.2. Kollektör Örtüsü .....	10
3.6.3. Akış Düzenlemesi .....	10
3.6.4. Dolgu Malzeme Kullanımı .....	10
4. HAVALI KOLLEKTÖRLERDE ENERJİ ANALİZİ.....	12
5. DENEYSEL ÇALIŞMA .....	15
5.3. Deney Setinin Tanıtımı .....	15
5.4. Tasarlanan Kollektör Modelleri .....	17
5.4.1. Model 1- Tek Akış ve Tek Geçişli .....	17
5.4.2. Model 2 - Çift Akış ve Tek Geçişli .....	18
5.4.3. Model 3 - Dıştan Geri Dönüşlü, Tek Akış-Çift Geçişli .....	19
5.5. Ölçümler ve Kullanılan Cihazlar .....	21
5.6. Deneylerin Yapılışı .....	23
5.7. Belirsizlik Analizi .....	23
5.7.1. Kütle Debisi .....	24
5.7.2. Kollektör Verimi .....	25
5.7.3. Reynolds Sayısı .....	27
5.7.4. Nusselt Sayısı .....	28

<b>6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA .....</b>	<b>31</b>
6.1 Deney Setinin Doğrulanması .....	31
6.2 Havalı Kollektörlerde Sıcaklıkların Zamana Göre Değişimi.....	33
6.3 Havanın Sıcaklık Farkına Göre Karşılaştırma .....	38
6.4 Güneş Işınımının Havanın Sıcaklık Farkına Etkisi .....	40
6.5 Kollektörlerin Anlık Isıl Verimleri.....	42
6.6 Hava Debisinin Kollektör Isıl Verimine Etkisi .....	43
6.7 Kollektörlerin Ortalama Isıl Verimleri .....	45
<b>7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>47</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>49</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>52</b>





## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 5.1 Havalı kollektör deney setinin şematik gösterimi .....	16
Şekil 5.2 Deney düzeneğine ait bir resim .....	16
Şekil 5.3 M1 kollektörün kesit görünüşü.....	17
Şekil 5.4 M1 kollektörün yandan görünüşü.....	17
Şekil 5.5 M2 kollektörün kesit görünüşü.....	18
Şekil 5.6 M2 kollektörün yandan görünüşü.....	19
Şekil 5.7 M3 kollektörün kesit görünüşü.....	19
Şekil 5.8 M3 kollektörün yandan görünüşü.....	20
Şekil 5.9 M3 kollektörün üstten görünüşü.....	20
Şekil 5.10 Sıcaklık veri kayıt cihazı.....	21
Şekil 5.11 Termal anemometre .....	22
Şekil 5.12 Işınım ölçme cihazı.....	22
Şekil 6.1. Güneş ışınım değerlerinin saatlik değişimi .....	31
Şekil 6.2 Deneysel ve teorik Nusselt sayılarının kıyaslanması (M1).....	33
Şekil 6.3 M1 kollektörde sıcaklıkların anlık değişimi (14.08.2018, $m = 0.021 \text{ kg/s}$ ) .....	33
Şekil 6.4 M2 kollektörde sıcaklıkların anlık değişimi (14.08.2018, $m = 0.021 \text{ kg/s}$ ) .....	34
Şekil 6.5 M3 kollektörde sıcaklıkların anlık değişimi (14.08.2018, $m = 0.021 \text{ kg/s}$ ) .....	34
Şekil 6.6 M1 kollektörde sıcaklıkların anlık değişimi (17.08.2018, $m = 0.028 \text{ kg/s}$ ) .....	35
Şekil 6.7 M2 kollektörde sıcaklıkların anlık değişimi (17.08.2018, $m = 0.028 \text{ kg/s}$ ) .....	36
Şekil 6.8 M3 kollektörde sıcaklıkların anlık değişimi (17.08.2018, $m = 0.028 \text{ kg/s}$ ) .....	36
Şekil 6.9 M1 kollektörde sıcaklıkların anlık değişimi (15.08.2018, $m = 0.035 \text{ kg/s}$ ) .....	37
Şekil 6.10 M2 kollektörde sıcaklıkların anlık değişimi (15.08.2018, $m = 0.035 \text{ kg/s}$ ) .....	37
Şekil 6.11 M3 kollektörde sıcaklıkların anlık değişimi (15.08.2018, $m = 0.035 \text{ kg/s}$ ) .....	38
Şekil 6.12 Havanın sıcaklık farkının anlık değişimi ( $m = 0.021 \text{ kg/s}$ ).....	39
Şekil 6.13 Havanın sıcaklık farkının anlık değişimi ( $m = 0.028 \text{ kg/s}$ ).....	39
Şekil 6.14 Havanın sıcaklık farkının anlık değişimi ( $m = 0.035 \text{ kg/s}$ ).....	40
Şekil 6.15 Havanın sıcaklık farkının güneş ışınımı ile değişimi ( $m = 0.021 \text{ kg/s}$ ) ...	40
Şekil 6.16 Havanın sıcaklık farkının güneş ışınımı ile değişimi ( $m = 0.028 \text{ kg/s}$ ) ...	41
Şekil 6.17 Havanın sıcaklık farkının güneş ışınımı ile değişimi ( $m = 0.035 \text{ kg/s}$ ) ...	41
Şekil 6.18 Kollektör ısı verimlerinin anlık değişimi ( $m = 0.021 \text{ kg/s}$ ).....	42
Şekil 6.19 Kollektör ısı verimlerinin anlık değişimi ( $m = 0.028 \text{ kg/s}$ ).....	43
Şekil 6.20 Kollektör ısı verimlerinin anlık değişimi ( $m = 0.035 \text{ kg/s}$ ).....	43
Şekil 6.21 Farklı hava debilerinde ısı verimlerinin anlık değişimi (M1) .....	44
Şekil 6.22 Farklı hava debilerinde ısı verimlerinin anlık değişimi (M2) .....	44
Şekil 6.23 Farklı hava debilerinde ısı verimlerinin anlık değişimi (M3) .....	45
Şekil 6.24 Kollektörlerin ortalama ısı verimleri .....	46

## ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 5.1 Ölçülen parametreler için belirsizlik değerleri.....	24
Çizelge 5.2 Kütle debisi için belirsizlikler ( $\pm$ % ).....	25
Çizelge 5.3 Kollektör verimi belirsizlikleri ( $\pm$ % ).....	27
Çizelge 5.4 Reynolds sayısı için ortalama belirsizlikler ( $\pm$ % ).....	28
Çizelge 5.5 Nusselt sayısı için ortalama belirsizlikler ( $\pm$ % ).....	30



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$A_c$	: Kanal kesit alanı ( $m^2$ )
$A_p$	: Yutucu plaka yüzey alanı ( $m^2$ )
$C_p$	: Özgül ısı kapasite ( $J/kgK$ )
$H$	: Hava kanalının yüksekliği (m)
$I$	: Güneş ışınımı yoğunluğu ( $W/m^2$ )
$\dot{m}$	: Kütle debisi ( $kg/s$ )
$Nu$	: Nusselt sayısı
$\dot{Q}_a$	: Yutucu plaka tarafından yutulan birim zamandaki ışınım enerjisi (W)
$\dot{Q}_l$	: Birim zamanda çevreye ısı kaybı (W)
$\dot{Q}_u$	: Birim zamandaki faydalı ısı enerjisi (W)
$R$	: Gaz sabiti ( $J/kgK$ )
$Re$	: Reynolds sayısı
$T_a$	: Çevre havası sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$T_b$	: Havanın ortalama yığık sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$T_i$	: Havanın kollektöre giriş sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$T_o$	: Havanın kollektörden çıkış sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$T_p$	: Yutucu plaka ortalama yüzey sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$U_L$	: Toplam ısı kayıp katsayısı ( $W/m^2K$ )
$\Delta T$	: Havanın sıcaklık farkı ( $=T_o - T_i$ ) $^{\circ}C$
$\Delta T_{p-b}$	: Yutucu plaka sıcaklığı ile havanın ortalama yığık sıcaklık farkı ( $^{\circ}C$ )
$V$	: Akış hızı (m/s)
$W$	: Hava kanalının genişliği (m)
$W_1, W_2, W_3, W_n$	: Bağımsız değişkenlerin belirsizlik değerleri
$W_R$	: R değişkeni için toplam belirsizlik

### Kısaltmalar

M1	: Model 1 Kollektör
M2	: Model 2 Kollektör
M3	: Model 3 Kollektör

### Yunan Sembolleri

$\rho$	: Havanın yoğunluğu ( $kg/m^3$ )
$\eta$	: Kollektörün ısı verimi
$\alpha$	: Yutucu plaka yutma katsayısı
$\tau$	: Cam örtü geçirgenlik değeri
$\vartheta$	: Akışkanın kinematik viskozitesi ( $m^2/s$ )
$(\tau\alpha)_{ef}$	: Efektif yutma–geçirme katsayısı

## 1. GİRİŞ

Dünya’da ihtiyaç duyulan enerjinin çok büyük bir kısmı hala fosil kaynaklardan temin edilmektedir. Petrol ve petrol türevlerinden oluşan bu kaynaklar hem dünyamızı kirletmekte, hem de gitgide tükendiği için pahalılaşmaktadır. Bilim adamlarına göre yaklaşık 5 milyar yıl ömrü olduğu belirtilen Güneş, Dünya’dan 150 milyon km mesafede olup Dünya’ya şu anda kullanılan enerjinin 20 bin katı kadar enerji göndermektedir. Yani Dünya’ya gelen enerjinin küçük bir kısmı bile insanoğlunun mevcut enerji ihtiyacından binlerce kat fazladır.

Bugün Türkiye’nin enerji üretimi, ne yazık ki ihtiyacının gerisindedir ve bu fark ithalat ile kapatılmaktadır. Günden güne artan bu farkı, ithalat yerine yerli kaynaklarla kapatmak ülke ekonomisi için çok daha yararlı olacaktır. Bu nedenle ülkemizin alternatif enerji kaynaklarını en iyi şekilde kullanması gerekmektedir. Bu anlayış içerisinde, yenilenebilir, temiz ve çevreye zarar vermeyen veya en az düzeyde zarar veren enerji kaynağının bulunması arzu edilir. Türkiye’nin coğrafi konumu dolayısı ile en doğal kaynak olarak güneş enerjisi görülmektedir.

Yenilebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin farklı kullanımları üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Mevcut çalışmalar içerisinde en fazla yoğunluk güneş enerjisinin ısı kullanımı üzerinedir. Güneş enerjisinin ısı sistemlerde kullanımı için gerekli olan kollektörler temelde sıvılı (genellikle sulu) ve hava akışkanlı olmak üzere ikiye ayrılır. Isıl verimlerinin yüksek olması ve kullanım ihtiyaçlarından dolayı sulu tip kollektörler daha çok kullanılır. Bununla birlikte ortam ısıtması, gıda kurutma gibi işlemler için hava akışkanlı güneş kollektörlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Güneş enerjili kurutucularda havalı güneş kollektörü, kurutucu hücre ile birleşik veya ayrı olarak tasarlanabilir. Ayrıca binalarda ortamın havalandırılmasında, havanın ön ısıtılmasında havalı güneş kollektörleri kullanım alanı bulmaktadır.

Sıvı akışkanlı kollektörler genellikle konutlarda veya endüstriyel tesislerde sıcak su temininde tercih edilmektedir. Ülkemizde sıvı akışkanlı (sulu) güneş kollektörleri da çok kullanılmaktadır. Özellikle imalatı kolay olması nedeniyle konutlarda tercih edilmektedir. Yüksek sıcaklık istenilen uygulamalarda sıvı akışkan olarak su yerine ısı geçiş özellikleri daha iyi olan ısı transfer yağları kullanılmaktadır.

Havalı güneş kolektörleri tarım ürünlerinin kurutulması, mekanik tesisat uygulamalarında havanın ön ısıtılması ve hacim ısıtma gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Havalı güneş kolektörleri sıvılı kolektörlere göre verimleri düşük olmasına rağmen az maliyetli, imalat ve bakımlarının kolaylığı nedeniyle tercih edilmektedir. Havalı güneş kolektörleri doğal sirkülasyonlu sistemler olarak tasarlandığında enerji ihtiyacı olmadan da çalıştırılabilirler. Ülkemizde havalı güneş kolektörleri çok yaygın olmasa da, daha çok ürün kurutma uygulamalarında kullanılmaktadır. Havalı güneş kolektörlerinin ürün kurutma işlemlerinde kullanılmasının en belirgin faydası, ürünlerin renk ve temizlik yönünden ilkel kurutma yöntemlerine göre daha iyi korunmasıdır. Havalı güneş kolektörleri imalatlarının kolay, ekonomik olması ve güneş enerjisinden faydalanmak için birçok alanda kullanılabilir olduğundan araştırmalara konu olmuştur. Özellikle kolektör verimini arttırmak amacıyla farklı tasarımlar ve uygulamalar üzerinde halen çalışmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynağı güneş enerjisinden faydalanma sistemlerinden biri olan havalı güneş kolektörlerinde, kanal içerisindeki hava akışının farklı modellerde düzenlenmesinin ısı performansına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Önceki çalışmalarda kurulmuş olan mevcut havalı güneş kolektörü sisteminde farklı akış modelleri düzenlenmesi yapılmıştır. Tez çalışmasında, hava akışının yutucu plakanın altından tek akış-tek geçişli, yutucu plakanın altından ve üstünden çift akış-tek geçişli ve yine plakanın hem altından hem üstünden tek akış-çift geçişli olmak üzere üç farklı akış modeline sahip havalı kolektörün kurulumu yapılmıştır. Bu şekilde oluşturulan yeni havalı güneş kolektörleri Konya iklim şartlarında deneysel olarak araştırılmış ve hava akışı farklı modellerde düzenlenen kolektörlerin ısı performansları deneysel olarak belirlenmiştir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Yeh ve ark. (2002) yaptıkları çalışmalarda yutucu plakanın altında ve üstünde kanatçıkların olduğu ve ayrıca yutucu plakanın hem altından hem de üstünden hava akışının olduğu bir havalı kollektörde, üç farklı hava debisi ve 5 farklı boyutlarda kanatçıklı durum için deneyler yapmışlardır. Deneylerde en yüksek verimi % 70 olarak bulmuşlardır.

Forson ve ark. (2003) yaptıkları çalışmada tek geçişli çift kanallı havalı güneş kollektörünün matematiksel modelini oluşturmuş ve deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Oluşturdukları matematiksel modelin deneysel sonuçlara yakın olduğu ve havanın kütle debisinin kollektör genel verimliliğini belirlemede etkin rol oynadığını bulmuşlardır.

Ammari (2003) yaptığı çalışmada hava akışının kollektörün yan yüzeylerinden olduğu bir havalı kollektör için ısı performans üzerine deneyler yapmıştır. Çalışmada dört farklı debide yapılan deneyler sonucunda 50 l/s hava debisi için ısı verim % 72 olarak bulunmuştur.

Kurtbas ve Durmus (2004) farklı yutucu yüzeyleri olan güneş kollektörlerini sınıflandırmışlardır. Enerji kaybını en aza indirmek için kollektör verimi, basınç düşüşü ve havanın sıcaklık farkı gibi önemli olan parametreleri araştırmışlardır.

Koyuncu (2005) çalışmasında ürün kurutma için altı farklı model havalı kollektör tasarlayarak, güneş enerjisinin havalı düz yüzeyli güneş kollektörleri ile kurutma sistemleri üzerindeki etkinliğini araştırmıştır.

Kırbaş (2006) yaptığı çalışmada labirent tip hava ısıtmalı güneş kolektörünün verimini deneysel olarak incelemiştir. Kollektörde üç ayrı hava debisinde farklı gün ve sıcaklık koşullarında deneyler yapmış, kollektör giriş-çıkış sıcaklıkları, yutucu plaka sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve güneş ışınımı değerleri ölçülmüştür. Deney sonuçlarına göre yüksek hava hızlarında kollektör veriminin arttığını gözlemlemiştir.

Yıldız ve Güngör (2007) çalışmalarında tek cam örtülü ve yutucu levhalı ve aralarında hava akış kanalının bulunduğu bir düzlemsel havalı güneş kollektörünün ısı verimlilik değeri için matematiksel model ortaya koymuşlar; hava debisi, güneş ışınımı, kollektör giriş sıcaklığı ve çevre havası sıcaklığına bağlı olarak ısı verimlilik denklemleri türetmişlerdir.

Durmuş ve Benli (2007), ısıtma gereksinimlerini karşılayacak havalı güneş kollektörlerini ve faz değiştirici malzemelerin performanslarını araştırmışlardır. Çalışmalarında 5 farklı geometride yutucu plaka kullanarak 10 adet havalı kollektör üzerinde deneyler yapmışlardır. Deneylerin sonucunda havalı güneş kollektörlerinin sera ön ısıtmasında kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Yeh ve Ho (2007) havalı güneş kollektörlerinde dıştan geri dönüşün kollektör verimliliğine etkisini teorik olarak incelemişlerdir. Daha yüksek giriş havası sıcaklığı ile düşük hava hızında kollektörün çalıştırılması durumunda geri akış oranının arttığını gözlemişlerdir. Kollektör verimliliğinin kayda değer bir şekilde arttığını bulmuşlardır.

Liu ve ark. (2007) çapraz oluklu ve V-oluk güneş enerjili havalı kollektörlerin farklı çalışma koşullarında ısı performanslarını geniş bir yelpazede incelemişlerdir. Çapraz-oluklu kollektörlerde çapraz oluklu enine konumlandırılmış ve dalgalı yutucu plaka kullanımının ısı performansı arttırdığı teyit edilmiştir. Çalışmada V-oluklu yüzeylerin daha üstün olduğu görülmüştür.

Özgen (2007) yaptığı çalışmada düzlemsel havalı güneş kollektöründe çift geçişli kanal içerisine silindirik teneke kutulardan yapılmış yutucu plakanın yerleştirildiği bir düzeneği deneysel olarak incelemiştir. Bu yöntemle, akışkan (hava) hızını ve yutucu plaka ile hava arasındaki ısı transfer katsayısını arttırmak suretiyle kollektör verimini önemli oranda iyileştirmiştir. Çalışmada kullanılan bu kollektör, yutucu plakayı uygun maliyetle imal etmek için, kullanılmış silindirik teneke kutuların tekrar kullanılması (geri dönüşümü) amacı ile bir öneri olarak tasarlanmıştır.

Yeh ve Ho (2012) yutucu plakaya kanatçık eklenmiş ve dıştan geri dönüşümlü çift geçişli bir kollektör üzerinde verimliliği teorik olarak incelemişlerdir.

Chabane ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada tek geçişli düzlemsel kollektör için farklı debilerde ısı performans üzerine deneyler yapmışlardır. Beş farklı debi için yaptıkları deneyler sonucunda 0.0202 kg/s için kollektörün ısı verimini % 63.61 bulmuşlardır.

Ho ve ark. (2013) kanatlı yutucu plaka üzerinde geri dönüşlü ve çift geçişli olarak tasarladıkları havalı güneş kollektörü üzerinde araştırma yapmışlardır. Kollektör modeli için matematiksel formülasyon ve analitik bir çözüm geliştirmişler, ayrıca kollektör modelinin performansını deneysel olarak incelemiştir. Teorik olarak öngörülen ve elde edilen deney sonuçlarını, daha önceki tek geçişli bir kollektör için yaptıkları çalışmanın sonuçları ile kıyaslamışlardır. Geri dönüşüm ısıtması ve genişletilmiş ısı geçişi yüzey alanı etkisi ile kanat ve kanat tasarımı ile ısı transferinde önemli gelişme sağlamışlardır.

Yıldırım ve Solmuş (2013) çift geçişli havalı güneş kollektörleri için yaptıkları tasarımlarda kanal yüksekliğinin termo-hidrolik verime etkilerini incelemiştir. Elde ettikleri sonuçlarda, çift geçişli kollektörde termo-hidrolik verimin en yüksek değere sahip olduğu ideal akış kanalı yüksekliğini 4 cm olarak tespit etmişlerdir.

Al Ghuol ve ark. (2015) birçok alanda kullanılan havalı güneş kollektörlerinin ısı performanslarını artırma yöntemleri üzerinde çalışmışlardır.

Ravi ve Saini (2015) çift geçişli güneşli hava ısıtıcılarının performansını iyileştirmek için kullanılan farklı teknikler üzerine araştırmalar yapmışlardır.

Battal (2017) yaptığı çalışmada havalı güneş kollektörlerinin ısı verimlerinin artırılması amacıyla dolomit tuğlalarının kullanılabilirliğini laboratuvar şartlarında incelemiştir. Dolomit tuğlalarını kollektör içerisine, ısı transferi, alan yoğunluğu ve toplam ısı aktarım hızını arttırmak için farklı geometrik diziliş ve sayılarda yerleştirmiş, böylece beş farklı tasarımla deneyler gerçekleştirmiştir. Kollektör testlerini kontrollü şartlarda gerçekleştirebilmek için güneş simülatörü kullanılmış, kollektör yüzeylerine, güneş simülatörü kullanılarak 3 farklı ışınım şiddeti (500, 750 ve 1000 W/m<sup>2</sup>) uygulamıştır. Deneyler sonucunda dolgu malzemesi kullanımının kollektör verimini % 18 oranında arttırdığı bulunmuştur. En yüksek verimliliğe sahip olan kollektör ile



elma kurutma denemeleri yapılmış ve ürünlerin kurutulmasına kuruma süresi, kuruma hızı, yeniden su alma kapasitesi ve renk özelliklerindeki değişimlerin etkileri belirlenmiştir.

Ansari ve Bazargan (2018) çalışmalarında hava akış kanalında tekrarlanan engellerin düz plakalı bir havalı güneş kolektörünün ısı performansına etkisini araştırmışlardır. Düz plakalı güneş enerjili hava kolektöründe engellerin düşük hava debisinde ısı verimi % 9'dan fazla arttırdığını belirlemişlerdir.

Bu tez çalışmasında, farklı akış modellerinde kolektörler tasarlanmış, imal edilmiş ve Konya iklim şartlarında deneysel olarak ısı verim analizleri yapılmıştır. Tarım ürünlerinin kurutulması, mahal ısıtma ve havalandırma-iklimlendirme sistemlerinde havanın ön ısıtılması gibi birçok alanda kullanılan havalı güneş kolektörlerinin akış modelleri üzerine araştırmalar yapılarak kolektörlerin etkinliklerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

### 3. GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ

Güneş enerjisi uygulamaları, kullanım alanlarına göre çok çeşitli malzeme, tasarım ve uygulama şekli olmasına rağmen ısı ve elektrik üretimi olarak ikiye ayrılır. Isı üretiminde güneş ışınım enerjisini ısı enerjisine dönüştüren kollektörler kullanılır. Kollektörler de güneş ışınım enerjisi yutucu plaka ile absorbe edilip, sistemde kullanılan akışkana (sıvı veya hava) transferi ile ısı enerji üretimi sağlanır. Kollektör tipleri yöntemlerine göre dört farklı grupta incelenebilir.

1. Düzlemsel güneş kollektörleri,
2. Vakum tüplü güneş kollektörleri,
3. Parabolik güneş kollektörleri,
4. Odaklanabilen (yoğunlaştırıcı) güneş kollektörleri.

Kollektörler kullanılan akışkana göre de sınıflandırılabilir.

1. Sıvı akışkanlı güneş kollektörleri,
2. Hava akışkanlı güneş kollektörleri.

#### 3.1. Düzlemsel Güneş Kollektörleri

Düzlemsel güneş kollektörleri, güneş enerjisinin toplandığı, bir akışkana (sıvı veya hava) ısı enerjisi olarak aktaran çeşitli biçimlerde imal edilen kollektörlerdir. Düzlemsel güneş kollektörleri genellikle konutlarda sıcak su ısıtmasında, konut haricinde de yüzme havuzları ve sanayi tesislerinde aynı amaçla kullanılmaktadırlar. Düzlemsel güneş kollektörleri diğer kollektör tiplerine göre en basit yapıdadırlar ve üretimleri kolaydır. Saydam örtü, yutucu yüzey, ısı yalıtımı ve kollektör kasası olmak üzere dört ana elemandan oluşur.

#### 3.2. Vakum Tüplü Güneş Kollektörleri

Vakum tüplü güneş kollektörleri, dış kısmı geçirgenliği yüksek cam boru ve içerisinde aksel durumda madeni boru veya üzeri seçici malzeme ile kaplanmış cam borudan oluşur. İç ve dış kısımdaki boru arasında kalan hava vakumlanarak kayıplar

azaltılmıştır. Vakum tüplü güneş kolektörleri diğer düzlemsel güneş kolektörlerine göre daha pahalı olmasına rağmen verimleri daha yüksektir.

### **3.3. Parabolik Güneş Kolektörleri**

Güneş ışınımını, kesiti parabolik yapıda olan parlak yüzeylerinden odağına boydan boya şekilde yerleştirilen absorban boruda toplayan kolektör tipleridir. Absorban boru topladığı ışınım enerjisini, içerisinden geçen akışkana ısı enerjisi olarak transfer eder. Genellikle güneşi doğudan batıya izleyen tek eksenli sistem olarak tasarlanırlar. Elektrik, buhar ve sıcak hava üretimi olmak üzere tercih edilirler.

### **3.4. Odaklanabilen (Yoğunlaştırıcı) Güneş Kolektörleri**

Yoğunlaştırıcı güneş kolektörleri, güneş enerjisi uygulamalarında daha yüksek sıcaklıklara ulaşmak için tercih edilen tiplerdir. Kolektörler de güneş enerjisi yansıtan ve ışın kırıcı yüzeyler yardımıyla doğrusal ya da noktasal olarak yoğunlaştırırlar. Bu yöntemlerle açığa çıkarılan ısı yüksek değerlere ulaştırılabilir.

Yoğunlaştırıcı kolektörler doğrusal ve noktasal odaklamalı olarak ikiye ayrılır. Doğrusal kolektörlerde absorban boru kullanılır. Noktasal kolektörler ise iki eksenle güneşi takip ederek sürekli güneşi odaklama bölgesinde yoğunlaştırır.

### **3.5. Sıvı Akışkanlı Güneş Kolektörleri**

Güneş kolektörlerinde taşıyıcı akışkan olarak sıvı kullanılmasının sebebi ısı kapasitesinin yüksek olmasıdır. Bu sebeple enerji transferi üst düzeylere çıkarılmaya amaçlanır. Sıvı akışkanlı güneş kolektörleri yaygın olarak konutlarda sıcak su üretimi kullanılan tiplerindedir. İmalat ve ekonomik olarak diğer tiplere göre daha kolaydır.

### **3.6. Hava Akışkanlı Güneş Kolektörleri**

Havalı güneş kolektörleri, taşıyıcı akışkan olarak hava ile ısı transferi gerçekleştirilen tipleridir. Bu kolektörler kullanım alanlarına göre tabii akışlı veya zorlanmış akışlı olarak tasarlanarak yutucu plaka tarafından absorbe edilen enerjinin

havaya aktarılması hedeflenir. Tasarımları ve imalatı basit olup, genel yapı olarak yutucu plaka, yalıtım malzemesi, hava geçiş kanalları, saydam cam örtü ve kasadan oluşmaktadır.

Havali güneş kolektörleri genelde kurutma, mahal ısıtma ve endüstriyel iklimlendirme işlemlerindeki ön ısıtma sistemlerinde kullanılmaktadır. Havali güneş kolektörleri ile ısıtılan hava kullanım alanlarına göre direkt olarak ortama verilebilir.

Havali güneş kolektörleri, genellikle basit yapılı, ekonomik ve imatları kolay olan kolektör tipleridir. Bu kolektörlerin ana bileşenleri gövde, kasa, yalıtım malzemesi, yutucu plaka ve saydam cam örtüden oluşmaktadır. Kanal kesitleri kolektör boyutlarına göre tasarlanmakta, kullanım alanlarına göre radyal fan ile akış hareketi oluşturulmakta ve zorlanmış taşınım ile ısı transferi gerçekleştirilmektedir. Havali kolektörleri oluşturan bu elemanların en önemlileri yutucu plaka ve saydam cam örtüdür.

### **3.6.1. Yutucu Plaka**

Havali kolektörlerin en önemli bileşeni, güneş enerjisini toplayan ve bu enerjiyi çalışma akışkanına aktararak faydalı enerjiye dönüştüren yutucu yüzeydir. Yutucu yüzey, soğurulan güneş ışınım enerjisini ısı taşıyıcı akışkana büyük ölçüde aktarmalıdır. Isıl kapasitesi yüksek olan yutucu yüzeyler, güneş ışınım enerjisindeki ani değişimlere daha yavaş tepki verirler. Ayrıca, toplanan enerjinin bir kısmı, yüksek ısı kapasitesi nedeniyle kullanılmadan kalır. Havali kolektörlerde yutucu yüzey ile hava arasındaki ısı transfer katsayısı küçük olduğundan, seçilen malzemenin ısı transfer alanı/hacmi oranının büyük olması gereklidir. Yutucu yüzeyin ısı transfer alanı/hacim oranının büyük olması durumunda:

- Yutucu yüzeyin ısı transfer alanı artar.
- Isı taşıyıcı akışkan olan havaya aktarılan enerji miktarı artar.
- Yutucu yüzey tarafından soğurulan ışınım miktarı artar.
- Yutucu yüzeyden daha az ısı kaybı olur.

### 3.6.2. Kollektör Örtüsü

Kollektör örtüsü; güneşten gelen ışının tümünü geçiren, buna karşın kollektörden çevreye taşınım ile ısı transferine ve dalga ışınım enerjisi transferine engel olarak, sera etkisi oluşturan ve yutucu yüzeyi dış etkilerden koruyan, levha veya film türünde saydam malzemelerden tasarımılanabilir. Kollektörlerde verimi büyük ölçüde etkileyen ısı kayıpları arasında, kollektör üst örtüsünden taşınım ve ışınım yoluyla gerçekleşen kayıplar önemli yer tutar. Kollektör üst örtüsünden taşınım ile gerçekleşen ısı kayıpları, örtü malzemesi yardımıyla azaltılabilir. Yutucu yüzeyden yayılan uzun dalga ışınım, kollektör üst örtüsü tarafından geçirilen kısmi ışınım ile gerçekleşen ısı kaybını oluşturur.

### 3.6.3. Akış Düzenlemesi

Aynı yönlü ve iki akışlı kollektörlerde; hava, yutucu plakanın altından ve üstünden aynı yönde akar. Böylece, yutucu plakanın her iki yüzeyinden yararlanır. Kollektör örtüsü cam tarafındaki üst yüzeyden çevreye ısı kaybı olur. Fakat kazanılan ısı kaybedilenden daha fazladır. Kollektör örtüsü tarafından akan hava, yutucu plaka ve örtü iç yüzeyinde toz birikmelerine neden olur. Bu durumda, tozların temizlenmesi veya kollektöre giren havanın bir filtreden geçirilerek tozlardan arındırılması gerekir. Havalı kollektörlerin verimini yükseltmek için aşağıdaki etkenler dikkate alınmalıdır:

- Havalı kollektörlerin güneşi gören yüzeyleri düz olmalıdır.
- Akış sırasında, hava geniş yüzeylere temas etmelidir.
- Havanın kollektör içindeki akışı türbülanslı olmalıdır.
- Hava, yutucu plakanın altından geçmeli, ölü hava hacmi yutucu plakanın üst yüzeyinde olmalıdır.

### 3.6.4. Dolgu Malzeme Kullanımı

Isı taşıyıcı akışkan olarak hava kullanılan düzlemsel kollektörlerin etkinliğini artırmak için, yutucu yüzeyin altındaki akış kanalına farklı şekil ve boyutlardaki materyalden oluşan dolgu malzemeler yerleştirilir. Dolgu olarak kullanılacak materyalin

ısı iletkenlik ve ısı yayma özellikleri önemlidir. Kollektörde dolgu materyali olarak, duyulur ısı depolamak için birçok katı materyal kullanılabilir. Yapılan araştırmada dolgu materyali olarak; alüminyum folyo, tel örgü, cam parçaları, demir-alüminyum talaşı ve taş parçaları kullanılan dolgulu kollektörlerin ısı etkinliklerinin yüksek olduğu belirlenmiştir.

Akış kanalında dolgu kullanılan havalı kollektörlerin üstünlükleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Güneş ışınımı daha etkin olarak yutulur.
- Isı transferi hızı yüksektir.
- Isı transferinin gerçekleştiği alan/hacim oranı yüksektir.
- Kollektör etkinliği, yutucu yüzeyle akışkan arasındaki ısı transferi hızına bağlı olarak değişir.
- Hava akış hızının yüksek olması durumunda, kollektör etkinliği artar.
- Dolgulu kollektörlerin ısı etkinliği, dolgunun hacimsel ısı kapasitesi ile yüzey iletkenliği bağlı olarak artar.
- Dolgulu kollektörün yutucu yüzey sıcaklığı daha düşüktür.
- Yutucu yüzeyden dış ortama olan ısı kayıpları daha azdır.
- Akış kanalında dolgu bulunan havalı kollektörlerin etkinliği, geleneksel yapıdaki dolgusuz kollektörlere oranla daha yüksektir.

Güneş kollektörlerinde dolgu kullanılması durumunda karşılaşılan en önemli olumsuzluk, basınç düşüşünün yüksek olmasıdır. Bu durum, kollektörlerde ısı taşıyıcı akışkan dolaşımında kullanılan pompa ve fanların işletme giderlerini artırabilir.

#### 4. HAVALI KOLLEKTÖRLERDE ENERJİ ANALİZİ

Havalı kollektörlerde, kollektöre gelen güneş ışınımı yutucu plaka yüzeyini ısıtmakta, ısınan yutucu yüzey ise kollektör içerisinde oluşturulan kanaldan geçen havaya bu ısıyı aktararak faydalı enerjiye dönüştürmektedir. Bu arada kollektörün yalıtım durumuna ve çevre şartlarına bağlı olarak çevreye ısı kayıpları meydana gelebilmektedir. Havalı güneş kollektörü açık bir termodinamik sistem olarak ele alınabilir. Ayrıca sürekli rejim şartlarında kollektörün yutucu plakasında ısı depolanmadığı dikkate alındığında güneş kollektörü için enerji denge denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\text{Faydalı Enerji} = \text{Yutucu plakanın absorbe ettiği enerji} - \text{Çevreye geçen enerji} \quad (4.1)$$

Yukarıda sözel olarak ifade edilen enerji dengesi matematiksel olarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\dot{Q}_u = \dot{Q}_a - \dot{Q}_l \quad (4.2)$$

Saydam cam örtüden geçen ve yutucu plaka tarafından yutulan birim zamandaki ısı miktarı aşağıdaki denklem ile bulunabilir.

$$\dot{Q}_a = IA_p(\tau\alpha)_{ef} \quad (4.3)$$

Kollektörden çevreye birim zamanda geçen ısı miktarı ise (4.4) denklemi ile belirlenebilir.

$$\dot{Q}_l = U_L A_p (T_p - T_a) \quad (4.4)$$

Böylece kollektörden havaya aktarılan birim zamandaki faydalı enerji miktarı aşağıdaki denklemden hesaplanabilir.

$$\dot{Q}_u = \dot{Q}_a - \dot{Q}_l = IA_p(\tau\alpha)_{ef} - U_L A_p (T_p - T_a) \quad (4.5)$$

Burada  $(\tau\alpha)_{ef}$ , efektif yutma-geçirme katsayısı ve  $U_L$ , kollektörün toplam ısı kayıp katsayısı, güneş kollektörünün davranışını karakterize eden parametrelerdir.

Kollektörden birim zamanda elde edilen ısı miktarının, kollektörden geçen akışkan içerisinde birim zamanda taşınan ısı miktarı ile ölçülebildiği bilinmektedir. Yani, kollektörden geçen akışkana yüklenen faydalı enerji kazancı akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıklarına bağlı olarak aşağıda verilen eşitlikle de bulunabilir.

$$\dot{Q}_u = \dot{m}C_p(T_o - T_i) \quad (4.6)$$

Kollektörden geçen havanın kütle debisi aşağıdaki ifade ile belirlenir.

$$\dot{m} = \rho V A_c \quad (4.7)$$

Kollektör performansının ölçüsü kollektörün ısı verimidir. Kollektörün anlık ısı verimi, herhangi bir zaman dilimindeki faydalı ısı kazancının, aynı zaman süresince toplam güneş ışınlımından kazanılan ısıya oranı olarak tanımlanır.

$$\eta = \frac{\dot{Q}_u}{IA_p} = \frac{\dot{m}C_p(T_o - T_i)}{IA_p} \quad (4.8)$$

Kanaldaki havanın tüm termo-fiziksel özellikleri aşağıdaki gibi tanımlanan ortalama yığık sıcaklıkta değerlendirilir.

$$T_b = \frac{T_i + T_o}{2} \quad (4.9)$$

Hidrolik çap esaslı Reynolds sayısı ve hava akış kanalının hidrolik çapı sırası ile aşağıdaki ifadeler ile belirlenebilir.

$$Re = \frac{VD_h}{\nu} \quad (4.10)$$

$$D_h = \frac{4A_c}{P} = \frac{2WH}{(W+H)} \quad (4.11)$$



Kollektörün sıcak yutucu plaka yüzeyi ile kanaldan geçen akışkan arasındaki ortalama taşınım ısı transfer katsayısı aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$h = \frac{\dot{Q}_u}{A_p(T_p - T_b)} \quad (4.12)$$

Hava kanalı için ortalama Nusselt sayısı aşağıdaki denklem ile belirlenebilir.

$$Nu = \frac{hD_h}{k} \quad (4.13)$$



## 5. DENEYSEL ÇALIŞMA

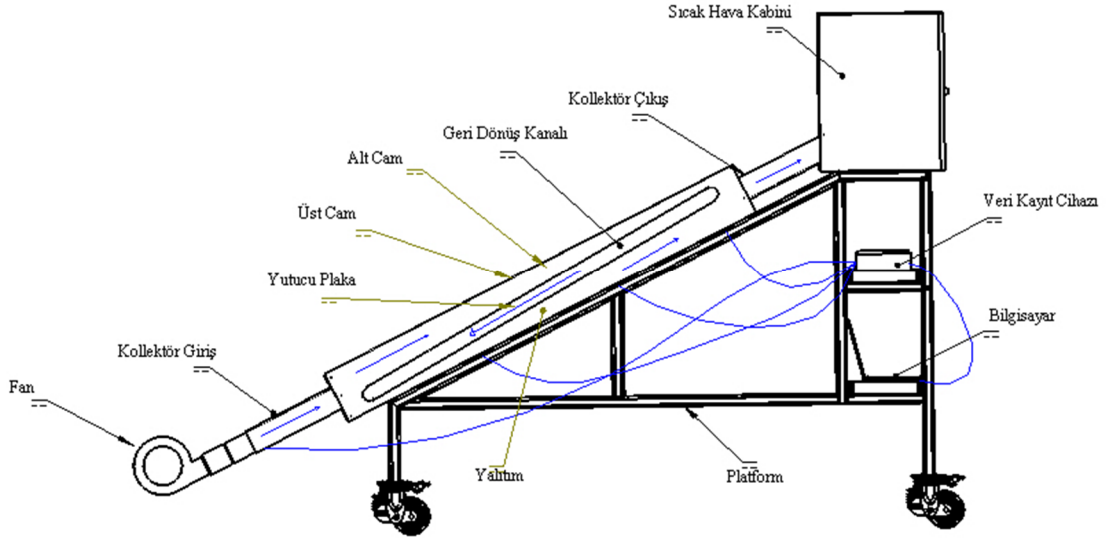
### 5.3. Deney Setinin Tanıtımı

Bu çalışmada kurulan deney seti genel olarak geçirgen cam örtüler, yutucu plaka ve ahşap kasadan oluşan üç adet güneş kollektörü, hava giriş-çıkış bağlantı kanalları, radyal fanlar, sıcak hava kabinleri ve sıcaklık ölçme sisteminden oluşmaktadır.

Kollektörler 0.96 m x 1.90 m boyutlarına sahip olup, saydam örtü olarak 4 mm kalınlıkta iki adet cam kullanılmıştır. Kollektör kasaları ahşap malzemedendir yapılmıştır. Tasarlanan kollektör modellerindeki akış tarzları şu şekildedir: Model 1 kollektörde hava akışı yutucu siyah yüzeyin sadece altından olmaktadır. Model 2 kollektörde, hava kanalı yutucu plaka vasıtasıyla eşit yükseklikte iki kanala bölünmüş olup, hava aynı anda siyah yüzeyin hem üstünden hem de altından geçecek şekilde birbirine paralel, çift akışlı, tek geçişli olarak tasarlanmıştır. Model 3 kollektör ise, siyah yüzeyin üstündeki kanaldan kollektöre giren havanın toplanıp kollektör dışında yalıtımlı bir boru vasıtasıyla geri döndürülerek ikinci kez siyah yüzeyin altındaki kanaldan geçecek şekilde bağlanmasıyla paralel, tek akışlı-çift geçişli olarak tasarlanmıştır. Akış kanalı yüksekliği Model 1 kollektörde 4 cm, Model 2 ve Model 3 kollektörde ise her bir kanalın yüksekliği 2 cm olmak üzere toplam 4 cm'dir. Kollektörlere hava girişi radyal fanın üflediği hava ile alt taraftan olurken, havanın çıkışı ise kollektörlerin üst tarafındadır. Bu çalışmada kullanılan deney setinin şematik görünümü Şekil 5.1'de, deney setinin tamamını gösteren bir resim ise Şekil 5.2'de verilmiştir.

Yutucu plakalar 0.3 mm kalınlıkta alüminyum sac malzemedendir yapılmış ve güneşe bakan yüzeyleri siyah mat boya ile boyanmıştır. Çevreye ısı kaybını azaltmak için kollektör kasasının alt ve yan yüzeyleri köpük levha ile yalıtılmıştır. Geçirgen örtü olarak kullanılan camların hava sızdırmazlığı, cam ile ahşap kasa arasına yerleştirilen kauçuk fitiller ve cam macunu ile sağlanmıştır. Sistemde kollektörler farklı akış modellerine sahip olacak şekilde tasarlanmış, imal edilmiş ve deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sistemde hava akışını sağlamak için kollektör girişlerine radyal fanlar yerleştirilmiştir. Havanın akış hızı ve dolayısıyla kütle debisi dimmer ile değiştirilmiştir. Dimmer, radyal fanları besleyen elektrik kablo hattına bağlanarak fanlara giden voltajı değiştirmek suretiyle fanın devir sayısını değiştirmek için

kullanılan bir cihazdır. Kollektörler, yaz mevsiminde kullanılmak üzere yatay düzlem ile yaptığı eğim açısı  $\beta = 0 - 10^\circ = 36.5^\circ - 10^\circ = 26.5^\circ$  olacak şekilde yerleştirilmiştir (Shuilian ve ark., 2017).



Şekil 5.1 Havalı kollektör deney setinin şematik gösterimi

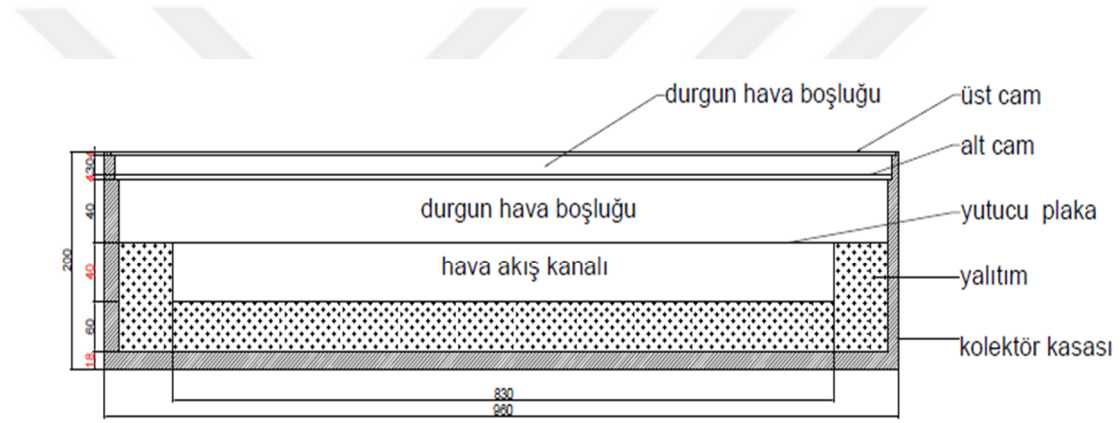


Şekil 5.2 Deney düzeneğine ait bir resim

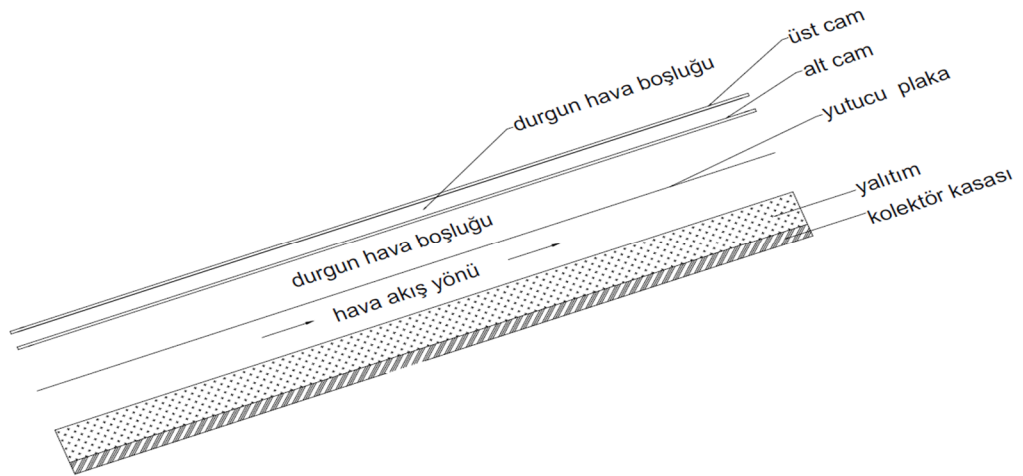
## 5.4. Tasarlanan Kollektör Modelleri

### 5.4.1. Model 1- Tek Akış ve Tek Geçişli

Model 1 (M1) kollektörde tek akış kanalı mevcuttur. Hava debisinin tamamı, yutucu plakanın altındaki kanaldan yalnız bir kez geçmektedir. Yaygın kullanılan bir kollektör modelidir. Bu kollektör modelinde hava, akış kanalına bir noktadan girmekte ve diğer noktadan çıkmaktadır. M1 kollektör için kesit görünüşü ve yandan görünüş sırası ile Şekil 5.3 ve Şekil 5.43'de görülmektedir.



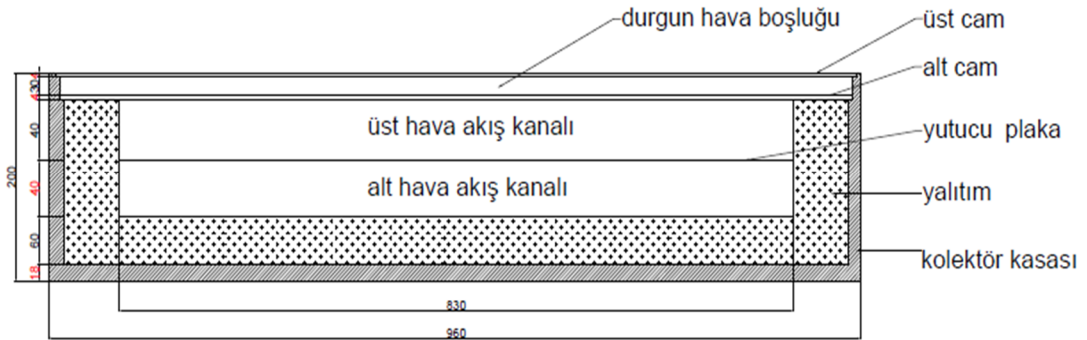
Şekil 5.3 M1 kollektörün kesit görünüşü



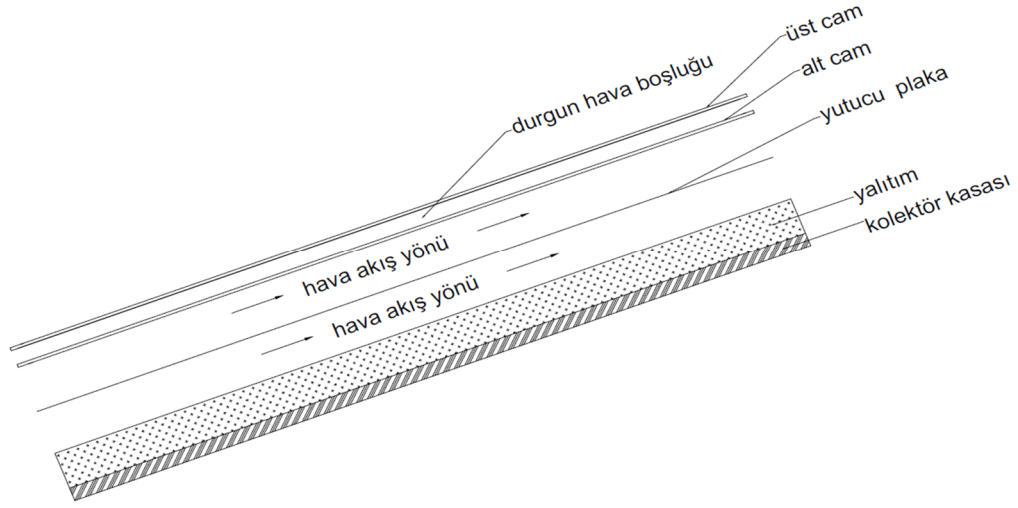
Şekil 5.4 M1 kollektörün yandan görünüşü

### 5.4.2. Model 2 - Çift Akış ve Tek Geçişli

Model 2 (M2) kollektörün M1 ile arasındaki temel fark, hava akış kanalı sayısıdır. Çift akışlı ve tek geçişli bu kollektör modelinde Şekil 5.5 'de gösterildiği gibi hava akışı iki ayrı kanal içerisinde birbirine paralel yöndedir. İki kanal birbirinden yutucu plaka ile ayrılmıştır. Üst hava kanalından geçen akışkan yutucu plakanın üst yüzeyi ve alt camın iç yüzeyi ile temas halindedir. Alt kanaldan geçen hava ise, yutucu plakanın ve akış kanalının alt yüzeyi ile temas halindedir. Hava iki ayrı kanaldan geçecek şekilde kollektör içerisinde iki akış kanalı oluşturulmuştur. Havanın kütle debisinin yarısı üst kanaldan, diğer yarısı ise alt kanaldan geçecek şekilde akış kanalı yükseklikleri eşit olarak tasarlanmıştır. Her iki kanaldan hava sadece bir kez geçiş yaparak kollektörü terk etmektedir. Bu nedenle M2 kollektör modeli çift akışlı-tek geçişli olarak adlandırılmıştır. Bu kollektörde, havanın yutucu plakanın hem üstündeki hem de altındaki kanaldan geçmesi ile M1'e göre ısı transfer yüzey alanının iki kat artması sonucu havaya aktarılan ısı transferinin de artması amaçlanmıştır. M2 kollektördeki bu akış modelinde, yutucu plaka üst yüzeyinden çevreye daha az ısı kaybının yanında, havaya daha fazla ısı aktarılması ve böylece sistemin ısı performansının iyileştirilmesi hedeflenmiştir.



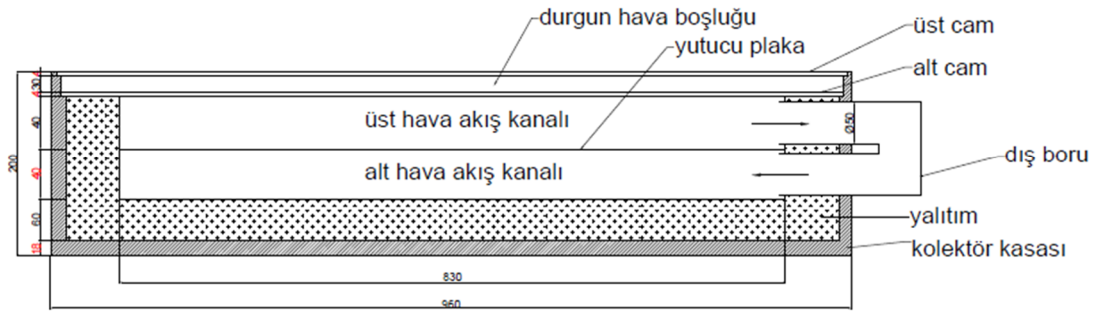
Şekil 5.5 M2 kollektörün kesit görünüşü



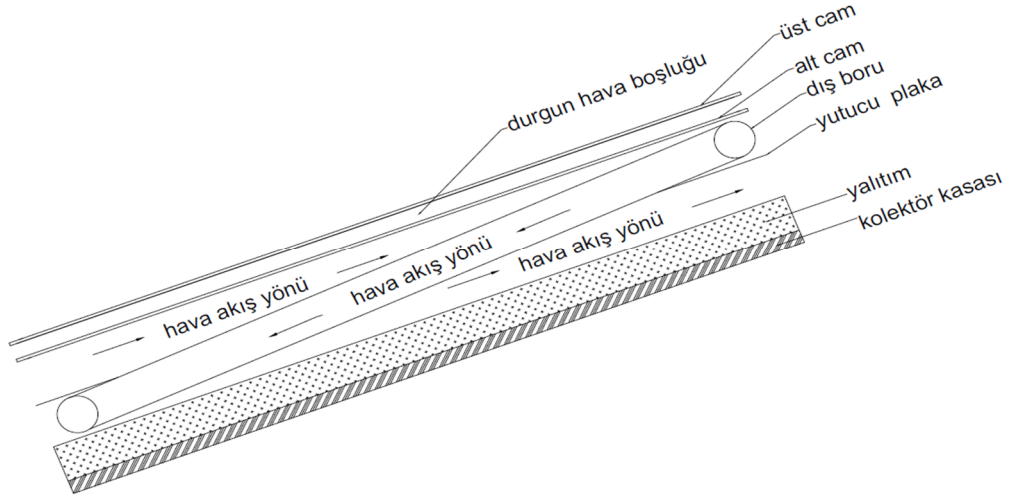
Şekil 5.6 M2 kolektörün yandan görünüşü

### 5.4.3. Model 3 - Dıştan Geri Dönümlü, Tek Akış-Çift Geçişli

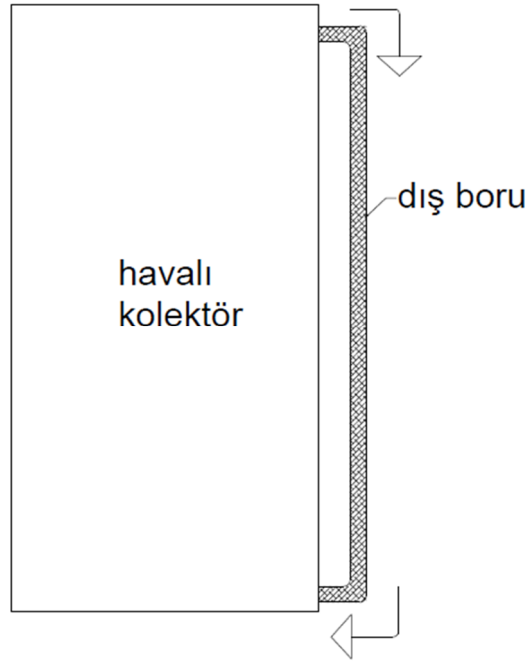
Model 3 (M3) kolektörde, M2'deki gibi iki akış kanalı mevcuttur. Önce yutucu plakanın üstündeki kanala giren hava, kolektörün uzunluğu yönünde akmakta ve kolektörün üst kanal çıkışını alt kanalın girişine birleştiren kolektör dışında yalıtılmış plastik PVC bir boru yardımı ile geri döndürülerek kolektörün alt kanalına girmektedir. Kolektöre giren taze hava, bu şekilde kolektörden toplam iki kez geçerek ısınmakta ve kolektörü terk etmektedir. M3 kolektörde tek akış-çift geçişli akış düzenlemesinde önce üst kanalda ısınan havanın daha sonra alt kanaldan geçmesi sağlanarak, yutucu plaka ile etkileşiminin artırılması ve böylece havaya daha fazla ısı transferi hedeflenmiştir. M3 kolektörün kesit görünüşü ve diğer iki görünüşü sırası ile Şekil 5.7, 5.8 ve 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.7 M3 kolektörün kesit görünüşü



Şekil 5.8 M3 kolektörün yandan görünüşü



Şekil 5.9 M3 kolektörün üstten görünüşü

### 5.5. Ölçümler ve Kullanılan Cihazlar

Sıcaklık ölçümleri için her bir kollektörün 10 farklı noktasında K- tipi termokupllar ile sıcaklıklar ölçülmüştür. Ölçümler 30 kanallı bir veri kayıt cihazı (Şekil 5.10) ile anlık olarak izlenmiş ve ölçülen değerler istenilen zaman aralıklarında kaydedilmiştir.



Şekil 5.10 Sıcaklık veri kayıt cihazı

Kollektör çıkışında havanın ortalama akış hızını ölçmek için bir dijital termal anemometre kullanılmıştır (Şekil 5.11). Kullanılan anemometre 0.4-60 m/s hız ve 0-80 °C sıcaklık ölçme aralıklarına sahiptir.





Şekil 5.11 Termal anemometre

Güneş kollektörüne paralel ve kollektör yüzeyini gölgelemeyecek şekilde kollektör kasasının yanına bir ışınım ölçme cihazı ( $0-2000 \text{ W/m}^2$ ,  $\pm 10 \text{ W/m}^2$ ) monte edilmiştir. Işınım ölçme cihazı ve bağlı bulunduğu bir bilgisayar ile deney yapılan bölgede eğik kollektör düzlemin birim alanına gelen anlık toplam güneş ışınımı değerleri ölçülmüş ve bir dakikalık aralıklarla bilgisayara kaydedilmiştir (Şekil 5.12).



Şekil 5.12 Işınım ölçme cihazı

## 5.6. Deneylerin Yapılışı

Deneyler 2018 yılının Ağustos ayında Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi binalarının yanındaki açık bir alanda gerçekleştirilmiştir. Deneylere saat 9.00'da başlanmış, saat 17.00'de son verilmiştir.

Havanın kollektöre giriş, kollektörden çıkış, yutucu plaka yüzeyi, üst cam örtü yüzeyi ve çevre havası sıcaklıkları K-tipi termokupllar ile ölçülmüş, değerler bir veri kayıt cihazı ile kaydedilerek deney sonunda günlük rapor halinde bilgisayara aktarılmıştır. Rüzgâr hızı anemometre ile ölçülmüştür. Fanın devir sayısı ve buna bağlı olarak havanın kütle debisi bir dimmer vasıtası ile değiştirilmiştir.

Deneysel çalışmalarda ölçülen verilerin doğruluğunun belirlenmesi için (Kline ve McClintock, 1953) belirsizlik analizi yöntemi kullanılarak hata analizi yapılmıştır. Deneylerde güneş ışınımı, havanın ortalama akış hızı ve sıcaklık değerleri ölçülmüş ve bu değerler yardımı ile tüm deneyler için havanın kütle debileri, havaya aktarılan birim zamandaki faydalı ısı enerjiler, kollektörlerin ısı verimleri, Reynolds sayıları ve ortalama Nusselt sayıları hesaplanmıştır.

## 5.7. Belirsizlik Analizi

Genellikle deneysel çalışmalarda deney sonuçlarının geçerliliğinin kanıtlanması için mutlaka bir hata analizi yapılması gerekir. Deneysel ölçümlerde yapılan rastgele hatalar, sabit hatalar ve imalat hataları nedeni ile ortaya çıkan toplam hatalar dikkate alındığında ölçülen değişkenlere bağlı olarak hesaplanan bir büyüklükteki toplam hatayı bulmak için belirsizlik analizi adı verilen bir yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemle göre herhangi bir R büyüklüğünün hata (belirsizlik) miktarı aşağıdaki denklem (Holman, 2007) ile belirlenmektedir.

$$W_R = \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.1)$$

Burada,

R: Hesaplanan büyüklük,

- $x_1, x_2, x_n$ : Bağımsız değişkenler,  
 n: Bağımsız değişken sayısı,  
 $w_1, w_2, w_n$ : Bağımsız değişkenlere ait hata değerleri,  
 $W_R$ : R büyüklüğünün toplam belirsizlik değeridir.

Deneylerde kullanılan ölçme cihazlarının belirsizlik değerleri, üretici firma kataloglarında öngörüldüğü gibi Çizelge 5.1’de verilmiştir.

**Çizelge 5.1** Ölçülen parametreler için belirsizlik değerleri

Parametre	Belirsizlik
Boyut, m	$\pm 0.0003$
Sıcaklık, °C	$\pm 0.14$
Hava akış hızı, m/s	$\pm \% 3$
Güneş ışınımı, W/m <sup>2</sup>	$\pm 10$

### 5.7.1. Kütle Debisi

Havanın kütle debisi için belirsizlik değeri denklem (5.2) ve (5.3) kullanılarak belirlenebilir.

$$W_{\dot{m}} = \left[ \left( \frac{\partial \dot{m}}{\partial \rho} W_{\rho} \right)^2 + \left( \frac{\partial \dot{m}}{\partial V} W_V \right)^2 + \left( \frac{\partial \dot{m}}{\partial A_c} W_{A_c} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.2)$$

$$W_{\dot{m}} = \left[ (VA_c W_{\rho})^2 + (\rho A_c W_V)^2 + (\rho V W_{A_c})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.3)$$

17.08.2018 tarihinde M1 kollektör için saat 15:00’de alınan deneysel veriler kullanılarak havanın kütle debisi için örnek bir belirsizlik hesabı aşağıda verilmiştir.

$$\rho = 1.127 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 0.75 \text{ m/s}$$

$$A_c = 0.0332 \text{ m}^2$$

$$\dot{m} = 0.028 \text{ kg/s}$$

$$W_{\rho} = \pm (\% 0.1) \times 1.127 = 0.001127 \text{ kg/ m}^3$$

$$W_V = \pm 0.03 \text{ m/s}$$

$$W_{A_c} = \pm 0.000256 \text{ m}^2$$

Bu değerler (5.3) denkleminde yerlerine konulursa kütle debisi için belirsizlik,

$$W_{\dot{m}} = [(0.75 * 0.0332 * 0.001127)^2 + (1.127 * 0.0332 * 0.03)^2 + (1.127 * 0.75 * 0.000256)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$W_{\dot{m}} = \pm 0.001143 \text{ kg/s}$$

veya

$$\frac{W_{\dot{m}}}{\dot{m}} = \frac{0.001143}{0.028} * 100 = \pm \% 4.08$$

bulunur.

Farklı hava debileri için kollektör modellerine göre deneysel veriler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda kütle debisinin ortalama belirsizlik değerleri Çizelge 5.2 'de verilmiştir.

**Çizelge 5.2** Kütle debisi için belirsizlikler ( $\pm$  %)

Kütle Debisi	M1	M2	M3
0.021 kg/s	5.41	5.57	5.57
0.028 kg/s	4.09	4.30	4.30
0.035 kg/s	3.30	3.56	3.56

### 5.7.2. Kollektör Verimi

Kollektörlerin ısı verim belirsizliği (5.4) ve (5.5) denklemlerinden bulunabilir.

$$W_{\eta_{kol}} = \left[ \left( \frac{\partial \eta_{kol}}{\partial \dot{m}} W_{\dot{m}} \right)^2 + \left( \frac{\partial \eta_{kol}}{\partial C_p} W_{C_p} \right)^2 + \left( \frac{\partial \eta_{kol}}{\partial \Delta T} W_{\Delta T} \right)^2 + \left( \frac{\partial \eta_{kol}}{\partial I} W_I \right)^2 + \left( \frac{\partial \eta_{kol}}{\partial A_p} W_{A_p} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.4)$$

$$W_{\eta_{kol}} =$$

$$\left[ \left( \frac{C_p \Delta T}{I A_p} W_{\dot{m}} \right)^2 + \left( \frac{\dot{m} \Delta T}{I A_p} W_{C_p} \right)^2 + \left( \frac{\dot{m} C_p}{I A_p} W_{\Delta T} \right)^2 + \left( \frac{-\dot{m} C_p \Delta T}{I^2 A_p} W_I \right)^2 + \left( \frac{-\dot{m} C_p \Delta T}{I A_p^2} W_{A_p} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.5)$$

17.08.2018 tarihinde M1 kollektör için saat 15:00'da alınan deneysel veriler kullanılarak havanın kütle debisi için örnek bir belirsizlik hesabı aşağıda verilmiştir.

$$C_p = 1005.18 \text{ J/kgK}$$

$$\Delta T = 19 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$I = 953.70 \text{ W/m}^2$$

$$\dot{m} = 0.028 \text{ kg/s}$$

$$A_p = 1.64 \text{ m}^2$$

$$\eta_{kol} = 0.34$$

$$W_{\dot{m}} = \pm 0.001143 \text{ kg/s}$$

$$W_{C_p} = \pm (\% 0.1 \times 1005.18) = \pm 1.00518 \text{ J/kgK}$$

$$W_{\Delta T} = \pm 0.38 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$W_I = \pm 10 \text{ W/m}^2$$

$$W_{A_p} = \pm 0.000256 \text{ m}^2$$

Bu değerler (5.5) denkleminde yerlerine yazılırsa kollektör veriminin belirsizlik değeri,

$$W_{\eta_{kol}} = \left[ \left( \frac{1005.18 * 19}{953.70 * 1.64} * 0.001143 \right)^2 + \left( \frac{0.028 * 19}{953.70 * 1.64} * 1.00518 \right)^2 \right. \\ \left. + \left( \frac{0.028 * 1005.18}{953.70 * 1.64} * 0.38 \right)^2 + \left( - \frac{0.028 * 1005.18 * 19}{953.70^2 * 1.64} * 10 \right)^2 \right. \\ \left. + \left( - \frac{0.028 * 1005.18 * 19}{953.70 * 1.64^2} * 0.000256 \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$W_{\eta_{kol}} = \pm 0.01595$$

veya

$$\frac{W_{\eta_{kol}}}{\eta_{kol}} = \frac{0.01595}{0.34} * 100 = \pm \% 4.69$$

bulunur.

Kollektör modelleri için farklı debilerde kollektör ısı verimlerinin ortalama belirsizlik değerleri Çizelge 5.3 'de verilmiştir.

**Çizelge 5.3** Kollektör verimi belirsizlikleri ( $\pm$  %)

Kütle Debisi	M1	M2	M3
0.021 kg/s	5.62	3.56	3.25
0.028 kg/s	5.21	3.39	3.01
0.035 kg/s	4.67	3.25	2.82

### 5.7.3. Reynolds Sayısı

Kollektör modelleri için hesaplanan Reynolds sayılarının belirsizlikleri (5.6) ve (5.7) denklemleri ile hesaplanabilir.

$$W_{Re} = \left[ \left( \frac{\partial Re}{\partial V} W_V \right)^2 + \left( \frac{\partial Re}{\partial D_h} W_{D_h} \right)^2 + \left( \frac{\partial Re}{\partial \vartheta} W_{\vartheta} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.6)$$

$$W_{Re} = \left[ \left( \frac{D_h}{\vartheta} W_V \right)^2 + \left( \frac{V}{\vartheta} W_{D_h} \right)^2 + \left( \frac{-VD_h}{\vartheta^2} W_{\vartheta} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.7)$$

17.08.2018 tarihinde M1 kollektör için saat 15:00'deki deneysel veriler kullanılarak Reynolds sayısı için örnek belirsizlik hesabı aşağıda verilmiştir.

$$V = 0.75 \text{ m/s}$$

$$D_h = 0.0763 \text{ m}$$

$$\vartheta = 0.0000171 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Re = 3337.20$$

$$W_{D_h} = \pm 0.0003 \text{ m}$$

$$W_{\vartheta} = \pm (\% 0.1) \times 0.0000171 \text{ m}^2/\text{s} = 0.0000000171 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$W_V = \pm 0.03 \text{ m/s}$$

Bu değerler (5.7) denkleminde yerlerine yazılırsa Reynolds sayısı için belirsizlik değeri,

$$W_{Re} = \left[ \left( \frac{0.0763}{0.0000171} * 0.03 \right)^2 + \left( \frac{0.75}{0.0000171} * 0.0003 \right)^2 + \left( - \frac{0.75 * 0.0763}{0.0000171^2} * 0.0000000171 \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$W_{Re} = \pm 134.55$$

veya

$$\frac{W_{Re}}{Re} = \frac{134.55}{3337.20} * 100 = \pm \% 4.03$$

bulunur.

Kollektör modelleri için hesaplanan Reynolds sayılarındaki ortalama belirsizlik değerleri Çizelge 5.4'de verilmiştir.

**Çizelge 5.4** Reynolds sayısı için ortalama belirsizlikler ( $\pm$  %)

<b>Kütle Debisi</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
0.021 kg/s	5.36	5.36	5.36
0.028 kg/s	4.03	4.03	4.03
0.035 kg/s	3.23	3.23	3.23

#### 5.7.4. Nusselt Sayısı

Yutucu plaka yüzeyleri için hesaplanan deneysel ortalama Nusselt sayıları için belirsizlikler denklem (5.8) ve (5.9) ile hesaplanabilir.

$$W_{Nu} = \left[ \left( \frac{\partial Nu}{\partial \dot{m}} W_{\dot{m}} \right)^2 + \left( \frac{\partial Nu}{\partial C_p} W_{C_p} \right)^2 + \left( \frac{\partial Nu}{\partial \Delta T} W_{\Delta T} \right)^2 + \left( \frac{\partial Nu}{\partial D_h} W_{D_h} \right)^2 + \left( \frac{\partial Nu}{\partial A_p} W_{A_p} \right)^2 + \left( \frac{\partial Nu}{\partial k} W_k \right)^2 + \left( \frac{\partial Nu}{\partial \Delta T_{p-b}} W_{\Delta T_{p-b}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.8)$$

$$W_{Nu} = \left[ \left( \frac{C_p \Delta T D_h}{A_p k \Delta T_{p-b}} W_{\dot{m}} \right)^2 + \left( \frac{\dot{m} \Delta T D_h}{A_p k \Delta T_{p-b}} W_{C_p} \right)^2 + \left( \frac{\dot{m} C_p D_h}{A_p k \Delta T_{p-b}} W_{\Delta T} \right)^2 + \left( \frac{\dot{m} C_p \Delta T}{A_p k \Delta T_{p-b}} W_{D_h} \right)^2 + \left( \frac{-\dot{m} C_p \Delta T D_h}{A_p^2 k \Delta T_{p-b}} W_{A_p} \right)^2 + \left( \frac{-\dot{m} C_p \Delta T D_h}{A_p k^2 \Delta T_{p-b}} W_k \right)^2 + \left( \frac{-\dot{m} C_p \Delta T D_h}{A_p k \Delta T_{p-b}^2} W_{\Delta T_{p-b}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.9)$$

17.08.2018 tarihinde M1 kollektör için saat 15:00'deki deneysel veriler kullanılarak ortalama Nusselt sayısı için örnek bir belirsizlik hesabı aşağıda verilmiştir.

$$D_h = 0.0763 \text{ m}$$

$$C_p = 1005.18 \text{ J/kgK}$$

$$\Delta T = 50 - 31 = 19 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$A_p = 1.64 \text{ m}^2$$

$$k = 0.02714 \text{ W/mK}$$

$$\dot{m} = 0.028 \text{ kg/s}$$

$$Nu = 13.93$$

$$\Delta T_{p-b} = 106.22 - 40.50 = 65.72 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$W_{\dot{m}} = \pm 0.00114 \text{ kg/s}$$

$$W_{C_p} = \pm (\% 0.1 \times 1005.18) = \pm 1.00518 \text{ J/kgK}$$

$$W_{\Delta T} = \pm 0.38 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$W_{D_h} = \pm 0.0003 \text{ m}$$

$$W_{A_p} = \pm 0.000256 \text{ m}^2$$

$$W_k = \pm (\% 0.1) \times 0.02714 = \pm 0.00002714 \text{ W/mK}$$

$$W_{\Delta T_{p-b}} = \pm 0.38 \text{ }^\circ\text{C}$$

Bu değerler (5.9) denkleminde yerlerine konulursa Nusselt sayısı için belirsizlik değeri,



$$\begin{aligned}
W_{Nu} = & \left[ \left( \frac{1005.18 * 19 * 0.0763}{1.64 * 0.02714 * 65.72} * 0.001143 \right)^2 \right. \\
& + \left( \frac{0.028 * 19 * 0.0763}{1.64 * 0.02714 * 65.72} * 1.00518 \right)^2 \\
& + \left( \frac{0.028 * 1005.18 * 0.0763}{1.64 * 0.02714 * 65.72} * 0.38 \right)^2 \\
& + \left( \frac{0.028 * 1005.18 * 19}{1.64 * 0.02714 * 65.72} * 0.0003 \right)^2 \\
& + \left( \frac{-0.028 * 1005.18 * 19 * 0.0763}{1.64^2 * 0.02714 * 65.72} * 0.000256 \right)^2 \\
& + \left( \frac{-0.028 * 1005.18 * 19 * 0.0763}{1.64 * 0.02714^2 * 65.72} * 0.00002714 \right)^2 \\
& \left. + \left( \frac{-0.028 * 1005.18 * 19 * 0.0763}{1.64 * 0.02714 * 65.72^2} * 0.38 \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}
\end{aligned}$$

$$W_{Nu} = \pm 0.641$$

veya

$$\frac{W_{Nu}}{Nu} = \frac{0.641}{13.93} * 100 = \pm \% 4.60$$

bulunur.

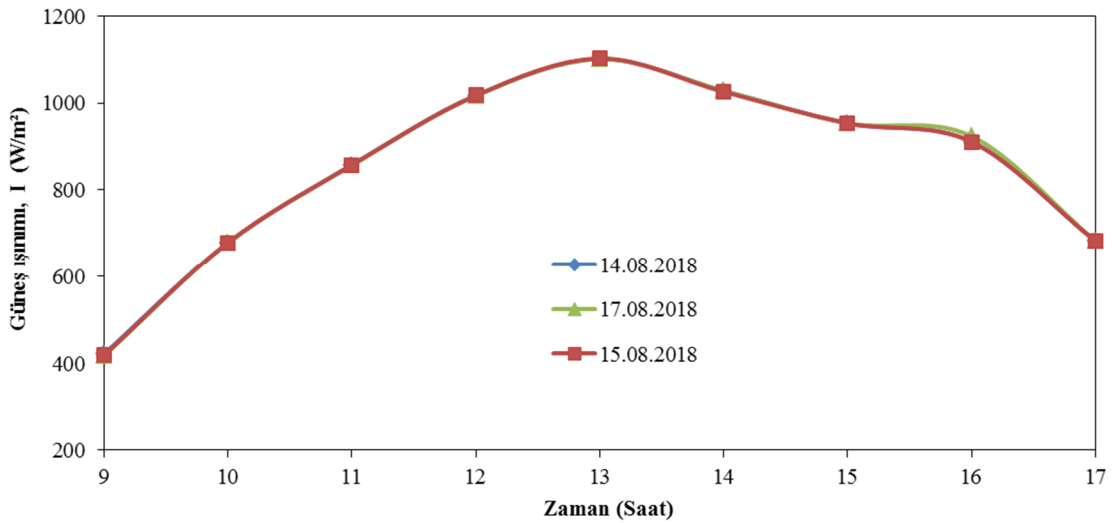
Tüm kollektör modelleri için Nusselt sayılarının ortalama belirsizlik değerleri Çizelge 5.5’de verilmiştir.

**Çizelge 5.5** Nusselt sayısı için ortalama belirsizlikler ( $\pm$  %)

<b>Kütle Debisi</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
0.021 kg/s	5.75	3.45	3.37
0.028 kg/s	5.11	3.28	3.15
0.035 kg/s	3.73	2.46	2.15

## 6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Kurulan deney düzeneği ile havanın 0.021 kg/s, 0.028 kg/s ve 0.035 kg/s kütle debileri için sırası ile 14.08.2018, 17.08.2018 ve 15.08.2018 günlerinde deneyler yapılmıştır. Havanın farklı kütle debilerinde deney yapılan günler arasından, ölçülen ışınlam değerleri birbirine yakın olan günler belirlenmiş ve bu günlerde ölçülen kollektör yüzeyine gelen toplam ışınlam değerlerinin saatlik değişimleri Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi, ışınlam değerleri saat 09.00 da 416-421 W/m<sup>2</sup>, saat 13.00 de 1100-1102 W/m<sup>2</sup> ve saat 17.00 de 680-682 W/m<sup>2</sup> arasındadır. En yüksek ışınlam değeri 0.035 kg/s hava debisi ile deney yapılan günde saat 13.00 de 1102 W/m<sup>2</sup> dir. Şekilden, havanın üç farklı kütle debisi için deney yapılan günlerde ölçülen ışınlam değerleri arasında 2-13 W /m<sup>2</sup> bir fark olduğu görülmektedir. Güneş ışınlamı değerlerinin benzerliği, deneyleri gerçekleştirilen kollektörlerin birbirlerine göre performanslarını değerlendirmek açısından farklı günlerde yapılan deney sonuçlarını kıyaslama imkânı sunmaktadır.



Şekil 6.1. Güneş ışınlamı değerlerinin saatlik değişimi

### 6.1 Deney Setinin Doğrulanması

Bu çalışmada kurulan deney düzeneğinin ve cihazlar yardımı ile ölçülen verilerin doğruluğunu kontrol etmek üzere tek akışlı ve tek geçişli M1 kollektör için belirlenen deneysel ortalama Nusselt sayıları, literatürde verilen iki ayrı teorik Nusselt

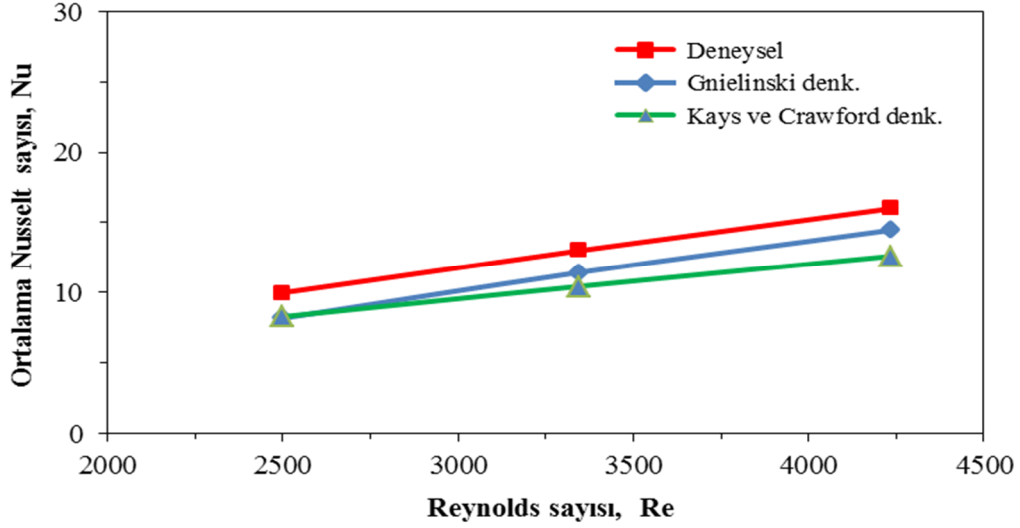
korelasyonundan elde edilen sonuçlar ile kıyaslanmıştır. Kıyaslama için kullanılan korelasyonlardan biri, geçiş akışı için literatürde verilen “Gnielinski” denklemi (Gnielinski, 1976), diğeri ise bir tarafı üniform ısıtılan diğeri tarafı yalıtımlı paralel iki plaka arasındaki akış için Kays ve Crawford (Kays ve Crawford, 1980) tarafından önerilen denklemdir. Gnielinski denklemindeki sürtünme katsayısı Petukhov denklemi (Petukhov, 1970) ile belirlenmiştir. Gnielinski, Petukhov ve Kays-Crawford korelasyonları sırası ile denklem (6.1), (6.2) ve (6.3)’de verilmiştir.

$$Nu = \frac{(f/8)(Re-1000)Pr}{1+12.7(f/8)^{0.5}(Pr^{2/3}-1)} \quad (6.1)$$

$$f = [0.79 \ln(Re) - 1.64]^{-2} \quad (6.2)$$

$$Nu = 0.0158Re^{0.8} \quad (6.3)$$

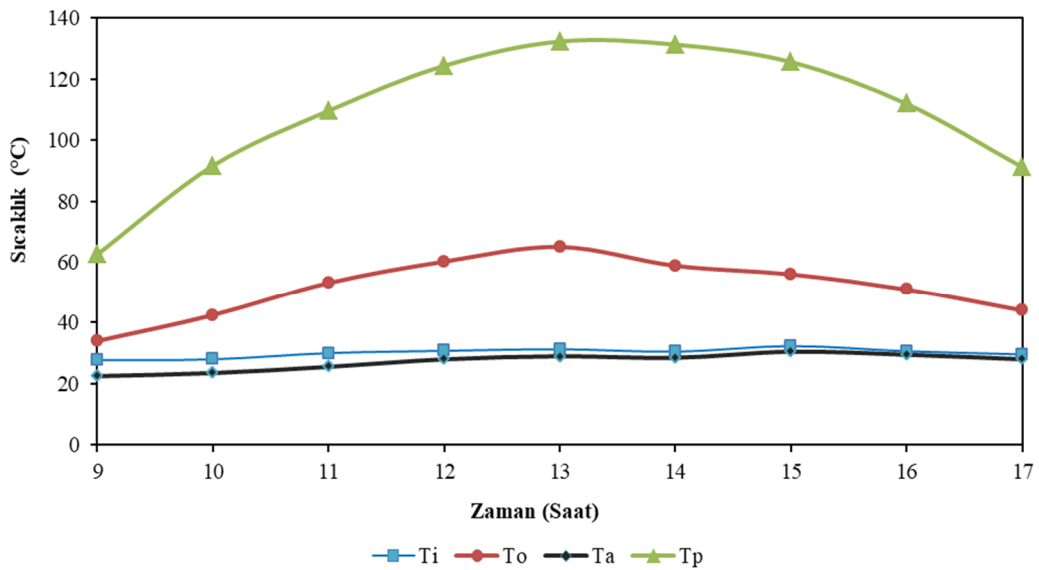
M1 kollektördeki hava kanalı için hesaplanan deneysel ve teorik Nusselt sayılarının kıyaslanması Şekil 6.2’de görülmektedir. Re sayısının artışı ile Nu sayıları da artmaktadır. Tek akış-tek geçişli M1 kollektör için ortalama Nusselt sayısı 9.94 ile 16 arasındadır. Şekilden de görüldüğü gibi, deneysel ve teorik Nusselt sayıları arasındaki ortalama sapma % 16’dır (Kumar ve ark., 2016, Tsai ve ark., 2009; Karadağ ve Teke, 2004; ). Bu sonuç, deneysel verilerin doğruluğunu garanti etmektedir. Deneysel sonuçların Gnielinski denkleminde elde edilen sonuçlardan sapmasının temel nedeni, Gnielinski korelasyonunda akış kanalının tüm cidarlarının ısıtılmış olarak kabul edilmesidir. Ancak bu çalışmada deneyler sadece bir cidarı ısıtılan kanal içerisinde gerçekleştirilmiştir.



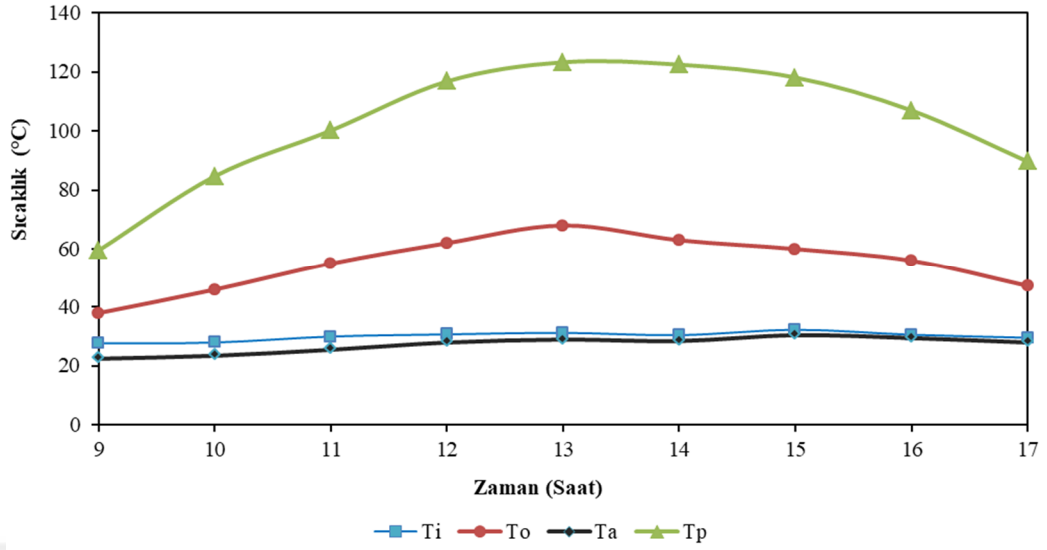
Şekil 6.2 Deneysel ve teorik Nusselt sayılarının kıyaslanması (M1)

## 6.2 Havalı Kollektörlerde Sıcaklıkların Zamana Göre Değişimi

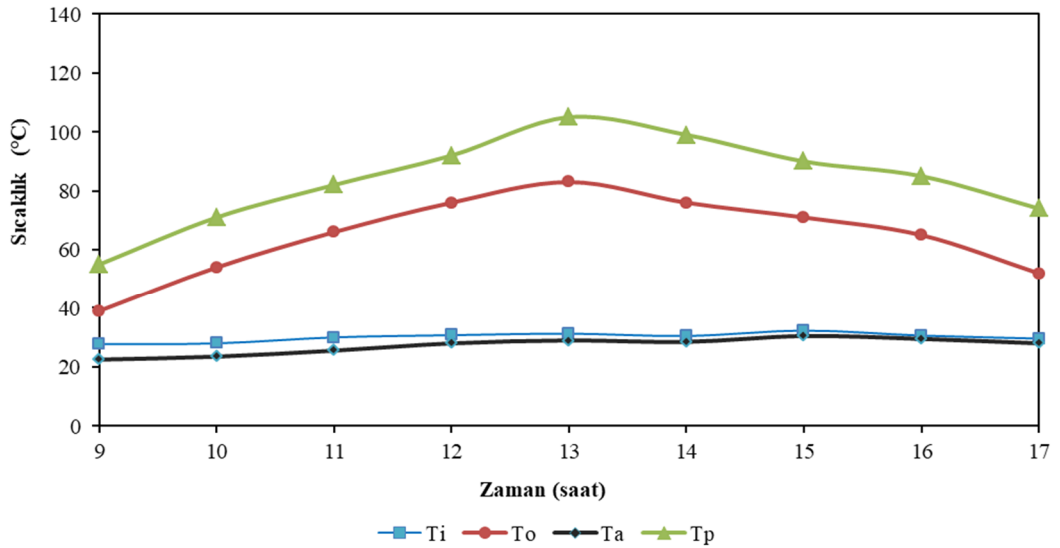
Tasarlanan üç farklı kollektör modeli ile ardışık günlerde deneyler yapılmış ve ölçülen veriler kaydedilmiştir. 0.021 kg/s, 0.028 kg/s ve 0.035 kg/s olmak üzere havanın üç farklı kütle debisi ile deneyler gerçekleştirilmiştir. 0.021 kg/s debi için çevre havası, havanın kollektöre giriş, kollektörden çıkış ve yutucu plaka yüzey sıcaklıklarının anlık değişimleri M1, M2 ve M3 kollektörler için sırası ile Şekil 6.3, Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'de verilmiştir.



Şekil 6.3 M1 kollektörde sıcaklıkların anlık değişimi (14.08.2018,  $\dot{m} = 0.021 \text{ kg/s}$ )



Şekil 6.4 M2 kolektörde sıcaklıkların anlık değişimi (14.08.2018,  $\dot{m} = 0.021 \text{ kg/s}$ )

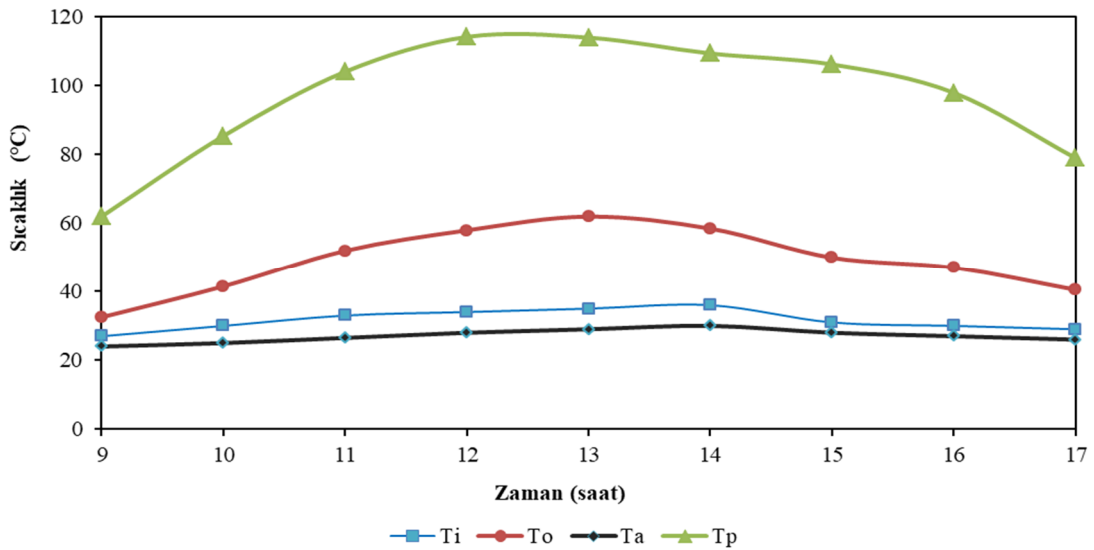


Şekil 6.5 M3 kolektörde sıcaklıkların anlık değişimi (14.08.2018,  $\dot{m} = 0.021 \text{ kg/s}$ )

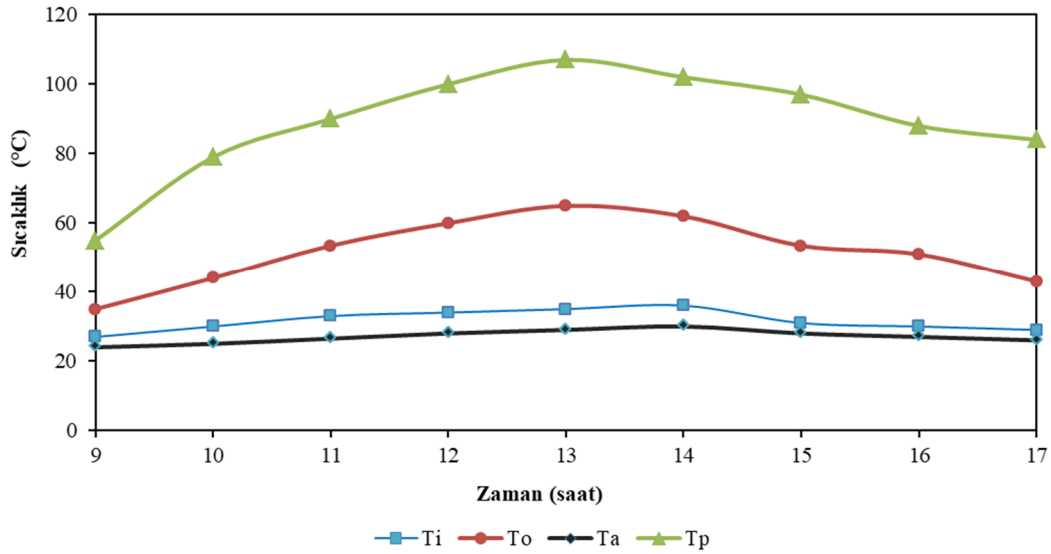
Şekil 6.3, Şekil 6.4 ve Şekil 6.5 incelendiğinde; 0.021 kg/s hava debisi için M1, M2 ve M3 kolektörlerde çevre havası sıcaklıkları 22.5-30 °C, havanın kolektöre giriş sıcaklıkları 22.5-34 °C arasında olduğu görülmektedir. M1, M2 ve M3 için havanın kolektörden çıkış sıcaklıkları sırası ile 34-65.1 °C, 38-68 °C ve 39-83 °C arasında değişmektedir. Havanın kolektörden çıkış sıcaklıkları saat 13.00'e kadar artarken, öğleden sonra azalmaktadır. Ölçülen değerlere göre yutucu plaka yüzeyinin günlük ortalama sıcaklığı, M1, M2 ve M3 için sırası ile 109 °C, 102.4 °C ve 83.7 °C dir. Modellerde yutucu plakanın güneşe bakan yüzey alanları eşit olmasına rağmen, yutucu

plakanın ortalama yüzey sıcaklıkları incelendiğinde M2'nin M1'den, M3'ün diğer iki modelden de düşük olduğu görülmektedir. M2 için yutucu plaka ortalama yüzey sıcaklığının M1'den düşük olmasının nedeni, plakanın hem üstünden hem de altından gerçekleştirilen çift akış düzenlemesinde, akışkanın daha fazla yüzeye temas etmesi sonucu ısı transferinin daha fazla olmasıdır. Yutucu plaka ortalama yüzey sıcaklığının en düşük M3'de gerçekleşmesi, plakanın önce üstünden sonra altından geçen akışkanın tüm moleküllerinin kollektörden geçerken sıcak plaka yüzeyine iki kez temas etmesi sonucunda plakadan akışkana olan ısı transferinin artışı ile açıklanabilir.

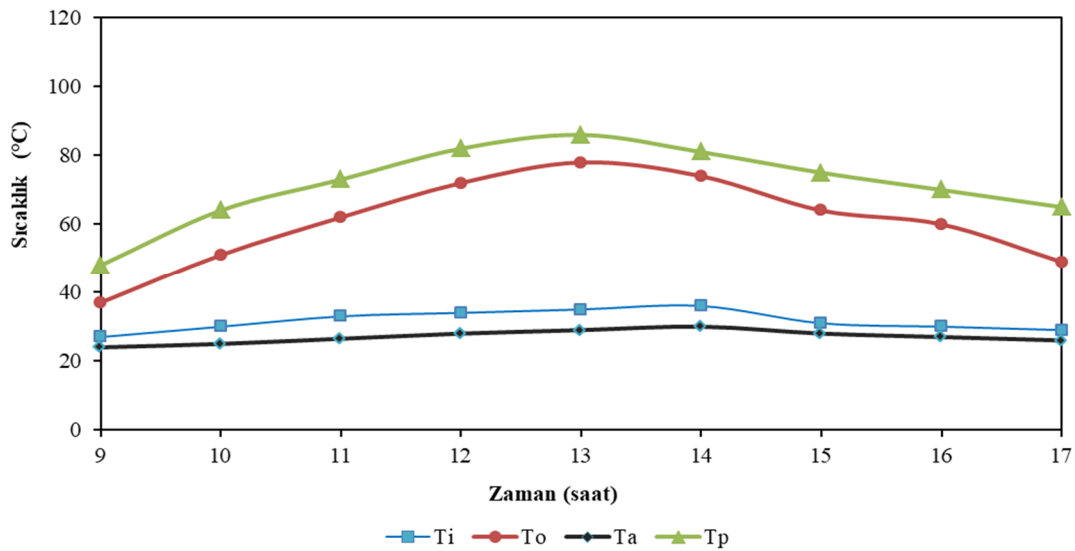
0.028 kg/s hava debisi için 17.08.2018 tarihinde yapılan deneylerde çevre havası, havanın kollektöre giriş, kollektörden çıkış ve yutucu plaka yüzey sıcaklıklarının anlık değişimleri M1, M2 ve M3 kollektörler için sırası ile Şekil 6.6, Şekil 6.7 ve Şekil 6.8'de verilmiştir. Şekillerde çevre havası sıcaklıkları 24-30 °C, havanın kollektöre giriş sıcaklıkları 27-35 °C arasında değişmekte, kollektörden çıkış sıcaklıkları ise genellikle saat 13:00'e kadar artmakta, daha sonra azalmaktadır. Gün boyunca ölçülen yutucu plaka yüzey sıcaklığının günlük ortalama değerleri ise M1, M2 ve M3 için sırası ile 96.9 °C, 89.1 °C ve 72 °C'dir. M3 kollektörün yutucu plakasının ortalama yüzey sıcaklığı 0.021 kg/s hava debisinde olduğu gibi diğer debiler için de M1 ve M2 kollektörlere göre daha düşüktür.



Şekil 6.6 M1 kollektörde sıcaklıkların anlık değişimi (17.08.2018,  $\dot{m} = 0.028 \text{ kg/s}$ )



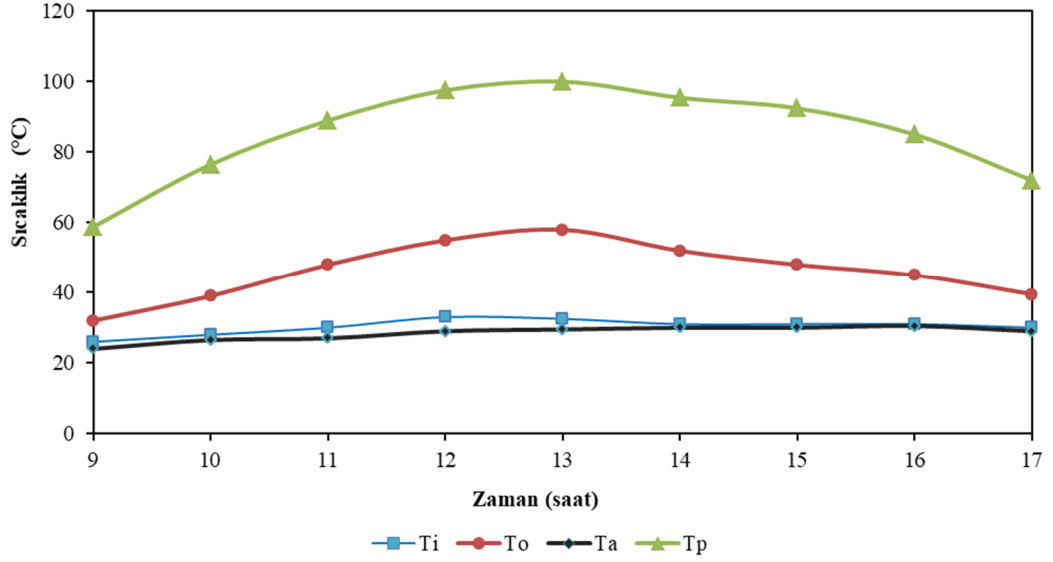
Şekil 6.7 M2 kolektörde sıcaklıkların anlık değişimi (17.08.2018,  $\dot{m} = 0.028 \text{ kg/s}$ )



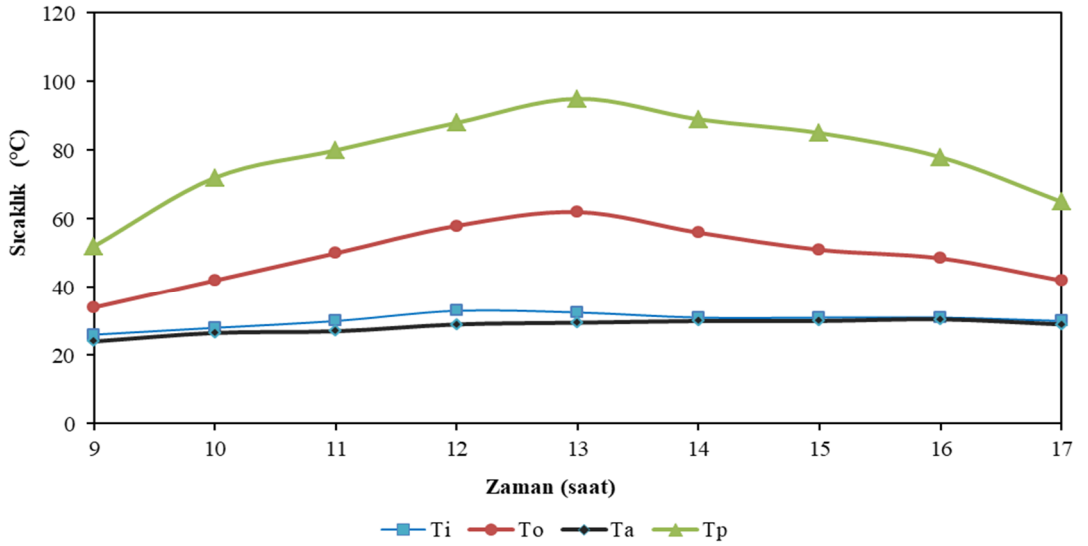
Şekil 6.8 M3 kolektörde sıcaklıkların anlık değişimi (17.08.2018,  $\dot{m} = 0.028 \text{ kg/s}$ )

0.035 kg/s hava debisi için 15.08.2018 tarihinde yapılan deneyde çevre havası, havanın kolektöre giriş, kolektörden çıkış ve yutucu plaka yüzey sıcaklıklarının saatlik değişimi M1, M2 ve M3 kolektörler için sırası ile Şekil 6.9, Şekil 6.10 ve Şekil 6.11’de verilmiştir. Şekillere göre çevre havası sıcaklığı 24-30.5 °C, havanın kolektöre giriş sıcaklıkları ise 26-33 °C arasında değiştiği görülmektedir. Havanın kolektörlerden çıkış sıcaklıkları genellikle saat 13:00’a kadar artış göstermekte, daha sonra azalmaktadır.

Deney süresince yutucu plaka yüzey sıcaklıklarının günlük ortalama değerleri M1, M2 ve M3 kolektörler için sırası ile 85.2 °C, 78.2 °C ve 62 °C olarak belirlenmiştir.

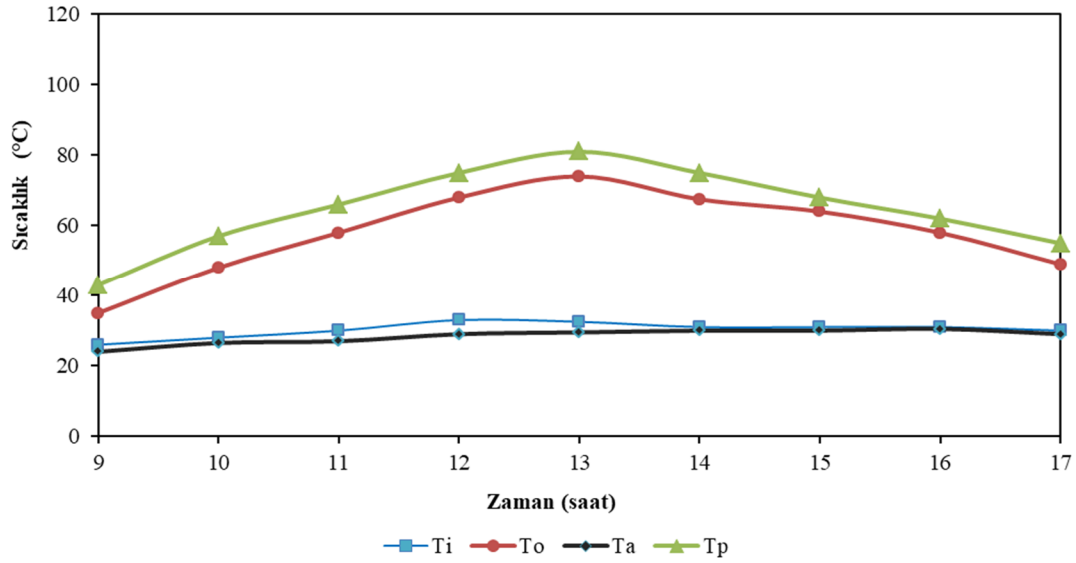


Şekil 6.9 M1 kolektörde sıcaklıkların anlık değişimi (15.08.2018,  $\dot{m} = 0.035 \text{ kg/s}$ )



Şekil 6.10 M2 kolektörde sıcaklıkların anlık değişimi (15.08.2018,  $\dot{m} = 0.035 \text{ kg/s}$ )



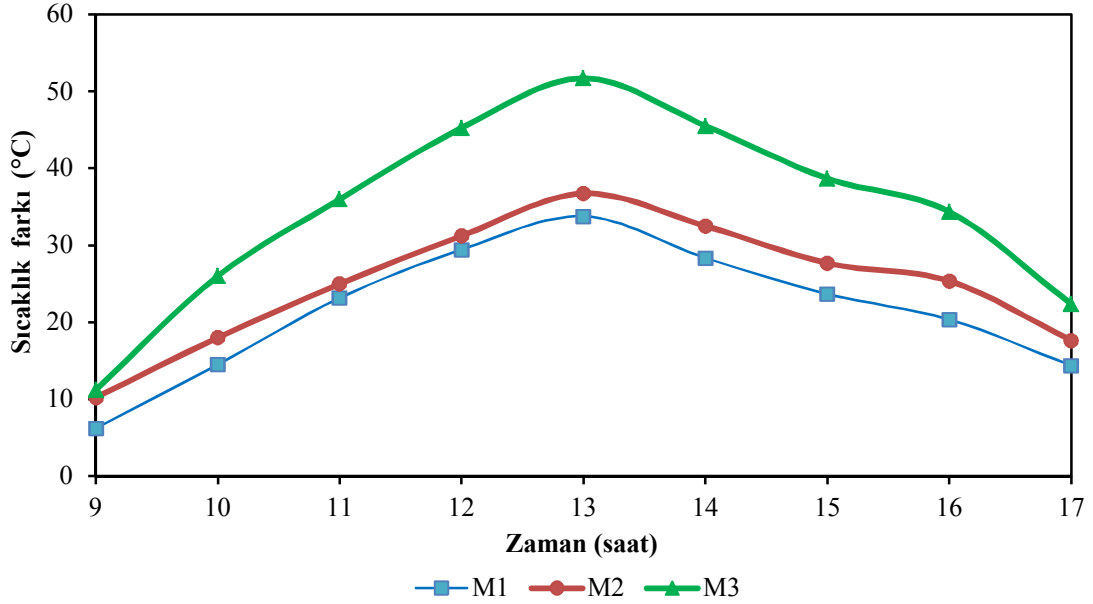


Şekil 6.11 M3 kollektörde sıcaklıkların anlık değişimi (15.08.2018,  $\dot{m} = 0.035 \text{ kg/s}$ )

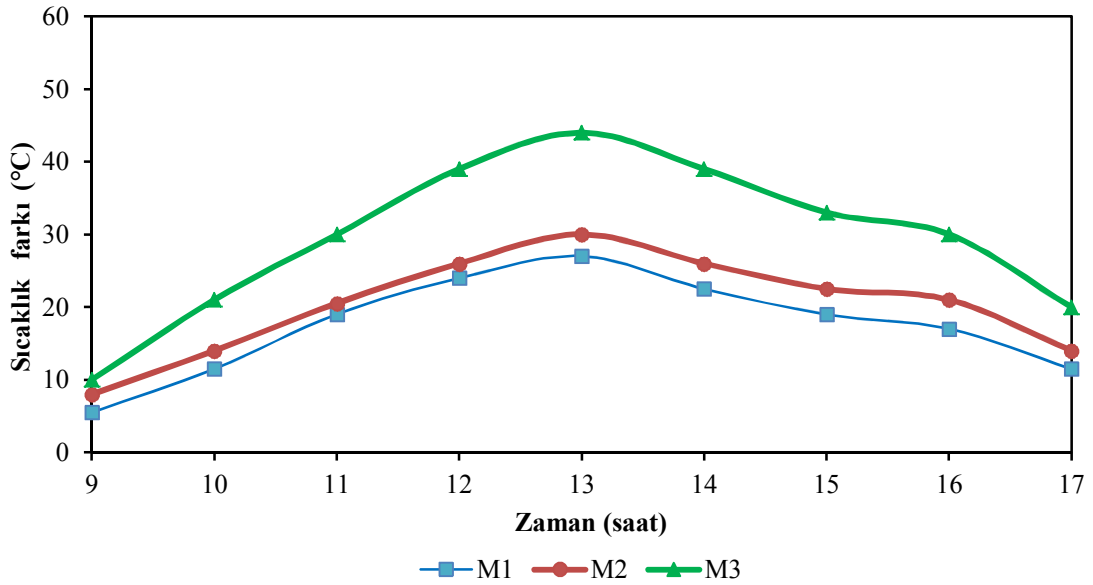
### 6.3 Havanın Sıcaklık Farkına Göre Karşılaştırma

Test edilen her üç kollektör modeli için Şekil 6.12, Şekil 6.13 ve Şekil 6.14'de havanın kollektöre giriş ve kollektörden çıkış sıcaklıkları farkının anlık değişimleri verilmiştir. Şekillerden görüldüğü üzere, havanın kollektöre giriş-çıkış sıcaklık farkının en yüksek değerleri M3'de, en düşük değerleri ise M1'de elde edilmiştir. M3 için sıcaklık farkının en büyük değeri 0.021 kg/s, 0.028 kg/s ve 0.035 kg/s hava debileri için sırası ile 51.7 °C, 44 °C ve 41.5 °C'dir. 0.021 kg/s hava debisinde havanın günlük ortalama sıcaklık farkı M1, M2 ve M3 kollektör modellerine göre sırası ile 21.5 °C, 24.9 °C ve 34.5 °C; 0.028 kg/s hava debisinde 17.5 °C, 20.2 °C ve 29.5 °C; 0.035 kg/s hava debisinde ise 16 °C, 19 °C ve 27.7 °C'dir. Yutucu plakanın her iki yüzeyinden havaya ısı geçişinin olduğu M2 kollektör modelinde üst camdan çevreye ısı kaybı olurken, yüzey alanı artışından dolayı kazanılan ısı, kaybedilen ısıdan daha fazladır. Bu nedenle M2 için havanın sıcaklık farkı M1'e göre daha yüksektir. M3'de ise önce yutucu plakanın üstünden geçerken kısmi olarak ısınan hava kollektör dışından geri dönerek ikinci geçişini plakanın altından yapmaktadır. Tek akışlı-çift geçişli bu kollektör modelinde plaka üstünden geçen hava debisi M2'de plaka üstünden geçen hava debisinin iki katı olduğundan, üst camdan çevreye ısı kayıpları M2'ye göre daha azdır. Bu nedenle M3 için havanın kollektör girişi ve çıkışı arasındaki sıcaklık farkı M1 ve M2'den daha yüksektir. Şekillerden çıkarılabilecek diğer bir sonuç ise, hava debisinin

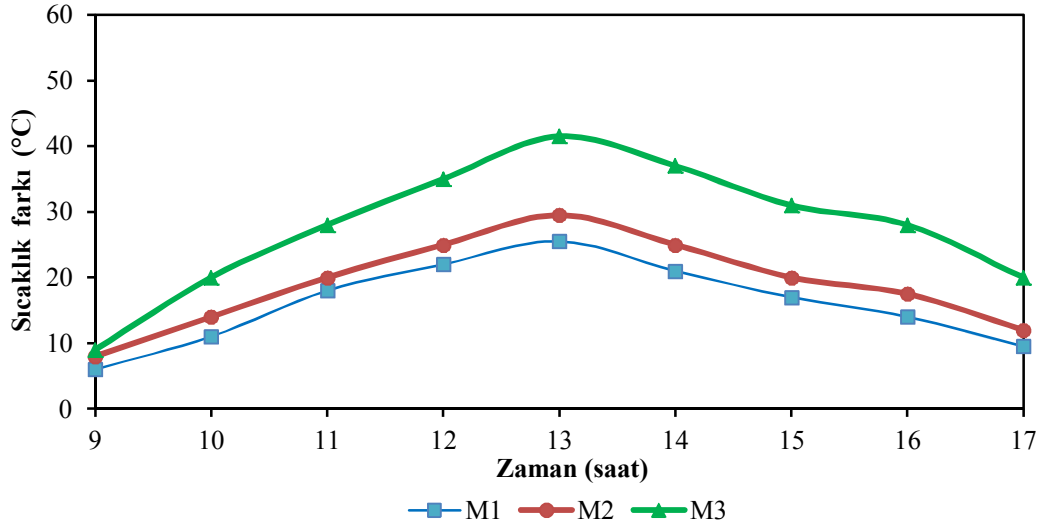
artması sonucunda havanın sıcaklık farkının azalmasıdır. Hava debisinin artışı ile havanın kollektörden geçiş süresi kısalmakta, hava kollektör içinde daha az zaman geçirmekte ve böylece daha az ısınarak daha düşük bir sıcaklıkta kollektörü terk etmektedir.



Şekil 6.12 Havanın sıcaklık farkının anlık değişimi ( $\dot{m} = 0.021 \text{ kg/s}$ )



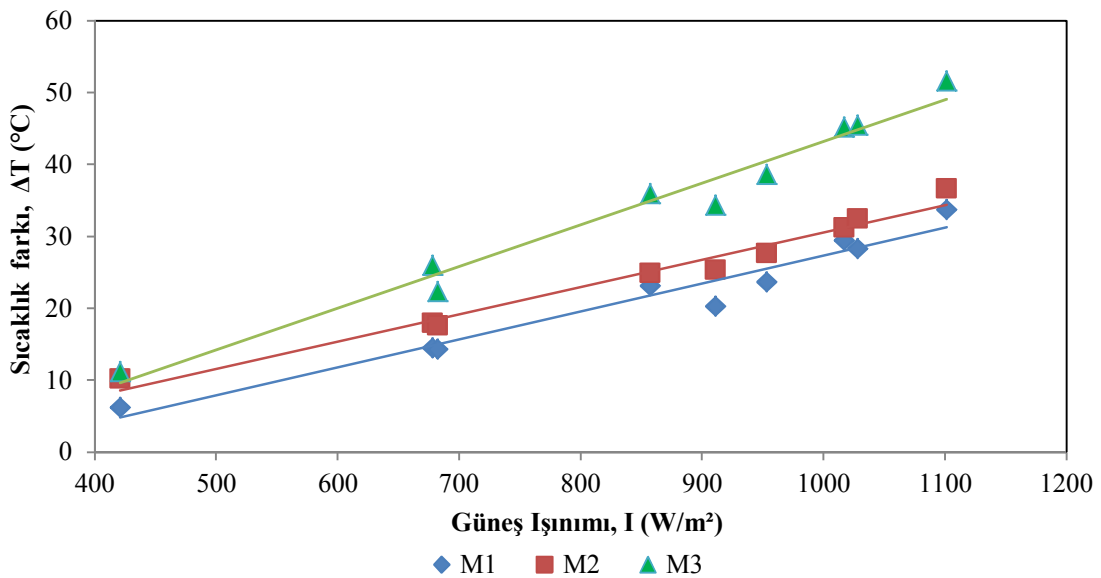
Şekil 6.13 Havanın sıcaklık farkının anlık değişimi ( $\dot{m} = 0.028 \text{ kg/s}$ )



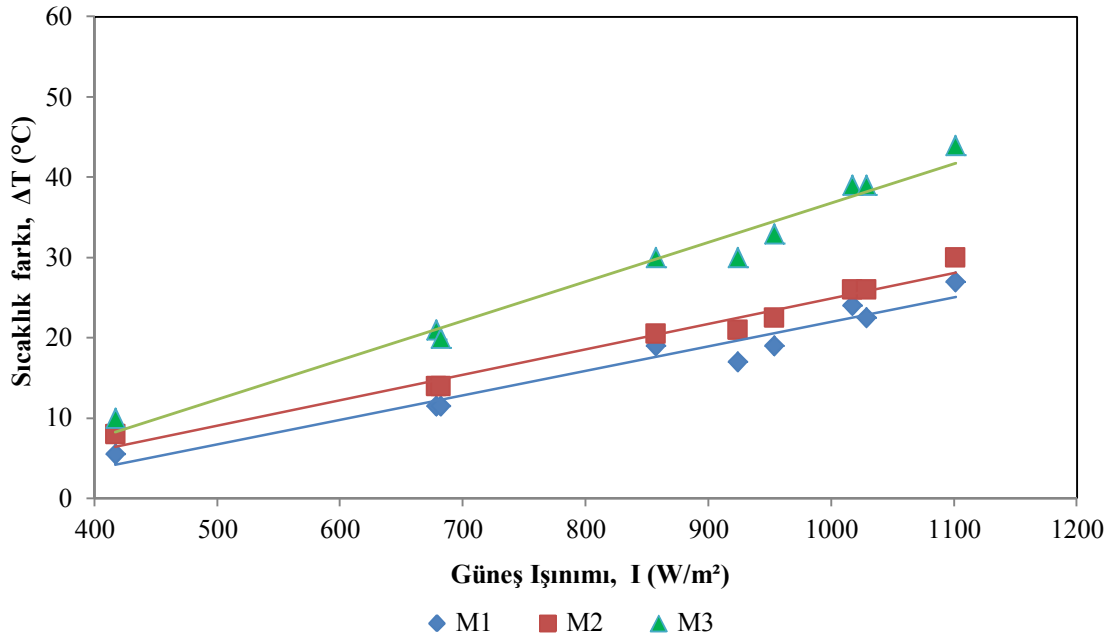
Şekil 6.14 Havanın sıcaklık farkının anlık değişimi ( $\dot{m} = 0.035 \text{ kg/s}$ )

#### 6.4 Güneş Işınımının Havanın Sıcaklık Farkına Etkisi

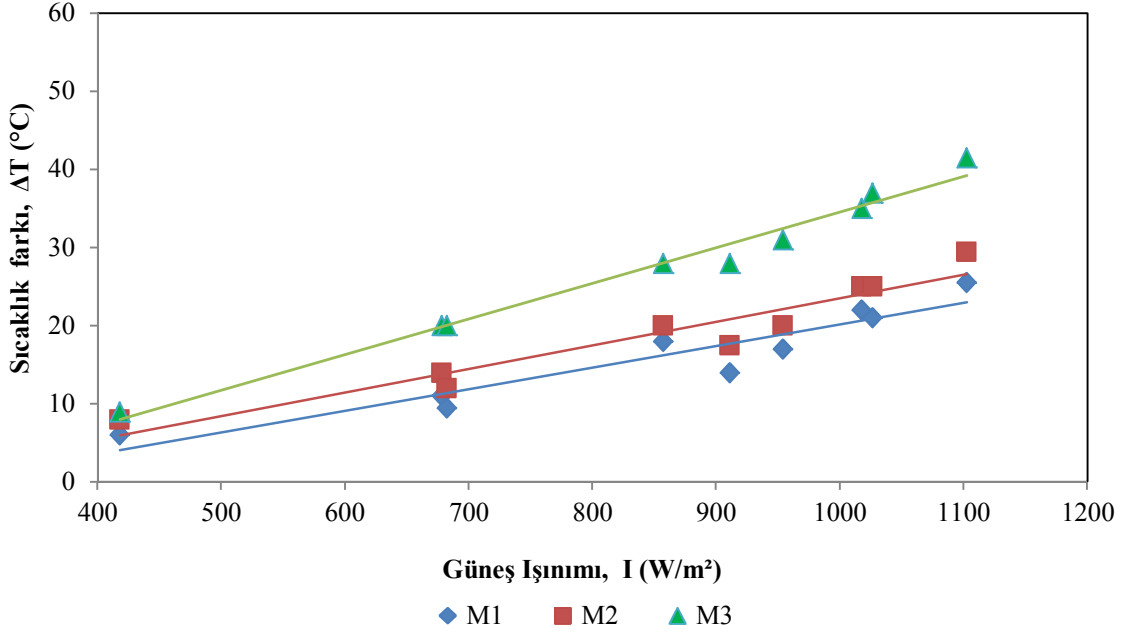
Deney yapılan günlerde kollektör yüzeylerine gelen saatlik güneş ışınımı yoğunluğuna karşılık, kollektörlerin giriş ve çıkış noktaları arasında havanın sıcaklık farkının değişimi Şekil 6.15, Şekil 6.16 ve Şekil 6.17 de verilmiştir. Şekillerde görüldüğü üzere, güneş ışınımı ile havanın sıcaklık farkı doğru orantılıdır. Işınım değerlerine bağlı olarak en düşük sıcaklık farkı M1’de, en yüksek sıcaklık farkı ise M3’de elde edilmiştir. Her üç şekil birlikte değerlendirildiğinde, aynı ışınım değerinde yüksek hava debisi için sıcaklık farkının azaldığı görülmektedir.



Şekil 6.15 Havanın sıcaklık farkının güneş ışınımı ile değişimi ( $\dot{m} = 0.021 \text{ kg/s}$ )



Şekil 6.16 Havanın sıcaklık farkının güneş ışınımı ile değişimi ( $\dot{m} = 0.028 \text{ kg/s}$ )

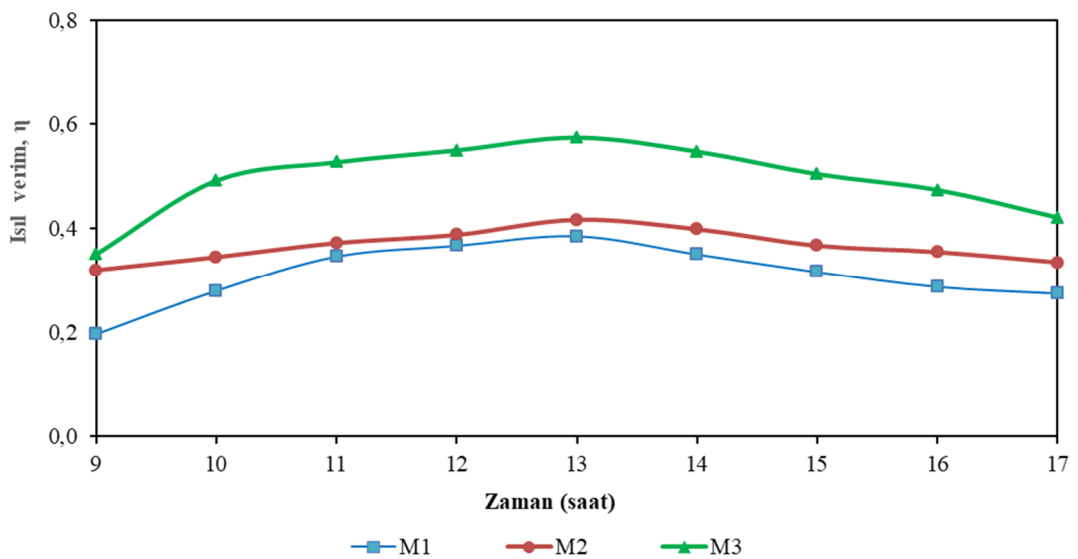


Şekil 6.17 Havanın sıcaklık farkının güneş ışınımı ile değişimi ( $\dot{m} = 0.035 \text{ kg/s}$ )

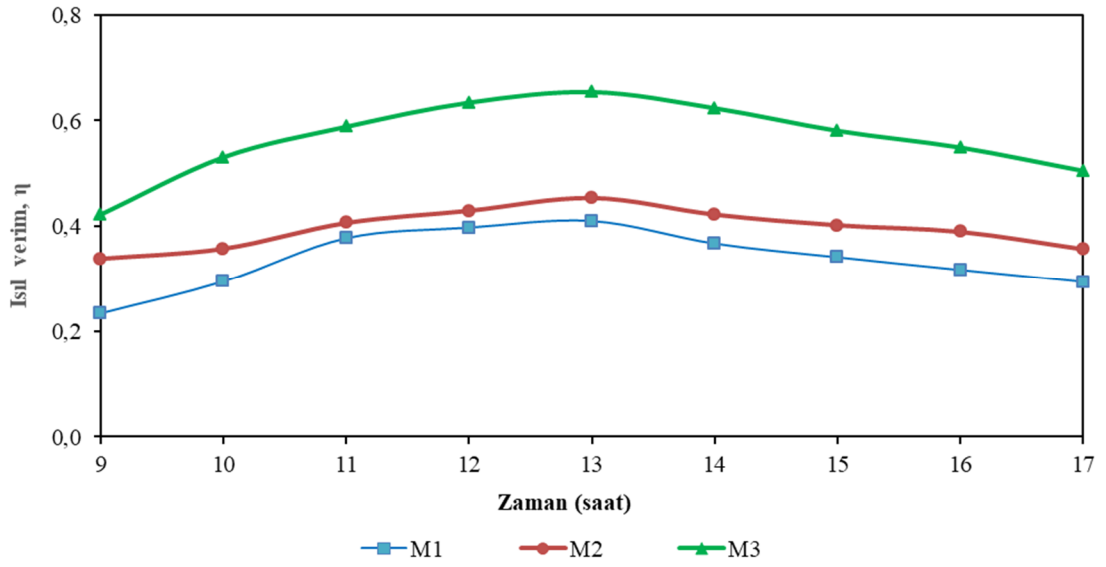
## 6.5 Kollektörlerin Anlık Isıl Verimleri

Test edilen havalı kollektörlerin ısı verimlerinin farklı hava debilerindeki anlık değişimleri Şekil 6.18, Şekil 6.19 ve Şekil 6.20’de verilmiştir. 0.021 kg/s hava debisinde tüm kollektör modellerinde ısı verim değerlerinin sabah saatlerinde 0.20-0.50 aralığından başlayarak saat 13:00’e doğru arttığı, daha sonra azaldığı görülmektedir. 0.021 kg/s hava debisi için ısı veriminin sabah saatlerinde hızlı arttığı, akşam saatlerine doğru azaldığı görülmektedir. 0.028 kg/s ve 0.035 kg/s hava debilerinde tüm modeller için ısı verimleri gün boyunca anlık artış ve azalışlar gösterse de, genel olarak ortalama bir değer civarında değişim görülmektedir.

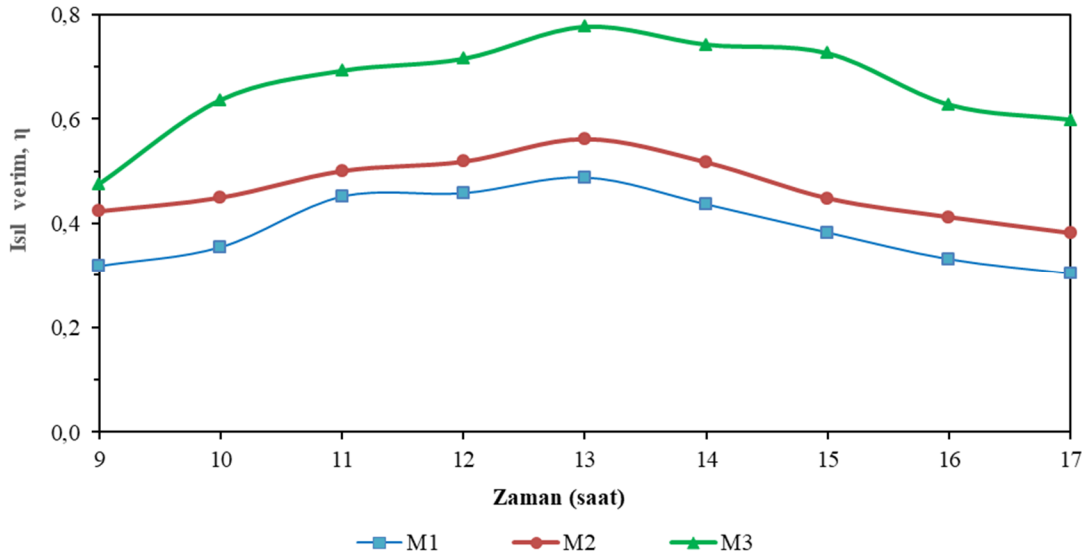
M1, M2 ve M3 kollektörler için 0.021 kg/s hava debisinde günlük ortalama ısı verim değerleri sırası ile 0.31, 0.37 ve 0.49; 0.028 kg/s hava debisinde sırası ile 0.34, 0.40 ve 0.57; 0.035 kg/s hava debisinde sırası ile 0.39, 0.47 ve 0.67 bulunmuştur. Tüm hava debilerinde günlük ortalama ısı verim değerleri M1’den M3’e doğru artış göstermektedir. M2 kollektörünün ısı verimlerinin M1’e göre yüksek olması, akışkanın yutucu plaka yüzeyinin hem üstünden hem de altından geçerek ısı transfer yüzey alanının artması sonucunda havaya aktarılan faydalı enerjinin artışının bir sonucudur. Diğer yandan iki geçişli M3 kollektörde yutucu plakanın her iki yüzeyine M2’ye göre daha yüksek debili hava temas ettiğinden, plaka sıcaklığı daha düşük, çevreye ısı kaybı daha az olmakta ve M2’ye göre daha yüksek ısı verimleri elde edilmektedir.



Şekil 6.18 Kollektör ısı verimlerinin anlık değişimi ( $\dot{m} = 0.021 \text{ kg/s}$ )



Şekil 6.19 Kollektör ısı verimlerinin anlık değişimi ( $\dot{m} = 0.028 \text{ kg/s}$ )

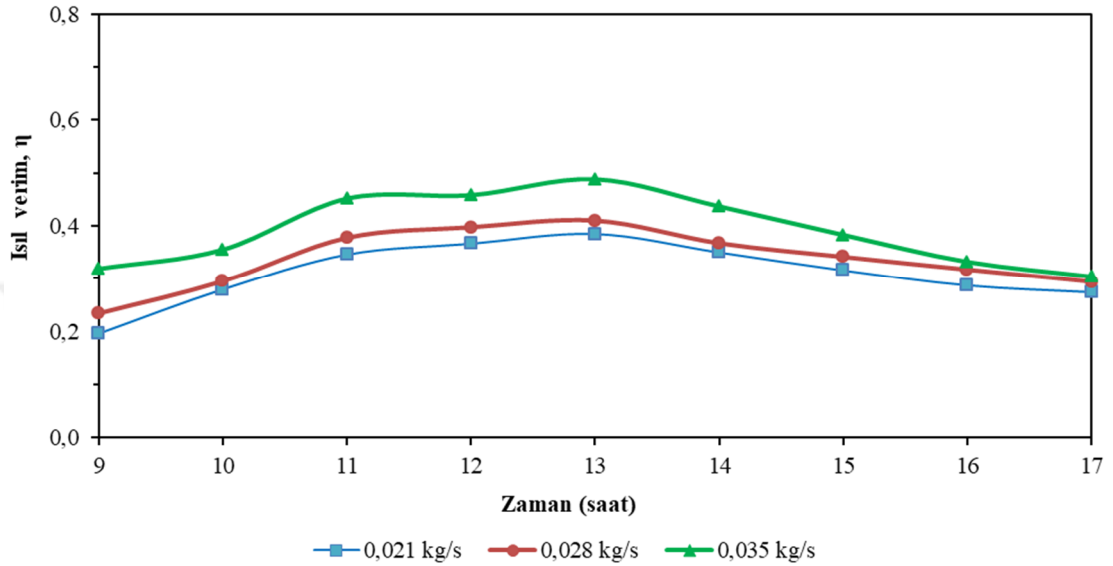


Şekil 6.20 Kollektör ısı verimlerinin anlık değişimi ( $\dot{m} = 0.035 \text{ kg/s}$ )

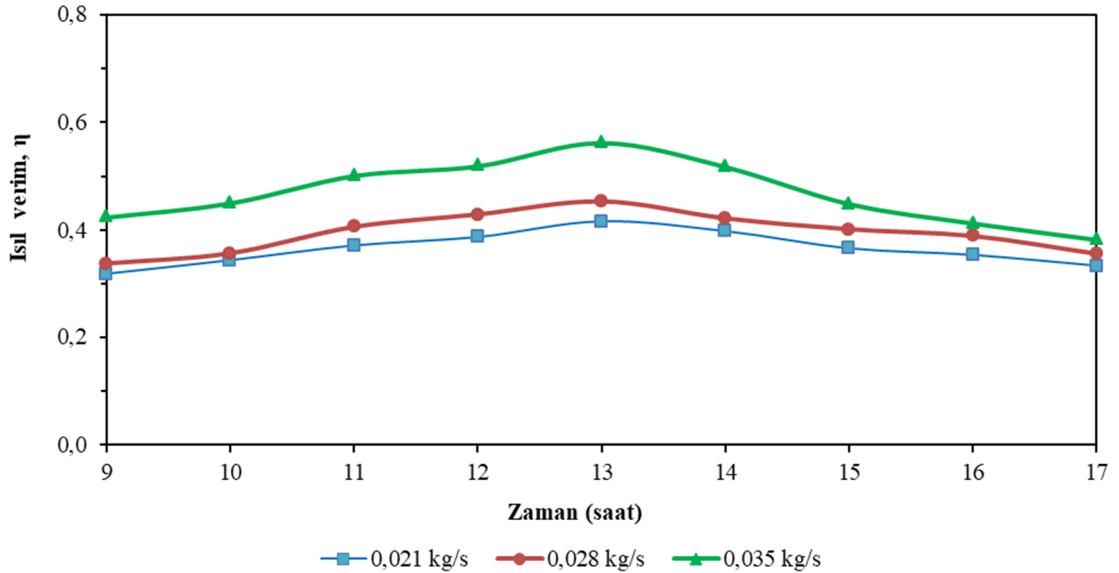
## 6.6 Hava Debisinin Kollektör Isıl Verimine Etkisi

M1, M2 ve M3 kollektör modelleri için farklı hava debilerine göre ısı verimlerinin anlık değişimleri sırası ile Şekil 6.21, 6.22 ve 6.23'de verilmiştir. M1 için 0.021 kg/s, 0.028 kg/s ve 0.035 kg/s hava debilerinde günlük ortalama ısı verim değerleri sırası ile 0.31, 0.34 ve 0.39; M2 için 0.37, 0.40 ve 0.47 ve M3 için 0.49, 0.57

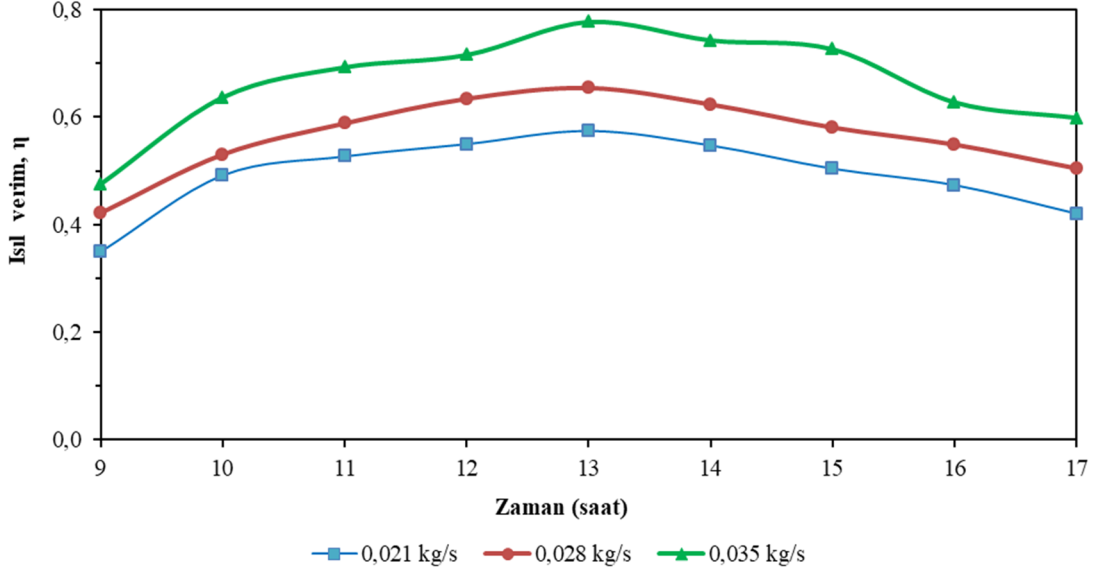
ve 0.67 olarak hesaplanmıştır. Havanın kütle debisinin artışı ile yutucu plaka yüzey sıcaklığı ve buna bağlı olarak havanın kollektör çıkışındaki sıcaklığı azalmaktadır. Bu durumda kollektörden çevreye ısı kayıpları azalırken, havaya aktarılan faydalı enerji arttığından, kollektörlerin ısı verimleri yükselmektedir.



Şekil 6.21 Farklı hava debilerinde ısı verimlerinin anlık değişimi (M1)



Şekil 6.22 Farklı hava debilerinde ısı verimlerinin anlık değişimi (M2)

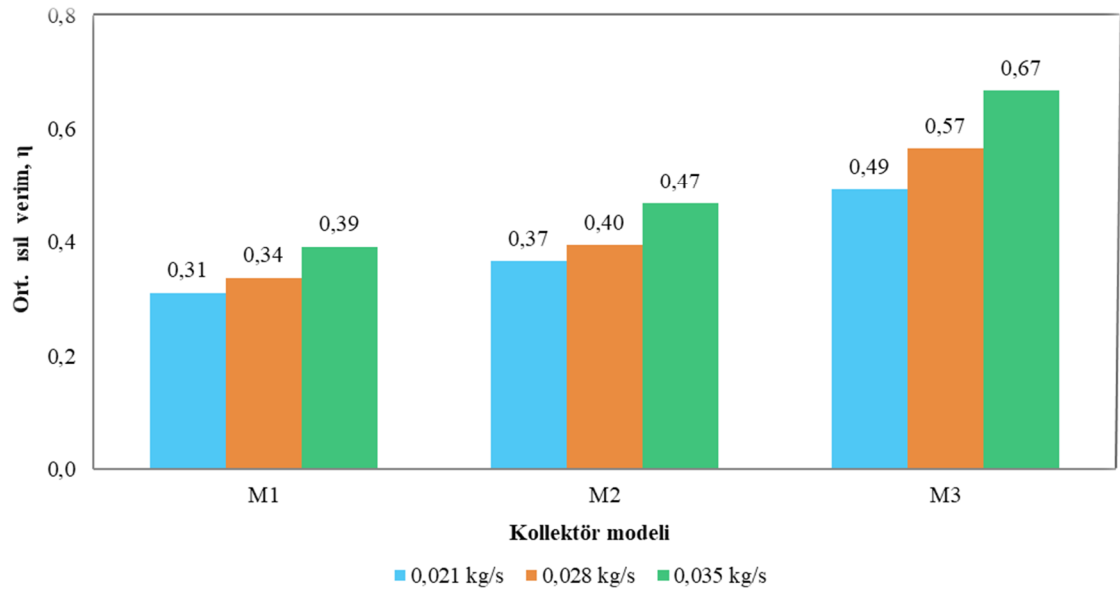


Şekil 6.23 Farklı hava debilerinde ısıl verimlerin anlık değişimi (M3)

## 6.7 Kollektörlerin Ortalama Isıl Verimleri

Havanın üç farklı kütle debisi için kollektör modellerinin günlük ortalama ısıl verimleri Şekil 6.24'de gösterilmiştir. Şekilden açıkça görüldüğü üzere, tüm modellerde hava debisinin artışı ile ortalama ısıl verimlerin de arttığı görülmektedir. M2 ve M3 kollektörlerin M1'e göre günlük ortalama ısıl verimlerindeki artış oranı 0.021 kg/s hava debisi için sırası ile % 20 ve % 48; 0.028 kg/s hava debisi için % 18 ve % 60; 0.035 kg/s hava debisi için % 10 ve % 14'dir. M1, M2 ve M3 kollektörlerde tüm hava debileri için genel ortalama ısıl verim değerleri sırası ile 0.35, 0.41 ve 0.58'dir.





Şekil 6.24 Kollektörlerin ortalama ısı verimleri

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında tüm yapı malzemeleri ve boyutları aynı, ancak akış modelleri birbirinden farklı üç düzlemsel havalı güneş kolektörü tasarlanmış ve üç kolektörlü bir deney düzeneği kurulmuştur. Güneş kolektörleri Konya iklim şartlarında deneylere tabi tutulmuş ve her birinin ısı performans karakteristikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma sonunda varılan sonuçlar aşağıda özet olarak verilmiştir.

Bu çalışmada deneylerin gerçekleştirildiği 0.021--0.035 kg/s debi aralığında havanın artan kütle debisi ile her üç kolektörün anlık ve günlük ortalama ısı verimleri artmaktadır.

Kollektörler arasında tüm hava debilerinde ısı verimi en yüksek olan model M3, en düşük olan ise M1'dir. Günlük ortalama ısı verim kıyaslamasına göre en yüksek verim, havanın 0.035 kg/s kütle debisinde M3 kolektörü için 0.67, en düşük verim ise 0.021 kg/s için yapılan deneyde M1 kolektörü için 0.31 bulunmuştur.

Havanın artan kütle debisi ile kolektörün giriş ve çıkış noktaları arasındaki sıcaklık farkı azalmaktadır. 0.021 kg/s kütle debisinde M1, M2 ve M3 kolektörleri için havanın maksimum sıcaklık farkları sırası ile 34 °C, 37 °C ve 52 °C'dir. Tasarlanan kolektörlerin düşük ve orta sıcaklıklarda tarımsal ürünlerin kurutulmasında ve mahal ısıtma sistemlerinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

M2 ve M3 kolektörde yutucu plakanın her iki yüzeyinden faydalanılmaktadır. Bu nedenle her iki kolektörde cam tarafındaki üst yüzeyden çevreye ısı kaybı M1 kolektöre göre daha az olur. Ancak tek akışlı M1 kolektöre göre M2 ve M3 kolektörlerde ısı transfer yüzey alanı daha fazla olduğundan, bu kolektörlerde fazladan kazanılan ısı çevreye kaybedilenden daha fazladır. Bu nedenle ısı verim yönünden M2 ve M3 kolektör modelleri M1'e göre daha üstündür.

İncelenen her üç kolektör modeli için güneş ışınım yoğunluğunun artışı ile havanın kolektör giriş ve çıkış noktaları arasındaki sıcaklık farkları ve ısı verimlilik değerleri doğrusal olarak artmaktadır. Havanın sıcaklığındaki en yüksek artış 1100 W/m<sup>2</sup> ışınım değerinde 0.021 kg/s hava debisinde M3 kolektör için 52 °C olarak

bulunmuştur. Aynı ışınım değerinde en yüksek anlık ısı verim M3 kollektör için 0.035 kg/s hava debisinde % 78 olarak hesaplanmıştır.

Yenilebilir enerji kaynaklarından faydalanmak adına yapılan çalışmaları arttırarak ve havalı kollektörleri günlük hayatta daha çok alana uygulayarak ülkemizin enerji ihtiyacını daha ekonomik ve temiz olarak elde etme imkanı yakalayabiliriz.

Havalı güneş kollektörü konusunda gelecekte yapılacak çalışmalarda iç tasarımları birbirinden farklı havalı kollektörlerin ısı verimleri deneysel ve teorik olarak araştırılabilir. Ayrıca, deneylerde kullanılacak daha büyük kapasiteli fanlar sayesinde, havanın daha yüksek kütle debilerinde kollektörlerin ısı verimleri ve debi artışının ısı verime etkileri incelenebilir. Bu sayede kollektörlerin en yüksek ısı verimlerinde çalışabileceği uygun hava debileri belirlenebilir.

## KAYNAKLAR

- Ammari, H.D., 2003, A Mathematical Model Of Thermal Performance of a Solar Air Heater With Slats, *Renewable Energy*, 28, 1597-1615.
- Battal, G., 2017, Hava Isıtmalı Güneş Kollektörlerinin Dolomit Tuğlaları Kullanılarak Verimlerinin Arttırılması ve Kurutmada Uygulanması, *Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları ve Teknoloji Mühendisliği Anabilim Dalı*, Isparta 123s.
- Benli, H., Durmuş, A., 2007, Havalı Güneş Kollektörleri ve Gizli Isı Depolama Yöntemi Kullanılarak Sera Isıtılması, *Mühendis ve Makina*, 48 (569) 16-25.
- Chabanea, F., Moummia, N., Brimaa, A., Benramachec, S., 2013, Thermal Efficiency Analysis Of A Single-Flow Solar Air Heater With Different Mass Flow Rates in a Smooth Plate, *Frontiers in Heat and Mass Transfer (FHMT)*, 4, 013006.
- Gnielinski, V. (1976). New Equations for Heat Transfer in Turbulent Pipe and Channel Flow, *International Chemical Engineering*, 16 (2), 359-368.
- Ho, C.D., Chang, H., Wang, R.C., Lin, C.S., 2013, Analytical and Experimental Study of Recycling Baffled Double-Pass Solar Air Heaters with Attached Fins, *Energies* 6, 1821-1842.
- Holman, J.P., 2007, Experimental Methods for Engineers (7th Ed.). *McGraw Hill Publishing Company*. New Delhi: Tata.
- Karadağ, R., Teke, İ., 2004, The Effect of Wall Thermal Conditions On The Floor Nusselt Number in The Floor Heating System, *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 84-93.
- Kays, W.M, Crawford, M.E., 1980, Convective Heat and Mass Transfer. Second ed., *McGraw-Hill*, New York.

- Kırbaş, İ., 2006, Havalı Güneş Kollektörünün Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı*, Ankara 61s.
- Kline, S.J. ve McClintock, F.A., 1953, Describing Uncertainties in Single-Sample Experiments, *Mechanical Engineering*, 3.
- Koyuncu, T., Pınar, Y. 2001. Kırmızı Biber İçin Bir Güneşli Kurutucu Tasarımı, *Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi*, 423-430, Şanlıurfa.
- Kumar, R., Kumar, A., Chauhan, C., Sethi, M., 2016, Heat Transfer Enhancement in Solar Air Channel With Broken, *Case Studies in Thermal Engineering*, 8, 187-197.
- Kurtbas, İ. ve Durmuş, A., 2004, Efficiency and Exergy Analysis of a New Solar Air Heater, *Renewable Energy*, 29 (9), 1489-1501.
- Li Shuilian, Wang Hui, Meng Xiangrui, Wei Xinli, 2017, Comparative Study on The Performance of A New Solar Air Collector With Different Surface Shapes, *Applied Thermal Engineering*, 114, 639-644.
- Özgen F., 2007, Yutucu Plakası Silindirik Teneke Kutulardan Yapılmış Bir Havalı Güneş Kollektörünün Isıl Performansının Deneysel Olarak Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı*, Elazığ 63s.
- Petukhov, B.S., 1970, Heat Transfer and Friction in Turbulent Pipe Flow with Variable Physical Properties, *In Advances in Heat Transfer*, 6, New York: Academic Press.
- Ravi R.K., Saini R.P., 2015, A Review On Different Techniques Used For Performance Enhancement Of Double Pass Solar Air Heaters, *Alternate Hydro Energy Centre, Indian Institute of Technology Roorkee, Roorkee, Uttarakhand 247667, India*.

- Tsai, Y.C., Liu, F.B., Shen, P.T., 2009, Investigations of the pressure drop and flow distribution in a chevron-type plate heat exchanger, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36, 574–578.
- Yeh H.M., 2002, Collector Efficiency of Double-Flow Solar Air Heaters with Fins Attached, *Energy*, 27, 715-727.
- Yeh H.M., Ho C.M., 2012, Collector Efficiency in Downward-Type Double-Pass Solar Air Heaters With Attached Fins And Operated By External Recycle, *Energie*, 5, 2692-2707.
- Yıldırım C., Solmuş İ., 2014, Çift Geçişli Hava Akışkanlı Güneş Toplacı Kanal Yüksekliğinin Termohidrolik Verime Etkisinin İncelenmesi, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 34, 111-122.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Ahmet ALTUNSOY  
**Uyruğu** : TÜRK  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : KONYA - 22.06.1990  
**Telefon** : 5386542640  
**Faks** : -  
**E-Posta** : ahmet.altunsoy42@gmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Meram 75.Yıl Lisesi			2009
Üniversite	: Atatürk Üniversitesi			2014
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi			
Doktora	:			

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2016-2018	Özyeşilyurt Tarım Mak.	Üretim Müh.
2018-	Üçay Mühendislik	Mak. Müh.

### UZMANLIK ALANI

### YABANCI DİLLER

İngilizce

### BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

### YAYINLAR (TEZDEN)

**1. SELÇUK DARICI, AHMET ALTUNSOY, EXPERIMENTAL ANALYSIS ON THERMAL PERFORMANCE OF A SOLAR AIR COLLECTOR WITH DOUBLE FLOW, The International Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Engineerings and Technology in Cappadocia / TURKEY (IMSMATEC 2019), June 21-23 2019, Cappadocia-Nevsehir, Turkey, Proceedings Book pp. 369-376.**

2. **SELÇUK DARICI**, AHMET ALTUNSOY, THERMAL EVALUATION OF DOUBLE-PASS SOLAR AIR COLLECTOR BY OPERATED EXTERNAL RECYCLE, The International Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Engineerings and Technology in Cappadocia / TURKEY (IMSMATEC 2019), June 21-23 2019, Cappadocia-Nevsehir, Turkey, Proceedings Book pp. 479-485.

