



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİ BİR HAVALI GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜNÜN GELİŞTİRİLMESİ, PERFORMANS ANALİZİ VE TARIM ÜRÜNLERİNİN KURUTULMASINDA UYGULANMASI

ANIL KILIÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Termodinamik Anabilim Dalı

Mayıs-2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YENİ BİR HAVALI GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜ GELİŞTİRİLMESİ, PERFORMANS ANALİZİ VE TARIM ÜRÜNLERİNİN KURUTULMASINDA UYGULANMASI

ANIL KILIÇ

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Termodinamik Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr.Üyesi Selçuk DARICI

2018, 110 Sayfa

Jüri
Dr.Öğr.Üyesi Selçuk DARICI
Prof.Dr. H. Kürşad ERSOY
Prof.Dr. Ali KAHRAMAN

Havalı güneş kollektörleri uzun ömürlü, ağırlıkça hafif, hacim ısıtması için uygun, donma ve korozyon gibi problemleri olmayan basit yapılı cihazlardır. Bu çalışmada tarım ürünlerini güneş enerjisinden faydalanarak kurutmak için yutucu plakaları farklı üç adet düzlemsel havalı güneş kolektörü tasarlanmış, imal edilmiş ve performansları deneysel olarak araştırılmıştır. Deney seti genel olarak havalı kollektör, hava sirkülasyonu için radyal fan, kurutma kabini ve ölçme sisteminden oluşmaktadır. Çalışma kapsamında yutucu plaka yüzey geometrisi trapez profil şekline getirilmiş ve plakalara kare ve dikdörtgen profilde kanatlar eklenmiştir. Bu şekilde oluşturulan farklı kollektör modelleri test edilmiştir. Kurutma deneylerinde Konya yöresinde yetiştirilen bir taze fasulye türü kullanılmış ve kurutma havasının farklı debilerinde (0.022, 0.033 ve 0.044 kg/s) deneyler gerçekleştirilmiştir. Kollektör modelleri için havanın giriş-çıkış sıcaklığının, yutucu plaka sıcaklığının, havaya aktarılan faydalı enerjinin ve kollektör veriminin anlık değişimleri belirlenmiş ve birbirleri ile kıyaslanmıştır. Ayrıca taze fasulyenin kuruma davranışını incelemek için kuruma eğrileri çizilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, havalı güneş kolektörü, ısıl verim, kurutma

ABSTRACT

MS THESIS

DEVELOPMENT OF A NEW SOLAR AIR COLLECTOR, PERFORMANCE ANALYSIS AND IT'S APPLICATION IN DRYING OF AGRICULTURAL PRODUCTS

ANIL KILIÇ

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCEOF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Asst.Prof.Dr. Selçuk DARICI

2018, 110 Pages

Jury
Asst.Prof.Dr. Selçuk DARICI
Prof.Dr. H. Kürşad ERSOY
Prof.Dr. Ali KAHRAMAN

Solar air collectors are simple structured devices with long life, light in weight, appropriate for space heating, and with no problem of freezing or corrosion. In this study, three planar air solar collectors with different absorber plates have been designed and implemented in order to dry the agricultural products making use of solar energy. Also performances of those solar collectors have been investigated experimentally. Experimental set-up is in general composed of air collector, radial fan for air circulation, drying cabin and measurement set. Within the study the surface geometry of the absorber plate has been formed with trapezoidal profile and some fins in the form of square and rectangle have been added to the plates. Different collector models formed in that way have been tested. A kind of green bean which is widely grown in Konya-Turkey has been used in the drying experiments for three different drying air mass flow rates of 0.022, 0.033 and 0.044 kg/s. Inlet and outlet air temperatures, absorber plate temperature, useful energy transferred into the air and instantaneous changes in collector efficiency have been determined and compared for different types of collectors employed in the experiments. Furthermore drying curves have been plotted in order to analyze the drying behavior of the green bean.

Keywords: Solar energy,solar air collector, thermal effiency, drying

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında yeni bir havalı güneş kollektörünün geliştirilmesi, performans analizi ve tarım ürünlerinin kurutulmasındaki uygulaması deneysel olarak araştırılmıştır.

Bu çalışmanın, havalı güneş kollektörlerinin 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.

Anıl KILIÇ

KONYA-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iii**

ABSTRACT ..... **iv**

ÖNSÖZ ..... **v**

İÇİNDEKİLER ..... **vi**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **2**

3. GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ **6**

3.1. Düzlemsel Güneş Kollektörleri **6**
3.2. Parabolik Güneş Kollektörleri **7**
3.3. Vakum Tüplü Güneş Kollektörleri **7**
3.4. Odaklanabilen (Yoğunlaştırıcı) Güneş Kollektörleri **7**
3.5. Sıvı Akışkanlı Güneş Kollektörleri **8**
3.6. Havalı Güneş Kollektörleri **8**

4. KURUTMA TEORİSİ **9**

4.1. Tanımı ve Çeşitleri **9**
4.1.1. Güneşte kurutma 9
4.1.2. Güneş kollektörlü kurutma 9
4.1.3. Dondurarak kurutma 10
4.1.4. Tünel kurutucular 10
4.1.5. Konveyör kurutucular 10
4.1.6. Diğer kurutucular 10
4.2. Temel Kavramlar **11**
4.2.1. Nem içeriği 11
4.2.2. Nem oranı 11
4.2.3. Kuruma hızı 11
4.3. Kuruma Hızına Etki Eden Faktörler **12**
4.3.1. Ürünün kimyasal bileşimi 12
4.3.2. Ürünün boyutları 12
4.3.3. Sıcaklık 12
4.3.4. Havanın hızı 13
4.3.5. Havanın bağıl nemi 13
4.3.6. Atmosfer basıncı 13
4.4. Ürünün Kalitesini Etkileyen Faktörler **13**
4.4.1. Kurutma süresi 13
4.4.2. Kurutma havası sıcaklığı 13
4.4.3. Ürünün son nem oranı 14
4.4.4. Rehidrasyon 14

4.5. Kurutma Öncesi Yapılan İşlemler 14
4.6. Kurutulacak Üründe Aranan Özellikler 14

5. TEORİK ANALİZ 15

5.1. Eğik Yüzeye Gelen Anlık Güneş Işınımı 15
5.2. Kollektör Isıl Analizi 18
5.2.1. Kollektöre giren ısıl enerji 18
5.2.2. Kollektörden ısı kaybı 19
5.2.3. Faydalı ısıl enerji 21
5.2.4. Kollektör ısıl verimi 22
5.2.5. Kanat verimi ve etkinliği 23
5.2.6. Plaka alt yüzeyinde ısı taşınım katsayısı 24

6. DENEYSEL ÇALIŞMA 26

6.1. Deney Tesisatı 26
6.1.1. Kollektör kasası 28
6.1.2. Gövde 29
6.1.3. Kurutma kabini 30
6.1.4. Saydam örtü 31
6.1.5. Yutucu plakalar 31
6.1.6. Kanat uygulaması 33
6.1.7. Radyal fan 34
6.1.8. Kurutma tepsisi 35
6.2. Ölçümler ve kullanılan cihazlar 36
6.3. Deneyler 41
6.4. Belirsizlik Analizi 43
6.4.1. Eğik yüzeye gelen güneş ışınımı belirsizliği 44
6.4.2. Kütle debisi belirsizliği 45
6.4.3. Faydalı ısıl enerji belirsizliği 45
6.4.4. Kollektör verimi belirsizliği 46
6.4.5. Kanat verimi belirsizliği 47
6.4.6. Reynolds sayısı belirsizliği 47
6.4.7. Nusselt sayısı belirsizliği 48
6.5. Hesaplama Prosedürü İçin Bir Uygulama 49

7. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 63

7.1. Deney setinin doğrulanması 64
7.2. Nusselt Sayısının Reynolds Sayısı İle Değişimi 65
7.3. Kollektörlerdeki Sıcaklıkların Zamana Göre Değişimi 66
7.4. Havanın çıkış sıcaklığına göre karşılaştırma 74
7.5. Havanın Sıcaklık Farkına Göre Karşılaştırma 77
7.6. Güneş Işınımının Havanın Sıcaklık Farkına Etkisi 79
7.7. Kollektör Modellerinin Faydalı Enerji Yönünden Kıyaslanması 81
7.8. Hava Debisinin Faydalı Enerjiye Etkisi 83
7.9. Faydalı Isıl Enerjinin Güneş Işınımı İle Değişimi 85
7.10. Kollektör Isıl Verimlerinin Anlık Değişimi 87
7.11. Hava Debisinin Kollektör Isıl Verimlerine Etkisi 89
7.12. Isıl Verimlerin Güneş Işınımı İle Değişimi 92

7.13. Kollektörlerin Ortalama Isıl Verimleri 94
7.14. Kurutma Deney Sonuçları 94
7.14.1. Nem içeriğinin zamana göre değişimi 95
7.14.2. Kuruma hızının zamana göre değişimi 100

8. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME 105

9. KAYNAKLAR 108

ÖZGEÇMİŞ 110

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Sembol	Açıklama	Birim
A_b	Kanat tabanı kesit alanı	m^2
A_c	Hava kanalı kesit alanı	m^2
A_{cam}	Cam yüzey alanı	m^2
A_f	Kanat yüzey alanı	m^2
$A_{f,yok}$	Kanat yokken yüzey alanı	m^2
$A_{kanatsız}$	Yüzeyin kanatsız kısımlarının alanı	m^2
A_p	Yutucu plaka üst yüzey alanı	m^2
C_p	Sabit basınçta özgül ısı	kJ/kgK
D	Boru çapı	m
D_h	Kanal hidrolik çapı	m
DR	Kuruma hızı	g_{su} / g $_{km}$ dk
G_{sc}	Güneş sabiti	=1367 W/m^2
G_{s1}	Güneş başlangıç saati	-
G_{s2}	Güneş bitiş saati	-
h	Isı taşınım katsayısı	W/m^2K
$h_{kanatsız}$	Kanatsız yutucu plaka yüzeyi ısı taşınım kat.	W/m^2K
$h_{kanatlı}$	Kanatlı yutucu plaka yüzeyi ısı taşınım kat.	W/m^2K
h_w	Kollektör dış yüzeyi ısı taşınım katsayısı	W/m^2K
H	Kanal yüksekliği	m
H_0	Atmosfer dışından yatay düzleme gelen günlük güneş ışınımı	W
i	Belirli bir gün	-
I	Atmosfer dışından yatay düzleme gelen anlık güneş ışınımı	W/m^2
I_b	Yatay düzleme gelen anlık direkt ışınım	W/m^2
I_{bT}	Eğik yüzeye gelen direkt ışınım	W/m^2
I_d	Yatay düzleme gelen anlık yayılı ışınım	W/m^2
I_{dT}	Eğik yüzeye gelen yayılı ışınım	W/m^2
I_0	Atmosfer dışında yatay düzleme gelen güneş ışınımı	W/m^2
I_{ref}	Eğik yüzeye yansıyarak gelen ışınım	W/m^2
I_T	Eğik yüzeye gelen anlık toplam ışınım	W/m^2
k	Isı iletkenlik katsayısı	$W/m^{2o}C$
k_{mdf}	MDF malzemenin ısı iletim katsayısı	$W/m^{2o}C$
k_y	Yalıtım malzemesi ısı iletim katsayısı	$W/m^{2o}C$
k_T	Anlık berraklık indeksi	-
L	Malzeme kalınlığı	m
L_{mdf}	Alt yüzeyde ahşap malzeme MDF kalınlığı	m
L_y	Kollektör alt yüzeyinde yalıtım kalınlığı	m
$\dot{m}$	Havanın kütle debisi	kg/s
m_k	Kuru madde kütlesi	g
m_y	Yaş madde kütlesi	g

M_0	Başlangıç nem içeriği	g su / g km
M_{kb}	Kuru baza göre nem içeriği	g su / g km
M_t	t anındaki nem içeriği	g su / g km
M_{t+dt}	t+Δt anındaki nem içeriği	g su / g km
M_{yb}	Yaş baza göre nem içeriği	g su / g km
MR	Boyutsuz nem oranı	-
n	1 Ocak'tan itibaren gün sayısı	-
N	Cam örtü sayısı	-
$Nu_{kanatsız}$	Kanatsız yutucu plaka yüzeylerinde deneysel Nusselt sayı	-
$Nu_{kanatlı}$	Kanatlı yutucu plaka yüzeylerinde deneysel Nusselt sayı	-
Nu_s	Ampirik bağıntı ile bulunan Nusselt sayısı	-
P	Kanalın ıslak çevre uzunluğu	m
$\dot{Q}_f$	Kanattan birim zamanda gerçek ısı transferi	W
$\dot{Q}_{f,maks}$	Tüm kanat sıcaklığı taban sıcaklığına eşit olsaydı, kanattan gerçekleşecek birim zamandaki ideal ısı transferi	W
$\dot{Q}_{f,yok}$	Kanatlar yokken yüzeyden olacak ısı transferi	W
$\dot{Q}_g$	Birim zaman için kollektöre giren ısıl enerji	W
$\dot{Q}_{ışınım}$	Işınım ile ısı transferi	W
$\dot{Q}_{net}$	Birim zamanda havaya aktarılan ısı	W
$\dot{Q}_{taş}$	Birim zamanda taşınım ile ısı transferi	W
$\dot{Q}_k$	Birim zamanda toplam ısı kaybı	W
$Q_{toplam,f}$	Kanatlı bir yüzeyden toplam ısı transferi	W
$Q_{toplam,f\ yok}$	Kanatlar yokken tüm yüzeyden olacak ısı toplam transferi	W
R	Gaz sabiti	kJ/mol.K
R_{av}	Ortalama yarıçap	m
R_b	Geometrik faktör	-
t	Zaman	dakika
t_1	Başlangıç zamanı	-
t_2	Bitiş zamanı	-
T_a	Çevre havası sıcaklığı	^oC
T_b	Yutucu plaka taban sıcaklığı	C
T_{cam}	Cam yüzey sıcaklığı	^oC
$T_ç$	Kollektör çıkışında hava sıcaklığı	^oC
T_f	Kanat yüzey sıcaklığı	^oC
T_g	Kollektör girişinde hava sıcaklığı	^oC
T_p	Yutucu yüzey sıcaklığı	^oC
T_∞	Havanın yığık ortalama sıcaklığı	^oC
U_{alt}	Kollektör alt yüzeyi için ısı kayıp katsayısı	W/m^2K
U_{top}	Kollektör toplam ısı kayıp katsayısı	W/m^2K
$U_{üst}$	Kollektör üst yüzeyi için ısı kayıp katsayısı	W/m^2K
V_h	Havanın ortalama akış hızı	m/s
V_r	Rüzgâr hızı	m/s

W	Kanal genişliği	m
w	Saat açısı	
W_{A_c}	Hava kanalı kesit alanı belirsizliği	m^2
W_{A_f}	Kanat yüzey alanı belirsizliği	m^2
$W_{A_{kanatsız}}$	Yüzeyin kanatsız alanı belirsizliği	m^2
W_{A_p}	Plaka yüzey alanı belirsizliği	m^2
W_{Cp}	Sabit basınçta özgül ısı belirsizliği	kJ/kg.K
W_{Dh}	Hidrolik çap belirsizliği	m
W_β	Eğim açısı	c
W_k	Isı iletim katsayısı belirsizliği	W/mK
W_{I_b}	Yatay düzleme gelen anlık direkt ışınım belirsizliği	W/m^2
W_{I_d}	Yatay düzleme gelen anlık yayılı ışınım belirsizliği	W/m^2
w_{I_T}	Eğik yüzeye gelen toplam ışınım belirsizliği	W/m^2
$w_{\dot{m}}$	Kütle debisi belirsizliği	kg/s
w_{Nu}	Nusselt sayısı belirsizliği	-
$w_{\dot{Q}_{net}}$	Faydalı ısıl enerji belirsizliği	W
W_{R_b}	Geometrik faktör	-
W_ρ	Hava yoğunluğu belirsizliği	kg/m^3
W_{ρ_y}	Saydam örtünün yutucu yüzeyden yansıyarak gelen ışınımı yansıtma oranı	-
$w_{\eta kol}$	Kollektör verimi belirsizliği	%
$w_{\eta f}$	Kanat verimi belirsizliği	%
w_{Re}	Reynolds sayısı belirsizliği	-
w_R	Toplam hata	-
w_s	Güneş batış açısı	o
W_{T_b}	Akışkan yığık ortalama sıcaklığı belirsizliği	^oC
W_{Tg}	Giriş sıcaklığı belirsizliği	^oC
$W_{Tç}$	Çıkış sıcaklığı belirsizliği	^oC
W_{T_f}	Kanat yüzey sıcaklığı belirsizliği	^oC
W_{T_∞}	Akışkan ortalama sıcaklığı belirsizliği	^oC
w_V	Hava hızı belirsizliği	m/s
W_W	Kanal genişliği belirsizliği	m
W_H	Kanal yüksekliği belirsizliği	m
$W_{\Delta T}$	Sıcaklık farkı belirsizliği	^oC
$W_{\Delta T_{b-\infty}}$	Plaka taban sıcaklığı ile kanaldaki havanın ortalama sıcaklığı farkı belirsizliği	^oC
$W_{\Delta T_{p-\infty}}$	Plaka yüzeyi ile kanaldaki havanın ortalama sıcaklığı farkı belirsizliği	^oC
W_ν	Kinematik viskozite belirsizliği	m^2/s
υ	Kinematik viskozite	m^2/s
Δt	Zaman aralığı	dakika
η_{kol}	Kollektör ısıl verimi	%
$\eta_{kol,ort}$	Günlük kollektör ortalama ısıl verimi	%
η_f	Kanat verimi	%

β	Eğim açısı	o
φ	Kuzey enlem açısı	o
δ	Deklinasyon açısı	o
∅	Enlem açısı	o
τ	Cam örtünün geçirgenlik katsayısı	o
α	Yutucu plakanın güneş ışınımını açısal yutma oranı	-
$\tau\alpha$	Cam ve plakanın yutma-geçirme çarpanı	-
$(\tau\alpha)$	Cam ve plakanın düzeltilmiş yutma-geçirme çarpanı	-
σ	Stefan-Boltzmann sabiti	=5.67x10^{-8} W/m^2K^4
ρ	Yoğunluk	kg/m^3
ρ_y	Saydam örtünün yutucu yüzeyden yansıyarak gelen ışınımı yansıtma oranı	-
ϑ	Akışkanın dinamik viskositezi	m^2/s
ε	Yayıcılık katsayısı	-
ε_f	Kanat etkinliği	-
$\varepsilon_{f,genel}$	Kanatlı yutucu yüzeyin tamamı için toplam etkinlik	-
ε_g	Camın yayma katsayısı	-
ε_p	Yutucu plakanın yayma katsayısı	-

Kısaltmalar

MDF : Medium Density Fiberboard
Model 1 : Düz Yutucu Plakalı, Kanatsız Kollektör
Model 2 : Trapez Yutucu Plakalı, Kanatsız Kollektör
Model 3 : Trapez Yutucu Plakalı, Kare Kesit Kanatlı Kollektör
Model 4 : Trapez Yutucu Plakalı, Dikdörtgen Kesit Kanatlı Kollektör
Nu : Nusselt Sayısı
Pr : Prandl Sayısı
Re : Reynolds Sayısı
R : Hesaplanan büyüklük
RH : Bağıl Nem
RMSE : Hataların Karelerinin Karekök Ortalaması
SSE : Hataların Karelerinin Toplamı
XPS : Extruded Polystyrene Foam
kb : Kuru baz
yb : Yaş baz

1. GİRİŞ

Tarım ürünlerinin muhafazasında uygulanan işlemlerden birisi de ürünlerin kurutulmasıdır. Bu işlemle ulaşılmak istenen hedef, yaş haldeki ürünün içerisinde yer alan serbest suyu uzaklaştırarak meydana gelebilecek biyokimyasal reaksiyonların önüne geçmektir. Böylelikle gıdaların uzun ömürlü olmaları sağlanmaktadır.

Pratikte kurutma genellikle ürünler güneş altında yerlere serilerek uygulanmaktadır. Fakat açık havada uygulanan bu işlemde böceklerin, kuşların, toprak, toz ve yağmur gibi çevresel faktörlerin etkisine maruz kalan ürünlerin kalitesinde ürün miktarında kayıplar meydana gelmektedir.

Günümüzde yakıt fiyatlarının artması sebebiyle kurutmada alternatif enerji kaynaklarının kullanımına daha fazla ağırlık verilmektedir. Bu aşamada ısıtma, sıcak su temini ve kurutma işlemlerinde faydalanılan güneş enerjisi önemli bir faktördür. Güneş enerjisi ile sıvılı ya da hava ısıtmalı kollektörler kullanılarak yararlı ısı sağlanmaktadır. Hava ısıtmalı güneş kolektörleri, yutucu plaka yardımı ile ışınımı ısıl enerjisine çeviren ve havaya kazandıran bir çeşit ısı değiştiricidir. Havalı güneş kolektörleri; kolay yapılabilmesi, maliyetlerinin düşük olması, fazla bir güce ihtiyaç duymaması, yerel olanaklarla ve malzemelerle rahatlıkla imal edilebilmeleri, korozyon sorunlarının olmaması, yakıt gereksiniminin olmaması ve çevre ile dost olmaları sebebiyle, özellikle mekân ısıtma ve gıda kurutma işlemlerinde kullanılabilir. Ayrıca, ısıtma kapasitelerinin düşük olmasından dolayı, havalı kolektörlerin ısı verimleri de düşüktür. Bundan dolayı, son yıllarda hava ısıtmalı güneş kolektörleri ısıl verimini yükseltmek amaçlı gayretler göze çarpmaktadır.

Bu çalışmada, Konya iklim şartlarında alternatif enerji kaynağı kullanarak (güneş enerjili) tarımsal ürünlerin kurutulması konusu incelenmiştir. Proje kapsamında kurutma amaçlı havalı güneş kollektörlü kabin tipi bir kurutucu tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Yutucu plaka profili değiştirilmiş ve plaka yüzeylerine kanatlar eklenerek havalı güneş kolektörünün ısıl performansı arttırılmaya çalışılmıştır. Kurutma deneylerinde kullanılan taze fasulyenin havalı kollektörlü sistemde kuruma davranışı deneysel olarak incelenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

(Akbulut, 2006), yaptığı çalışmada Elazığ yöresi dutlarını kurutmuş ve kurutma parametrelerini araştırmıştır. Bu çalışmada Elazığ'da yetiştirilen dutların kurumayı etkileyen parametreleri deneysel ve teorik olarak incelenmiş ve havalı güneş kolektörü, sirkülasyon fanı ve kurutma kabininden oluşan zorlanmış taşınımlı güneş enerjili kurutma sistemi deneylerde kullanılmıştır. Üç, beş ve yedi kademeli olarak imal edilen kolektörlerin etkinlik deneyleri farklı kurutma havası debilerinde yapılmıştır.

(Aktaş ve ark., 2005), fındığın kuruma şartlarını göz önünde bulundurarak sıcaklık, nem ve ağırlık kontrollü nem yoğuşmalı bir kurutma fırını modellemesini yapmışlardır. Bu çalışmada literatürden farklı olarak, güneş enerjili kurutma sistemlerinde hem güneşten ısı enerjisi üreten hem de elektrik enerjisi üreten, aynı zamanda bu enerjiyi depolayarak 24 saat çalışabilecek bir sistem tasarımı yapılmış ve sistem domates kurutularak test edilmiştir.

(Alta ve ark., 2015), 2, 3 ve 4 m/s hava akış hızlarında düz yutucu plakalı bir güneşli hava ısıtıcının ekserjetik verimini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada bir deney seti oluşturulmuş, deney sonuçları sayısal analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

(Altıntop ve ark., 1997),alt kısımdaki bakır levha üzerine siyah mat boyalı, emici yüzey ve üzerine değmeyecek şekilde çapraz biçimde iki katlı yerleştirilmiş, yatayla 60^{o}'lik açıya sahip V biçiminde bükülerek oluşturulan siyah mat boyalı sinek telinden ikinci bir emici yüzeyi bulunan matris tip havalı güneş kollektörünü analitik olarak incelemişlerdir.

(Bhattacharyya ve ark., 2017), ekstrüzyonlu kanatlı plakalı hava ısıtıcı güneş kolektörünün performansı, çeltik kurutma uygulamaları için teorik olarak incelenmiştir. Kanat sayısının artışı ile basınç düşüşü artarken, havanın çıkış sıcaklığı önce artmış sonra azalmıştır.

(Binark ve Deliçay, 1993), yaptıkları çalışmalarda havanın dolaştığı kanalın boş olduğu, diğerlerinde ise değişik şekillerde tasarlanmış kanallara sahip üç farklı kollektörle deneyler yapmışlardır. Kollektörler için sıcaklık farkı- zaman ve verim-zaman eğrileri çizilmiştir. Düşük hızlarda çift geçişli ve çift camlı labirentli kollektörün diğerlerine göre veriminin ve sıcaklık farkının daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

(Chang ve ark., 2015), yutucu plakada kanatlar bulunan bir havalı kollektörün ısıl performansını teorik ve deneysel yöntem ile araştırmışlardır. Ayar açısı, akış ortamı ve hava giriş yönü bibi parametrelerin kollektörün ısıl performansına etkilerini incelemişler ve teorik hesaplama modelini deney sonuçları ile kıyaslamışlardır.

(Comakli ve Yuksel, 2004),dört farklı tip havalı güneş kollektörünün deney sonuçlarını sunmuşlardır. Çalışmada, kollektörlerin ekserjetik verimlilikleri hesaplanmış ve ekserjetik verimlilik temelinde karşılaştırmalar yapılmıştır.

(Dhanushkodi ve ark., 2014), her deneyde 40 kg kaju çekirdeği kurutmayı amaçlayan, dolaylı zorlanmış konveksiyonlu bir güneşli kurutucuda bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Deney sistemi güneş enerjili düz plakalı bir kollektör, kurutma odası ve bir fan içermektedir. Deneysel veriler kullanılarak nem içeriği, kollektörün ısıl verimi, sistem verimi ve kurutucu verimi gibi kurutucu performans parametreleri incelenmiştir.

(Ficarella ve ark., 2003), makarna kurutma işlemini deneysel ve sayısal olarak araştırmışlardır. Özellikle sıcaklık dağılımı açısından olayı inceleyen araştırıcılar, hava dağılımını sağlayan kollektörü modifiye etmişler ve ideal kollektöre ulaşmışlardır.

(Gallali ve ark., 2000), üzüm, incir, domates ve soğanın doğal ve güneş enerjili kurutma sisteminde kurutulmasıyla kül içeriği, nem, ekşilik, toplam şeker azalımı ve C vitamini gibi bazıkimyasal özelliklerini incelemişlerdir. Kurutulan ürünlerin doğal kurutmaya göre incelenen bütün kalite özellikleri için daha yüksek uygunluk gösterdiğini tespit etmişlerdir.

(Garg ve Datta Gupta, 1988), kanatlı tip bir hava ısıtmalı güneş kollektörünü deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Üstteki plakanın sıcaklığı alttaki plakanın sıcaklığından yüksek olacağından, üstteki plakaya eklenen kanatlarla daha yüksek verim sağlandığı görülmüştür. Sıcaklığın, üstte ve alttaki plakaların her ikisine kanatlar eklendiğinde en yüksek ve yalnız alttaki plakaya ilave edildiğinde ise en düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

(Ivanova ve Andonov, 2001), geliştirdikleri meyve ve sebze kurutucusunun enerji analizini ve ekonomik etkinliğini araştırmışlardır. Etkili kurutma için gerekli ısının güneş enerjisi, jeotermal ve atık sular, dönüşümlü kaynak veya hem dönüşümlü hem dönüşümsüz enerji kaynaklarından elde edilebileceğini belirtmişlerdir.

(Kabeel ve Mejarik, 1998), üçgen kollektörün optimum açısı ve yutucu şekil faktörünün değişiminin kollektör performansına etkisini ortaya koymuşlardır.

(Kareem ve ark., 2017), yaptıkları çalışma kapsamında yeni tasarladıkları çok geçişli güneşli hava ısıtma kollektörünü deneysel incelemişlerdir. Yazarlar bu çalışmada ayrıca tıbbi bir bitki olan Roselle'nin kuruma kinetiğini araştırmışlardır.

(Li ve ark., 2017), yutucu yüzeyi sinüzoidal oluklu, çıkıntılı, sinüzoidal oluklu-çıkıntılı ve düz plakalı dört farklı kollektör üzerinde deneysel bir araştırma yapmışlardır. Kollektörler için ısı transfer katsayıları, basınç düşüşleri ve ısıl verimler belirlenmiş ve kıyaslanmıştır.

(Metwally ve ark., 1997), oluklu kanal güneş kollektörü üzerinde deneysel bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Kollektör, hava akışı oluklara dik olan kompakt ısı değiştiricisine benzer oluklu yüzeylerden oluşturulmuştur.

(Midilli, 2003), doğal ve zorlanmış taşınımlı güneş enerjili kurutucuda, kabuklu ve kabuksuz fıstık örneklerinin kuruma davranışlarının matematiksel modellerini ortaya koymuşlardır.

(Mohammad, 1996), kollektörün üst yüzeyinden ısı kaybını azaltmak ve yutucu plakadan sağlanan ısı kazancını maksimum yapmak için, ters-akışlı ısı değiştiricisi şeklinde, ilave bir örtünün kullanıldığı bir kollektör imal ederek, bunun ısıl analizini yapmıştır. Ters akışlı hava kanalına sahip kollektörün veriminin, çift saydam örtülü ve hava akışı siyah yüzeyin yukarısında olan kollektöre göre %18 ve bir saydam örtülü kollektöre göre %25 daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

(Parker ve ark., 1998),V oluklu yutucu plaka kullanarak hava akışının yutucu yüzeyin altından, üstünden ve hem altından hem üstünden olduğu üç farklı kollektör için deneyler yapmışlardır. Bu çalışmalarda kollektörlerin ısıl performansı incelenmiştir.

(Radivoje, 2003), gıdaları kurutmak için üç yeni tasarım gerçekleştirmiştir. Bunlardan birincisi güneş enerjisini direkt ve birlikte kullanarak farklı biyolojik malzemeleri kurutmak için iki tip mobil güneş kurutucudur. İkincisi, havalı güneş kollektörü, fotovoltaik sistem ve güneş enerjisinin birlikte kullanıldığı kurutma sistemi ve son olarak da havalı güneş kollektörü ve rüzgâr enerjisinin birlikte kullanıldığı kurutma sistemidir.

(Yeh ve Ting, 1987), yaptıkları çalışmalarda cam ile yutucu plaka arasına demir talaşı doldurmak suretiyle yutucu yüzeyin ortasında olduğu normal kollektöre göre verimin% 38 artış gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Bu tez çalışmasında, farklı yutucu plakalara sahip kollektörler tasarlanmış, imal edilmiş ve Konya iklim şartlarında performans testleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kollektörlerden elde edilen sıcak hava ile kurutma kabinlerindeki tepsilere dizilen yeşil fasülye dilimleri de kurumaya tabi tutulmuştur. Kollektör modellerinin ve hava debisinin kollektör verimine ve ürünün kuruma kinetiğine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Bu çalışma, yenilenebilir enerji kaynakları yönünden oldukça zengin olan ülkemizde, hacim ısıtması ve kurutma uygulamalarında fosil yakıt tüketimini ve böylece çevre kirliliğini azaltmak için havalı güneş kollektörlerinden yararlanmanın önemine dikkat çekmektedir.

3. GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ

Geliştirilmiş absorber sayesinde güneş enerjisini ısıl enerjiye dönüştüren sistemlere güneş kollektörleri adı verilir. Günümüzde en yaygın su ısıtma alanında kullanılırlar. Genel olarak güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan güneş kollektörleri, ısı ve elektrik enerjisini doğal kaynaklardan üretmeyi sağlar. Kollektörlerde, düzlemsel bir plaka tarafından yutulan güneş enerjisinden bir akışkan (sıvı veya hava) vasıtasıyla ısı transferi gerçekleştirilir. Sistemde kullanılan akışkana yutulan enerji sayesinde taşınım ve iletim yolu ile ısı geçişi sağlanır. Ayrıca kollektörün dış yüzeyinden dış ortama, yüzey sıcaklığı ve ısı taşınım katsayısına bağlı olarak ısı kaybı gerçekleşir. Kollektörde yutulan enerjiden dış ortama geçen ısıl enerji çıkarıldığında akışkana aktarılan faydalı enerji bulunur. Bu enerji akışkanın ısıtılmasında kullanılır.

Güneş kollektörleri temel olarak dört grupta incelenebilir.

1. Düzlemsel güneş kollektörleri,

2. Vakum tüplü güneş kollektörleri,

3. Parabolik güneş kollektörleri,

4. Odaklanabilen (yoğunlaştırıcı) güneş kollektörleri.

3.1. Düzlemsel Güneş Kollektörleri

Düzlemsel güneş kollektörleri, güneş enerjisinin toplandığı ve herhangi bir akışkana (sıvı veya hava) ısı olarak aktarılan çeşitli biçimlerdeki kollektörlerdir. Düzlemsel kollektörler güneş enerjisini faydalı ısıya dönüştüren ısı değiştiricileri olarak da düşünülebilir. Isı değiştiricisinden farkı ise, güneş enerjisinin devamlı bir enerji kaynağı olmamasıdır. Uygulamada kullanılan düzlemsel kollektörler genel olarak dört ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar sırası ile saydam örtü, yutucu yüzey, ısı yalıtımı ve kollektör kasasıdır.

3.2. Parabolik Güneş Kollektörleri

Güneş ışınımlarının parlak yüzey haline getirilmiş eğrisel bölgelerin üzerinden yansıyarak odak noktasında toplandığı güneş kollektörleridir. Böylece mevcut olan güneş ışınımının büyük bir kısmından faydalanılır. Bu bakımdan parabolik kollektörler, düzlemsel kollektörlere göre daha verimli çalışabilmektedir. Bu kollektörler başta elektrik üretimi olmak üzere buhar ve sıcak hava üretiminde de tercih edilirler.

3.3. Vakum Tüplü Güneş Kollektörleri

Vakumlu tip güneş kollektörleri genellikle vakumlanmış bir tüp içerisinde bulunan ısı borusundan oluşur. Bazı durumlarda yutucu yüzeye gelen enerjiyi arttırmak için sisteme çeşitli yansıtıcılar eklenebilir. Düzlemsel tip kollektörlere göre daha yüksek çıkış sıcaklıklarına ulaştıkları için kullanım alanları geniştir.

3.4. Odaklanabilen (Yoğunlaştırıcı) Güneş Kollektörleri

Güneş enerjisi çalışmalarında daha yüksek sıcaklıklara çıkmayı hedefleyen sistemler için kullanılan kollektör tipidir. Genel yapı olarak düzlemsel tip kollektörler ile aynı özelliklere sahiptir. Düzlemsel tipten farkı ise odaklanabilen tip toplayıcılarda güneş ışınımı yutucu yüzeye gelmeden önce çok küçük bir alanda optik olarak yoğunlaştırılır. Böylece yüzey alanı küçültülerek açığa çıkarılan ısı yüksek değerlere ulaşır.

Bu tip kollektörler doğrusal ve noktasal odaklamalı olarak ikiye ayrılır. Doğrusal tiplerde siyah bir yutucu boru kullanılır. Noktasal tiplerde ise iki eksende güneş takip edilerek odaklama bölgesinde yoğunlaştırılır.

Güneş kollektörleri taşıyıcı akışkana göre de sınıflandırılabilir.

1. Sıvı akışkanlı (sıvılı) güneş kollektörleri,
2. Hava akışkanlı (havalı) güneş kollektörleri.

3.5. Sıvı Akışkanlı Güneş Kollektörleri

Günümüzde sıvı akışkanlı güneş kollektörlerinin en sık kullanım alanı sıcak su üretimidir. Bunun nedeni yüksek sıcaklık isteyen uygulamalarda enerji sağlama yönünden en uygun ve ekonomik kollektör tipidir. İmalat yönünden de diğer tiplere göre daha kolaydır. Çalışma şekli en genel anlamda, seçilen sıvı akışkanın güneş enerjisini yutarak ısıl enerjiye dönüştürmesidir.

3.6. Havalı Güneş Kollektörleri

Havalı güneş kollektörleri, temelde güneş enerjisini havaya aktaran ısı değiştiricileridir. Genel olarak bir yutucu plaka, saydam cam örtü, plakayla bütünleşmiş veya altına yerleştirilmiş kanallar, yalıtım malzemesi ve kasadan oluşmaktadır. Kollektörlerin en önemli kısmı, gelen güneş enerjisini yutarak bu enerjiyi ısınma havasına aktaran yutucu plakalardır.

Havalı güneş kollektörleri belirli bir hacmi ısıtma ve ürün kurutma uygulamaları gibi birçok alanda kullanılabilir. Kurutma uygulamalarında havalı kollektör tasarımlarının en önemli özelliği ekonomik olmasıdır. Güneş enerjili kurutma sistemlerinde havalı kollektörlerin önemli bir yeri vardır. Bu nedenle havalı kollektör sistemlerinde en iyi performans için birçok yeni tasarım örneği geliştirilmektedir. Bu tip kollektörlerde ısı taşınım katsayısı düşük olduğundan ısı transfer yüzeyi oldukça önemlidir. Isı transfer yüzeyinin çeşitli profillerle arttırılması, aktarılan ısıyı arttıracağından verimi de olumlu yönde etkiler. Ancak bu geniş yüzey alanı sistemin taşınabilirliğini zorlaştıracağından seçilen malzeme özellikleri önemlidir. Taşınması zor olan tiplere geliştirilen tekerlek aparatıyla destek verilebilir.

4. KURUTMA TEORİSİ

Gıdaların uzun ömürlü olması için insanoğlu günümüze kadar kurutma işlemini uygulamıştır. Kurutma ham ya da yarı işlenmiş katı ve sıvı gıdaların içerdikleri suyun büyük bir bölümünün kontrollü bir şekilde ısıtılarak buharlaştırma veya süblimasyon yöntemiyle materyalden uzaklaştırılmasıdır. Kurutma proseslerinde ısı ve kütle transferi eş zamanlı gerçekleşir.

4.1. Tanımı ve Çeşitleri

Kurutma, kısaca ürünün içindeki sıvının uzaklaştırılması anlamına gelir. Başka bir ifadeyle kurutma, meyve ve sebzelerin içerisindeki %95'e varan suyun %10 dolaylarına indirilerek daha uzun süre dayanıklı olmasına olanak verir. Fakat bu sırada renk, tat ve besin değerinin mümkün olduğunca az değişime maruz kalması önemlidir. Kurutma aynı zamanda saklama açısından oldukça ekonomiktir. Kurutulmuş gıdaların taşıma işlemleri daha kolay olup, boyutlarının küçülmesi saklanmasına elverişli ortam sağlar.

4.1.1. Güneşte kurutma

Güneş enerjisinden yararlanılarak açık ortamda gerçekleştirilen kurutmadır. Doğal kurutma şeklinde de tanımlanabilir. Fakat bu yöntem, açık alanda gerçekleştirilmesi sebebiyle toz, toprak, yağmur, böcek ve güneşin gıda üzerinde meydana getirdiği lekelenmeler gibi olumsuz etkileri de beraberinde getirmektedir.

4.1.2. Güneş kollektörlü kurutma

Bu kurutma işlemi, bu çalışmanın konusunu kapsayan ve güneş enerjisinden yararlanarak yapılan fakat açık ortama kıyasla birçok avantajı bulunan kontrollü bir yöntemdir. Sistemde yer alan kurutma kabini sayesinde ürünler doğrudan güneşe ve zararlı etkilerine maruz kalmaksızın tadını, rengini ve besin değerini muhafaza etmektedir. Ayrıca gerek duyulduğu taktirde güneş ışığının yeteri düzeyde olmadığı zamanlarda sisteme eklenecek bir ısıtma sistemi ile sıcak hava elde etme imkanı sağlar.

4.1.3. Dondurarak kurutma

Dondurarak kurutma işleminde ilk olarak materyal özel fırınlarda dondurulur. Devamında oluşan buz, vakum yöntemiyle buhar halinde emilir ve kondansatörler aracılığıyla sistemden uzaklaştırılır. Bu yöntem besin değerinin korunması açısından diğer yöntemlere kıyasla daha üstün olmasına karşı yatırım maliyeti açısından yüksektir.

4.1.4. Tünel kurutucular

Bu kurutucular kabin kurutucuların daha gelişmişidir. Kabin kurutucularından ayrılan en önemli farkı, ürünlerin bir ray üzerinde hareket ediyor olmasıdır. Çeşitli tiplerde tünel kurutucuları mevcuttur. Bunlar hava ve ürünün birbirine göre hareket yönlerine göre paralel akışlı ve zıt akışlı olarak ikiye ayrılır. Paralel akışta sıcak hava önce taze ürünle temasa geçerken, zıt akışta hava önce en kurumuş ürünle temasa geçerken soğuyarak nemi atar ve son olarak ıslak ürünle temasa geçer.

4.1.5. Konveyör kurutucular

Konveyör kurutucular, sürekli bant sistemi olarak da adlandırılır. Çalışma sisteminin mantığı tünel kurutucuları gibidir. Ayrıldığı nokta ise devamlı çalışan bir bant üzerinde bulunan ürünlerin alttan ve üstten sıcak hava almasıdır. Bu kurutucular sezonluk büyük miktarda ürünün kurutulması açısından oldukça uygundur.

4.1.6. Diğer kurutucular

Yukarıdaki kurutma yöntemleri genellikle parçacıklı ve taneli ürünlerde uygulanmaktadır. Patates püresi domates suyu gibi sıvı ve yarı sıvı ürünlerin kurutulmasında diğer yöntemler uygulanmaktadır. Bunların önde gelenleri köpük kurutucular, püskürtme sistemli kurutucular ve vakum tipi kurutuculardır.

4.2. Temel Kavramlar

4.2.1. Nem içeriği

Nem içeriği, ürünün içerisindeki su miktarının, “Yaş baz” (yb) ve ”Kuru baz” (kb) olmak üzere iki şekilde belirtilmesidir. Yaş bazda nem içeriği, ürün içinde bulunan su kütlesinin ürünün toplam kütlesine oranı olarak tanımlanmaktadır.

$$M_{yb} = \frac{m_y}{m_y + m_k} \tag{4.1}$$

Kuru bazda nem içeriği, ürün içindeki su kütlesinin kuru madde kütlesine oranı olarak tanımlanmaktadır (ASAE 1982).

$$M_{kb} = \frac{m_y}{m_k} \tag{4.2}$$

4.2.2. Nem oranı

Kurutma işlemi esnasında herhangi bir t anındaki ürün içinde bulunan buharlaşabilecek nem içeriğinin (M_t), başlangıçtaki nem içeriğine (M_0) oranına boyutsuz nem oranı (MR) denir. Nem oranı eşitlik (4.3) ile hesaplanır.

$$MR = \frac{M_t}{M_0} \tag{4.3}$$

4.2.3. Kuruma hızı

Kuruma hızı, ürünün kurutulması sırasında içerdiği nem miktarının birim zamanındaki değişimidir. Kuruma hızı (4.4) eşitliği ile hesaplanabilir.

$$DR = \frac{M_t - M_{t+\Delta t}}{\Delta t} \tag{4.4}$$

Burada M_t, kuru baza göre ürünün t anındaki nem içeriği, $M_{t+\Delta t}$ ise kuru baza göre ürünün $t + \Delta t$ anındaki nem içeriğidir.

4.3. Kuruma Hızına Etki Eden Faktörler

4.3.1. Ürünün kimyasal bileşimi

Ürünün kimyasal bileşimi kuruma boyunca değişir.

- ✓ Erimiş maddelerce zengin olan tuz, şeker gibi küçük moleküllü ürünler, bu maddeleri hiç bulundurmayan ürünlerden daha zor kurur.
- ✓ Suyun buhar basıncını düşürmede çözünmüş maddeler oldukça etkilidir. Bu durum suyun buharlaşmasını güçleştirir.
- ✓ Ortamdaki yağ da kuruma hızını sınırlar.
- ✓ Nişasta gibi zengin maddelerin kurutulması da oldukça güçtür. Bunun nedeni; nişasta ve diğer gam maddelerini oluşturan jel içinde tutulan suyun ortamdan çok zor uzaklaşmasıdır.
- ✓ Glikoz içeren ürünler de aynı şekilde geç kurur.
- ✓ Sebzelerde su, hücre içinde ve hücreler arasında bulunur. Hücreler arasındaki suyun uzaklaşması kurutmayı kolaylaştırır. Haşlama işlemiyle hücreler arasındaki su kolayca uzaklaştırılarak daha hızlı bir kurumaya olanak sağlanır.

4.3.2. Ürünün boyutları

Kullanılan ürünün ebatlarının kuruma hızına etkisi çok büyüktür. Kuruma hızı, ürünlerin yüzey alanı ile doğru, kalınlıkları ile ters orantılıdır. Bu nedenle, kurutulacak ürünler ham halinin aksine kalitesini bozmayacak şekilde küçük parçacıklar halinde kurutulur. Ancak yine de tüketim alanları sebebiyle bazı durumlarda ürünler iri halde bırakılabilir. Bu nedenle tüketicinin isteği bu noktada önemlidir.

4.3.3. Sıcaklık

Sıcaklık, ısı transferi bakımından oldukça önemlidir. Kurutma havası ve kurutulacak ürün arasındaki sıcaklık farkı ne kadar fazla olursa o kadar etkili bir ısı transferi gerçekleşir ve kuruma hızı yükselir. Ayrıca çevre havasının yüksek sıcaklıkta olması, üründen uzaklaşan su buharının yakalanma kapasitesini de artırır.

4.3.4. Havanın hızı

Havanın hızı ürünün kurumasına olumsuz yönde etki eder. Bunun nedeni, havanın hızındaki artışın kurutulan ürünün yüzey sıcaklığını düşürmesidir. Ayrıca yüksek hızlarda havadan ürüne ısı transferi kısıtlanacağından, yeterli miktarda ısı akışı sağlanamaz ve kurutma beklenenden az olur.

4.3.5. Havanın bağıl nemi

Kurutulacak olan ürün ile havanın bağıl nemi arasında bir denge sağlanana kadar kurutma işlemi devam eder. Bu nedenle havanın son nemi önemlidir. Son nem aynı zamanda kurumanın hangi seviyeye kadar gerçekleşeceğini de ortaya çıkarır.

4.3.6. Atmosfer basıncı

Atmosfer basıncı düştükçe buharlaşmaya bağlı olarak kuruma hızı yükselir. Bunun nedeni ise, ürün üzerinde oluşan atmosfer basıncının etkisi azaldıkça ürünün daha kolay buharlaşma ortamı bulmasıdır. Bu durumda deniz seviyesindeki kuruma hızı en yüksek seviyede olacaktır.

4.4. Ürünün Kalitesini Etkileyen Faktörler

4.4.1. Kurutma süresi

Kurutma süresi ürünün miktarına ve cinsine göre değişiklik gösterir. Kurutma uygulamalarında kurutma süresini ve enerji kullanımını en az olacak şekilde dış faktörleri oluşturmak genel amaçtır. Kontrollü sistemlerde yüksek sıcaklıkta, kuruma süresini kısaltmak uygundur. Ancak burada esas amaç, ürünün kalitesini bozmadan en kısa sürede kurutma işlemini gerçekleştirmektir.

4.4.2. Kurutma havası sıcaklığı

Kurutma havası sıcaklığı, ürünün içerdiği su miktarına bağlı olarak ortamdan ısı alıp, ürünün içerdiği suyu ısı transferi ile dışarı atmasında önemli rol oynar. Yüksek

hava sıcaklıkları ürüne ısı transferinin artmasını sağlar ve sonuçta buharlaşma hızı artar. Bu durumda ürün içindeki nem yüzeye daha hızlı ve kolay çıkar.

4.4.3. Ürünün son nem oranı

Literatürde kurutulmuş ürünlerde genellikle uygun nem oranının % 10 civarında olması gerektiği belirtilmektedir. Bu değerden daha küçük veya daha büyük nem oranlarında ürünün su çekme kapasitesine bağlı olarak sert veya ezilmiş bir yapı gözlenebilir. Ayrıca nem değerinin uygun olmaması, ürünün depolanma süresini kısaltarak mikroorganizmaların üremesine yol açabilir.

4.4.4. Rehidrasyon

Rehidrasyon, kısaca kurutulan ürüne tüketilmeden önce verilen su ile eski haline döndürülmesidir. Bu özellik katı ürünlerde olduğu gibi sıvı ürünlerde de görülür. Ancak bu işlem sırasında suyun belirli bir sıcaklıkta ve ölçekte olması gerekir. Rehidrasyon işlemi kurutulmuş ürünün kalitesini doğrudan etkilemektedir.

4.5. Kurutma Öncesi Yapılan İşlemler

Kurutma işleminden önce ürünlere ayıklama, sınıflandırma, yıkama, kabuk soyma, dilimleme, doğrama, haşlama, kükürtleme ve çeşitli kimyasal çözeltilere daldırma gibi bazı ön işlemlerin uygulanması gerekir. Bu ön işlemlerde standart şekil ve boyutlarda ürün seçilmesi, sağlıklı koşullara uyulması, ürünlerin hızlı kurutulması, renk tat besin değerlerinin korunması ve mikrobiyal gıda bozulmasını engelleyerek ürünlerin dayanma süresini artırmak amaçlanmaktadır.

4.6. Kurutulacak Üründe Aranan Özellikler

Kurutulacak ürünlerin seçiminde istenilen bazı özellikler şunlardır:

- Mevsim ürünün en bol olduğu dönem olmalı,
- Meyveler hasat olgunluğuna ulaşmış olmalı,
- Doğal rengine sahip olmalı,
- Sebzeler taze ve gevrek olmalıdır.

5. TEORİK ANALİZ

5.1. Eğik Yüzeye Gelen Anlık Güneş Işınımı

Güneş enerjili sistemlerin uygulama alanlarında genellikle eğik yüzeylere ihtiyaç duyulmaktadır. Eğik düz yüzeyli kollektörler direkt, yayılı ve yansıyan ışınımı yutarlar. Eğik yüzeylere gelen anlık ışınım hesabında yatay yüzeylere gelen anlık toplam güneş ışınımı ile bunların direkt ve yayılı ışınımlarından faydalanılır.

Deney yapılan günlerde yatay düzleme gelen anlık (saatlik) ışınım değerleri piranometreden alınmıştır. Konya'nın φ=36.5 derece kuzey enlem açısı için Ağustos ayındaki izafi güneşlenme süreleri dikkate alınmıştır.

Deklinasyon açısı, δ, güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Bu açı (5.1) denklemi ile hesaplanabilmektedir.

$$\delta = 23.45\, sin\,(360\frac{284+n}{365}) \qquad (5.1)$$

Burada n, 1 Ocak'tan itibaren gün sayısıdır.

Çizelge 5.1'de her bir ayı temsil eden ortalama gün için n değerleri verilmiştir. n değerleri, bu çizelge yardımı ile yılın istenilen ayına bağlı olarak bulunabilir.

Çizelge 6.1. Her bir ayı temsil eden ortalama gün için n değerleri (Yiğit A ve İ, 2010)

Ay	Belirli bir gün için n değeri	Ayı temsil eden gün	Ortalama gün için n değeri	Deklinasyon δ
Ocak	i	17	17	-20.9
Şubat	31+i	16	47	-13.0
Mart	59+i	16	75	-2.4
Nisan	90+i	15	105	9.4
Mayıs	120+i	15	135	18.8
Haziran	151+i	11	162	23.1
Temmuz	181+i	17	198	21.2
Ağustos	212+i	16	228	13.5
Eylül	243+i	15	258	2.2
Ekim	273+i	15	288	-9.6
Kasım	304+i	14	318	-18.9
Aralık	334+i	10	334	-23

Güneş batış saat açısı, (5.2) denklemi ile hesaplanır.

$$w_s = cos^{-1}[-\tan \emptyset \ \tan \delta] \quad (5.2)$$

Bu ifadede,

$\emptyset$: Enlem açısıdır.

Atmosfer dışında yatay düzleme gelen günlük güneş ışınımı için denklem,

$$H_0 = \frac{24\,x360G_{sc}}{\pi}\left[1 + 0.33\cos\left(\frac{360n}{365}\right)\right][\cos \emptyset \ \cos \delta \ \sin w_s + \frac{2\pi w_s}{360}\sin \emptyset \sin \delta] \quad (5.3)$$

şeklindedir. Burada G_{sc}=1367 W/m^2 güneş sabitidir.

Başlangıç ve bitiş saatleri için saat açıları (5.4) ve (5.5) denklemi ile bulunur.

$$w_1 = 15(G_{s1} - 12) \quad (5.4)$$

$$w_2 = 15(G_{s2} - 12) \quad (5.5)$$

Burada G_{s1} ve G_{s2} sırası ile başlangıç ve bitiş güneş saatleridir.

Atmosfer dışında yatay düzleme gelen güneş ışınımı,

$$I_0 = \frac{12x3600}{\pi}G_{sc}\left[1 + 0.33\cos\left(\frac{360\,n}{365}\right)\right][\cos \emptyset \cos \delta\,(\sin w_2 - \sin w_1) + \frac{2\pi(w_2 - w_1)}{360}\sin \emptyset \sin \delta] \quad (5.6)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Anlık berraklık indeksi, yatay yüzeye gelen anlık toplam ışınımın (I) atmosfer dışında birim yatay düzleme gelen anlık toplam ışınıma (I_o) oranı olarak,

$$k_T = \frac{I}{I_0} \quad (5.7)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada, I değeri piranometreden alınabilir.

Yatay düzleme gelen anlık yayılı ışınım, I_d, (J.F.Orgill ve K.G.Hollands, 1977) tarafından verilen aşağıdaki korelasyondan bulunur.

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1.0 - 0.249k_T, & k_T < 0.35 \\ 1.557 - 1.84k_T, & 0.35 < k_T < 0.75 \\ 0.177, & k_T > 0.75 \end{cases} \quad (5.8)$$

Denklem (5.8) ile verilen korelasyon Kanada'da bulunan istasyonlarda yapılan ölçümlere bağlı olarak elde edilmiştir. 1984-1992 yılları arasında Gebze'de yapılan ölçümler sonucu (Tiris M ve ark., 1996) tarafından elde edilen denklem ise,

$$\frac{I_d}{I} = 0.788\text{-}0.802k_T, \qquad (0.625<k_T<0.6) \quad (5.9)$$

şeklindedir.

Yatay düzleme düşen anlık direkt ışınım miktarı, I_b,

$$I_b = I - I_d \quad (5.9)$$

ifadesi ile belirlenebilir.

Geometrik faktör, R_b, eğik yüzeye gelen anlık direkt ışınımın (I_{bT}), yatay yüzeye gelen anlık direkt ışınıma (I_b) oranı olarak tanımlanmaktadır. Geometrik faktör R_b, kuzey yarımkürede güneye dönük yüzey için ($\tau = 0^o$),

$$R_b = \frac{cos(\emptyset-\beta)\cos\delta\ \cos w + sin(\emptyset-\beta)\sin\delta}{\cos\emptyset\ \cos\delta\ \cos w + \sin\emptyset\ \sin\delta} \quad (5.10)$$

şeklindedir. Burada,

β : Eğim açısı,

w: Işınım hesabı yapılan başlangıç ve bitiş saati ortasındaki güneş saati (Örneğin; saat 12:00-13:00 aralığı için güneş saati $w = 12.5$'tir.)

Eğik yüzeye gelen anlık direkt ışınım, I_{bT},

$$I_{bT} = R_b\ I_b \quad (5.11)$$

ile bulunur.

Eğik yüzeye gelen anlık yayılı ışınım, I_{dT},

$$I_{dT} = I_d \frac{1+\cos\beta}{2} \quad (5.12)$$

ifadesi ile hesaplanabilir.

Eğik yüzeye yansıyarak gelen anlık ışınım, I_{ref},

$$I_{ref} = (I_b + I_d)\rho\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) = I\rho\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \quad (5.13)$$

eşitliği ile bulunabilir. Burada, ρ, yerin yansıtma oranıdır. ρ, yerde kar olmaması durumunda 0.2, yerde kar bulunması durumunda 0.7 alınması önerilmektedir. Yerin yansıtma oranı yerdeki kar durumunun yanında, bitki örtüsüne ve topografik yapıya bağlı olarak değişir ve ortalama 0.2 değeri hesaplamalarda kullanılabilir.

Eğik yüzeye gelen anlık toplam güneş ışınımı, I_T, eğik yüzeye gelen direkt, anlık ve yansıyan ışınım değerleri toplanarak bulunur.

$$I_T = I_{bT} + I_{dT} + I_{ref} \quad (5.14)$$

5.2. Kollektör Isıl Analizi

Kollektöre gelen güneş ışınımının bir kısmı ısıya dönüşürken geri kalanı çevreye dağılmaktadır. Ortalama yutucu yüzey sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki farkın artması, ısıl kayıpları da orantılı şekilde artırmaktadır.

5.2.1. Kollektöre giren ısıl enerji

Eğik kollektör yüzeyine gelen anlık toplam güneş ışınımı ile birim zamanda kollektöre giren ısıl enerji (5.15) denklemi ile belirlenebilir.

$$\dot{Q}_g = I_T(\tau\alpha)A_p \quad (5.15)$$

Burada,

I_T : Eğik yüzeye gelen anlık toplam ışınım yoğunluğu (W/m^2),

τ : Cam örtünün geçirgenlik katsayısı,

α :Yutucu plakanın güneş ışınımını açısal yutma oranı,

$\tau\alpha$: Cam ve plakanın yutma-geçirme çarpanı,

$(\tau\alpha)$: Cam ve plakanın düzeltilmiş yutma-geçirme çarpanı,

A_p : Yutucu plaka üst yüzey alanı (m^2)' dir.

Güneşten gelen ışınımın yutucu yüzey tarafından ne kadarının yutulup yayıldığı önemlidir. Yutma geçirme çarpanı veya düz toplayıcı optik verimi adı verilen bu değer aşağıdaki ifade ile bulunabilir (Yiğit A ve İ, 2010).

$$(\tau\alpha) = \tau\alpha \sum_{n=0}^{\infty}[\ ((1-\alpha)\ \rho_y)^n\ =\ \frac{\tau\alpha}{1-(1-\alpha)\rho_y}] \qquad (5.16)$$

Burada,

ρ_y: Saydam örtünün yutucu yüzeyden yansıyarak gelen ışınımı yansıtma oranıdır. Bu değer Çizelge 5.2'den alınabilir.

Çizelge 5.2. Camların, yutucu levhanın yansıttığı ışınımı geri yansıtma oranları (Yiğit ve Atmaca, 2010)

Cam Sayısı	**1**	**2**
Düşük Fe_2O_3'li cam	0.154	0.233
Pencere camı	0.143	0.202

5.2.2. Kollektörden ısı kaybı

Kollektör üzerine gelen güneş ışınımının bir kısmı saydam örtü üzerinden yansır, bir kısmı ise yutulur. Geriye kalan ışınım ise yutucu plaka yüzeyine ulaşır. Yutucu yüzeye gelen ışınımın bir kısmı kollektör içinden geçmekte olan havaya aktarılırken, diğer kısmı da çevreye yayılır.

Kollektörde meydana gelen ısı kayıpları birçok parametreye bağlıdır. Işınım şiddeti, çevre sıcaklığı, rüzgâr hızı, saydam örtü, yutucu yüzey özellikleri, yalıtım malzemesi olmak üzere daha birçok etken sayılabilir.

Güneş enerjili havalı kollektörden çevreye ısı kaybı, kollektörün alt, üst ve yan yüzeylerinden gerçekleşir. Yutucu yüzey sıcaklığı, T_p ve çevre sıcaklığı, T_a, arasındaki ısı kaybı (5.17) denklemi ile bulunabilir.

$$\dot{Q}_k\ =\ U_{top}A_p(T_p - T_a) \qquad (5.17)$$

Burada,

U_{top}: Kollektörün toplam ısı kayıp katsayısı (W/m^2°C),

A_p : Yutucu plaka yüzey alanı (m^2),

T_p : Yutucu plaka yüzeyinin ortalama sıcaklığı (°C),

T_a : Çevre sıcaklığı (°C)'dir.

Kollektöre gelen güneş ışınımının bir kısmı yutucu yüzeyde depolanır. Geri kalan kısmı ise iletim, taşınım ve ışınım yolu ile çevreye kaybolur. Düz kollektörlerde çevreye olan ısı geçişi, kollektörlerin üst, alt ve yan yüzeylerinden olur. İyi tasarlanmış ve yalıtılmış bir kollektörde, yüzey alanı küçük olan yan yüzeylerden oluşan düşük değerlerdeki ısıl kayıplar ihmal edilebilir. Yutucu yüzey sıcaklığı T_p, ile, çevre sıcaklığı, T_a, arasındaki toplam ısı kayıp katsayısı U_{top}, kollektörün üst yüzey ve alt yüzey ısı kayıp katsayıları toplanarak belirlenebilir.

$$U_{top} = U_{alt} + U_{üst} \tag{5.18}$$

Burada U_{alt} ve $U_{üst}$ değerleri çok sayıda parametrenin fonksiyonudur. Bu parametreler yutucu plaka özellikleri, cam örtü sayısı ve optik özellikleri, yalıtım malzemesi türü ve kalınlığı, kollektör eğim açısı, geometrik boyutlar, plaka ve çevre sıcaklıklarıdır. Isıl direnç yöntemi ile $U_{üst}$ ısı kayıp katsayısının hesaplanması çok uzun ve zahmetli bir iterasyon süreci gerektirir. Bu nedenle $U_{üst}$, pratikte daha çok tercih edilen ve denklem (5.19) ile verilen basit yarı ampirik ifade kullanılarak hesaplanmaktadır (Yiğit ve Atmaca, 2010).

$$U_{üst}=\left[\frac{N}{\frac{C}{T_p}\left(\frac{T_p-T_a}{N+f}\right)^{0.33}}+\frac{1}{h_w}\right]^{-1}+\frac{\sigma(T_p+T_a)(T_p{}^2+T_a{}^2)}{[\varepsilon_p+0.05N(1-\varepsilon_p)]^{-1}+\left(\frac{(2N+f-1)}{\varepsilon_g}\right)-N} \tag{5.19}$$

Burada,

N: Cam örtü sayısı,

f =(1-0.04h_w + 0.0005 h_w^2) (1+0.091N)

C =250[1-0.0044(β-90)]

h_w= 5.7+3.8 V_r

β : Kollektör eğim açısı,

ε_g: Camın yayma katsayısı,

ε_p: Yutucu plakanın yayma katsayısı,

T_a: Çevre sıcaklığı ^oC,

T_p: Yutucu plaka yüzey sıcaklığı ^oC,

h_w: Kollektör dış yüzeyi ısı taşınım katsayısı ($W/m^{2o}C$)

V_r : Rüzgâr hızı (m/sn),

σ : Stefan-Boltzmann sabiti (=5.67 x 10^{-8} W/m^2K^4)' dir.

Kollektörün alt kısmından ısı kaybı, ilk olarak alttaki yalıtım malzemesinin içinden alt kısımdaki ahşap gövdeye doğru nakledilir. Daha sonra da birleştirilmiş taşınım ve ışınım ile çevreye ısı geçişi olur. Alt kısımdan ısı kaybı hesabında, genellikle düşük sıcaklıktaki yüzeyden yayılan ışınımın küçük olması nedeni ile ihmal edilebilir. Kollektör alt yüzeyi için ısı kayıp katsayısı,

$$U_{alt}=\frac{1}{\frac{L_y}{k_y}+\frac{L_{mdf}}{k_{mdf}}+\frac{1}{h_w}} \quad (5.20)$$

denklemi ile bulunur. Burada,

k_y: Yalıtım malzemesi ısı iletim katsayısı (W/m°C),

L_y: Kollektör alt yüzeyinde yalıtım kalınlığı (m),

L_{mdf}: Alt yüzeyde ahşap malzeme MDF kalınlığı (m),

k_{mdf}: MDF malzemenin ısı iletim katsayısı (W/m°C)'dir.

5.2.3. Faydalı ısıl enerji

Havalı kollektöre güneşten gelen toplam enerjiden ısı kayıpları çıkarıldığında havaya aktarılan faydalı ısıl enerji bulunur. Kollektörde kararlı hal koşullarında havaya aktarılan birim zamandaki faydalı ısıl enerjiyi bulmak için (5.21) veya (5.22) denklemi kullanılabilir.

$$\dot{Q}_{net} = \dot{Q}_g - \dot{Q}_k \quad (5.21)$$

$$\dot{Q}_{net} = \dot{m}c_p\left(T_{ç} - T_g\right) \quad (5.22)$$

Burada,

$\dot{m}$: Havanın kütle debisi (kg/s),

c_p: Havanın sabit basınçta özgül ısısı (J /kgK),

T_g: Havanın kollektöre giriş sıcaklığı (°C),

$T_{ç}$: Havanın kollektörden çıkış sıcaklığı (°C)'dir.

Havanın kütle debisi,

$$\dot{m}=\rho V_h A_c \tag{5.23}$$

ifadesi ile bulunur. Burada,

ρ: Havanın yoğunluğu (kg/m^3),

V_h: Havanın ortalama hızı (m/s),

A_c: Hava akış kanalının kesit alanı (m^2)'dir.

5.2.4. Kollektör ısıl verimi

Düzlemsel bir güneş kollektörünün anlık ısıl verimi, birim zamanda akışkana aktarılan faydalı ısıl enerjinin, ışınım vasıtası ile kollektöre giren birim zamandaki ısıl enerjiye oranı olarak tanımlanır. Burada tanımlanan verimlilik, bir güneş kollektörünün kendi yüzeyine ulaşan güneş ışınımının ne kadarını ısıl enerjiye dönüştürebildiğini ifade etmektedir.

$$\eta_{kol}=\frac{\dot{Q}_{net}}{I_T A_p} \tag{5.24}$$

Burada,

$\dot{Q}_{net}$: Birim zamanda havaya geçen faydalı ısı (W),

I_T: Eğik yüzeye gelen anlık toplam ışınım yoğunluğu (W/m^2),

A_p: Yutucu plaka üst yüzey alanı (m^2)'dir.

Uygulamada günlük ortalama kollektör verimi daha önemlidir. Kollektörün deney süresince günlük ortalama ısıl verimi (5.25) ifadesi ile bulunabilir.

$$\eta_{kol,ort}=\frac{\int_{t_1}^{t_2}\dot{Q}_{net}}{A_p\int_{t_1}^{t_2}I_T} \quad (5.25)$$

5.2.5. Kanat verimi ve etkinliği

Isı transferini arttırmak için yutucu plakanın hava ile temas eden alt yüzeylerine eklenen kanatların verimi (5.26) denklemi ile belirlenebilir.

$$\eta_f=\frac{\dot{Q}_f}{\dot{Q}_{f,maks}}=\frac{hA_f(T_f-T_\infty)}{hA_f(T_b-T_\infty)}=\frac{T_f-T_\infty}{T_b-T_\infty} \quad (5.26)$$

Burada,

$\dot{Q}_f$: Kanattan birim zamanda gerçek ısı transferi (W),

$\dot{Q}_{f,maks}$: Tüm kanat sıcaklığı taban sıcaklığına eşit olsaydı, kanattan gerçekleşecek birim zamandaki ideal ısı transferi (W),

A_f: Kanat yüzey alanı (m^2),

T_b: Taban sıcaklığı (°C),

T_f: Kanat yüzey sıcaklığı (°C),

T_∞ : Kanaldan geçen havanın ortalama sıcaklığı (°C),

$h_{kanatlı}$: Kanatlı yutucu plaka yüzeyi ısı taşınım katsayısı (W/m^2°C)'dir.

Kanat performansı, kanatsız duruma kıyasla ısı transferindeki artış esasına göre değerlendirilir. Bir kanadın etkinliği,

$$\varepsilon_f=\frac{\dot{Q}_f}{\dot{Q}_{f,yok}}=\frac{\eta_f hA_f(T_b-T_\infty)}{hA_b(T_b-T_\infty)}=\frac{A_f}{A_b}\eta_f \quad (5.27)$$

olarak tanımlanır. Burada,

A_b: Kanat tabanı kesit alanı (m^2)'dir.

Kanatlı yutucu yüzeyin tamamı için toplam etkinlik, kanatlı bir yüzeyden toplam ısı transferinin, kanatlar yokken aynı yüzeyden olacak ısı transferine oranı,

$$\varepsilon_{f,genel} = \frac{Q_{toplam,f}}{Q_{toplam,f\ yok}} = \frac{h\left(A_{kanatsız}+\eta_f A_f\right)(T_b-T_\infty)}{hA_{f\ yok}\,(T_b-T_\infty)} = \frac{\mathrm{A_{kanatsız}} + \eta_f \mathrm{A_f}}{\mathrm{A_{kanatsız}}} \quad (5.28)$$

olarak tanımlanabilir. Burada,

$A_{f\ yok}$: Kanatlar yokken yutucu yüzey alanı (m^2),

$A_{kanatsız}$: Yüzeyin kanatsız kısımlarının alanı (m^2),

dir. Toplam etkinlik, kanatlı yüzeyin genel performansını belirlemek için, kanatların tek tek etkinlik değerine göre daha iyi bir ölçü olarak kullanılabilir.

5.2.6. Plaka alt yüzeyinde ısı taşınım katsayısı

Kanaldaki hava akışı için Reynolds sayısı, denklem (5.29) ile bulunur.

$$\mathrm{Re} = \frac{\mathrm{V_h D_h}}{\vartheta} \quad (5.29)$$

Burada,

V_h: Kanaldan geçen havanın ortalama hızı (m/s),

ϑ : Akışkanın dinamik viskositezi $(\mathrm{m^2/s})$'dir.

Kanalın hidrolik çapı, denklem (5.30) ile bulunur.

$$D_h = \frac{4A_c}{P} \quad (5.30)$$

Burada,

A_c: Kanalın kesit alanı (m^2),

P: Kanalın ıslak çevre uzunluğu (m)'dir.

Sürekli koşullarda yutucu plaka için enerji dengesi gereği, kanalda akan havaya kazandırılan faydalı ısı, yutucu plaka yüzeyinden taşınım ile havaya geçen ısıya eşit olmalıdır. Kanatsız ve kanatlı yutucu plaka yüzeylerinden taşınım ile havaya geçen ısı miktarları (5.31) ve (5.32) eşitlikleri ile bulunur.

$$\dot{Q}_{net} = h_{kanatsız} A_p (T_p - T_\infty) \quad (5.31)$$

ve

$$\dot{Q}_{net} = h_{kanatlı}\left[A_{kanatsız} + \eta_f A_f\right](T_b - T_\infty) \quad (5.32)$$

Kanatsız ve kanatlı yutucu plakaların akışa temas eden yüzeylerindeki ısı taşınım katsayıları sırası ile,

$$h_{kanatsız}=\frac{\dot{Q}_{net}}{\mathrm{A_p(Tp-T\infty)}} \quad (5.33)$$

ve

$$h_{kanatlı}=\frac{\dot{Q}_{net}}{(A_{kanatsız}+\eta_f A_f)(T_b-T_\infty)} \quad (5.34)$$

denklemleri ile hesaplanabilir.

Kanatsız ve kanatlı yutucu plaka yüzeylerinde deneysel Nusselt sayıları sırası ile,

$$Nu_{kanatsız} = \frac{h_{kanatsız}D_h}{k} \quad (5.35)$$

ve

$$Nu_{kanatlı} = \frac{h_{kanatlı}D_h}{k} \quad (5.36)$$

eşitliklerinden bulunur.

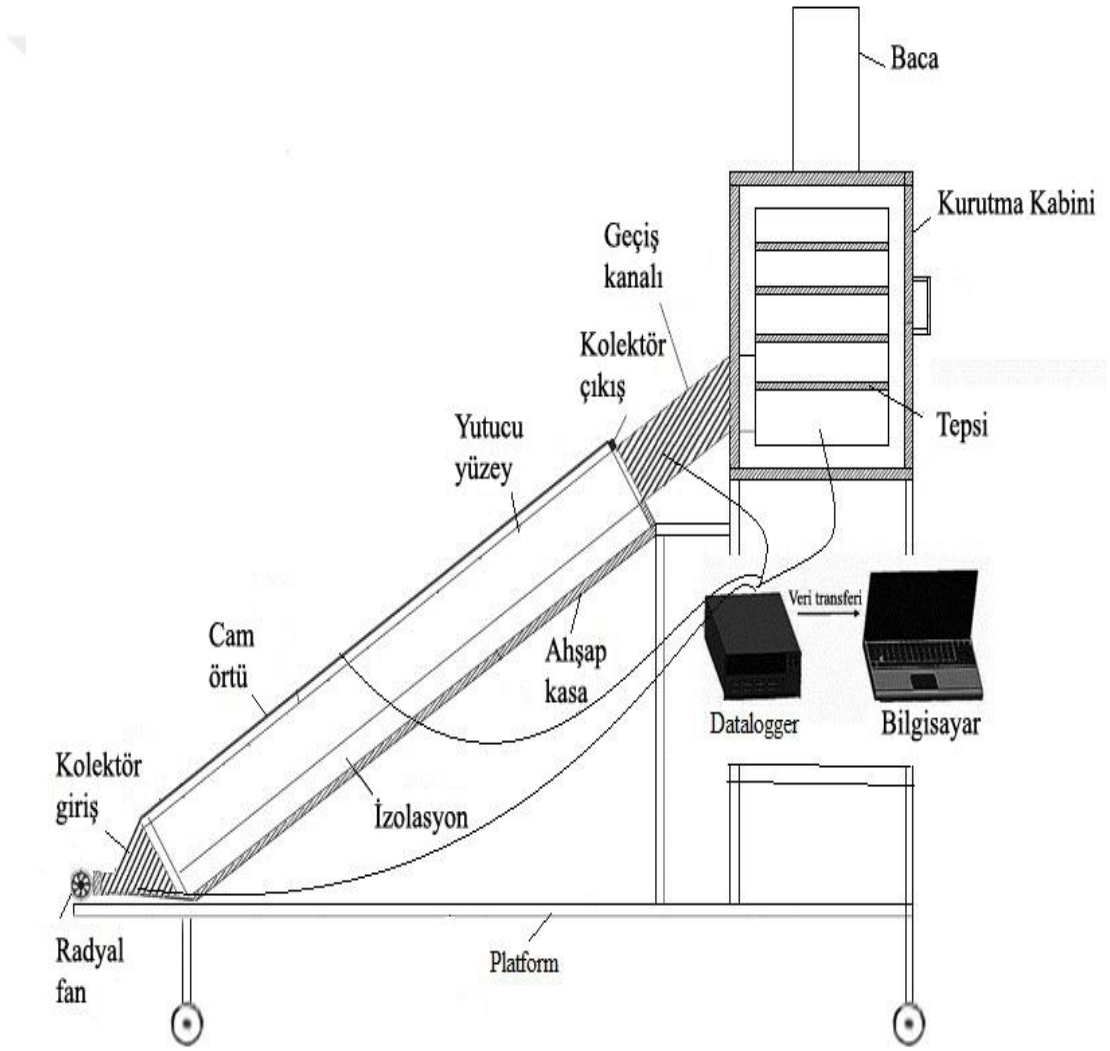
Havanın ısıl özellikleri, akışkanın kollektöre giriş ve kollektörden çıkış sıcaklıklarına göre hesaplanan ortalama sıcaklık (denk. 5.37) esas alınarak hava tablosundan alınabilir.

$$\boldsymbol{T_\infty = \frac{T_g+T_ç}{2}} \quad (5.37)$$

6. DENEYSEL ÇALIŞMA

6.1. Deney Tesisatı

Deney tesisatı; cam örtü, yutucu plaka ve ahşap kasadan oluşan güneş kollektörü, hava giriş-çıkış ve bağlantı kanalları, radyal fan, kurutma kabini ve ölçme sisteminden oluşmaktadır. Deney tesisatının şematik görünümü Şekil 6.1'de, tesisata ait bir resim Şekil 6.2'de, sıcaklık ölçme düzeneği ise Şekil 6.3'de verilmiştir. Deney tesisatını oluşturan elemanların özellikleri aşağıda ayrıntılı olarak açıklanacaktır.



Şekil 6.1. Deney tesisatının şematik görünümü



Şekil 6.2. Deney tesisatına ait bir resim



Şekil 6.3. Sıcaklık ölçme düzeneği

6.1.1. Kollektör kasası

Kollektör kasaları, dış boyutları 196 x 98.5 x 20 cm olacak şekilde 18 mm kalınlıkta MDF (Medium Density Fiberboard) malzemeden imal edilmiştir. Kollektörden çevreye ısı kayıplarını azaltmak amacı ile kasaların alt ve yan yüzeyleri 5 cm kalınlıkta XPS (Extrude Polistren Köpük) levha ile yalıtılmıştır. Hava kanalının ve kurutma kabininin sızdırmazlığı plastik fitil ve silikon ile sağlanmıştır. Eş zamanlı deneyler yapabilmek ve bunları kıyaslayabilmek için üç adet kollektör imal edilmiştir. Şekil 6.4'de montaj aşamasındaki bir kollektör kasası, Şekil 6.5'de ise yalıtılmış bir kollektör kasası görülmektedir.



Şekil 6.4. Kollektör kasası



Şekil 6.5. Yalıtılmış kollektör kasası

6.1.2. Gövde

Kollektör kasasının ve kurutma kabininin montajı için gerekli gövde 40x40 mm boyutlarında profil malzemeden kaynaklı bağlantı ile imal edilmiştir. Deney düzeneğinin taşınabilir olması için gövdenin alt köşelerine dört adet tablalı frenli mobilya tekeri monte edilmiştir. Deney sırasında sıcaklık değerlerini ölçmek ve kaydetmek amacı ile kullanılan veri kayıt cihazı ve bilgisayarı yerleştirmek için kurutma kabininin altına bir tabla konulmuştur. Gövdenin yüksekliği 125 cm, genişliği 58 cm, boyu 225 cm'dir. Şekil 6.6'da henüz kollektör kasası ve kurutma kabini monte edilmemiş durumda bir kollektör gövdesi görülmektedir.



Şekil 6.6. Kollektör gövdesi

6.1.3. Kurutma kabini

Kollektörden çıkan sıcak hava, kollektör ile kurutma kabinini birleştiren sac malzemeden yapılmış olan bir bağlantı kanalından geçerek kurutma kabinine girmektedir. Kabinin dış boyutları 65 x 50 x 50 cm'dir. Kurutma kabini 18 mm kalınlıkta MDF malzemeden imal edilmiştir. Kabinin iç yan duvarlarına, kurutulacak ürünlerin konulacağı tepsileri yerleştirmek üzere ahşap malzemeden eşit aralıklı kızaklar yapılmıştır. Çevreye ısı kaybını azaltmak için kabin duvarları iç taraftan 5 cm kalınlıkta XPS köpük levha ile yalıtılmış, hava sızdırmazlığı ise pencere fitili ve şeffaf silikon ile sağlanmıştır. Kurutma havasının dış ortama tahliyesi için kabinin üst duvarında 10 cm çapında bir hava çıkış bacası açılmıştır. Kurutulacak ürünleri kabine yüklemek ve kabinden almak amacı ile kabinin bir duvarına menteşeli bir kapak yapılmıştır. Şekil 6.7'de kurutma kabini görülmektedir.



Şekil 6.7. Kurutma kabini

6.1.4. Saydam örtü

Kollektörlerde saydam örtü olarak 4 mm kalınlıkta iki adet pencere camı kullanılmıştır. Camlar kollektör kasalarının kenarlarına açılan çıkıntılar üzerine yerleştirilmiştir. Camların sızdırmazlık işlemi ise cam macunu ile yapılmıştır.

6.1.5. Yutucu plakalar

Tüm kollektör modellerinde kullanılan yutucu plakalar 0.3 mm kalınlıkta alüminyum sacdan hazırlanmıştır. Her bir kollektör modelinde farklı tip yutucu plakalar kullanılmıştır. Trapez kesitli yutucu plakalar 0.3 mm'lik düz sac bükülerek

oluşturulmuştur. Düz yutucu plaka boyutları 85 x 182 cm'dir. Yutucu plakalar yutma katsayısı 0.95 olan siyah mat bir boya ile boyanmıştır. Trapez kesitli yutucu plakanın bir görünümü Şekil 6.8'de verilmiştir.

Kollektör içinde hava akışı yutucu plakanın altından sağlanmaktadır. Düz yutucu plaka takılı durumda hava akış kanalının yüksekliği 8.5 cm, genişliği ise 85 cm'dir.

Deneysel çalışmada yutucu plaka yüzey profilinin ve yutucu yüzeye kanat eklenmesinin kollektörün ısıl verimine ve kurumaya etkilerini araştırmak için dört farklı model yutucu plaka tasarlanmıştır. Kollektör modellerine ait yutucu geometrileri ve ısı transferi yüzey alanları Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Kollektör modelleri

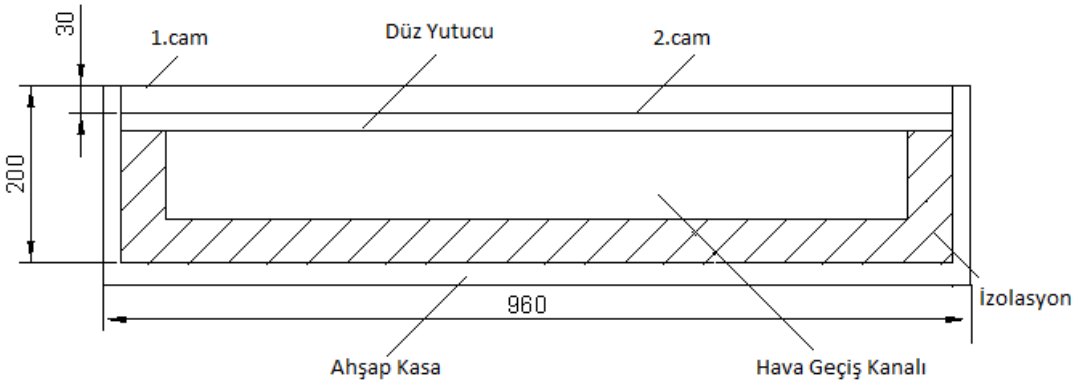
Model	**Yutucu plaka**	**Isı transferi yüzey alanı (m^2)**
Model 1	Düz, kanatsız	1.5470
Model 2	Trapez kesit, kanatsız	1.5638
Model 3	Trapez kesit, kare kanatlı	5.2562
Model 4	Trapez kesit, dikdörtgen kanatlı	8.1522



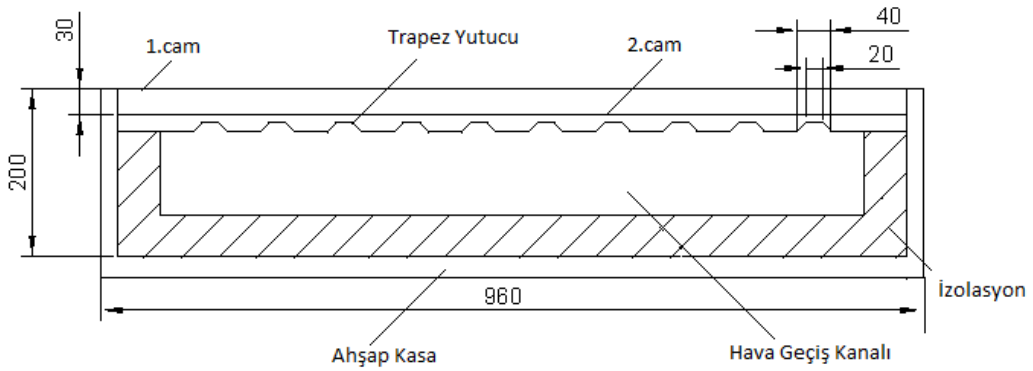
Şekil 6.8. Trapez kesitli yutucu plakanın görünümü

6.1.6. Kanat uygulaması

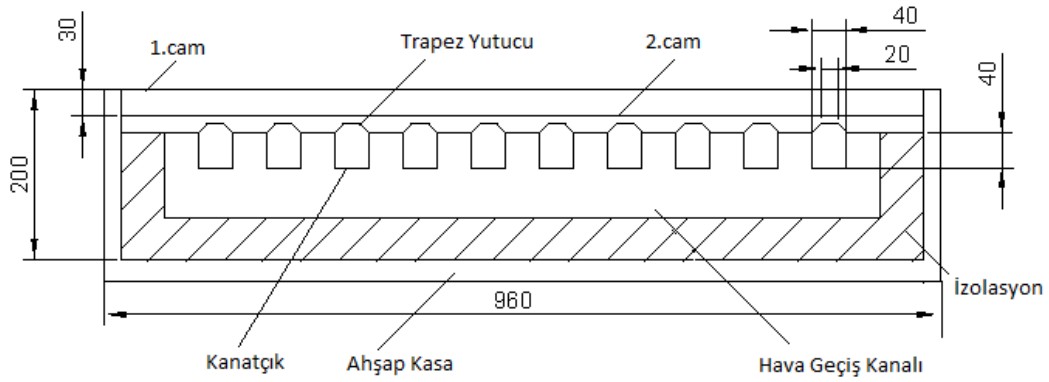
Yüzey alanını genişleterek yutucu plakadan havaya ısı geçişini arttırmak amacı ile, trapez kesitli plakanın alt yüzeylerine akışa paralel yönde kanatlar monte edilmiştir. Kanatlar yutucu plaka ile aynı malzemeden ve aynı kalınlıkta yapılmıştır. Model 3'de kenar uzunluğu 4 cm olan kare kesitli, Model 4'de ise genişliği 4 cm, yüksekliği 8 cm olan dikdörtgen kesitli kanatlar kullanılmıştır. Kanatlar yutucu yüzeye belirli aralıklarda alüminyum perçinlerle monte edilmiştir. Kollektör modellerinin kanal kesit görünüşleri ve boyutları sırası ile Şekil 6.9, Şekil 6.10, Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'de verilmiştir.



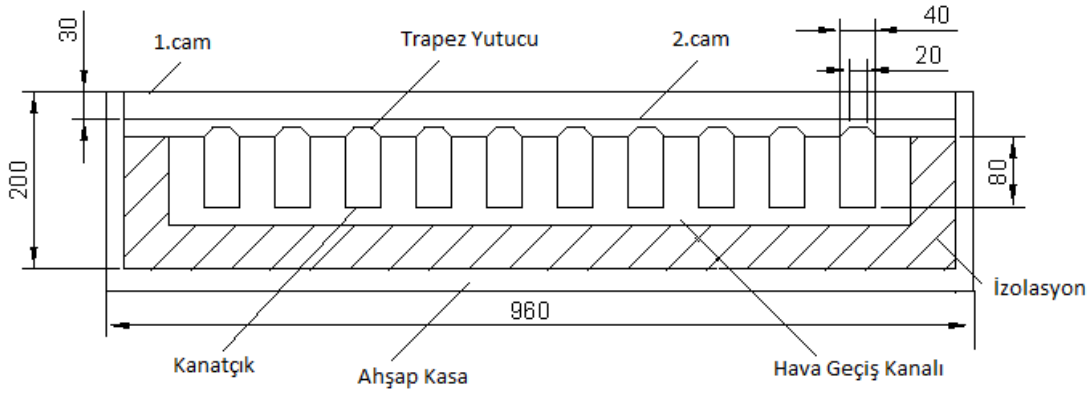
Şekil 6.9. Kanal kesit görünüşü (Model 1)



Şekil 6.10. Kanal kesit görünüşü (Model 2)



Şekil 6.11. Kanal kesit görünüşü (Model 3)



Şekil 6.12. Kanal kesit görünüşü (Model 4)

6.1.7. Radyal fan

Kanal içinde hava akımını sağlamak için her bir kollektör girişine bir radyal fan monte edilmiştir. Fan 90 W gücünde, 2450 devir/dakika ve 275 m^3/h debi kapasiteli tek emişli sac gövdeli olup, monofaze elektrik motoru ile tahrik edilmektedir. Deneylerde kullanılan radyal fanlara ait bir resim Şekil 6.13'de verilmiştir.



Şekil 6.13. Radyal fan

6.1.8. Kurutma tepsisi

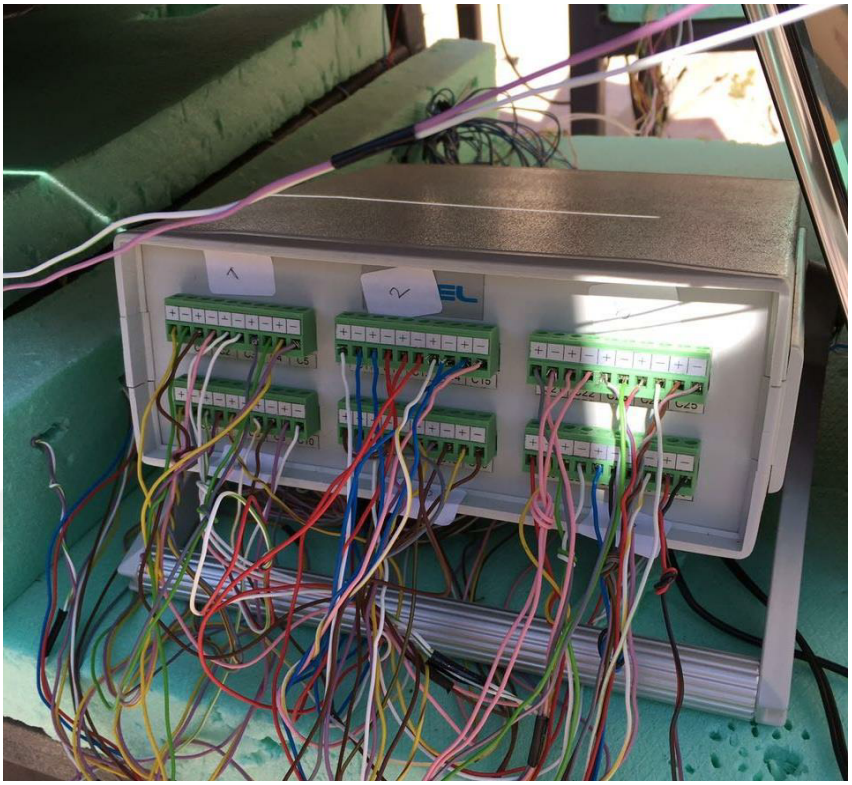
Kurutulacak ürünleri üzerine dizmek için, 40x40 cm boyutlarında gözenekli telden kurutma tepsileri hazırlanmıştır. Deneylerde her bir kurutma kabininde üç adet olmak üzere toplam 9 adet tepsi kullanılmıştır. Şekil 6.14'de kurutma tepsilerinden bir görünüm verilmiştir.



Şekil 6.14. Kurutma tepsisi

6.2. Ölçümler ve kullanılan cihazlar

Her bir kollektörde 10 adet olmak üzere toplam 30 ayrı noktadan sıcaklık ölçülmüştür. Sıcaklık ölçümleri K tipi termokupl telleri ile yapılmıştır. Sıcaklık değerleri veri kayıt cihazı ve ona bağlı bir bilgisayar ile anlık olarak izlenmiş ve istenilen zaman aralıklarında bilgisayara kaydedilmiştir. Deneylerde sıcaklıkları ölçmek ve kaydetmek için kullanılan 30 kanallı veri kayıt cihazı Şekil 6.15'de görülmektedir.



Şekil 6.15. Veri kayıt cihazı

Havanın ortalama akış hızını ve bağıl nemini ölçmek için bir dijital anemometre kullanılmıştır. Anemometre 0.4-60 m/s hız ve 0-%100 bağıl nem ölçme aralıklarına sahiptir. Doğruluk değerleri ise hız ölçümü için 0.03 m/s ve bağıl nem için 0.1'dir. Deneylerde kullanılan anemometre Şekil 6.16'da görülmektedir.



Şekil 6.16. Anemometre

Deneylerde kurutulacak ürünlerin kütle ölçümünde kullanılan hassas terazi "Jadever" marka SKY 300 model, maksimum 300 g kapasiteli ve 0.01 g hassasiyetindedir. Deneylerde kullanılan terazinin görünümü Şekil 6.17' de verilmiştir.



Şekil 6.17. Hassas terazi

Yatay düzleme gelen güneş ışınımı yoğunluğu deney yapılan yere 100 m uzaklıktaki bir binanın çatısında kurulu olan bir piranometreden alınmıştır. Bu piranometrenin bulunduğu yere ait bir resim Şekil 6.18'de görülmektedir.



Şekil 6.18. Piranometre

Konya'nın bazı yörelerinde yetiştirilen ve şehir merkezindeki bir semt pazarından temin edilen taze fasülyelerden alınan numuneler öncelikle nem belirleme cihazında kurutulmuş ve ürünlerin ilk nem içeriği belirlenmiştir. Nem belirleme cihazı "Precisa" marka, 124 g kapasiteli ve 0.001 g ölçme hassasiyetindedir. Söz konusu cihaza ait bir resim Şekil 6.19'da görülmektedir.

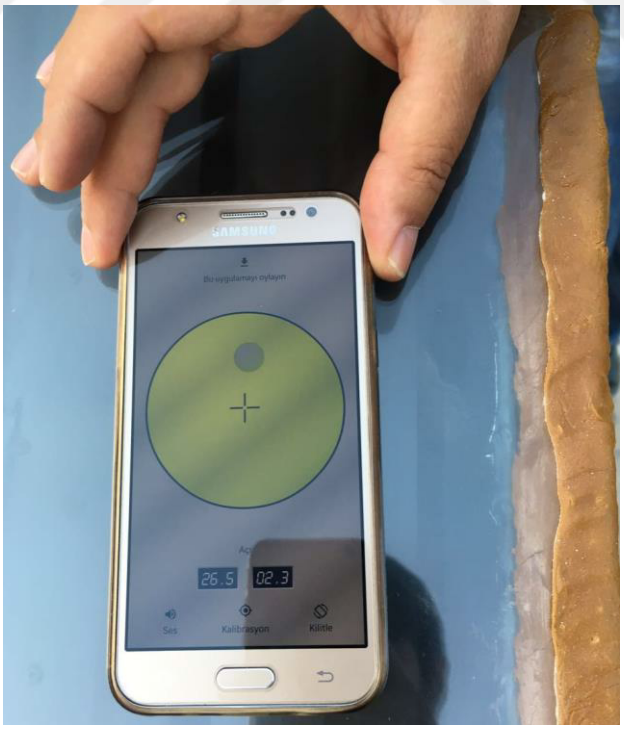


Şekil 6.19. Nem tayin cihazı

Hava kollektörlü kurutma sisteminin sadece yaz mevsiminde kullanılması planlandığından, kollektörün yatay düzlem ile yaptığı eğim açısı, literatürde önerildiği gibi (Duffie J.A ve Beckman, 1980). Konya'nın 36.52^{o} enlem açısından 10° düşük olacak şekilde 26.5^{o} olarak ayarlanmıştır Bu amaçla deneylerden önce kollektör gövdesinin yatay düzleme paralelliği kontrol edilmiş ve deney tesisatı deney yerinde buna göre konumlandırılmıştır (Şekil 6.20 ve 6.21).



Şekil 6.20. Gövdenin yatay düzleme paralellik kontrolü



Şekil 6.21. Kollektör eğim açısı kontrolü

6.3. Deneyler

Deneylerde kurutulan ürün, Konya'nın çevre bazı köylerinde yetiştirilen bir taze fasulye türüdür. Bir semt pazarından temin edilen fasulyeler aynı nem içeriğine gelmesi için buzdolabında bir gün bekletilmiştir. Buzdolabından çıkarılan fasülyeler ayrıca ortam sıcaklığında 2 saat bekletilmiştir. Fasulyeler yıkanıp dilimlendikten sonra hassas terazi ile tartılmış ve her bir tepsiye 200 g olarak dizilmiştir. Tepsiler ise kabine yerleştirilmiş ve gün boyunca kurutulmuştur. Deneyler 2016 yılının Ağustos ayında havanın açık olduğu güneşli günlerde yapılmıştır. Kurutma işlemine saat 09.00'da başlanmış, saat 18.00'de son verilmiştir. Kurutma deneyleri sırasında eş zamanlı olarak güneş altında açık havada kurutma işlemi de gerçekleştirilmiştir. Hem kollektörle hem de güneş altında yapılan kurutmada fasulyelerin kütleleri her saat başlarında hassas terazi ile ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

Bu çalışmada güneş kollektörüne havanın giriş ve çıkış sıcaklıkları, yutucu plaka üst yüzey sıcaklığı, kanat yüzey sıcaklığı, plaka alt yüzey sıcaklığı, cam örtü sıcaklığı ve çevre sıcaklığı bir veri kayıt cihazı ile kaydedilmiş ve deney sonunda veriler bilgisayara aktarılmıştır. Sıcaklık ölçümleri K tipi termokupl telleri ile yapılmıştır. Rüzgâr hızı ise bir anemometre ile ölçülmüştür. Kollektör girişindeki dairesel boruda havanın ortalama hızı anemometre ile ölçülmüş ve kütlesel debi eşitliğinden faydalanarak kanal içindeki ortalama akış hızı belirlenmiştir. Kabin içindeki havanın bağıl nemi higrometre (Kestrel 4300, ±% 0.1) ile ölçülmüştür. havanın akış hızı, fanın devir sayısı bir dimmer ile değiştirilerek ayarlanmıştır.

Bu çalışmada kollektöre giren havanın bağıl nemi de ölçülmüştür. Ancak giriş havası bağıl neminin etkisi incelenmemiştir. Ayrıca kollektör giriş ve çıkışı arasında oluşan basınç düşüşleri de ölçülmeye çalışılmıştır. Ancak basınç düşüşü değerlerinin çok küçük olduğundan, U ve eğik manometrelerde seviye farkı gözlenmemiştir. Çalışma kapsamında hassas bir fark basınç ölçer cihazı temin edilemediğinden, bu çalışmada basınç düşüşü incelenememiştir.

Deneysel çalışmalarda ölçülen verilerin doğruluğunun belirlenmesi gerekir. Bu çalışmada literatürde çok kullanılan (Kline ve McClintock, 1953) belirsizlik analizi yöntemi kullanılarak hata analizi yapılmıştır. Deneylerde genel olarak hava sıcaklığı, akış hızı ve güneş ışınımı değerleri ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler ile havanın kütle debisi, havaya aktarılan faydalı ısıl enerji ve kollektörlerin ısıl verimleri hesaplanmıştır.

Deneylerde kurutulan fasulyelerin kurutma öncesi ve sonrası görünüşleri Şekil 6.22 ve Şekil 6.23'de gösterilmiştir.



Şekil 6.22. Kurutma öncesi dilimlenmiş taze fasulyeler



Şekil 6.23. Fasulyelerin kurutulmuş hali

Deneylerde parametre olarak belirlenen havanın kütle debisi değerleri ve test edilen kollektör modelleri için kullanılan kısaltmalar Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2 Deney koşulları

Deney No	Kütle debisi, $\dot{m}$ (kg/s)	Kollektör modeli
1	0.022	M2, M3, M4
2	0.033	M2, M3, M4
3	0.044	M2, M3, M4
4	0.022	M1, M2, M4
5	0.033	M1, M2, M4
6	0.044	M1, M2, M4

6.4. Belirsizlik Analizi

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 hatalar göz önüne alındığında ölçülen değişkenlere göre hesaplanan bir büyüklükteki toplam hatayı bulmak için belirsizlik analizi adı verilen bir yöntem kullanılmaktadır. Bu yönteme göre herhangi bir R büyüklüğünün hata (belirsizlik) miktarı (6.1) denklemi ((Holman, 2007) ile belirlenmektedir.

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2\right)^2 + \ \ldots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n\right)^2\right]^{1/2} \qquad (6.1)$$

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.

Çizelge 6.3'de deneylerde kullanılan ölçme cihazlarından ve ölçme yapan kişiden kaynaklanan hatalar verilmiştir. Ölçme cihazlarından kaynaklanan belirsizlikler cihaz kataloglarından alınmış, yanlış okuma hataları ise tecrübi olarak belirlenmiştir (Kavak ve ark., 1999).

Çizelge 6.3. Deneylerdeki ölçme hataları

Ölçülen değişken	Cihaz doğruluğu	Okuma hatası	Birim	Toplam hata
Boru çapı ve uzunluk	--	± 0.0003	m	± 0.0003
Güneş ışınımı	± 0.1	± 0.001	W/m^2	± 0.1
Hava akış hızı	± 0.03	± 0.01	m/s	± 0.03
Özgül ısı	--	± % 0.1	kJ/kgK	± % 0.1
Sıcaklık	± 0.1	± 0.365	^{o}C	± 0.38
Yoğunluk	--	± % 0.1	kg/m^3	± % 0.1

6.4.1. Eğik yüzeye gelen güneş ışınımı belirsizliği

Eğik kollektör yüzeyine gelen güneş ışınımı belirsizlik değeri denklem (6.3) kullanılarak belirlenebilir.

$$W_{I_T} = \left[\left(\frac{\partial I_T}{\partial I_b}W_{I_b}\right)^2 + \left(\frac{\partial I_T}{\partial R_b}W_{R_b}\right)^2 + \left(\frac{\partial I_T}{\partial I_d}W_{I_d}\right)^2 + \left(\frac{\partial I_T}{\partial \beta}W_{\beta}\right)^2 + \left(\frac{\partial I_T}{\partial \rho_y}W_{\rho_y}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \quad (6.2)$$

$$W_{I_T} = \left[\left[R_b + \rho_y\left(\frac{1-\text{Cos}\beta}{2}\right)W_{I_b}\right]^2 + (I_b W_{R_b})^2 + \left[\left(\frac{1+\text{Cos}\beta}{2}\right) + \rho_y\left(\frac{1-\text{Cos}\beta}{2}\right)W_{I_d}\right]^2 + \left[\frac{I_d Sin\beta}{2}(\rho_y - 1)W_{\beta}\right]^2 + \left[(I_b + I_d)\left(\frac{1-\text{Cos}\beta}{2}\right)W_{\rho_y}\right]^2\right]^{1/2} \quad (6.3)$$

Tüm modeller için eğik yüzeye gelen ışınıma ait minimum ve maksimum belirsizlik değerleri Çizelge 6.4'de verilmiştir.

Çizelge 6.4. Eğik yüzeye gelen ışınım için belirsizlikler (± %)

Günler	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
24.08.2016	0.21-9.45	0.21-9.45	0.21-9.45	0.21-9.45
27.08.2016	1.86-9.31	1.86-9.31	1.86-9.31	1.86-9.31
30.08.2016	1.92-9.03	1.92-9.03	1.92-9.03	1.92-9.03

6.4.2. Kütle debisi belirsizliği

Havanın kütle debisi için belirsizlik değeri denklem (6.6) kullanılarak belirlenebilir.

$$W_{\dot{m}} = \left[\left(\frac{\partial \dot{m}}{\partial \rho} W_{\rho}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{m}}{\partial V} W_{V}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{m}}{\partial A_c} W_{A_c}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \quad (6.4)$$

Bu denklemde hava kanalı kesit alanı A_c için belirsizlik değeri W_{A_c} aşağıdaki denklemden bulunur.

$$W_{A_c} = \left[\left(\frac{\partial A_c}{\partial W} W_W\right)^2 + \left(\frac{\partial A_c}{\partial H} W_H\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \quad (6.5)$$

$$W_{\dot{m}} = \left[\left(V A_c W_{\rho}\right)^2 + \left(\rho A_c W_V\right)^2 + \left(\rho V W_{A_c}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \quad (6.6)$$

Tüm modeller için kütle debisinin minimum ve maksimum belirsizlik değerleri Çizelge 6.5'de verilmiştir.

Çizelge 6.5. Kütle debisi için belirsizlikler (± %)

Günler	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
24.08.2016	3.20-4.84	4.38-4.44	3.39-3.98	7.06-8.58
27.08.2016	2.84-3.61	3.40-5.17	4.77-5.53	4.59-6.24
30.08.2016	2.61-4.94	2.29-4.86	4.08-5.50	5.14-5.94

6.4.3. Faydalı ısıl enerji belirsizliği

Havaya aktarılan faydalı ısıl enerjilerin belirsizlik hesabı aşağıdaki denklem (6.8) ile yapılabilir.

$$W_{\dot{Q}_{net}} = \left[\left(\frac{\partial \dot{Q}_{net}}{\partial \rho} W_{\rho}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{Q}_{net}}{\partial V} W_{V}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{Q}_{net}}{\partial A_c} W_{Ac}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{Q}_{net}}{\partial Cp} W_{Cp}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{Q}_{net}}{\partial \Delta T} W_{\Delta T}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \quad (6.7)$$

$$W_{\dot{Q}_{net}} = \left[\left(V A_c C_p \Delta T W_{\rho}\right)^2 + \left(\rho A_c C_p \Delta T W_V\right)^2 + \left(\rho V C_p \Delta T W_{A_c}\right)^2 + \left(\rho V A_c \Delta T W_{C_p}\right)^2 + \left(\rho V A_c C_p W_{\Delta T}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \quad (6.8)$$

Tüm kollektör modellerinde faydalı ısıl enerji için belirlenen minimum ve maksimum belirsizlik değerleri Çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.6. Faydalı enerji için minimum ve maksimum belirsizlikler (± %)

Günler	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
24.08.2016	5.19-5.92	5.90-9.08	6.03-8.00	8.42-10.89
27.08.2016	3.88-4.98	4.70-5.51	3.60-5.49	4.12-5.64
30.08.2016	2.88-4.94	3.10-5.56	2.90-4.32	3.17-5.77

6.4.4. Kollektör verimi belirsizliği

Kollektör verimi için belirsizlik hesabı (6.10) denklemi ile belirlenebilir.

$$W_{\eta_{kol}} = \left[\left(\frac{\partial \eta_{kol}}{\partial \rho} W\rho\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{kol}}{\partial V} W_V\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{kol}}{\partial Cp} W_{Cp}\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{kol}}{\partial T\text{ç}} W_{T\text{ç}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{kol}}{\partial Tg} W_{Tg}\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{kol}}{\partial I_T} w_{I_T}\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{kol}}{\partial D} W_{Dh}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \quad (6.9)$$

$$W_{\eta_{kol}} = \left[\left(\frac{V\pi Dh^2 Cp(T\text{ç}-Tg)}{4Ap I_T} W\rho\right)^2 + \left(\frac{\rho\pi Dh^2 Cp(T\text{ç}-Tg)}{4Ap I_T} W_V\right)^2 + \left(\frac{\rho V\pi Dh^2 (T\text{ç}-Tg)}{4Ap I_T} W_{Cp}\right) + \left(\frac{\rho V\pi Dh^2 Cp}{4Ap I_T} W_{T\text{ç}}\right)^2 + \left(-\frac{\rho V\pi Dh^2 Cp}{4Ap I_T} W_{Tg}\right)^2 + \left(-\frac{\rho V\pi Dh^2 Cp(T\text{ç}-Tg)}{4Ap I_T^2} W_{I_T}\right)^2 + \left(\frac{\rho V\pi DhCp(T\text{ç}-Tg)}{2Ap I_T} W_{Dh}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \quad (6.10)$$

Tüm kollektör modellerinin ısıl verimleri için belirlenen minimum ve maksimum belirsizlik değerleri Çizelge 6.7'de verilmiştir.

Çizelge 6.7. Kollektör verimi için minimum ve maksimum belirsizlikler (± %)

Günler	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
24.08.2016	3.50-3.98	3.40-4.16	3.38-3.84	3.38-3.82
27.08.2016	3.50-3.98	2.43-3.05	2.43-3.04	2.44-3.03
30.08.2016	2.02-2.74	1.99-2.66	2.01-2.79	2.00-2.64

6.4.5. Kanat verimi belirsizliği

Model 3 ve Model 4 için kanat verimi için belirsizlik hesabı (6.12) denklemi ile hesaplanabilir.

$$W_{\eta_f} = \left[\left(\frac{\partial \eta_f}{\partial T_f} W_{T_f}\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_f}{\partial T_\infty} W_{T_\infty}\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_f}{\partial T_b} W_{T_b}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \quad (6.11)$$

$$W_{\eta_f} = \left[\left(\frac{1}{T_b - T_\infty} W_{T_f}\right)^2 + \left(\frac{T_f - T_b}{(T_b - T_\infty)^2} W_{T_\infty}\right)^2 + \left(\frac{T_f - T_\infty}{(T_b - T_\infty)^2} W_{T_b}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \quad (6.12)$$

Deney yapılan günlerde Model 3 ve Model 4 kollektörlerdeki yutucu plaka yüzeyine eklenen kanatların verimleri için bulunan minimum ve maksimum belirsizlikler Çizelge 6.8'de verilmiştir.

Çizelge 6.8. Kanat verimi için minimum ve maksimum belirsizlikler (± %)

Günler	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
24.08.2016	-	-	1.96-6.42	2.83-8.58
27.08.2016	-	-	1.89-3.86	4.82-7.88
30.08.2016	-	-	2.06-4.79	6.75-9.53

6.4.6. Reynolds sayısı belirsizliği

Tüm kollektör modellerinde Reynolds sayısı için belirsizlik hesabı (6.14) denklemi ile hesaplanabilir.

$$W_{Re} = \left[\left(\frac{\partial Re}{\partial V} W_V\right)^2 + \left(\frac{\partial Re}{\partial D_h} W_{D_h}\right)^2 + \left(\frac{\partial Re}{\partial \nu} W_\nu\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \quad (6.13)$$

$$W_{Re} = \left[\left(\frac{D_h}{\nu} W_V\right)^2 + \left(\frac{V}{\nu} W_{D_h}\right)^2 + \left(\frac{-V D_h}{\nu^2} W_\nu\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \quad (6.14)$$

Kollektör modellerinde Reynolds sayısı için hesaplanan minimum ve maksimum belirsizlik değerleri Çizelge 6.9'da verilmiştir.

Çizelge 6.9. Reynolds sayısı için minimum ve maksimum belirsizlikler (± %)

Günler	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
24.08.2016	11.14-11.43	11.47-11.80	11.30-11.66	12.08-12.42
27.08.2016	7.48-7.70	7.84-8.00	7.76-7.96	7.25-7.57
30.08.2016	5.54-5.68	5.85-6.01	5.84-5.97	5.63-5.86

6.4.7. Nusselt sayısı belirsizliği

Yutucu plaka alt yüzeyinde Nusselt sayıları için belirsizlik hesabı Model 1 ve Model 2 kollektörlerde (6.16) denklemi ile, Model 3 ve Model 4 kollektörlerde ise (6.18) denklemi ile hesaplanabilir.

$$W_{Nu} = \left[\left(\frac{\partial Nu}{\partial Q_{net}} W_{Q_{net}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Nu}{\partial D_h} W_{D_h}\right)^2 + \left(\frac{\partial Nu}{\partial \mathrm{k}} W_k\right)^2 + \left(\frac{\partial Nu}{\partial A_p} W_{A_p}\right)^2 + \left(\frac{\partial Nu}{\partial \Delta T_{p-\infty}} W_{\Delta T_{p-\infty}}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \quad (6.15)$$

$$W_{Nu} = \left[\left(\frac{D_h}{\mathrm{k} A_p \Delta T_{p-\infty}} W_{Q_{net}}\right)^2 + \left(\frac{\mathrm{Q}net}{\mathrm{k} A_p \Delta T_{p-\infty}} W_{D_h}\right)^2 + \left(\frac{-\mathrm{Q}net D_h}{k^2 A_p \Delta T_{p-\infty}} W_k\right)^2 + \left(\frac{-\mathrm{Q}net D_h}{\mathrm{k} A_p^2 \Delta T_{p-\infty}} W_{A_p}\right)^2 + \left(\frac{-\mathrm{Q}net D_h}{\mathrm{k} A_p \Delta T_{p-\infty}} W_{\Delta T_{p-\infty}}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \quad (6.16)$$

$$W_{Nu} = \left[\left(\frac{\partial Nu}{\partial Q_{net}} W_{Q_{net}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Nu}{\partial A_{kanatsız}} W_{A_{kanatsız}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Nu}{\partial \eta_f} W_{\eta_f}\right)^2 + \left(\frac{\partial Nu}{\partial A_f} W_{A_f}\right)^2 + \left(\frac{\partial Nu}{\partial D_h} W_{D_h}\right)^2 + \left(\frac{\partial Nu}{\partial \mathrm{k}} W_k\right)^2 + \left(\frac{\partial Nu}{\partial \Delta T_{b-\infty}} W_{\Delta T_{b-\infty}}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \quad (6.17)$$

$$W_{Nu} = \left[\left(\frac{1}{(A_{kanatsız}+\eta_f A_f)\Delta T_{b-\infty}} W_{Q_{net}}\right)^2 + \left(\frac{-\mathrm{Q}net}{(A_{kanatsız}+\eta_f A_f)^2 \Delta T_{b-\infty}} W_{A_{kanatsız}}\right)^2 + \left(\frac{-\mathrm{Q}net A_f \Delta T_{b-\infty}}{\left[(A_{kanatsız}+\eta_f A_f)\Delta T_{b-\infty}\right]^2} W_{\eta_f}\right)^2 + \left(\frac{-\mathrm{Q}net \eta_f \Delta T_{b-\infty}}{\left[(A_{kanatsız}+\eta_f A_f)\Delta T_{b-\infty}\right]^2} W_{A_f}\right)^2 + \left(\frac{-\mathrm{Q}net}{\left[(A_{kanatsız}+\eta_f A_f)\Delta T_{b-\infty}\right]^2} W_{\Delta T_{b-\infty}}\right)^2 + \left(\frac{\mathrm{Q}net}{\mathrm{k}(A_{kanatsız}+\eta_f A_f)\Delta T_{b-\infty}} W_{D_h}\right)^2 + \left(\frac{-\mathrm{Q}net D_h}{k^2 (A_{kanatsız}+\eta_f A_f)\Delta T_{b-\infty}} W_k\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \quad (6.18)$$

Tüm kollektör modellerinde Nusselt sayıları için belirlenen minimum ve maksimum belirsizlik değerleri Çizelge 6.10'da verilmiştir.

Çizelge 6.10. Nusselt sayısı için minimum ve maksimum belirsizlikler (± %)

Gün ve debi	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
24.08.2016, 0.022 kg/s	11.18-11.50	11.49-11.86	11.66-12.60	11.58-11.89
27.08.2016, 0.033 kg/s	7.54-7.69	7.88-8.12	8.26-8.86	9.25-9.72
30.08.2016, 0.044 kg/s	5.61-5.76	5.91-6.10	6.58-6.89	8.71-9.17

6.5. Hesaplama Prosedürü İçin Bir Uygulama

Bu çalışmada kullanılan hesaplama prosedürünü bir uygulama ile göstermek için, 24 Ağustos 2016 günü Model 4 için saat 13:00' da alınan deney verileri kullanılarak yapılan hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

Çizelge 6.1'de her bir ayı temsil eden ortalama gün için n değerleri görülmektedir. Burada n, 1 Ocak'tan itibaren gün sayısıdır. Şubat ayı 28 gün dikkate alınarak 24 Ağustos 2016 günü için n değeri 236'dır. Bulunan n değeri denklem (5.1)'de yerine yazılırsa δ değeri 10.691 hesaplanır.

Güneş batış saat açısı (6.2) denklemi ile hesaplanır.

w_s= $\cos^{-1}$[- tan φ tan δ]

w_s = $\cos^{-1}$[-tan (36.5) x tan (10.691)]

w_s = 98.01°

Atmosfer dışından yatay düzleme gelen günlük güneş ışınımı,

H_0= $\frac{24x360G_{sc}}{\pi}$[1+0.033cos($\frac{360n}{365}$)][cosφ cosδ sin w_s+$\frac{2\pi w_s}{360}$ sin φ sin δ]

Burada, güneş sabiti G_{sc}=1367 W/m^2

H_0 =35.385 W

Saat 12:00 için saat açısı,

w_1=15 (GS-12) = 15 x (12-12)=0°

Saat 13:00 için saat açısı,

w_2 =15 x (13-12)=15°

Saat 12:00-13:00 aralığı için bir saatlik periyot içerisinde atmosfer dışında yatay düzleme gelen güneş ışınımı,

I_0= $\frac{12x3600}{\pi} G_{sc}$[1+0.033cos($\frac{360xn}{365}$)][cosφ cosδ (sin$w_2$ − sin w_1)
+ $\frac{2\pi(w_2-w_1)}{360}$sin φ sin δ
= 1183.09 $W/_{m^2}$

Anlık berraklık indeksi,

k_T= $\frac{I}{I_0}$ = $\frac{927}{1183,091}$ = 0.783

Burada,
I: Yatay düzleme gelen anlık (24.08.2016, saat 13:00) güneş ışınımıdır. Bu değer piranometre ile ölçülen değerdir.
I= 927 $W/_{m^2}$

Yatay düzleme gelen anlık yayılı ışınım,

$\frac{I_d}{I}$=0.788-0.802k_T

ile belirlenir. Bu ifade 0.625<k_T<0.6 aralığı için geçerlidir. k_T değerine bağlı olarak $\frac{I_d}{I}$ oranı aşağıdaki ifadeler ile belirlenmektedir.

k_T<0.35 için $\frac{I_d}{I}$=1.0-0.249k_T,

0.35<k_T<0.75 için $\frac{I_d}{I}$=1.557-1.84k_T,

k_T>0.75 için $\frac{I_d}{I}$=0.177.

Bu çalışmada k_T= 0.783 > 0.75 olduğundan $\frac{I_d}{I}$=0.177 alınmıştır.

I_d=0.177 x I=0.177 x 927 = 164.079 $W/_{m^2}$

Yatay düzleme gelen anlık direkt ışınım miktarı,

I_b=I-I_d = 927-164.079 = 762.921 $^{W}/_{m^2}$'dir.

Geometrik faktör,

$$R_b = \frac{cos(\emptyset-\beta)\cos\delta\ \cos w + sin(\emptyset-\beta)\sin\delta}{\cos\emptyset\ \cos\delta\ \cos w + \sin\emptyset\ \sin\delta}$$

Burada eğim açısı β=26.5°,

$$w = \frac{w_1+w_2}{2} = \frac{0+15}{2} = 7.5°$$

$$R_b = \frac{cos(36.5-26.5)xcos(10.69)xcos(7.5)+sin(36.5-26.5)xsin(10.69)}{cos(36.5)x\ cos(10.69)x+sin(36,5)xsin(10.69)}$$

R_b= 1.1

Eğik yüzeye gelen direkt ışınım,

I_{bT}=$R_b I_b$= 1.1 x 762.921= 846.72 $^{W}/_{m^2}$

Eğik yüzeye gelen anlık yayılı ışınım,

$$I_{dT} = I_d \frac{1+\cos\beta}{2} = 164.079 \frac{1+\cos(26,5)}{2} = 155.38\ {}^{W}/_{m^2}$$

Eğik yüzeye yansıyarak gelen ışınım,

$$I_r = (I_b + I_d)\rho_y(\frac{1-\cos\beta}{2})$$

Burada ρ yerin yansıtma oranıdır. ρ_y, yerde kar olmaması durumunda 0.2, yerde kar bulunması durumunda 0.7 olarak alınması önerilmektedir. Bu çalışmada deney yapılan tarihlerde kar olmadığından ρ_y =0.2 alınmıştır.

$$I_r = (762.921 + 164.079)x0.2x(\frac{1-\cos(26.5)}{2})$$

I_r =9.73 $^{W}/_{m^2}$

Eğik düzleme gelen anlık toplam ışınım,

I_T= I_{bT} + I_{dT} + I_{ref}

I_T= 846.72+ 155.38+ 9.73=1011.83 $^{W}/_{m^2}$

bulunur.

Kanaldan geçen havaya aktarılan birim zamandaki ısı miktarı aşağıdaki gibi bulunabilir.

Çevre, havanın kollektöre giriş, çıkış, yutucu plaka yüzeyi, kanat yüzeyi ve kanat taban sıcaklıkları sırası ile,

T_a= 28.6 °C

T_g= 28.6 °C

$T_ç$= 72.9 °C

T_p= 77.4 °C

T_f= 66.9 °C

T_b= 74.6 °C' dir.

Kanaldan geçen havanın yığık ortalama sıcaklığı,

$T_\infty = \frac{T_g + T_ç}{2} = \frac{28.6+72.9}{2}$ =50.8 °C'dir. Bu sıcaklık değerine göre, havanın gerekli ısıl özellikleri hava tablosundan alınır.

ρ=1.091 kg/m^3

c_p= 1006.8 J/kg.K

k = 0.0278 $W/_{m\,°C}$

Model 4 kollektörde trapez yutucu plakanın güneşe bakan üst yüzey alanı,

A_p = (0.04x2+0.0424x10+0.04x9)x1.81 = 1.5638 m^2

Cam ve plakanın düzeltilmiş yutma geçirme oranı,

$(\tau\alpha) = \frac{\tau\alpha}{1-(1-\alpha)\rho_y} = \frac{0.90x0.86}{1-(1-0.85)x0.202} = 0.80$

hesaplanır.

Güneş ışınımı ile kollektöre giren birim zamandaki ısıl enerji miktarı;

$\dot{Q}_g = (\tau\alpha) I_T A_p$=0.8x1011.83x1.5638 = 1265.84 W

bulunur.

Kollektör alt yüzeyi toplam ısı kayıp katsayısı,

$$U_{alt}=\frac{1}{\frac{L_{yal}}{k_{yal}}+\frac{L_{mdf}}{k_{mdf}}+\frac{1}{h_{alt}}}=\frac{1}{\frac{0.05}{0.028}+\frac{0.018}{0.17}+\frac{1}{10}}=0.50\ {}^{W}/_{m^2\,°C}$$

bulunur.

Kollektör üst yüzeyi toplam ısı kayıp katsayısı aşağıdaki yarı ampirik denklemden hesaplanabilir.

$$U_{üst}=\left[\frac{N}{\frac{C}{T_p}\left(\frac{T_p-T_a}{N+f}\right)^{0.33}}+\frac{1}{h_w}\right]^{-1}+\frac{\sigma(T_p+T_a)(T_p{}^2+T_a{}^2)}{[\varepsilon_p+0.05N(1-\varepsilon_p)]^{-1}+\left(\frac{(2N+f-1)}{\varepsilon_g}\right)-N}$$

Dış yüzeyde ısı taşınım katsayısı,

h_w=5.7 + 3.8 V_r = 5.7+3.8x1.0 = 9.5 ${}^{W}/_{m^2\,°C}$

hesaplanır.

ε_p= 0.88 (siyah mat boya ışınım yayma oranı)

ε_g= 0.08 (cam örtü ışınım yayma oranı)

C = 250[1-0.0044 (β-90)] = 250[1-0.0044 (26.5-90)] = 319.85

f = (1-0.04h_w+0.0005h_w^2)(1+0.091N)

f = (1-0.04x9.5+0.0005x9.5^2)(1+0.091x2)

f = 0.786

N = 2 (iki adet cam örtü)

T_a= 28.6 °C

T_p= 77.4 °C'dir.

$$U_{üst}=\left[\frac{2}{\frac{319,85}{77.4}x\left(\frac{77.4-28.6}{2+0,786}\right)^{0,33}}+\frac{1}{9.5}\right]^{-1}+\frac{5,67x10^{-8}x(77.4+28.6)x(77.4^2+28.6^2)}{[0,88+0,05x2x(1-0,05)]^{-1}+\left(\frac{(2x2+0,786-1)}{0.08}\right)-2}$$

$U_{üst}$=3.41 ${}^{W}/_{m^2\,°C}$

Kollektör toplam ısı kayıp katsayısı,

U_{top}= $U_{üst}$ + U_{alt}

U_{top}= 3.41 + 0.50 = 3.91 ${}^{W}/_{m^2\,°C}$

Kollektörün yutucu plakasından çevreye birim zamandaki ısı kaybı,

$\dot{Q}_k = U_{top} A_p (T_p - T_a)$

$\dot{Q}_k$= 3.91x1.5638x(77.4-28.6) = 298.38 W

Havaya aktarılan birim zamandaki net ısı transferi,

$\dot{Q}_{net} = \dot{Q}_g - \dot{Q}_k$ =1265.84-298.38=967.46 W
bulunur.

Havanın kütle debisi,

$\dot{m} = \rho V_h A_c$=1.091x0.27x0.0755=0.022 kg/s ' dir.

Kollektörden geçen havaya aktarılan birim zamandaki faydalı ısıl enerji, aşağıdaki eşitlik ile de hesaplanabilir.

$\dot{Q}_{net} = \dot{m}_h c_p (T_ç - T_g)$

$\dot{Q}_{net}$= 0.022x1006.8x(72.9 -28.6)=981.23 W
bulunur.

Kollektörün anlık ısıl verimi,

$\eta_{kol} = \frac{\dot{Q}_{net}}{I_T A_p} = \frac{981.23}{1011.83x1.5638}$ = 0.62 =% 62

bulunur.

Kollektörün günlük ortalama ısıl verimi,

$\eta_{kol,ort} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \dot{Q}_{net}}{A_p \int_{t_1}^{t_2} I_T} = \frac{6828.51}{1.5638\ x\ 6934.28} = 0.63 = \%\ 63$

bulunur.

Yutucu plakaya eklenen kanatların verimi,

$$\eta_f = \frac{T_f - T_\infty}{T_b - T_\infty} = \frac{66.9 - 50.8}{74.6 - 50.8} = 0.6765 = \%\,67.65$$

olarak hesaplanır.

Model 4 tipi kollektörün yutucu plakasına eklenen yalnız bir kanadın taban alanı,

$A_b = 0.04 \text{x} 1.81 = 0.0724\ m^2$

Model 4 tipi kollektörün yutucu plakasına eklenen bir kanadın yüzey alanı,

$A_f = [2\text{x}\ (0.08+0.08+0.04)]\ \text{x}\ 1.81 = 0.724\ m^2$

Model 4 tipi kollektörün yutucu plakasına eklenen her bir kanadın etkinliği,

$$\varepsilon_f = \frac{A_f}{A_b}\,\eta_f = \frac{0.724}{0.0724}\,\text{x}\ 0.6765 = 6.77$$

bulunur. Her bir kanat, 0.0724 m^2'lik kanat taban alanından ısı transferini 6.77 kat artırmıştır.

Model 4 tipi kollektör için kanatlı tüm yutucu plaka yüzeyi için toplam etkinlik,

Kanatlı yutucu plakanın tüm kanatsız kısımlarının alanı,

$A_{kanatsız} = (0.0424 \text{x} 10 + 0.04 \text{x} 2) \text{x} 1.81 = 0.91224\ m^2$

Kanatlar yokken yutucu plakanın toplam yüzey alanı,

$A_{kanat\ yok} = (0.04 \text{x} 2 + 0.0424 \text{x} 10) \text{x} 1.81 = 1.5638\ m^2$

$$\varepsilon_{genel} = \frac{A_{kanatsız} + \eta f.A_f}{A_{kanat\ yok}} = \frac{0.91224 + 0.6765x(0.724x10)}{1.5638} = 3.72$$

bulunur. Yani yutucu plaka yüzeylerine kanatların eklenmesi sonucunda kanatlı yutucu plakanın tüm yüzeylerinden havaya gerçekleşen toplam ısı transferi, kanatsız plakadaki ısı transferinin 3.72 katıdır.

Model 4 tipi kollektörde kanatlı yutucu plaka yüzeyindeki ısı taşınım katsayısı,

$$h = \frac{\dot{Q}_{net}}{(A_{kanatsız} + \eta_f A_f)(\mathrm{Tb}-\mathrm{T}\infty)} = \frac{981.23}{(0.91224+0.6765x7.24)(74.6-50.8)} = 7.1 \ {}^{W}/_{m^2\,°C}$$

bulunur.

Yutucu plakanın alt yüzeyinde deneysel Nusselt sayısı,

$$Nu = \frac{hD_h}{k} = \frac{7.1\ x\ 0.1431}{0.0278} = 36.55$$

olarak hesaplanır.

24 Ağustos 2016 tarihinde Model 4 için saat 13:00'da alınan deneysel veriler ışığında eğik yüzeye gelen toplam ışınım için örnek bir belirsizlik hesabı aşağıda verilmiştir.

$$W_{I_T} = \left[\left(\frac{\partial I_T}{\partial I_b} W_{I_b}\right)^2 + \left(\frac{\partial I_T}{\partial R_b} W_{R_b}\right)^2 + \left(\frac{\partial I_T}{\partial I_d} W_{I_d}\right)^2 + \left(\frac{\partial I_T}{\partial \beta} W_{\beta}\right)^2 + \left(\frac{\partial I_T}{\partial \rho_y} W_{\rho_y}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$W_{I_T} = \left[\left[R_b + \rho_y\left(\frac{1-\mathrm{Cos}\beta}{2}\right) W_{I_b}\right]^2 + (I_b W_{R_b})^2 + \left[\left(\frac{1+\mathrm{Cos}\beta}{2}\right) + \rho_y\left(\frac{1-\mathrm{Cos}\beta}{2}\right) W_{I_d}\right]^2 + \left[\frac{I_d Sin\beta}{2}(\rho_y - 1) W_{\beta}\right]^2 + \left[(I_b + I_d)\left(\frac{1-\mathrm{Cos}\beta}{2}\right) W_{\rho_y}\right]^2\right]^{1/2}$$

Veriler:

$\beta = 26.5^o$

$\rho_y = 0.2$

$I_{b=}762.92\ W/m^2$

$I_{d=}164.08\ W/m^2$

$R_b = 1.11$

$W_{\beta} = \pm 0.1^o$

$W_{\rho_y} = 0$

$W_{I_b} = \pm\ 0.1\ W/m^2$

$W_{I_d} = \pm\ 0.1\ W/m^2$

$W_{R_b} = \pm 0.1$

Bu değerler yukarıdaki denklemde yerlerine konulursa eğik yüzeye gelen toplam ışınım için belirsizlik değeri,

W_{I_T}=± 72.81 W/m^2

veya

$\frac{W_{I_T}}{I_T} = \pm \frac{72.81}{1011.83} x100 = \pm \%$ 7.20 W/m^2

bulunur.

30 Ağustos 2016 tarihinde Model 4 için saat 13:00'da alınan deneysel veriler kullanılarak kütle debisi için örnek bir belirsizlik hesabı aşağıda verilmiştir.

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

Burada hava kanalının kesit alanı A_c için belirsizlik değeri W_{A_c} aşağıdaki denklemden bulunur.

$$W_{A_c} = \left[\left(\frac{\partial A_c}{\partial W} W_W\right)^2 + \left(\frac{\partial A_c}{\partial H} W_H\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

Debi için belirsizlik,

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

denklemi ile hesaplanabilir.

$\dot{m}$ = 0.022 kg/s

ρ = 1.1218 kg/m^3

V =0.52 m/s

D_h = 0.154 m

$W_\rho = \pm (\% 0.1) x\ 1.1218 = 0.0011218$ kg/ m^3

$W_V = \pm$ 0.03 m/s

$W_{Dh} = \pm$ 0.0003 m

Bu değerler yukarıdaki denklemde yerlerine konulursa kütle debisi için belirsizlik,

$W_{\dot{m}}$=± 0.00255 kg/s

veya

$\frac{W_{\dot{m}}}{\dot{m}}=\frac{0.00255}{0.022}$x100 = ± % 5.79

bulunur.

30 Ağustos 2016 tarihinde Model 4 için saat 13:00'da alınan deneysel veriler kullanılarak havaya aktarılan faydalı ısıl enerji için belirsizlik hesabı aşağıda verilmiştir.

$$W_{\dot{Q}_{net}} = \left[\left(\frac{\partial \dot{Q}_{net}}{\partial \rho} W_\rho\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{Q}_{net}}{\partial V} W_V\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{Q}_{net}}{\partial A_c} W_{Ac}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{Q}_{net}}{\partial Cp} W_{Cp}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{Q}_{net}}{\partial \Delta T} W_{\Delta T}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$W_{\dot{Q}_{net}} = \left[\left(V A_c C_p \Delta T W_\rho\right)^2 + \left(\rho A_c C_p \Delta T W_V\right)^2 + \left(\rho V C_p \Delta T W_{A_c}\right)^2 + \left(\rho V A_c \Delta T W_{C_p}\right)^2 + \left(\rho V A_c C_p W_{\Delta T}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

ρ = 1.1218 kg/m^3

V = 0.52 m/s

D_h = 0.154 m

C_p = 1005.3 J/kgK

T_g = 29.90℃

$T_ç$ = 53.97 ℃

W_ρ = ± (% 0.1)x 1.15= ± 0.00115 kg/ m^3

W_V= ± 0.03 m/s

W_{c_p}= ± (% 0.1 x 1005.3)= ± 1.0053 J/kgK

W_{T_g} = $W_{Tç}$ = ± 0.38^{o}C

W_{D_h}= ± 0.0003 m

Bu değerler yukarıdaki denklemde yerlerine konulursa faydalı enerji için belirsizlik,

$W_{\dot{Q}_{net}}$ = ±61.57 W

veya,

$\frac{W_{\dot{Q}_{net}}}{\dot{Q}_{net}} = \frac{61.57}{1065.96}$x100= ± % 5.77

bulunur.

30 Ağustos 2016 tarihinde Model 4 için saat 13:00'da alınan deneysel veriler kullanılarak kollektör verimi için örnek bir belirsizlik hesabı aşağıda verilmiştir.

$$W_{\eta_{kol}} = \left[\left(\frac{\partial \eta_{kol}}{\partial \rho} W\rho\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{kol}}{\partial V} W_V\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{kol}}{\partial Cp} W_{Cp}\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{kol}}{\partial T ç} W_{Tç}\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{kol}}{\partial Tg} W_{Tg}\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{kol}}{\partial I_T} w_{I_T}\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{kol}}{\partial D} W_{Dh}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$W_{\eta_{kol}} = \left[\left(\frac{V\pi Dh^2 Cp(Tç-Tg)}{4Ap I_T} W\rho\right)^2 + \left(\frac{\rho\pi Dh^2 Cp(Tç-Tg)}{4Ap I_T} W_V\right)^2 + \left(\frac{\rho V\pi Dh^2 (Tç-Tg)}{4Ap I_T} W_{Cp}\right) + \left(\frac{\rho V\pi Dh^2 Cp}{4Ap I_T} W_{Tç}\right)^2 + \left(-\frac{\rho V\pi Dh^2 Cp}{4Ap I_T} W_{Tg}\right)^2 + \left(-\frac{\rho V\pi Dh^2 Cp(Tç-Tg)}{4Ap I_T^2} W_{I_T}\right)^2 + \left(\frac{\rho V\pi DhCp(Tç-Tg)}{2Ap I_T} W_{Dh}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

ρ = 1.1218 kg/m^3

V = 0.52 m/s

D_h = 0.154 m

Cp = 1005.3 J/kgK

T_g = 29.90℃

$T_ç$ = 53.97 ℃

I_T = 1026.28 W/m^2

Ap = 1.547 m^2

W_ρ = ± (% 0.1)x 1.15= ± 0.00115 kg/ m^3

W_V= ± 0.03 m/s

W_{c_p}= ± (% 0.1 x 1005.3)= ± 1.0053 J/kgK

$W_{Tg} = W_{Tç}$ = ± 0.38ºC

W_{Dh} = ± 0.0003 m

W_{IT} = ± 0.1 W/m^2

W_{T_g} =$W_{T_ç}$= ± 0.38^{o}C

W_{D_h}= ± 0.0003 m

Bu değerler yukarıdaki denklemde yerlerine yazılırsa kollektör verimi için belirsizlik değeri,

$W_{\eta_{kol}}$ = ±0.001518

veya

$\frac{W_{\eta_{kol}}}{\eta_{kol}} = \frac{0.001518}{0.66} x100$ = ± % 2.28

bulunur.

24 Ağustos 2016 tarihinde Model 4 için, 0.022 kg/s hava debisi için saat 13:00'da alınan deneysel veriler kullanılarak kanat verimi için örnek bir belirsizlik hesabı aşağıda verilmiştir.

$$W_{\eta_f} = \left[\left(\frac{\partial \eta_f}{\partial T_f} W_{T_f}\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_f}{\partial T_\infty} W_{T_\infty}\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_f}{\partial T_b} W_{T_b}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$W_{\eta_f} = \left[\left(\frac{1}{T_b - T_\infty} W_{T_f}\right)^2 + \left(\frac{T_f - T_b}{(T_b - T_\infty)^2} W_{T_\infty}\right)^2 + \left(\frac{T_f - T_\infty}{(T_b - T_\infty)^2} W_{T_b}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

T_f = 66.9^{o}C

T_b = 74.6^{o}C

T_∞ = 50.8^{o}C

η_f = 0.6765

W_{Tf} =W_{Tb} = $W_{T\infty}$ = ± 0.38^{o}C

Bu değerler yukarıdaki denklemde yerlerine konulursa kanat verimi için belirsizlik değeri,

W_{η_f} = ±0.0199

veya

$\frac{W_{\eta_f}}{\eta_f} = \frac{0.0199}{0.6765} x100$ = ± % 2.94

bulunur.

30 Ağustos 2016 tarihinde Model 4 için, 0.022 kg/s hava debisi için saat 13:00'da alınan deneysel veriler kullanılarak Reynolds sayısı için örnek bir belirsizlik hesabı aşağıda verilmiştir.

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

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

V=0.52 m/s

Re=4311.86

$D_h = 0.1431\ m$

W_{Dh} = ± 0.0003 m

W_ν =± (% 0.1)x 0.00001724 m^2/s =0.00000001724 m^2/s

W_V= ± 0.03 m/s

Bu değerler yukarıdaki denklemde yerlerine konulursa Reynolds sayısı için belirsizlik değeri,

W_{Re} = ± 243.77

veya

$\frac{W_{Re}}{Re} = \frac{243.77}{4311.86} x100$ = ± % 5.65

bulunur.

30 Ağustos 2016 tarihinde Model 4 için, 0.022 kg/s hava debisi için saat 16:00'da alınan deneysel veriler kullanılarak Nusselt sayısı için örnek bir belirsizlik hesabı aşağıda verilmiştir.

$$W_{Nu} = \left[\left(\frac{\partial Nu}{\partial Q_{net}} W_{Q_{net}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Nu}{\partial A_{kanatsız}} W_{A_{kanatsız}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Nu}{\partial \eta_f} W_{\eta_f}\right)^2 + \left(\frac{\partial Nu}{\partial A_f} W_{A_f}\right)^2 + \left(\frac{\partial Nu}{\partial D_h} W_{D_h}\right)^2 + \left(\frac{\partial Nu}{\partial k} W_k\right)^2 + \left(\frac{\partial Nu}{\partial \Delta T_{b-\infty}} W_{\Delta T_{b-\infty}}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$W_{Nu} = \left[\left(\frac{D_h}{\mathrm{k}(A_{kanatsız}+\eta_f A_f)\Delta T_{b-\infty}} W_{Q_{net}}\right)^2 + \left(\frac{-\mathrm{Q}netD_h}{\mathrm{k}(A_{kanatsız}+\eta_f A_f)^2\Delta T_{b-\infty}} W_{A_{kanatsız}}\right)^2 + \left(\frac{-\mathrm{Q}netD_h A_f}{\mathrm{k}(A_{kanatsız}+\eta_f A_f)^2\Delta T_{b-\infty}} W_{\eta_f}\right)^2 + \left(\frac{-\mathrm{Q}netD_h\eta_f}{\mathrm{k}(A_{kanatsız}+\eta_f A_f)\Delta T_{b-\infty}} W_{A_f}\right)^2 + + \left(\frac{\mathrm{Q}net}{\mathrm{k}(A_{kanatsız}+\eta_f A_f)\Delta T_{b-\infty}} W_{D_h}\right)^2 + \left(\frac{-\mathrm{Q}netD_h}{k^2(A_{kanatsız}+\eta_f A_f)\Delta T_{b-\infty}} W_k\right)^2 + \left(\frac{-\mathrm{Q}netD_h}{\mathrm{k}(A_{kanatsız}+\eta_f A_f)(\Delta T_{b-\infty})^2} W_{\Delta T_{b-\infty}}\right)^2 + \right]^{\frac{1}{2}}$$

$A_{kanatsız}$ = 0.91224 m^2

η_f =0.759

A_f = 7.24 m^2

$\Delta T_{b-\infty}$= 9.45 °C

k = 0.027037 W/mK

Qnet = 733.83 W

D_h = 0.1431 m

$W_{Q_{net}}$= ± 42.79 W

$W_{A_{kanatsız}}$= ± 0.000256 m^2

W_{η_f}= ± 0.0514

W_{A_f}= ± 0.000256 m^2

$W_{\Delta T_{b-\infty}}$ = ±0.38 °C

W_{Dh} = ± 0.0003 m

W_k =± (% 0.1)x 0.027037 =± 0.000027037 W/mK

Bu değerler yukarıdaki denklemde yerlerine konulursa Nusselt sayısı için belirsizlik değeri,

W_{Nu} = ± 5.88

veya

$\frac{W_{Nu}}{Nu} = \frac{5.88}{64.17} x100$ = ± % 9.17

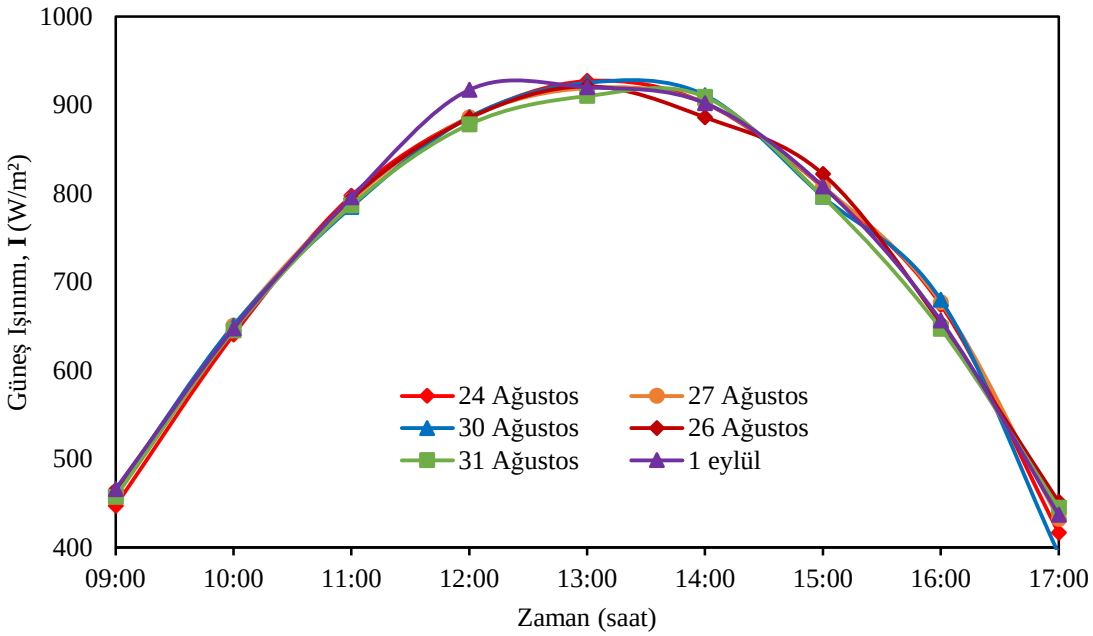
bulunur.

7. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada dört kollektör modeli tasarlanmış, ancak mevcut imkânlar dâhilinde üç adet kollektör imal edilebilmiştir. Üç kollektörün deney sonuçlarına ek olarak dördüncü kollektörün deney sonuçlarını da kıyaslamada kullanabilmek için, deneyi eksik olan kollektörün aynı hava debisindeki verileri, deney yapılan diğer günler arasında kollektör yüzeyine gelen anlık toplam güneş ışınımı değerleri birbirine yakın olan gün belirlenmiş ve bu güne ait veriler dikkate alınmıştır.

Havalı kollektör modelleri ile farklı günlerde deneyler yapılmıştır. Kollektör deney sonuçlarını ve kurutma deney sonuçlarını kendi arasında karşılaştırabilmek için deney yapılan günler içinden kollektör yüzeyine gelen anlık güneş ışınım değerleri birbirine yakın olan üç gün belirlenmiş ve bugünlere ait veriler kullanılarak mukayeseler yapılmıştır (Benli H, 2013); (Gülçimen F ve Durmuş A, 2010). Sonuçlar grafikler halinde verilmiştir.

Şekil 7.1'de deney yapılan bazı günlerdeki ışınım değerlerinin anlık değişimi görülmektedir. Burada 0.022 kg/s, 0.033 kg/s ve 0.044 kg/s olmak üzere üç farklı hava debisinde deney yapılan günlerdeki ışınım değerlerinin saatlik değişimleri görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi, deneyin başladığı saat 09:00'da güneş ışınımı değerleri 450-465 W/m^2 arasında iken, öğle saatlerinde artarak 910-925 W/m^2 arasında değişmekte ve öğleden sonra ise azalarak saat 17:00'da 393-450 W/m^2 aralığındaki değerlere düşmektedir. Karşılaştırma yapabilmek için farklı günlerdeki ve farklı hava debilerindeki ışınım değerleri birbirine en yakın olan 24, 27 ve 30 Ağustos 2016 günleri belirlenmiştir. 24 Ağustos'taki deneyde havanın kütlesel debisi 0.022 kg/s, 27 Ağustos'taki deneyde 0.033 kg/s ve 30 Ağustos'taki deneyde ise 0.044 kg/s'dir.



Şekil 7.1. Güneş ışınım değerlerinin anlık değişimi

7.1. Deney setinin doğrulanması

Deney setinin ve ölçülen verilerin doğruluğunu test etmek amacı ile kanatsız düz plakalı kollektör (Model 1) için hesaplanan deneysel Nusselt sayıları, dikdörtgen kesitli düz kanallar için literatürde mevcut olan "Değiştirilmiş Dittus-Boelter" denkleminden (Kakac S. ve ark., 1987; Atul Lanjewar ve ark., 2011; N. Madhukeshwara ve Prakash, 2013) hesaplanan değerler ile kıyaslanmıştır. Değiştirilmiş Dittus-Boelter denklemi eşitlik (7.1) ve (7.2) de verilmiştir.

$$Nu_s = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \left(\frac{2R_{av}}{D_h}\right)^{-0.2} \quad (7.1)$$

$$\frac{2R_{av}}{D_h} = \left(1.156 + \frac{H}{W} - 1\right) / \left(\frac{H}{W}\right) \quad (7.2)$$

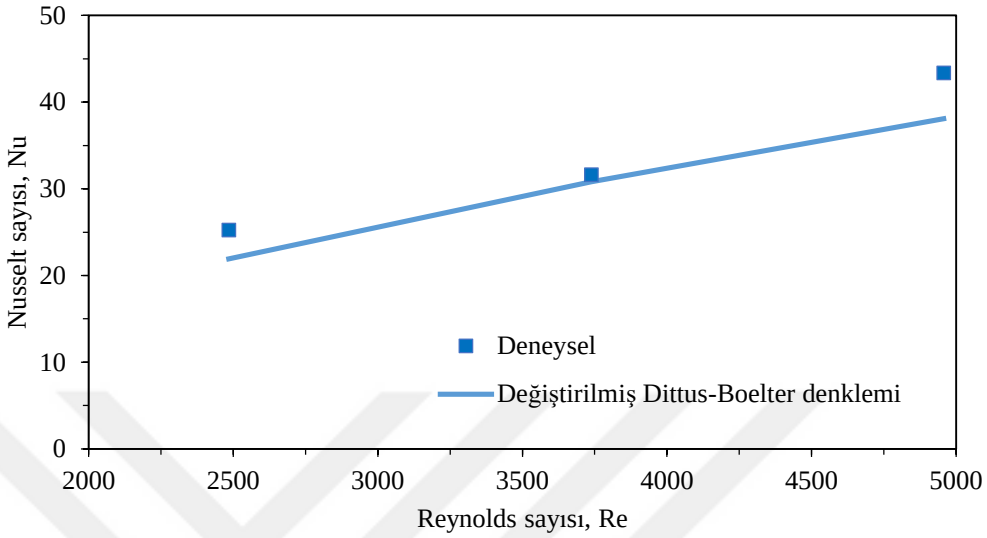
Burada,

H : Kanal yüksekliği (m),

W : Kanal genişliği (m)'dir.

Kanatsız düz plaka (Model 1 kollektör) için hesaplanan deneysel ve teorik Nusselt sayılarının kıyaslanması Şekil 7.2'de görülmektedir. Şekilden, deneysel ve

teorik değerler arasında oldukça iyi bir uyum olduğu görülmektedir. Bu sonuç; kurulan deney setinin, yapılan ölçümlerin ve hesap yönteminin güvenilir olduğunu kanıtlamaktadır.



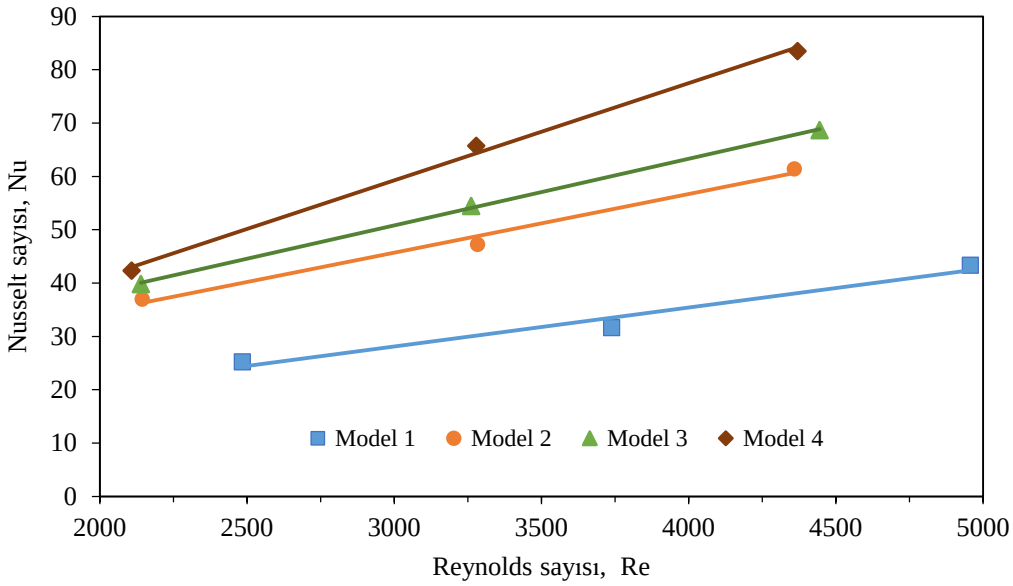
Şekil 7.2. Düz plaka için deneysel ve teorik Nusselt sayılarının kıyaslanması

7.2. Nusselt Sayısının Reynolds Sayısı İle Değişimi

Kollektörlerde bulunan yutucu plakanın yüzey geometrisini trapeze dönüştürmenin ve yutucu plakaya kanatlar eklemenin, kollektör modelleri için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimine etkisi Şekil 7.2'de gösterilmiştir. Şekildeki Reynolds ve Nusselt sayıları, saatlik ışınım değerleri birbirine yakın olan günlerdeki deney sonuçlarının günlük ortalama değerleri olarak alınmıştır. Şekilde de görüldüğü gibi, tüm kollektörlerde Reynolds sayısının artışına bağlı olarak Nusselt sayılarının da arttığı görülmektedir. Kollektörlerdeki hava kanallarında türbülanslı akış şartlarında Reynolds sayısının artışı ile sınır tabaka kalınlığı azalır ve bunun sonucunda yüzeydeki taşınım direnci azalır. Taşınım direncindeki azalma ise yutucu plaka yüzeyinde zorlanmış taşınım ile ısı transferinin artışına ve bunun sonucu olarak da Nusselt sayılarında artışa neden olmaktadır.

Reynolds sayısına bağlı olarak düz yutucu plakalı kollektöre (Model 1) göre Nusselt sayılarında Model 2'de % 55-66, Model 3'te % 70-94, Model 4'te % 98-132 arasında artış gözlenmiştir. Model 1 ve Model 2 kollektörlerin yutucu plaka üst ve alt

yüzey alanları yaklaşık aynı (sadece % 1 fark) olmasına rağmen, Model 2 için Nusselt sayıları Model 1'e göre % 55-66 daha yüksek bulunmuştur. Bunun muhtemel nedeni, Model 2'de yutucu profilinin trapez olması yüzeyde pürüzlülük meydana getirerek akış içerisinde ilave türbülans oluşturması ve bunun sonucunda Nusselt sayısının artmasıdır. Model 3 ve Model 4'te Reynolds sayısına bağlı olarak Model 2'ye göre Nusselt sayısındaki artış oranı sırası ile % 8-15 ve % 19-39'dur. Model 4'te ise Model 3'e göre Nusselt sayısındaki artış oranı % 5-25'tir. Model 3 ve Model 4'te plaka yüzeyine kanat eklenmesi ile ısı transfer yüzey alanı arttırılmış ve bunun yanında akışın türbülans etkisi de artmış olup sonuç olarak daha yüksek Nusselt sayıları elde edilmiştir. Düz plakalı kollektöre göre ısı transferinde en az artış Model 2'de, en fazla artış ise Model 4'te gerçekleşmektedir. Çünkü, test edilen kollektörler arasında en büyük ısı transfer yüzey alanı Model 4'tedir.

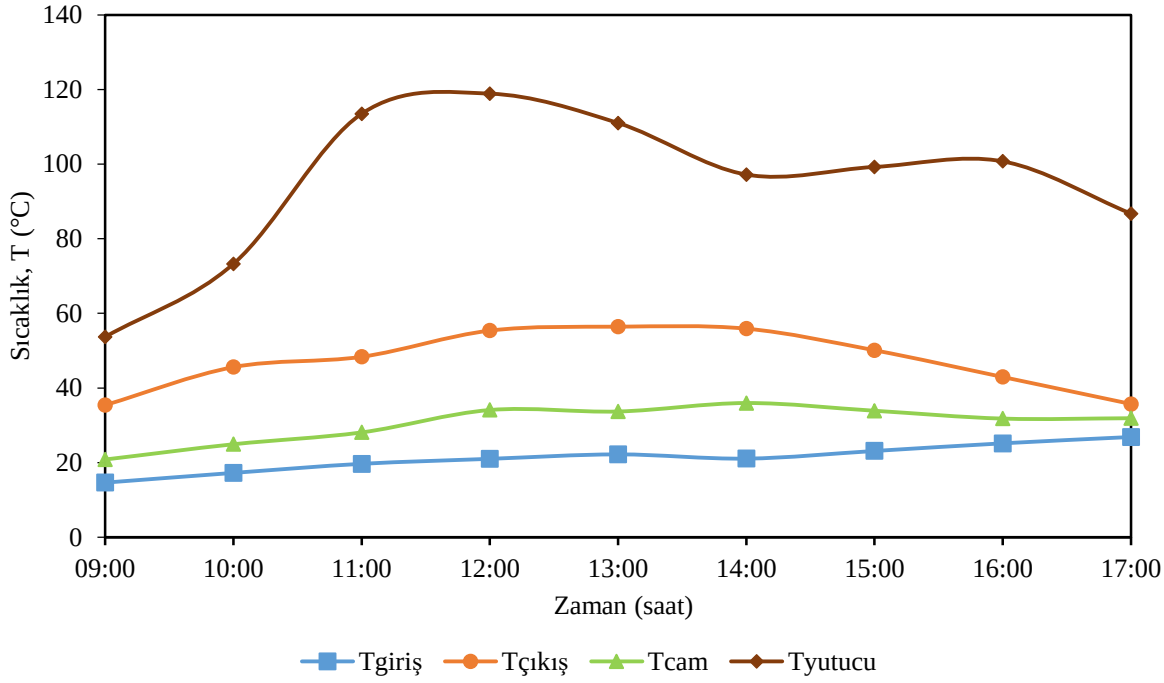


Şekil 7.3. Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

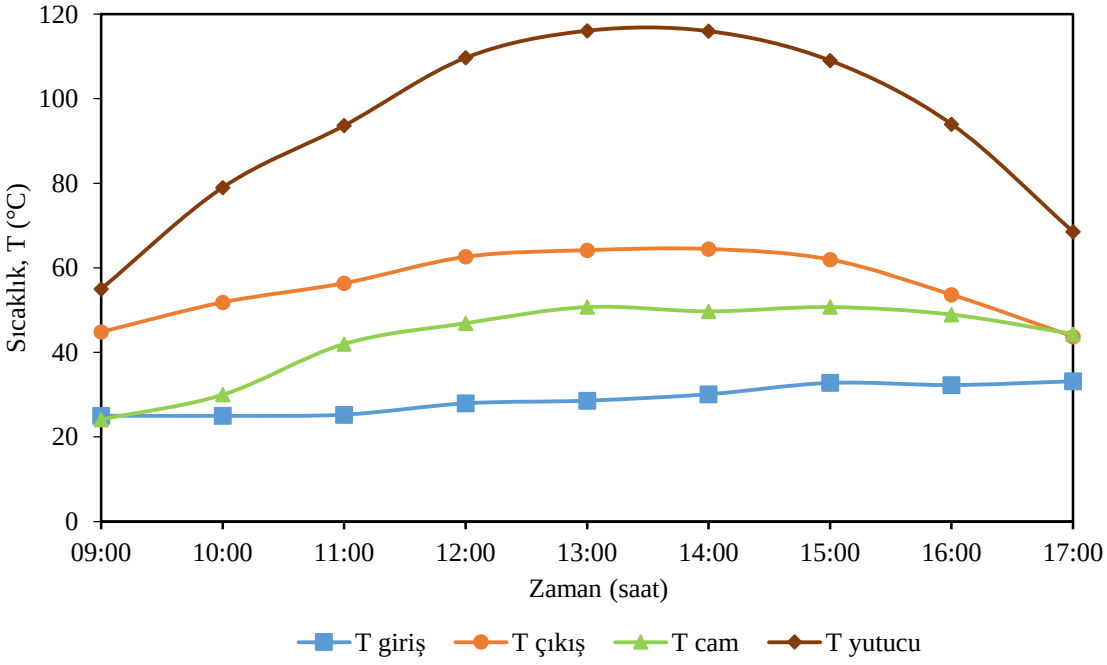
7.3. Kollektörlerdeki Sıcaklıkların Zamana Göre Değişimi

Gün boyunca aynı anda üç farklı kollektör modeli aynı hava debisinde çalıştırılmış ve ölçülen veriler kaydedilmiştir. Aynı günde en fazla üç kollektör ile deney yapma imkânı bulunduğundan, aynı hava debisi için eksik olan kollektör modelinin verileri, ışınım değerlerinin yakın olduğu başka bir gündeki deneyden alınarak kıyaslamalar yapılmıştır. 24.08.2016 tarihinde 0.022 kg/s hava debisi ile

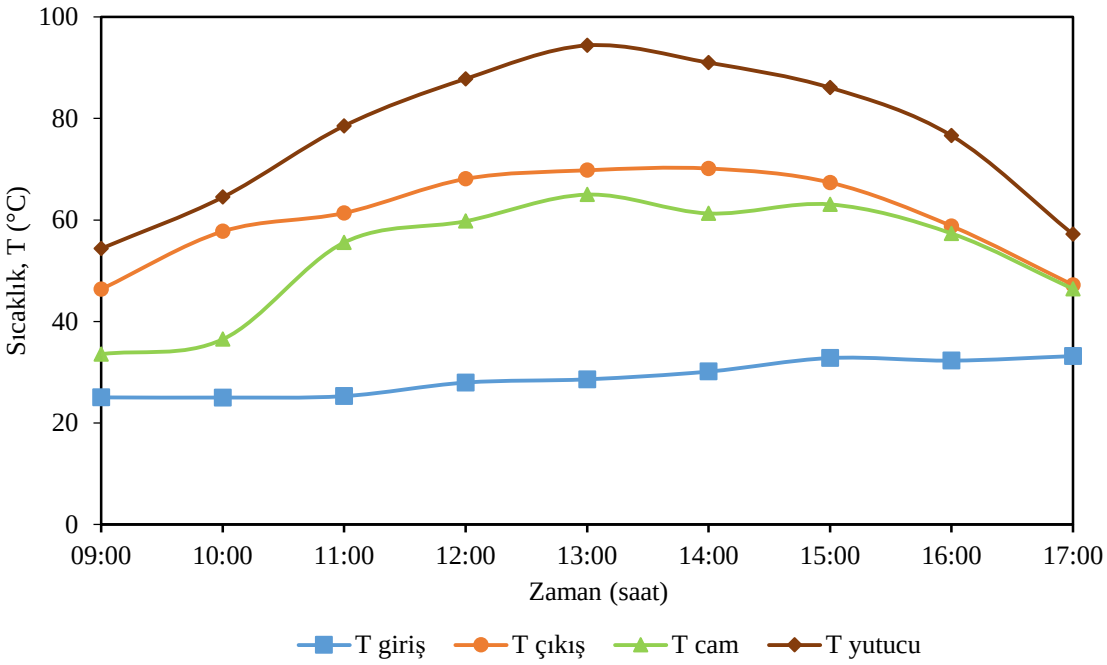
yapılan deneylerde tüm kollektör modelleri için havanın kollektöre giriş, kollektörden çıkış, cam ve yutucu plaka yüzey sıcaklıklarının anlık değişimleri sırası ile Şekil 7.4, Şekil 7.5, Şekil 7.6 ve Şekil 7.7'da verilmiştir.



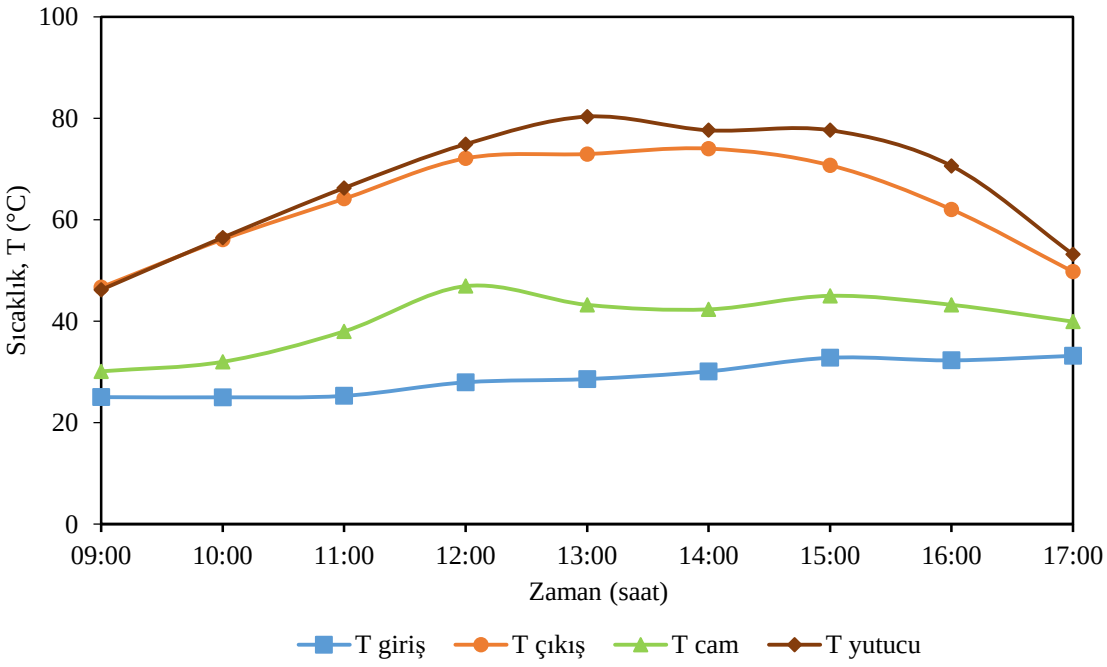
Şekil 7.4. Model 1 için sıcaklıkların anlık değişimi (24.08.2016, $\dot{m} = 0.022\ kg/s$)



Şekil 7.5. Model 2 için sıcaklıkların anlık değişimi (24.08.2016, $\dot{m} = 0.022\ kg/s$)



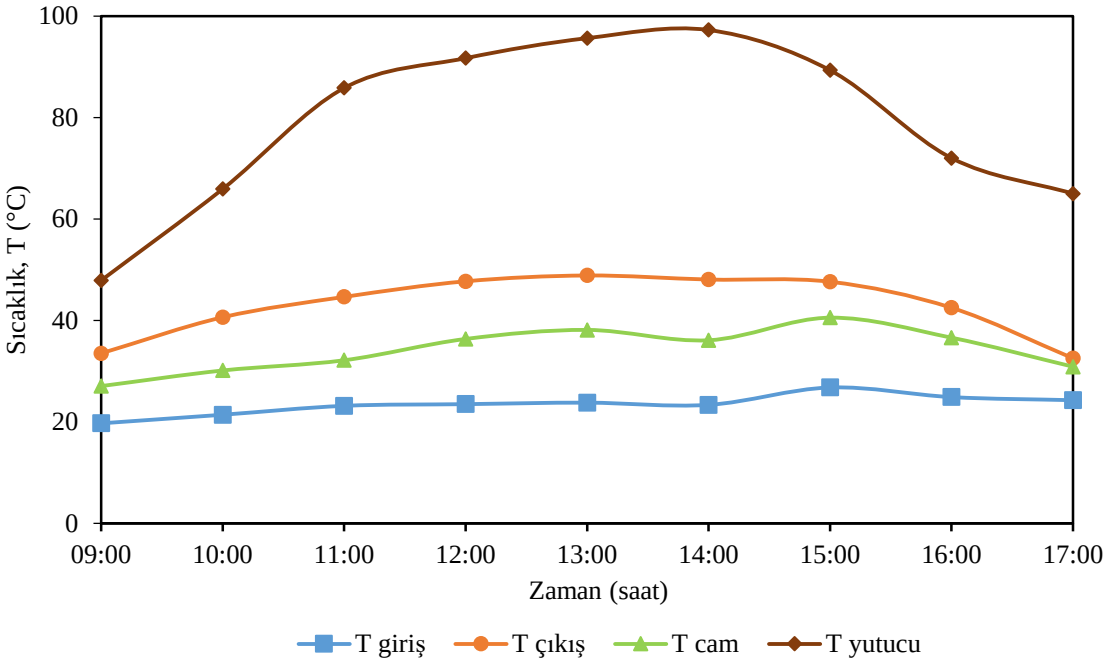
Şekil 7.6. Model 3 için sıcaklıkların anlık değişimi (24.08.2016, $\dot{m} = 0.022\ kg/s$)



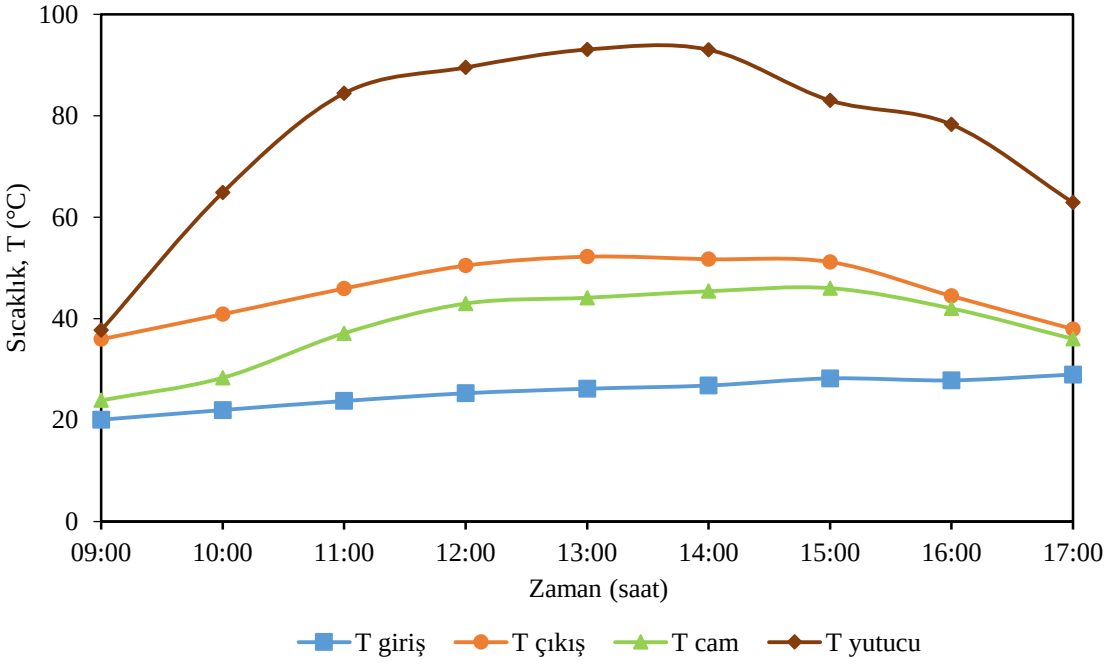
Şekil 7.7. Model 4 için sıcaklıkların anlık değişimi (24.08.2016, $\dot{m} = 0.022\ kg/s$)

Şekil 7.4, Şekil 7.5, Şekil 7.6 ve Şekil 7.7'de, tüm kollektör modellerinde 0.022 kg/s hava debisi için havanın giriş sıcaklıkları 15-33 ^{o}C arasında, çıkış sıcaklıkları ise Model 1, 2, 3 ve 4 için sırası ile, 35-56 ^{o}C, 45-65 ^{o}C, 46-70 ^{o}C ve 46-74 ^{o}C arasında değişmektedir. Havanın kollektörden çıkış sıcaklıkları saat 13:00'e kadar artmakta, öğleden sonra azalmaktadır. Ölçülen saatlik değerlere göre, yutucu plaka yüzeyinin günlük ortalama sıcaklığı Model 1, 2, 3 ve 4 için sırası ile 95 ^{o}C, 93.5 ^{o}C, 77 ^{o}C ve 67 ^{o}C'dir. Plaka yüzey alanları yaklaşık aynı olmasına rağmen Model 2'de yutucu plakanın ortalama yüzey sıcaklığı Model 1'den daha düşüktür. Bunun nedeni, Model 2'de trapez şeklindeki plaka profilinin akış içerisinde türbülans etkisi oluşturması sonucunda akışkana daha fazla ısı transferi gerçekleşmesidir. Model 2'ye göre Model 3'te ve Model 3'e göre Model 4'te yutucu yüzey ortalama sıcaklığının daha düşük olduğu görülmektedir. Sıcaklıktaki bu azalmanın nedeni, kanat eklenerek yüzey alanı arttırılan yutucu plakalardan havaya ısı transferinin artmasıdır. Şekillerden görülen diğer bir sonuç, dış cam yüzey sıcaklıkları çıkış havası sıcaklıklarından daha düşüktür. Tüm kollektör modellerinde cam yüzey sıcaklıkları saat 12:00 veya 13:00 civarında en yüksek değerine ulaşmaktadır. Cam yüzeylerindeki sıcaklık değişimleri, rüzgâr hızının ve güneş ışınımının değişimlerinden kaynaklanmaktadır.

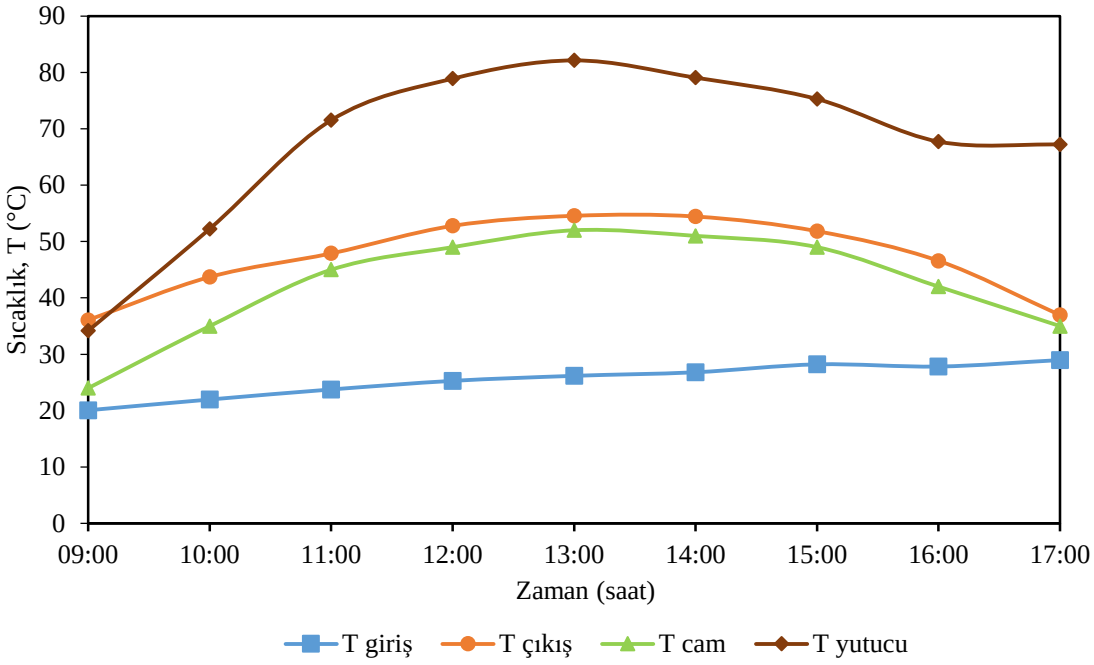
27.08.2016 tarihinde 0.033 kg/s hava debisi ile yapılan deneylerde havanın kollektöre giriş, kollektörden çıkış, cam ve yutucu plaka yüzey sıcaklıklarının anlık değişimleri Model 1, 2, 3 ve 4 için sırası ile Şekil 7.8, Şekil 7.9, Şekil 7.10 ve Şekil 7.11'de verilmiştir. Şekillerde havanın kollektöre giriş sıcaklıkları 20-29 ^{o}C arasında değişmektedir. Havanın kollektörden çıkış sıcaklıkları ise genellikle saat 13:00'e kadar artmakta, daha sonra azalmaktadır. Her saat başı ölçülen değerlere göre yutucu plaka yüzeyinin günlük ortalama sıcaklık değerleri Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 için sırası ile 79 ^{o}C, 76^{o}C, 67.5 ^{o}C ve 54 ^{o}C'dir. Model 4'te yutucu yüzeyin ortalama sıcaklığının diğer modellere göre daha düşük olması, yüzey profilinin değiştirilmesinin ve yüzeye eklenen kanatların ısı transferine olumlu etkisi sonucudur. Model 3'e göre kanat yüzey alanı arttırılan Model 4'te yutucu yüzeyden daha fazla ısı çekilmekte ve bu durum yutucu yüzeyin ortalama sıcaklığının azalmasına neden olmaktadır.



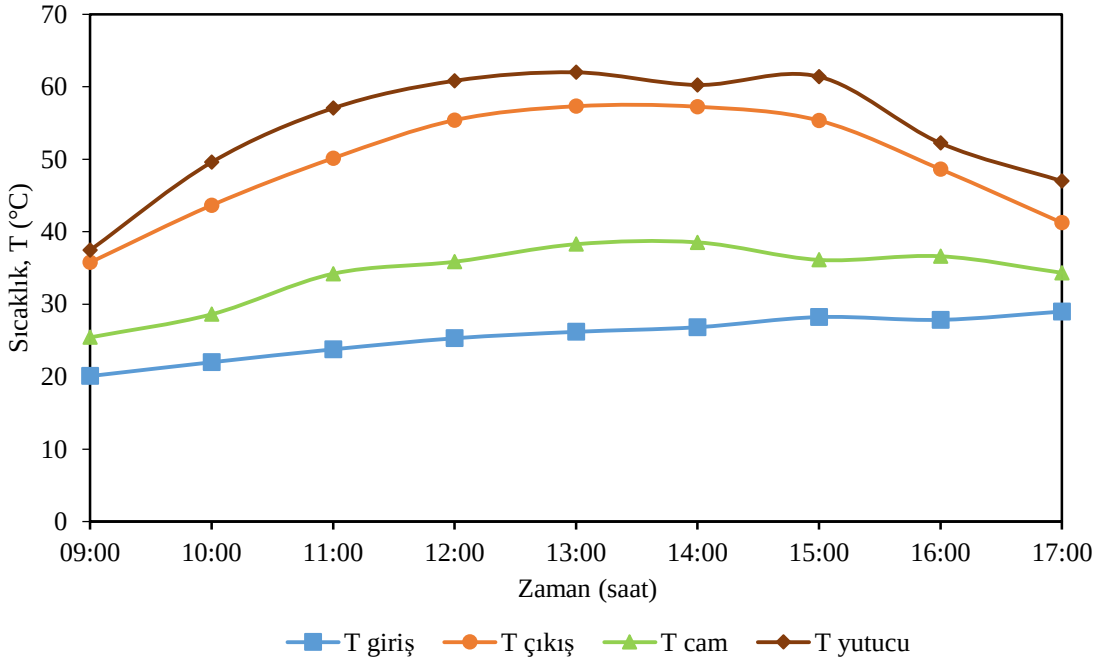
Şekil 7.8. Model 1 için sıcaklıkların anlık değişimi (27.08.2016, $\dot{m} = 0.033\ kg/s$)



Şekil 7.9. Model 2 için sıcaklıkların anlık değişimi (27.08.2016, $\dot{m} = 0.033\ kg/s$)

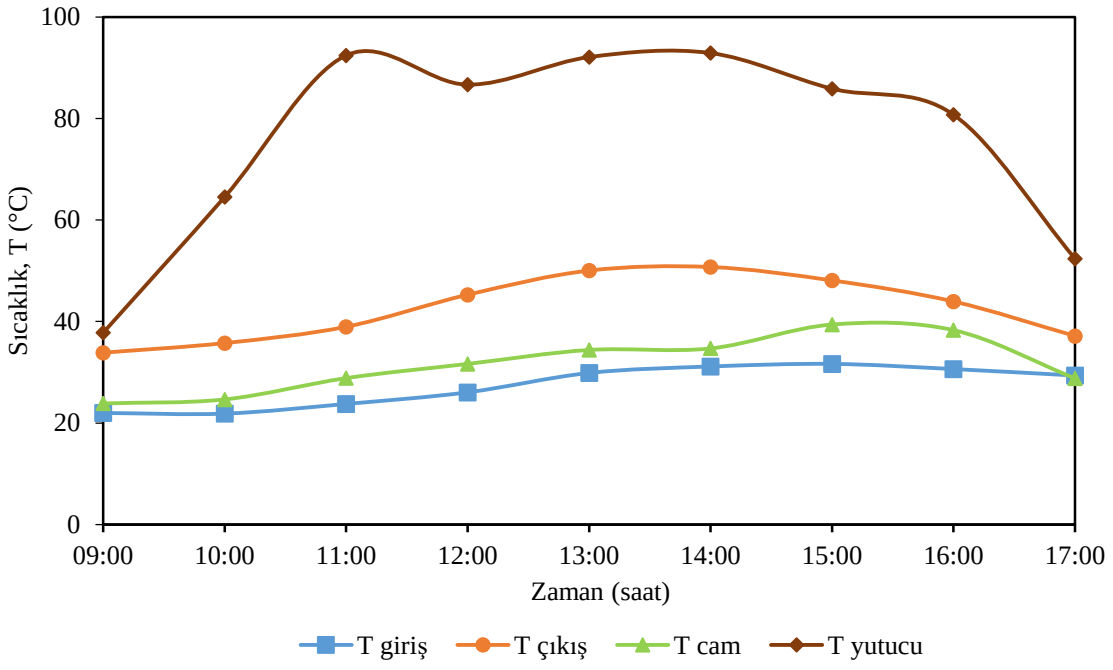


Şekil 7.10. Model 3 için sıcaklıkların anlık değişimi (27.08.2016, $\dot{m} = 0.033\ kg/s$)

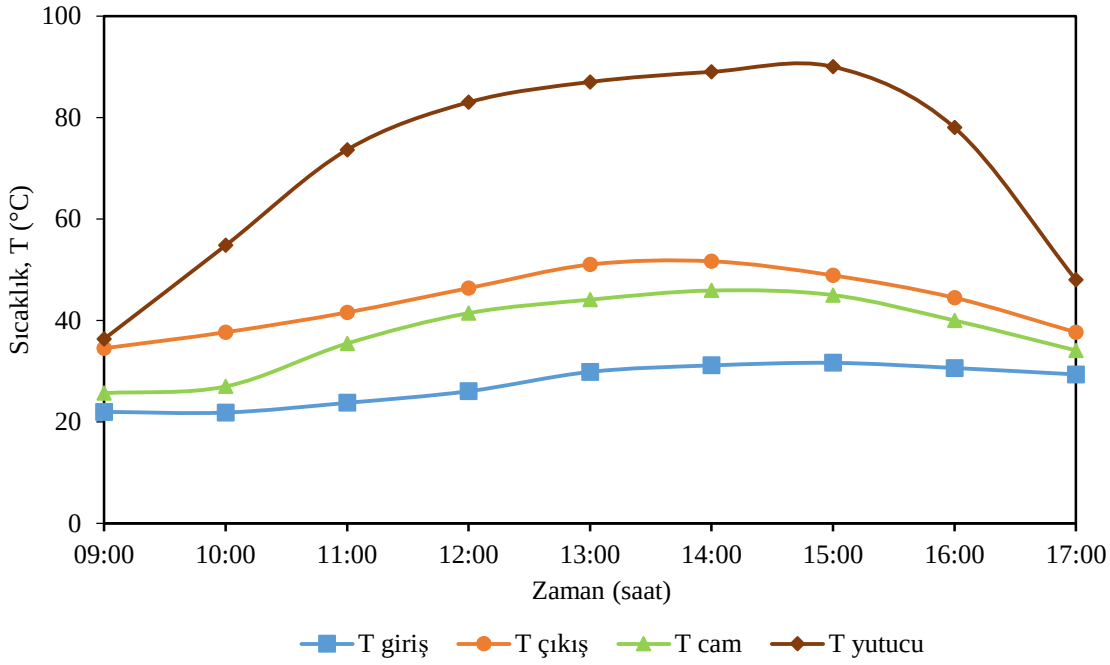


Şekil 7.11. Model 4 için sıcaklıkların anlık değişimi (27.08.2016, $\dot{m} = 0.033\ kg/s$)

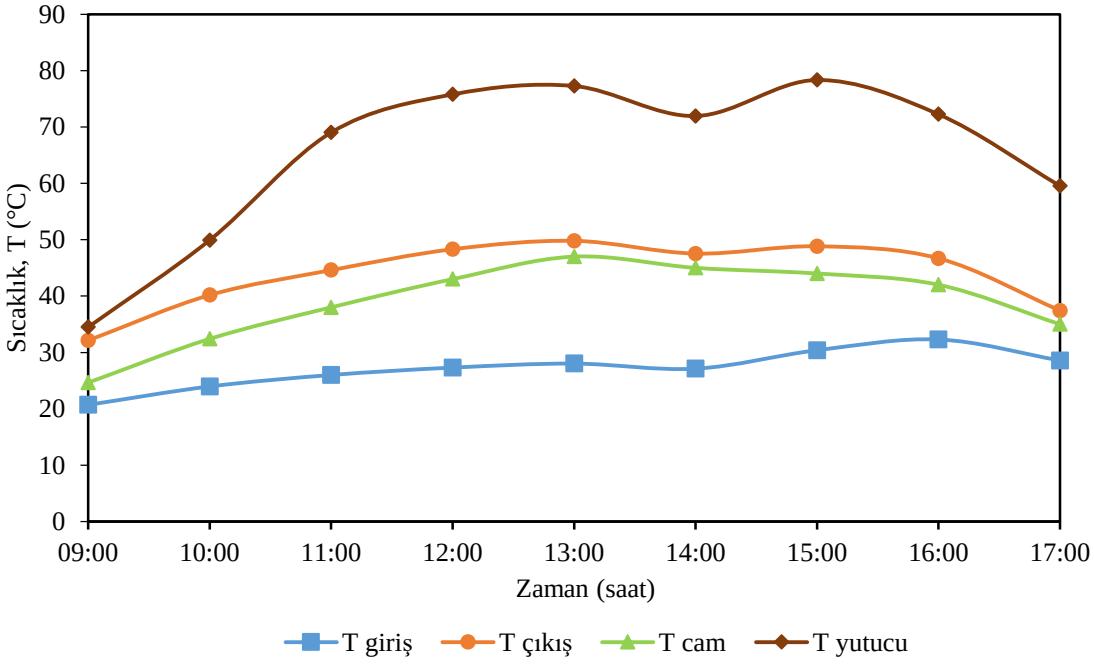
30.08.2016 tarihinde 0.044 kg/s hava debisi ile yapılan deneylerde havanın kollektöre giriş, kollektörden çıkış, cam ve yutucu plaka yüzey sıcaklıklarının saatlik değişimi Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 için sırası ile Şekil 7.12, Şekil 7.13, Şekil 7.14 ve Şekil 7.15'de verilmiştir. Tüm kollektör modellerinde genel olarak havanın giriş sıcaklığı 21-32 ^{o}C arasında değişmektedir. Havanın kollektörden çıkış sıcaklıkları ise genellikle saat 13:00'a kadar artmakta, daha sonra azalmaktadır. Saatlik ölçülen değerlere göre yutucu plaka yüzeyinin günlük ortalama sıcaklıkları Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 için sırası ile 78 ^{o}C, 71 ^{o}C, 65 ^{o}C ve 52^{o}C'dir. Model 2'de yutucu plaka sıcaklığının Model 1'e göre azalmasının nedeni, trapez profilli yüzeyden havaya daha fazla ısı geçişidir. Model 2'ye göre Model 3'te ve Model 3'e göre Model 4'te plaka sıcaklığındaki azalmaların nedeni ise, yutucu plakaya kanatların eklenmesi ve kanat yüzey alanlarının arttırılması ile yutucu yüzeyden havaya geçen ısı miktarı artmaktadır.



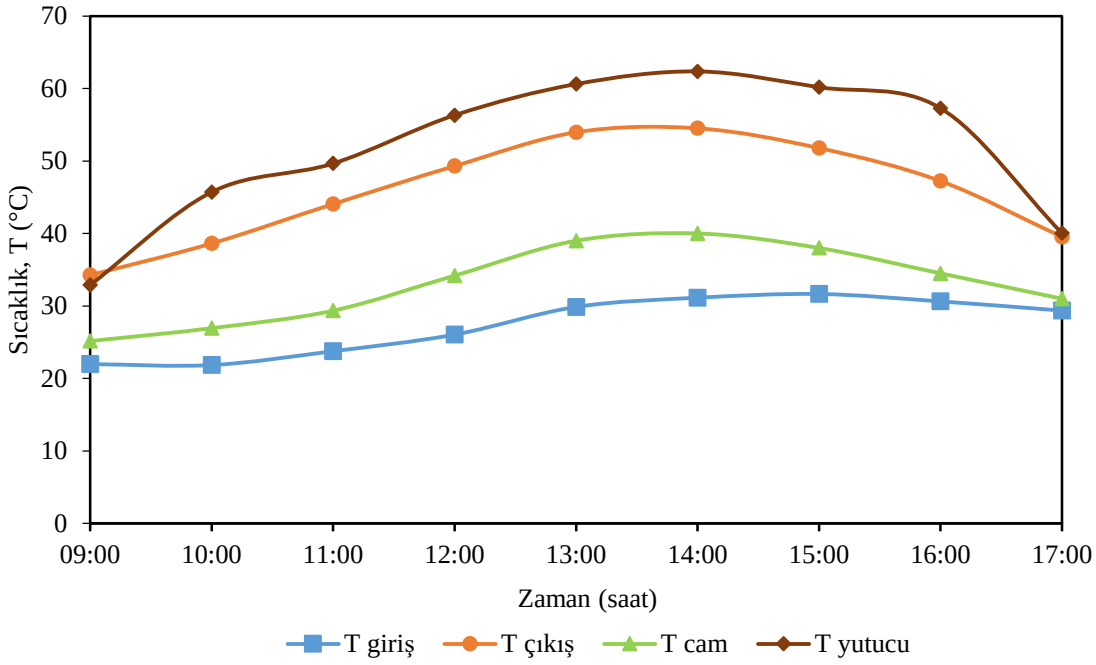
Şekil 7.12. Model 1 için sıcaklıkların anlık değişimi (30.08.2016, $\dot{m} = 0.044\ kg/s$)



Şekil 7.13. Model 2 için sıcaklıkların anlık değişimi (30.08.2016, $\dot{m} = 0.044\ kg/s$)



Şekil 7.14. Model 3 için sıcaklıkların anlık değişimi (30.08.2016, $\dot{m} = 0.044\ kg/s$)



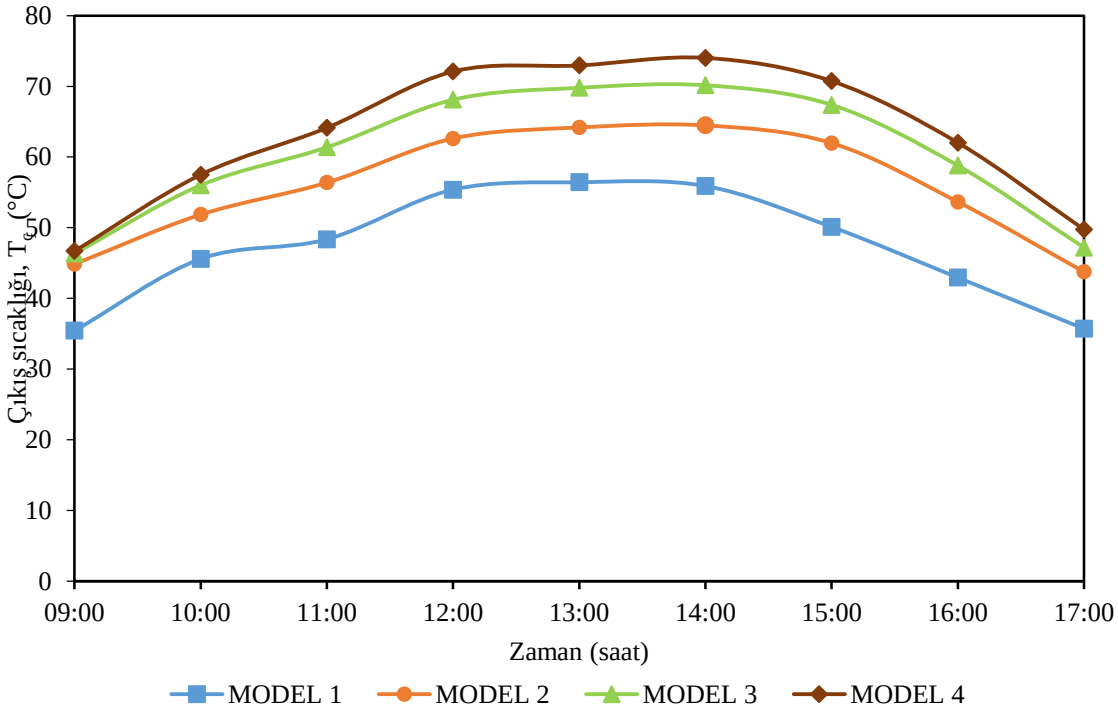
Şekil 7.15. Model 4 için sıcaklıkların anlık değişimi (30.08.2016, $\dot{m} = 0.044\ kg/s$)

Kollektörlerdeki sıcaklıkların zamanla değişimlerini gösteren yukarıdaki tüm şekillerden belirlenen diğer bir sonuç, yaklaşık aynı ışınım değerlerinde farklı hava debileri ile yapılan deneyler sonucunda, kütle debisi azaldıkça havanın kollektörden çıkış sıcaklığı artmaktadır. Akışın kütle debisi (ve hızı) azaldıkça hava, sıcak yutucu plaka ile daha fazla temas etmekte ve çıkış sıcaklıkları artmaktadır (Farhan ve A., 2016). Hava debisinin azalması ile yutucu plaka yüzeyinin daha sıcak olması sonucunda çevreye ısı kayıpları da artmaktadır.

7.4. Havanın çıkış sıcaklığına göre karşılaştırma

24, 27 ve 30 Ağustos 2016 günlerinde 0.022 kg/s, 0.033 kg/s ve 0.044 kg/s hava debileri için kollektör modellerinin havanın çıkış sıcaklıklarına göre karşılaştırmaları Şekil 7.16, Şekil 7.17 ve Şekil 7.18'de görülmektedir. Şekiller incelendiğinde, genellikle gün boyunca havanın en düşük çıkış sıcaklığının Model 1'de gerçekleştiği ve çıkış sıcaklığının Model 2, Model 3 ve Model 4 için sırası ile gittikçe yükseldiği görülmektedir. Kollektör çıkışlarında havanın en yüksek sıcaklık değerleri ise Model 4'te elde edilmiştir.

Şekil 7.16'da görüldüğü gibi, 0.022 kg/s hava debisinde havanın en düşük çıkış sıcaklığı 35 ^{o}C ile Model 1'de, en yüksek sıcaklık ise 74 ^{o}C ile Model 4'te elde edilmiştir. Aynı debide kollektör çıkış sıcaklıklarının günlük ortalama değerleri ise Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 için sırası ile 47 ^{o}C, 56 ^{o}C, 61^{o}C ve 63 ^{o}C'dir. Plaka geometrisinin trapez şekline dönüştürülmesi ve plaka yüzeyine kanatlar eklenmesi sonucunda yüzey alanı artışı ve akış içinde oluşan ilave türbülans etkisi nedenleri ile plakadan havaya daha fazla ısı transferi gerçekleştiği ve bunun sonucunda da havanın çıkış sıcaklığının arttığı anlaşılmaktadır.

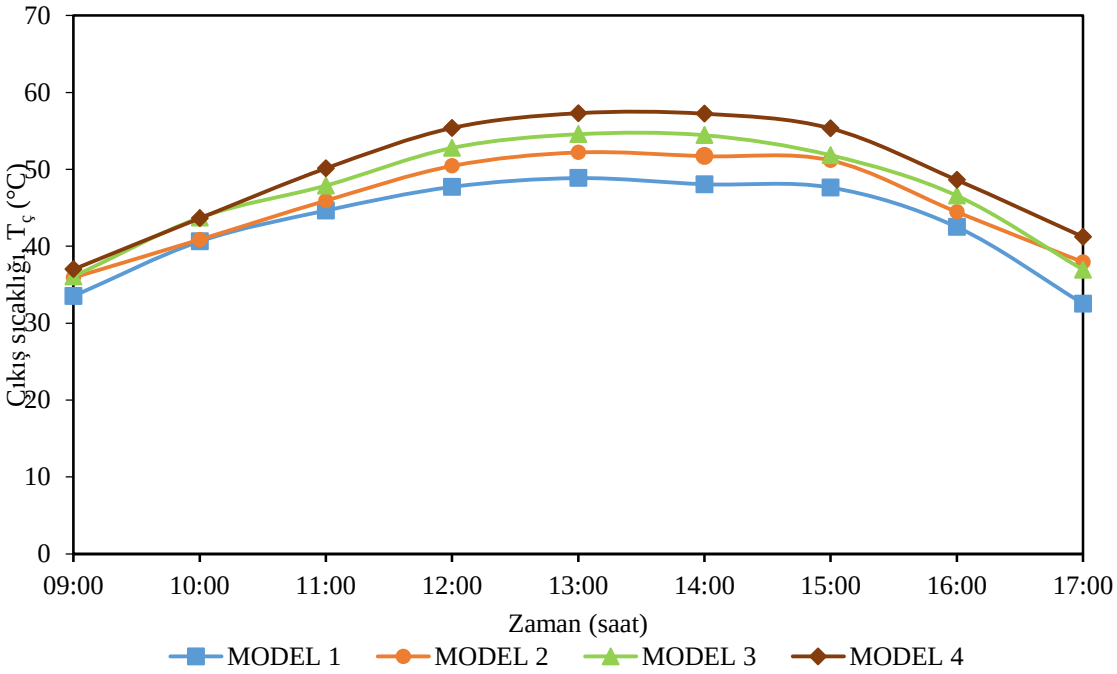


Şekil 7.16. Havanın çıkış sıcaklıklarının anlık değişimi ($\dot{m} = 0.022\ kg/s$)

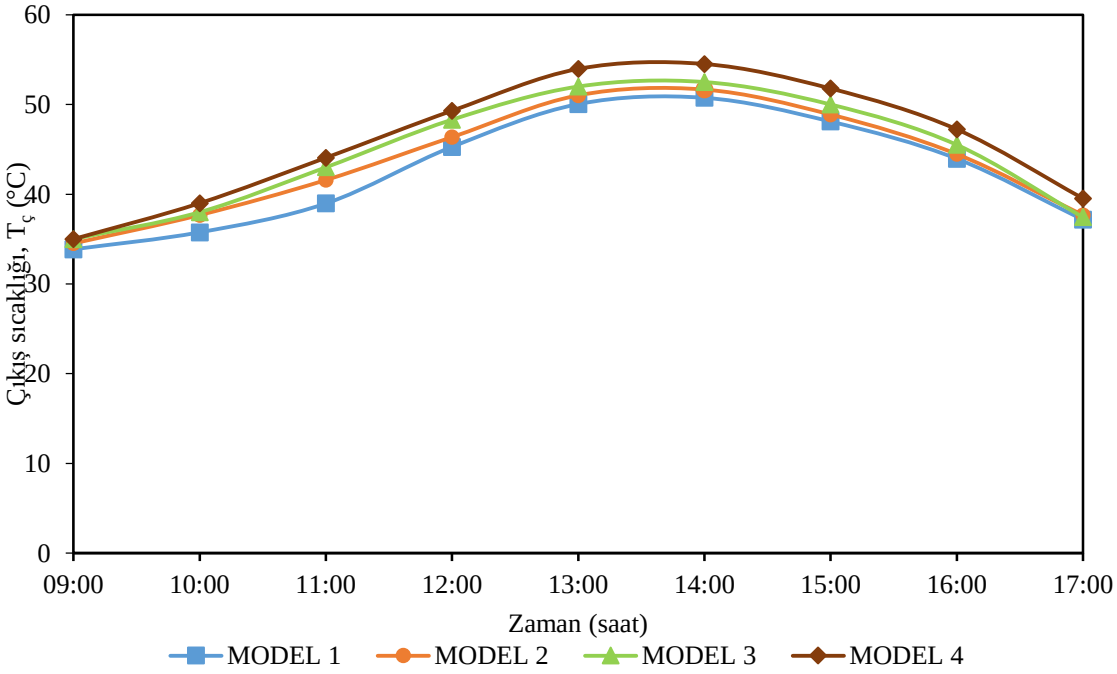
Şekil 7.17 incelendiğinde, 0.033 kg/s hava debisi için havanın en düşük çıkış sıcaklığı 32.5 ^{o}C olarak Model 1'de, en yüksek sıcaklık ise 57 ^{o}C olarak Model 4'te elde edilmiştir. Aynı debi için kollektör çıkış sıcaklıklarının günlük ortalama değerleri ise Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 için sırası ile 43 ^{o}C, 46 ^{o}C, 47^{o}C ve 50 ^{o}C'dir.

Şekil 7.18 ise, 0.044 kg/s hava debisinde havanın en düşük çıkış sıcaklığı 34 ^{o}C olarak Model 1'de, en yüksek sıcaklık ise 55 ^{o}C olarak Model 4'te elde edilmiştir. Aynı

debi için kollektör çıkış sıcaklıklarının günlük ortalama değerleri ise Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 için sırası ile 43 ºC, 44 ºC, 45ºC ve 46 ºC'dir.



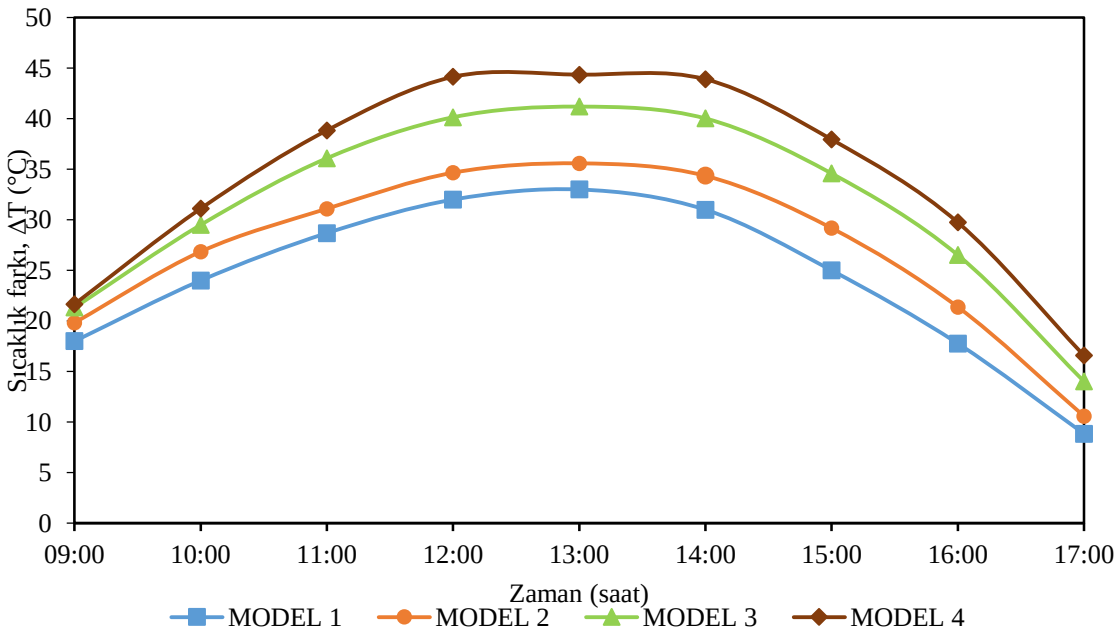
Şekil 7.17. Havanın çıkış sıcaklıklarının anlık değişimi ($\dot{m} = 0.033\ kg/s$)



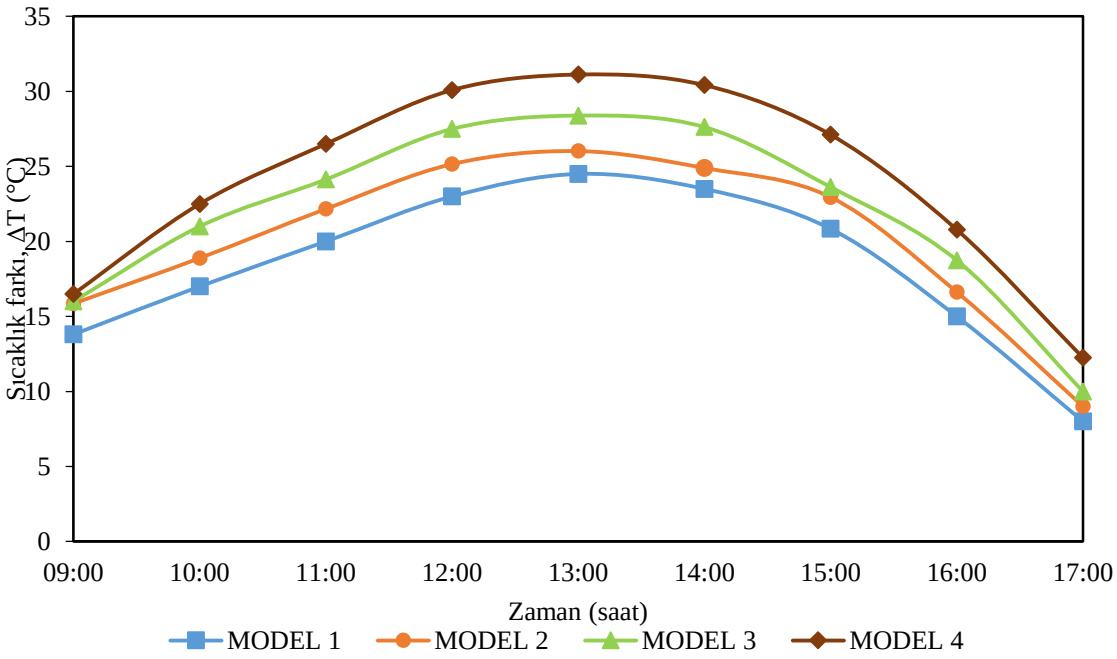
Şekil 7.18. Havanın çıkış sıcaklıklarının anlık değişimi ($\dot{m} = 0.044\ kg/s$)

7.5. Havanın Sıcaklık Farkına Göre Karşılaştırma

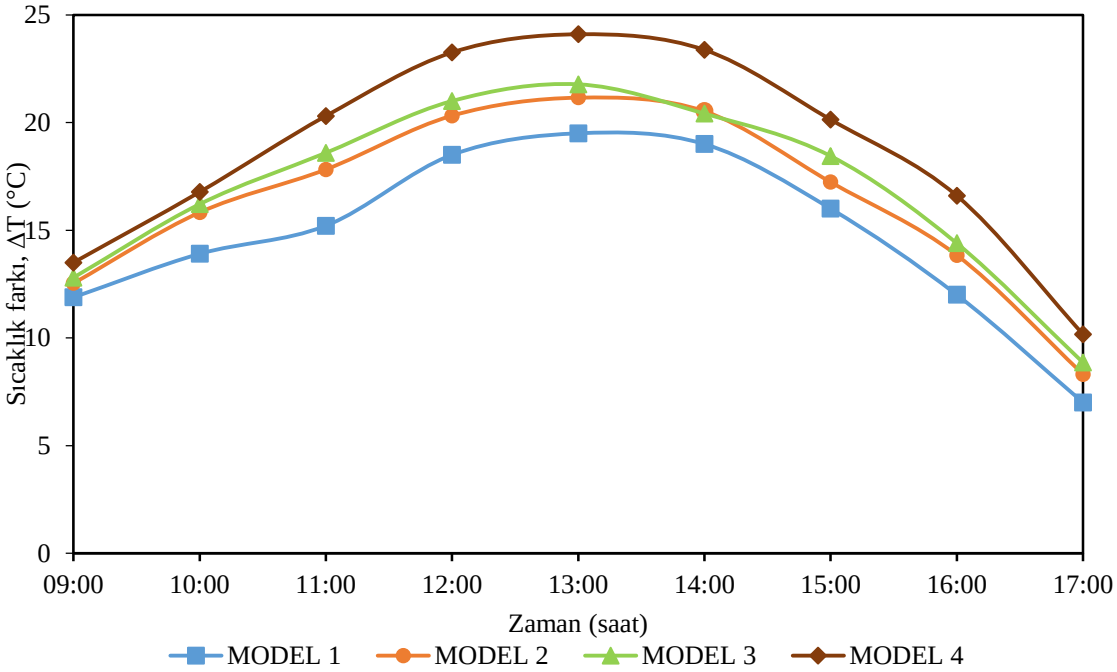
Şekil 7.19, Şekil 7.20 ve Şekil 7.21'de tüm kollektör modelleri için havanın kollektöre giriş ve kollektörden çıkış noktaları arasındaki sıcaklık farkının anlık değişimleri verilmiştir. Şekillerden görüldüğü üzere, sıcaklık farkının en yüksek değerleri Model 4'te, en düşük değerleri ise Model 1'de elde edilmiştir. Model 4 için sıcaklık farkının en büyük değeri 0.022 kg/s, 0.033 kg/s ve 0.044 kg/s hava debileri için sırası ile 44 ^{o}C, 31 ^{o}C ve 24 ^{o}C'dir. Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 kollektörler için 0.022 kg/s hava debisinde günlük ortalama hava sıcaklık farkı modellere göre sırası ile 24 ^{o}C, 27 ^{o}C, 31.5 ^{o}C ve 34 ^{o}C; 0.033 kg/s hava debisinde 18.5 ^{o}C, 20 ^{o}C, 22 ^{o}C ve 24 ^{o}C; 0.044 kg/s hava debisinde ise 15 ^{o}C, 16.4 ^{o}C, 17 ^{o}C ve 19 ^{o}C'dir. Model 1'den Model 4'e doğru sıcaklık farklarındaki bu artışın nedeni, Model 1'deki düz yutucu plaka yerine Model 2'de trapez profilli yutucu plaka kullanımı, Model 3 ve Model 4'te ise trapez profille birlikte plaka yüzeyine kanatlar eklenmesi ile yüzey alanında meydana gelen artış sonucunda kollektörden havaya daha fazla ısı transferi gerçekleşmesidir. Şekillerden çıkarılabilecek diğer bir sonuç ise, hava debisinin artması sonucunda havanın sıcaklık farkının azalmasıdır. Hava debisinin (akış hızının) artışı ile havanın kanal içinden geçiş süresi kısalmakta ve hava daha az ısınarak daha düşük bir sıcaklıkta kollektörü terketmektedir.



Şekil 7.19. Havanın sıcaklık farkının anlık değişimi ($\dot{m} = 0.022\ kg/s$)



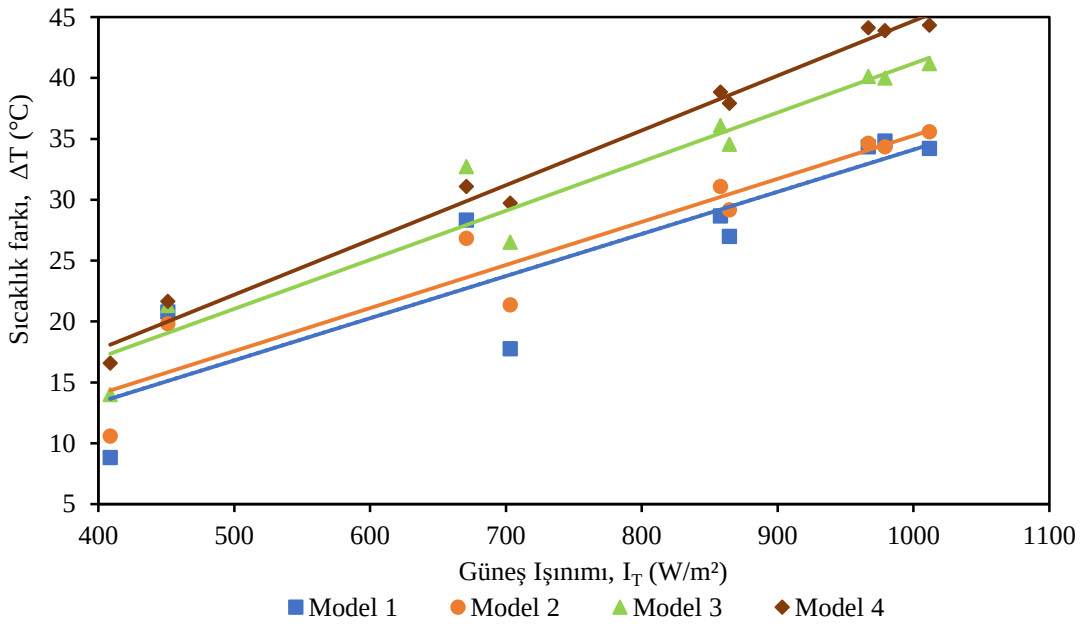
Şekil 7.20. Havanın sıcaklık farkının anlık değişimi ($\dot{m} = 0.033\ kg/s$)



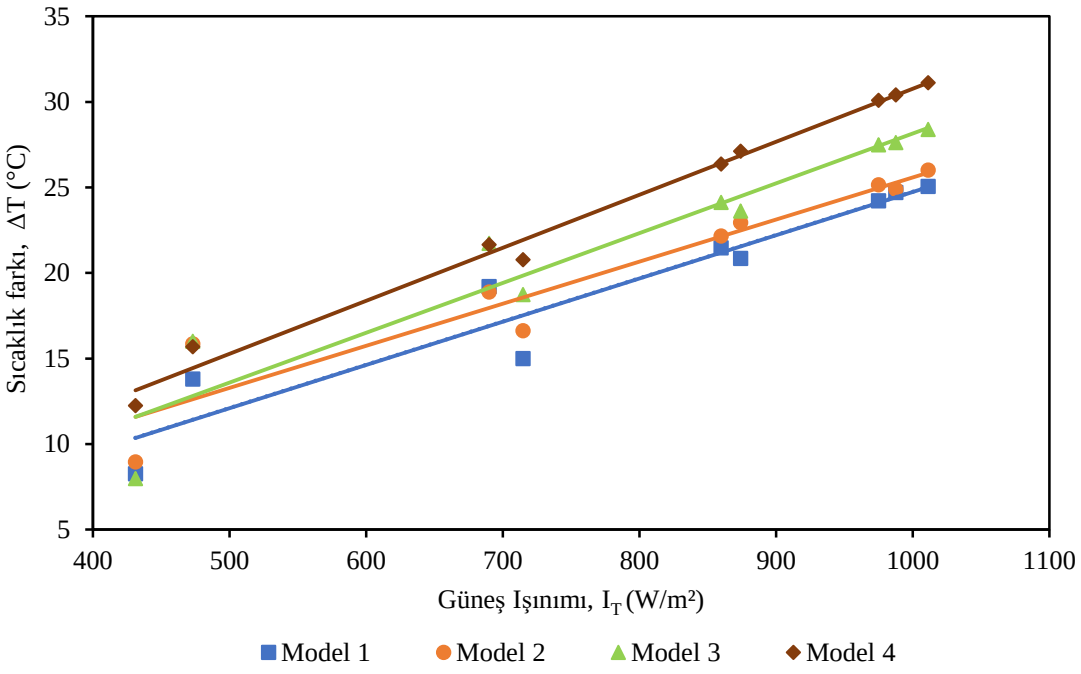
Şekil 7.21. Havanın sıcaklık farkının anlık değişimi ($\dot{m} = 0.044\ kg/s$)

7.6. Güneş Işınımının Havanın Sıcaklık Farkına Etkisi

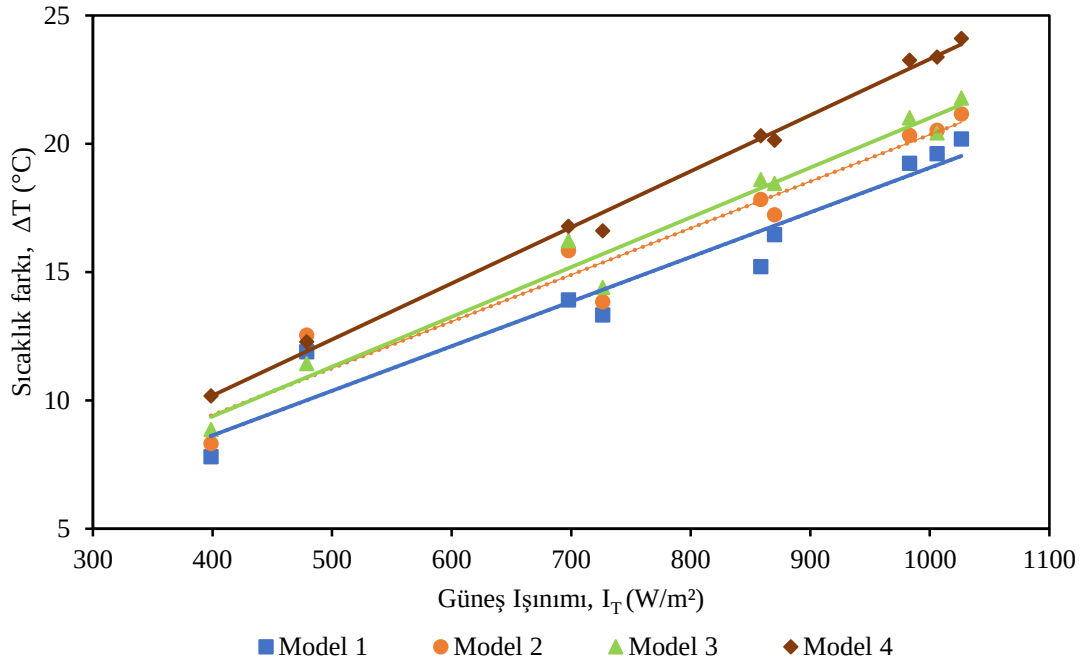
Deney yapılan günlerde güneş ışınımının saatlik değerlerine karşılık kollektör giriş ve çıkış noktalarında ölçülen hava sıcaklıkları arasındaki farkın güneş ışınımı ile değişimi Şekil 7.22, Şekil 7.23 ve Şekil 7.24'de verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi, kollektör yüzeylerine gelen güneş ışınımı yoğunluğu ile havanın sıcaklık farkı doğru orantılıdır. Bu durum, yüksek ışınım değerleri etkisi ile yutucu plaka yüzeyinin ve kanal içinden geçen havanın daha yüksek sıcaklığa erişmesi ile açıklanabilir. Tüm ışınım değerlerinde sıcaklık farkının en düşük değeri Model 1'de, en yüksek değeri ise Model 4'te gerçekleşmektedir. Her üç şekil birlikte değerlendirildiğinde, yaklaşık olarak aynı ışınım değerlerinde, hava debisinin artışı ile havanın sıcaklık farkının azaldığı görülmektedir. Yüksek debilerde plaka yüzeyinde biriken ısı hızla uzaklaştırılmakta ve bunun sonucunda kanaldan geçen havanın çıkış sıcaklığı daha düşük olmaktadır.



Şekil 7.22. Havanın sıcaklık farkının güneş ışınımı ile değişimi, $\dot{m} = 0.022\ kg/s$)



Şekil 7.23. Havanın sıcaklık farkının güneş ışınımı ile değişimi ($\dot{m} = 0.033\ kg/s$)

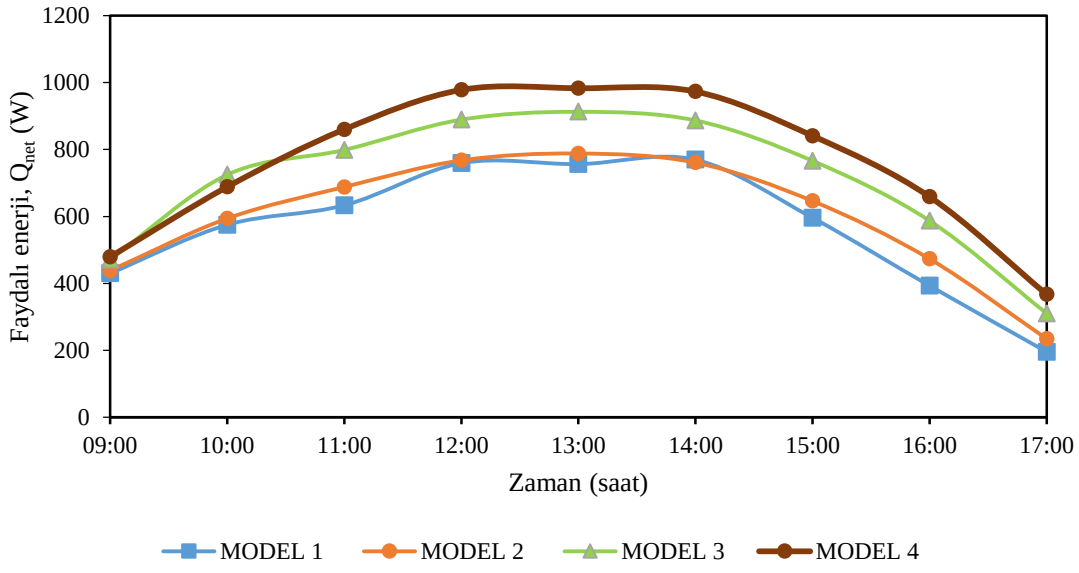


Şekil 7.24. Havanın sıcaklık farkının güneş ışınımı ile değişimi ($\dot{m} = 0.044\ kg/s$)

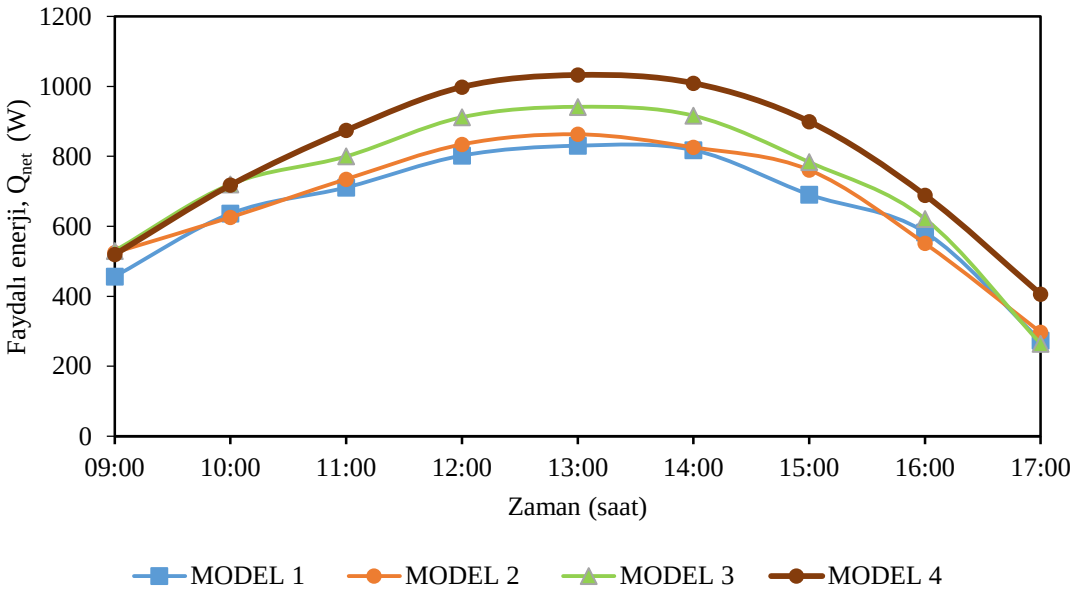
7.7. Kollektör Modellerinin Faydalı Enerji Yönünden Kıyaslanması

Şekil 7.25, Şekil 7.26 ve Şekil 7.27, farklı hava debilerinde test edilen tüm kollektör modellerinde havaya kazandırılan birim zamandaki faydalı ısıl enerjinin anlık değişimini göstermek için çizilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi, faydalı enerji değerleri saat 13:00'e kadar güneş ışınımının artışına paralel olarak artmakta, daha sonra azalan bir eğilim sergilemektedir. Düz plakalı ve kanatsız Model 1 kollektöre göre yaklaşık aynı yüzey alanına sahip olan Model 2'de faydalı enerji değerleri hafif yüksektir. Güneşe bakan yüzey alanı Model 2 ile aynı olan Model 3 ve Model 4'te elde edilen faydalı enerji değerleri Model 2'ye göre daha yüksektir. Bunun nedeni, Model 3'te yutucu plakanın hava ile temas eden iç yüzeyine 4 cm uzunlukta kare profil kanatlar ilave edilmiş olmasıdır. Model 4 için faydalı enerji değerlerinin Model 3'e göre daha yüksek olmasının nedeni ise, plakaya eklenen kanat uzunluğunun iki katına (8 cm) çıkarılmasıdır. Böylece yutucu plakaya kanat ilavesi ile yüzey alanı arttırılmış ve bunun sonucunda havaya daha fazla ısı geçişi sağlanmıştır.

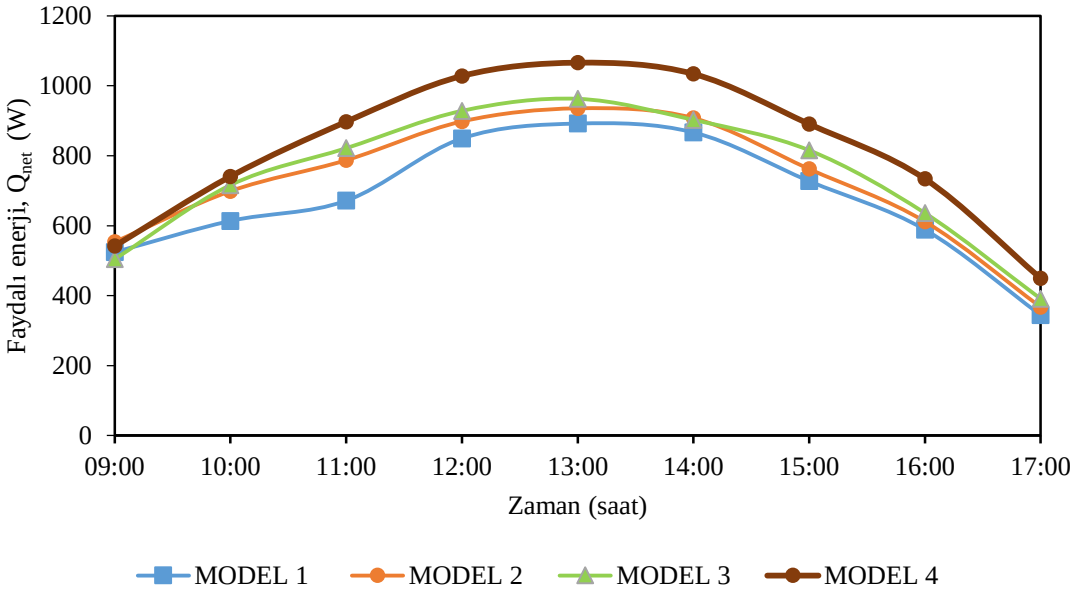
Şekil 7.25, Şekil 7.26 ve Şekil 7.27'den görülen diğer bir sonuç ise, 0.022 kg/s hava debisinde Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 için birim zamandaki faydalı enerjinin en büyük değerleri sırası ile 769, 788, 913 ve 983 W; 0.033 kg/s hava debisinde 830, 862, 941 ve 1032 W ve 0.044 kg/s hava debisinde ise 892, 936, 963 ve 1066 W'tır. Bu değerlerden de anlaşıldığı gibi, kollektörlerde havaya kazandırılan faydalı enerji miktarı hava debisi ile doğru orantılıdır.



Şekil 7.25. Faydalı enerjinin anlık değişimi ($\dot{m} = 0.022\ kg/s$)



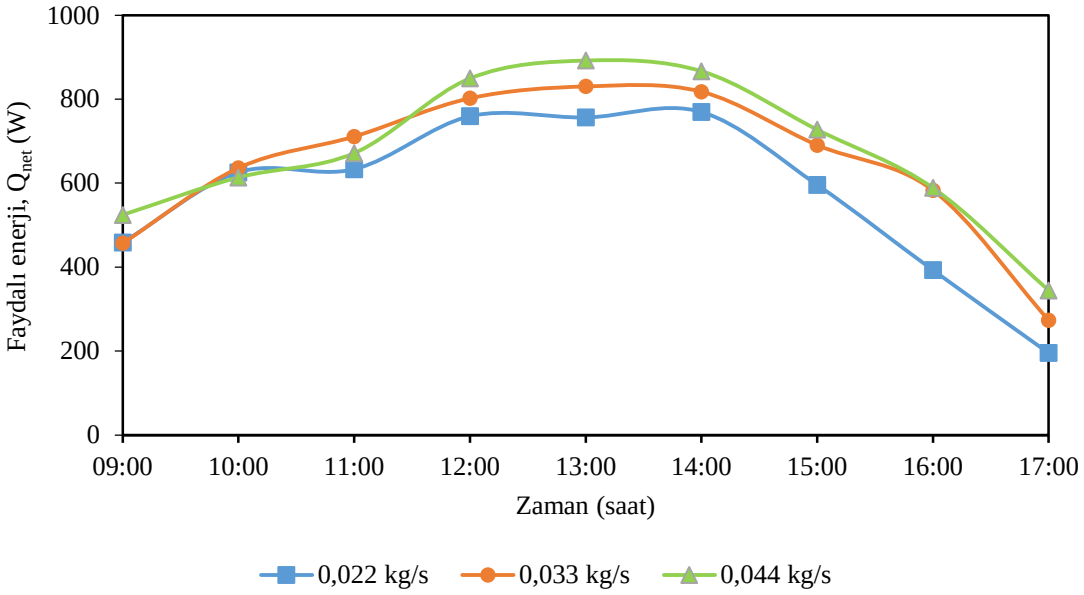
Şekil 7.26. Faydalı enerjinin anlık değişimi ($\dot{m} = 0.033\ kg/s$)



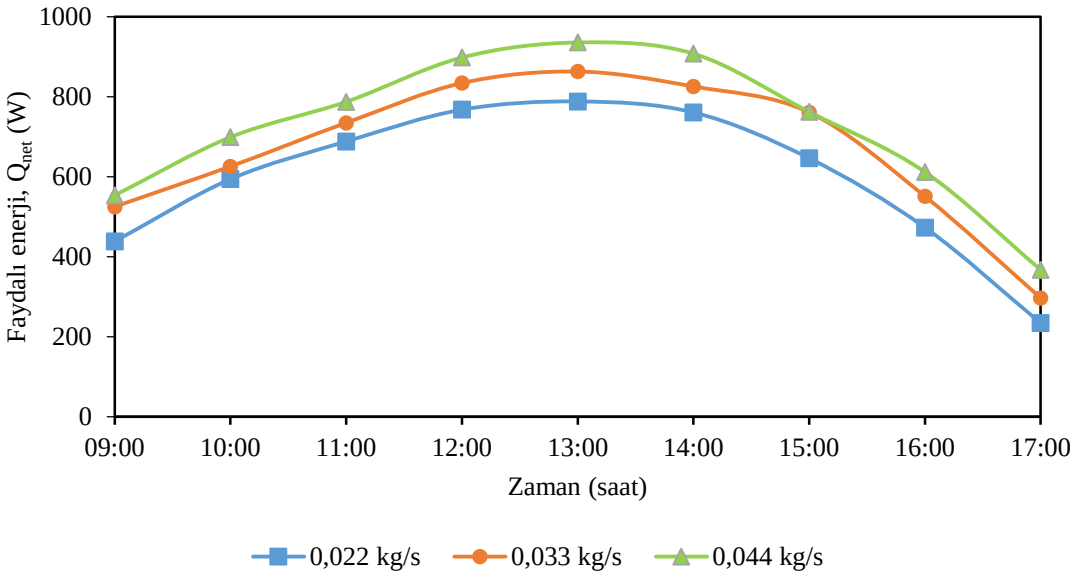
Şekil 7.27. Faydalı enerjinin anlık değişimi ($\dot{m} = 0.044\ kg/s$)

7.8. Hava Debisinin Faydalı Enerjiye Etkisi

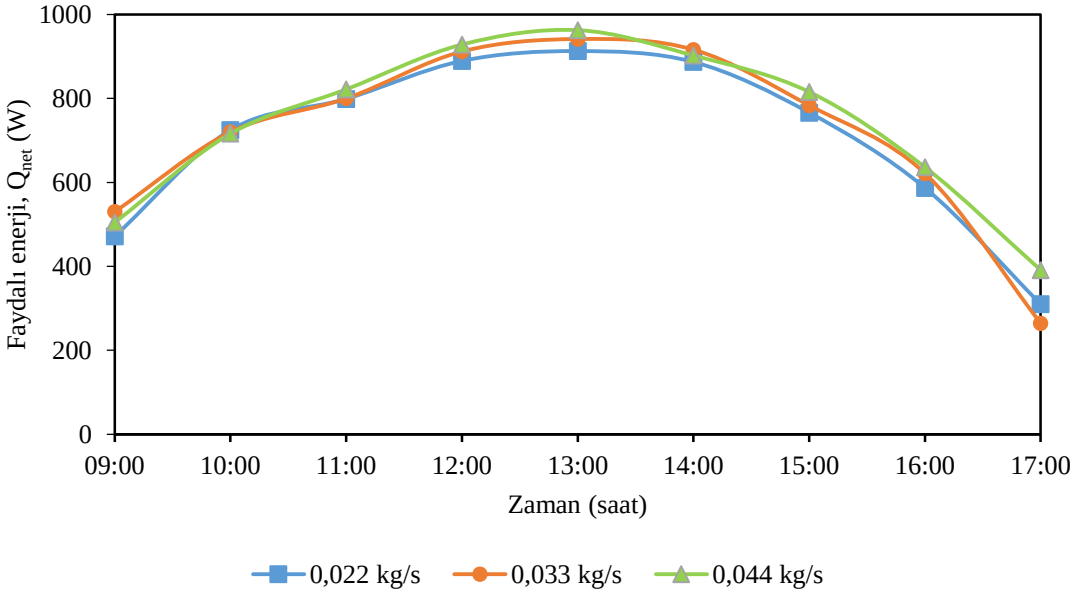
Hava debisinin faydalı ısıl enerjiye etkisi her bir kollektör modeli için sırası ile Şekil 7.28, 7.29, 7.30 ve 7.31'de verilmiştir. Bu şekillerden de görüldüğü gibi, tüm kollektör modellerinde yüksek debilerde faydalı enerji değerleri de daha yüksektir. Isı transfer yüzey alanı daha fazla olduğundan, Model 3 ve Model 4'te hava debisinin artışı ile faydalı enerjideki artış oranı Model 1 ve Model 2'ye göre daha düşüktür.



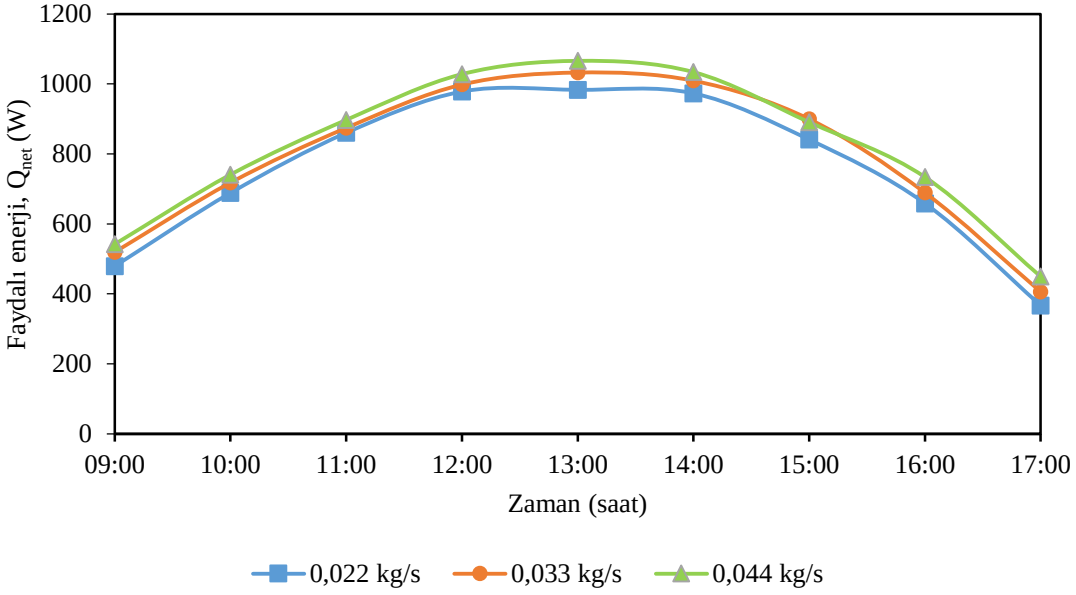
Şekil 7.28. Faydalı enerjinin farklı hava debilerindeki anlık değişimi (Model 1)



Şekil 7.29. Faydalı enerjinin farklı hava debilerindeki anlık değişimi (Model 2)



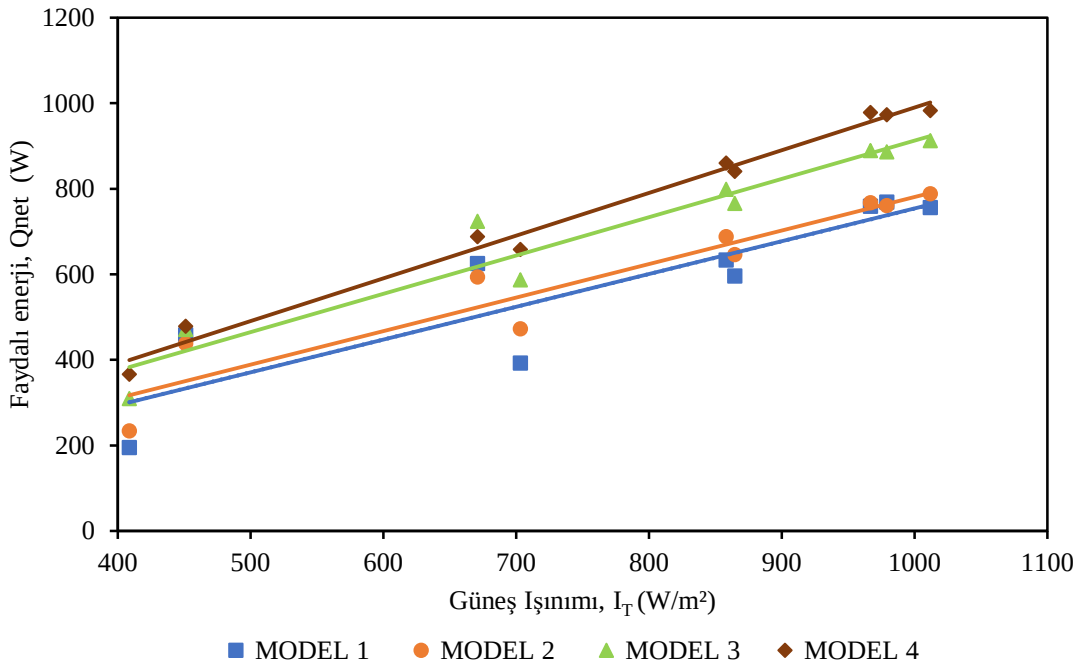
Şekil 7.30. Faydalı enerjinin farklı hava debilerindeki anlık değişimi (Model 3)



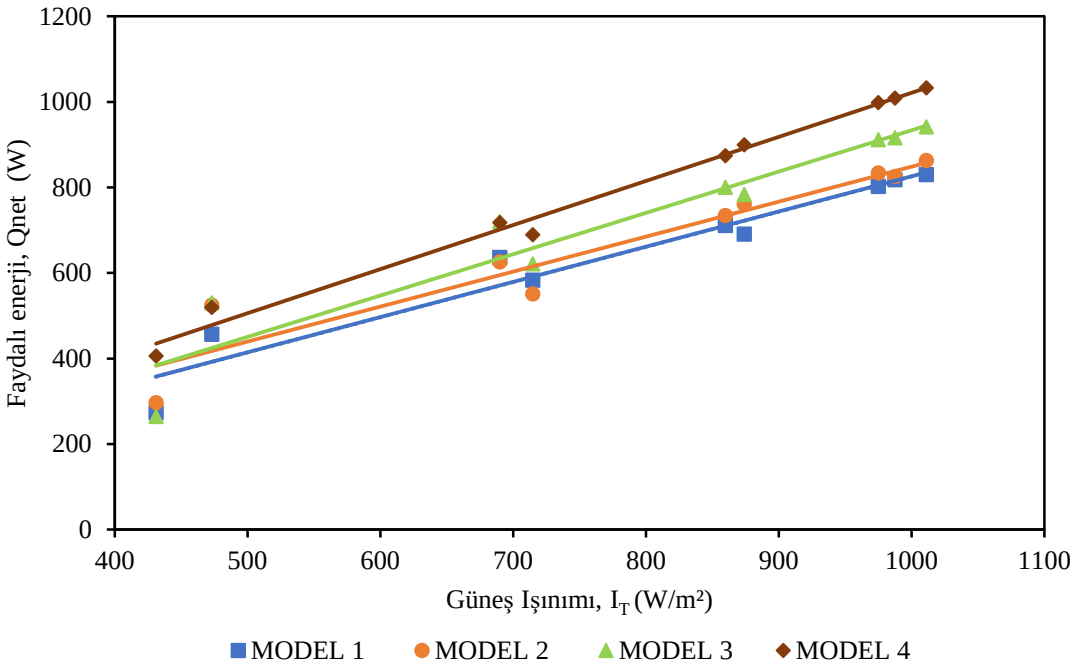
Şekil 7.31. Faydalı enerjinin farklı hava debilerindeki anlık değişimi (Model 4)

7.9. Faydalı Isıl Enerjinin Güneş Işınımı İle Değişimi

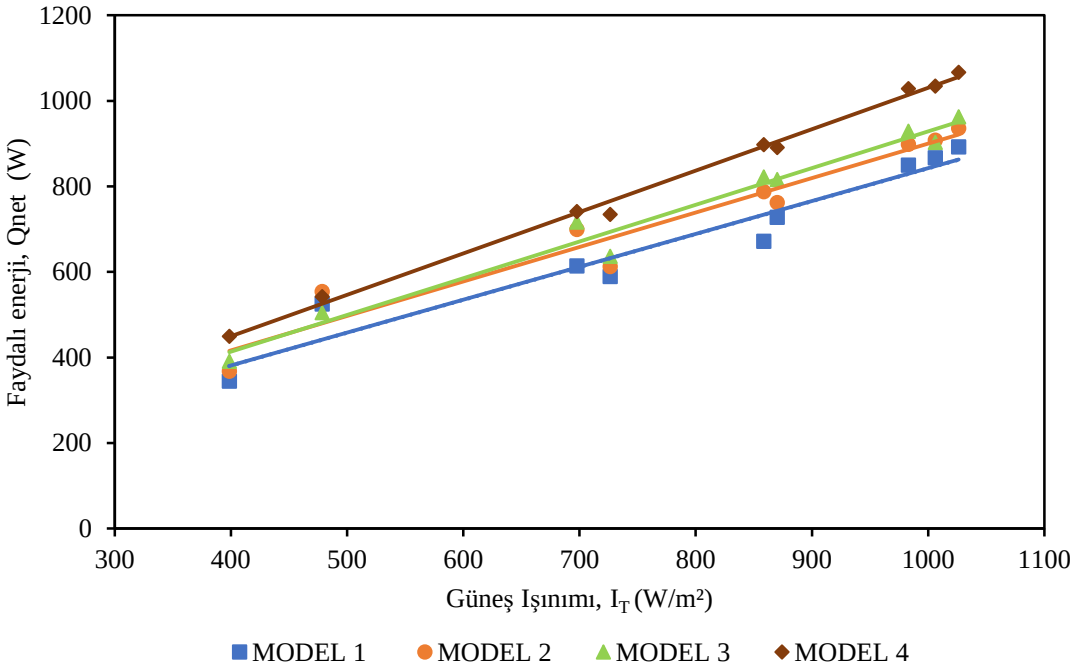
Deneylerde kollektörlerden geçen havaya kazandırılan birim zamandaki faydalı ısıl enerjilerin güneş ışınımları ile değişimi farklı hava debileri için Şekil 7.32, Şekil 7.33 ve Şekil 7.34'de verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü üzere, güneş ışınımının artışına paralel olarak faydalı enerji değerlerinde doğrusal bir artış gözlenmektedir. Işınım değerlerinin artması ile kollektöre giren enerjinin artışına bağlı olarak yutucu yüzeyden havaya ısı geçişi de artmaktadır. Her üç şekil birlikte incelenirse, yaklaşık aynı ışınım değerinde en yüksek faydalı enerjinin Model 4'te elde edildiği görülmektedir.



Şekil 7.32. Faydalı enerjinin güneş ışınımı ile değişimi ($\dot{m} = 0.022\ kg/s$)



Şekil 7.33. Faydalı enerjinin güneş ışınımı ile değişimi ($\dot{m} = 0.033\ kg/s$)

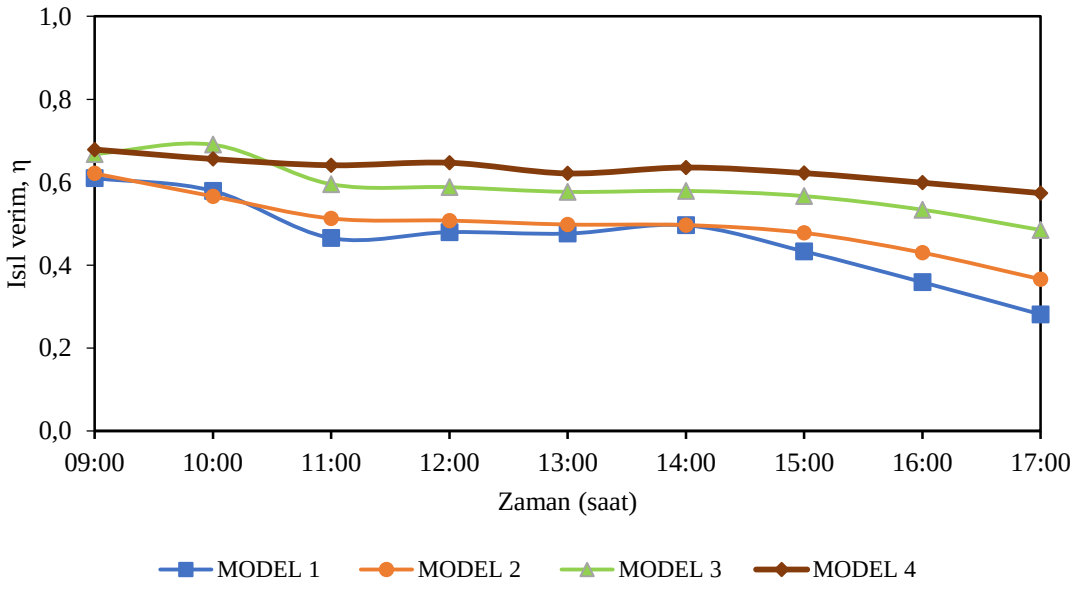


Şekil 7.34. Faydalı enerjinin güneş ışınımı ile değişimi ($\dot{m} = 0.044\ kg/s$)

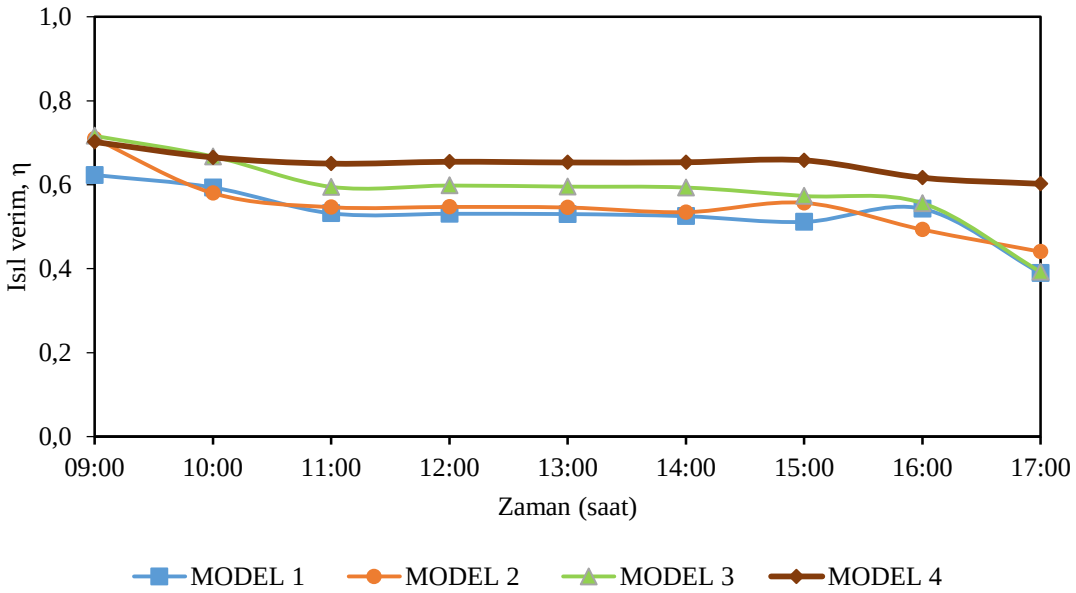
7.10. Kollektör Isıl Verimlerinin Anlık Değişimi

Şekil 7.35, 7.36 ve 7.37'de farklı hava debilerinde test edilen havalı kollektörlerin ısıl verimlerinin anlık değişimi verilmiştir. Şekillerin incelenmesinden, 0.022 kg/s hava debisinde tüm kollektör modelleri için ısıl verim değerlerinin sabah saatlerinde % 60-70 aralığından başlayarak saat 11:00'e doğru bir miktar azaldığı, daha sonra saat 15:00'a kadar çok az azalmakla birlikte yataya yakın bir seyir izlediği ve daha sonra yine azaldığı görülmektedir. 0.022 kg/s hava debisi için sabah ve gün bitimi saatlerinde verimdeki azalmanın fazla olduğu görülmektedir. İlerleyen zamanla birlikte ısıl verimdeki azalmanın nedeni, özellikle düşük hava debilerinde yutucu plaka sıcaklıklarının yükselmesi sonucu çevreye ısı kayıplarının artmasıdır. Hava debisinin 0.033 kg/s ve 0.044 kg/s değerlerinde tüm modeller için ısıl verimler gün boyunca anlık artış ve azalışlar gösterse de, genel olarak ortalama bir değer civarında değiştiği görülmektedir.

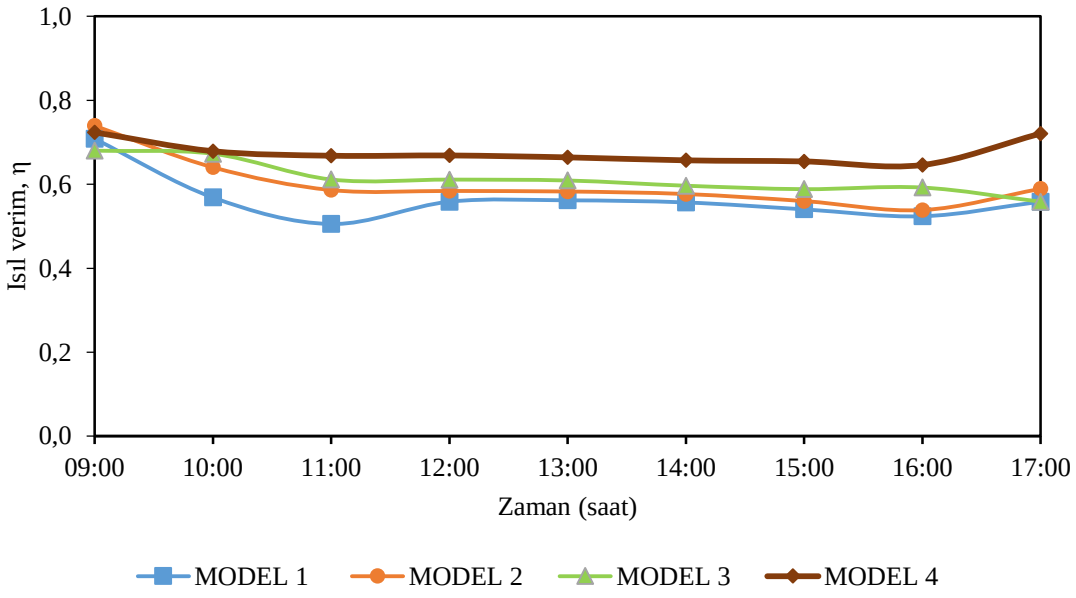
Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 kollektörlerde günlük ortalama ısıl verim değerleri 0.022 kg/s hava debisi için sırası ile 0.46, 0.50, 0.59 ve 0.63; 0.033 kg/s hava debisinde sırası ile 0.53, 0.55, 0.59 ve 0.65; 0.044 kg/s hava debisinde sırası ile 0.56, 0.60, 0.61 ve 0.68'dir. Tüm hava debilerinde günlük ortalama ısıl verim değerleri Model 1'den Model 4'e doğru artış göstermektedir. Bu durum, trapez profilli ve iç yüzeyine kanatlar eklenmiş yutucu plaka sayesinde akış içinde hem türbülans etkisinin hem de ısı transfer yüzey alanının artırılması sonucunda havaya aktarılan faydalı enerjinin artışının bir sonucudur.



Şekil 7.35. Kollektör ısıl verimlerinin anlık değişimi ($\dot{m} = 0.022\ kg/s$)



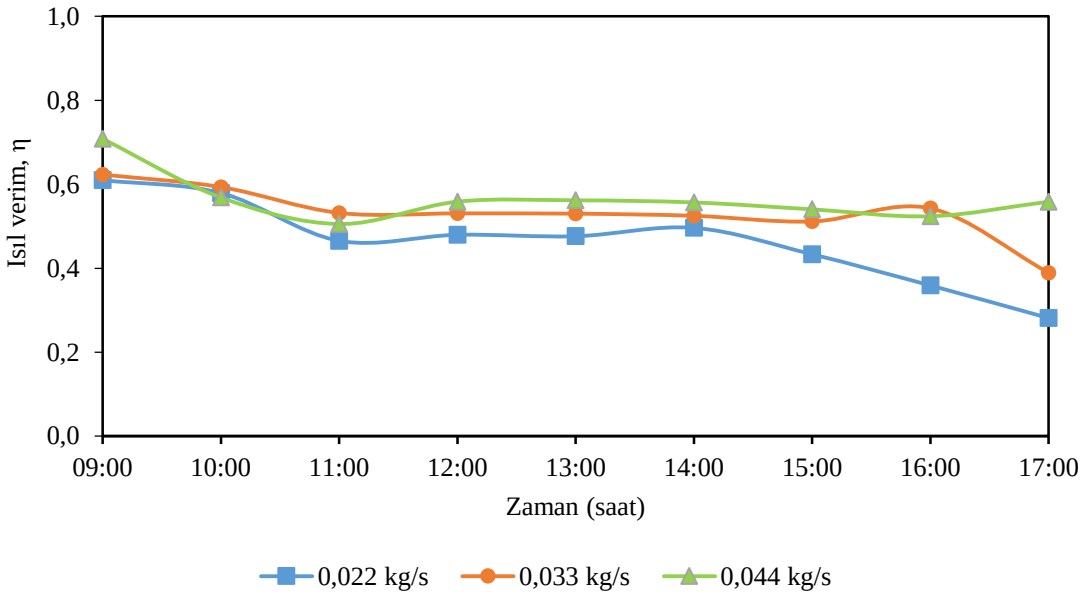
Şekil 7.36. Kollektör ısıl verimlerinin anlık değişimi ($\dot{m} = 0.033\ kg/s$)



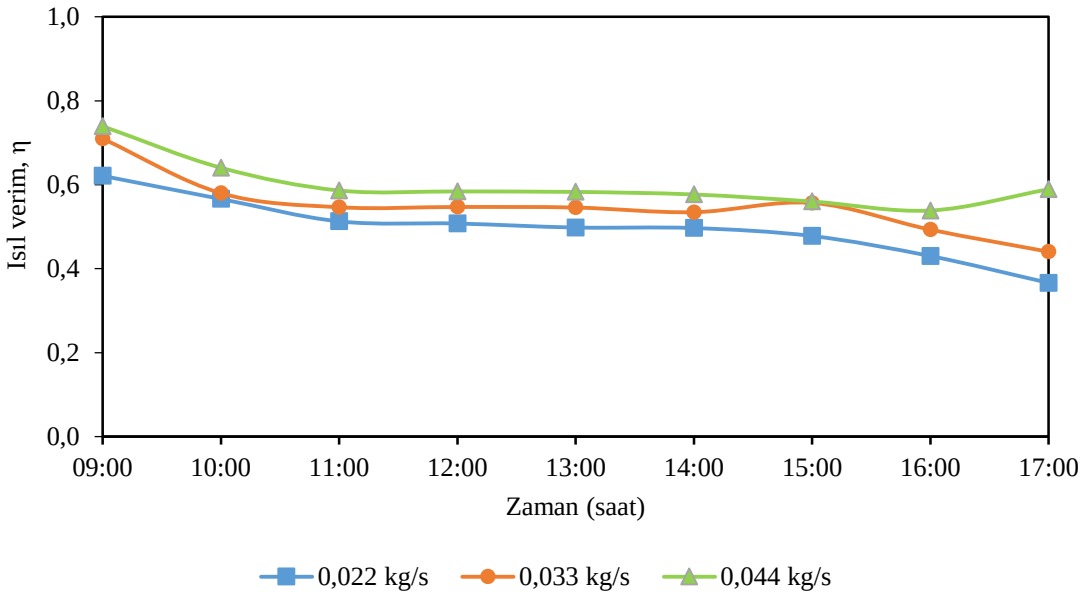
Şekil 7.37. Kollektör ısıl verimlerinin anlık değişimi ($\dot{m} = 0.044\ kg/s$)

7.11. Hava Debisinin Kollektör Isıl Verimlerine Etkisi

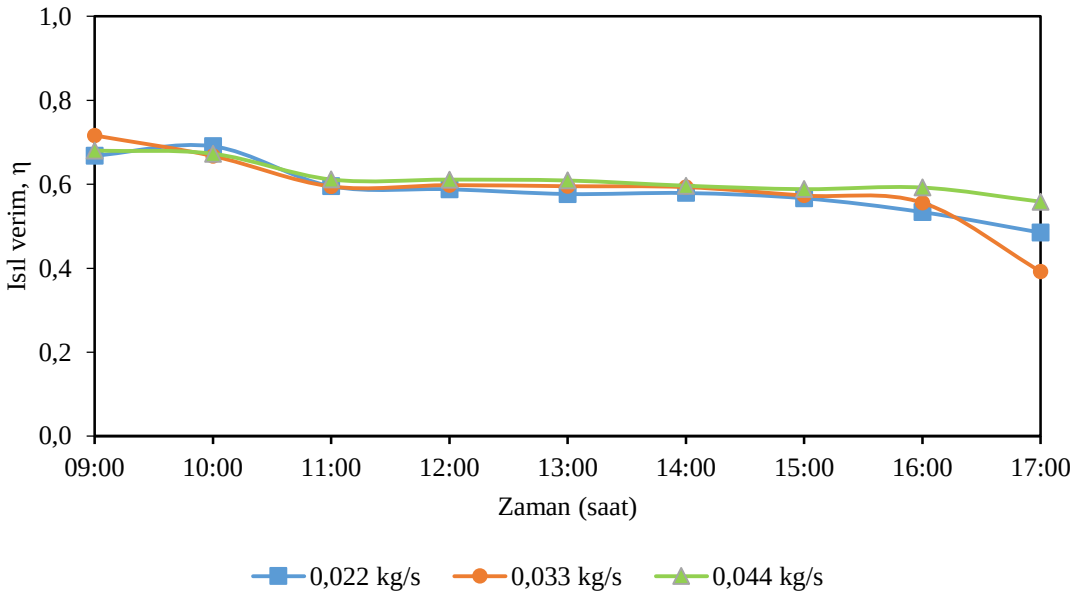
Şekil 7.38, 7.39, 7.40 ve 7.41'de sırası ile Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 kollektörler için farklı hava debilerinde ısıl verimlerin anlık değişimi verilmiştir. Model 1 için 0.022 kg/s, 0.033 kg/s ve 0.044 kg/s hava debilerinde günlük ortalama ısıl verim değerleri sırası ile 0.46, 0.53 ve 0.56; Model 2 için 0.50, 0.55 ve 0.60 ve Model 3 için 0.59, 0.59 ve 0.61, Model 4 için 0.63, 0.65 ve 0.68'dir. Model 1 ve Model 2 için debinin artışı ile ısıl verimler artarken, Model 3 ve Model 4 için debinin ısıl verime etkisi daha azdır. Aynı ışınım değerinde, hava debisinin artması ile yutucu plakanın yüzey sıcaklığı ve buna bağlı olarak havanın kollektör çıkışındaki sıcaklığı azalır. Bu durumda kollektörden çevreye ısı kayıpları azalır. Sonuçta, havaya aktarılan faydalı enerji arttığından ısıl verim artar.



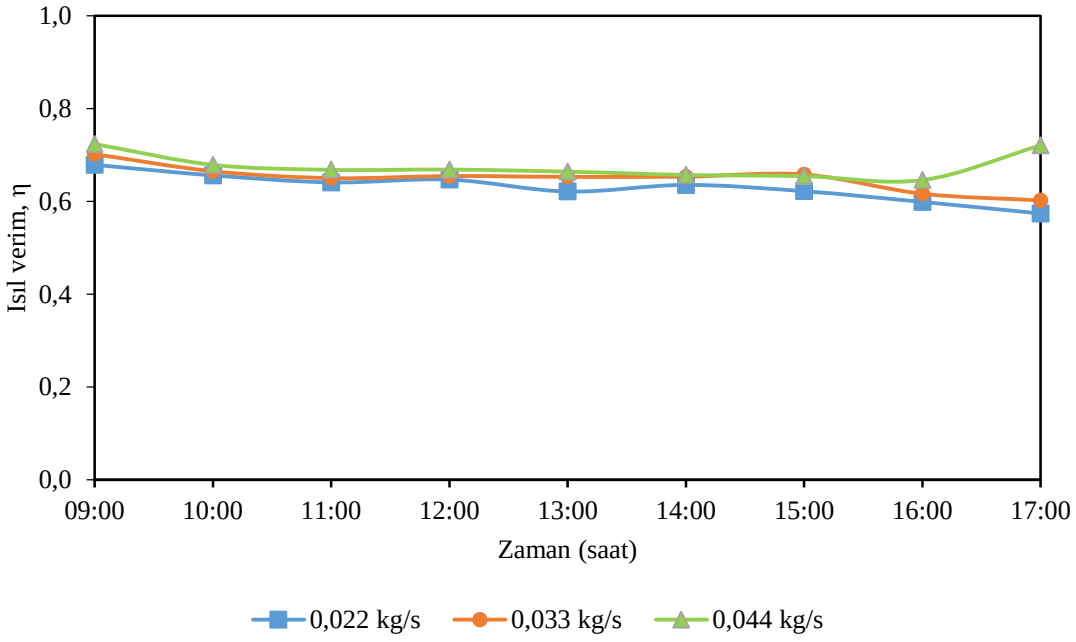
Şekil 7.38. Farklı hava debileri için anlık ısıl verimler (Model 1)



Şekil 7.39. Farklı hava debileri için anlık ısıl verimler (Model 2)



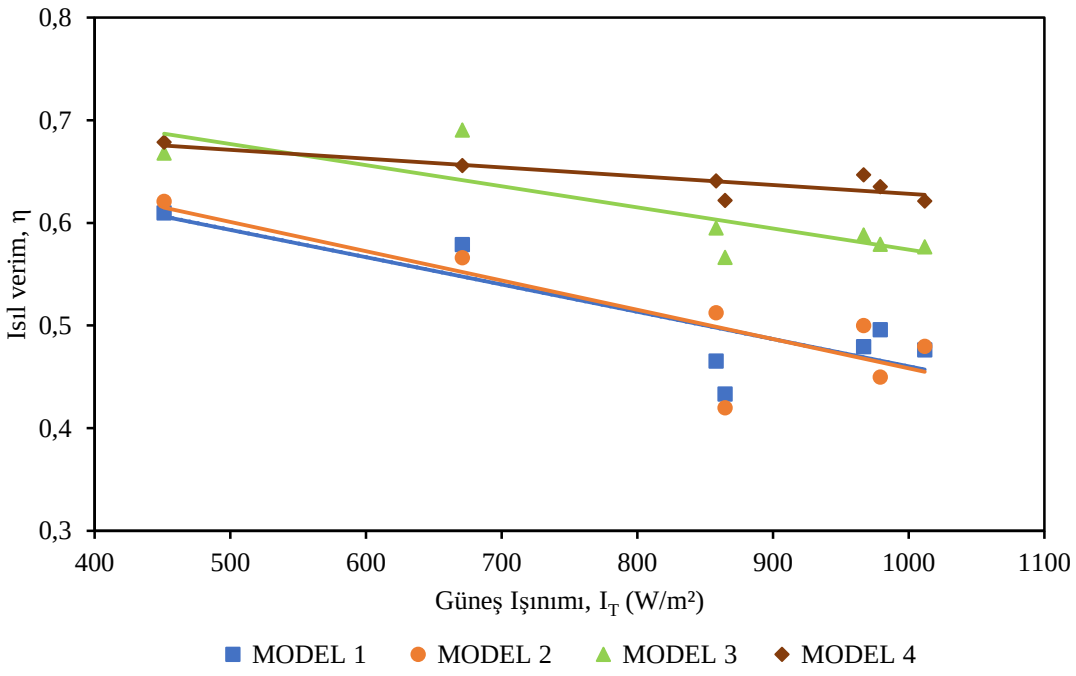
Şekil 7.40. Farklı hava debileri için anlık ısıl verimler (Model 3)



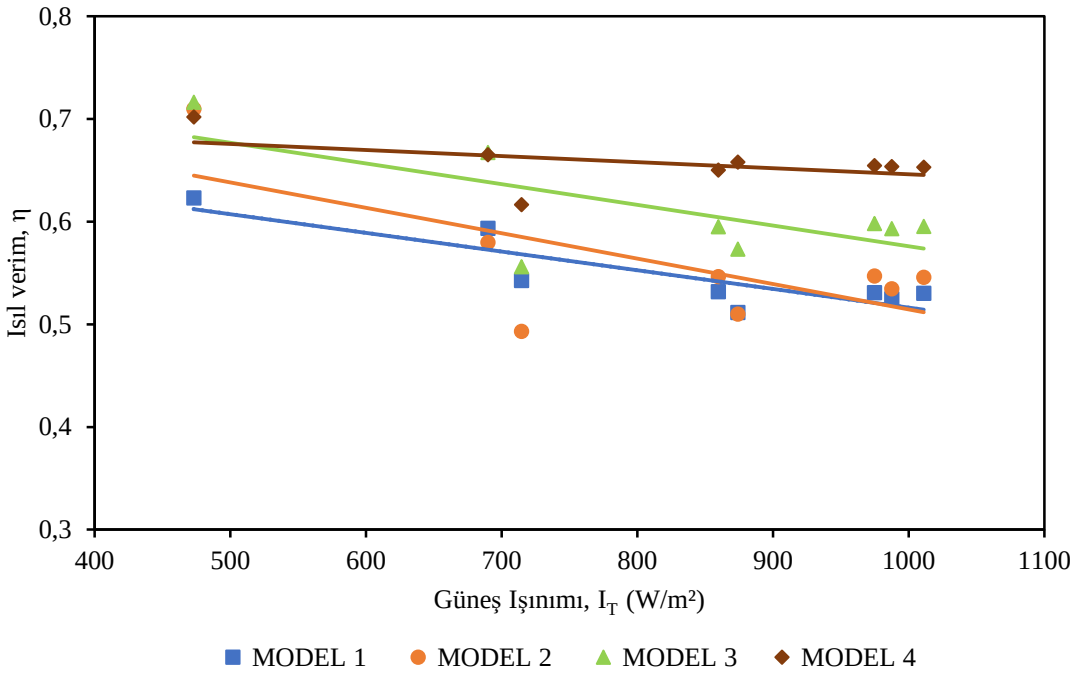
Şekil 7.41. Farklı hava debileri için anlık ısıl verimler (Model 4)

7.12. Isıl Verimlerin Güneş Işınımı İle Değişimi

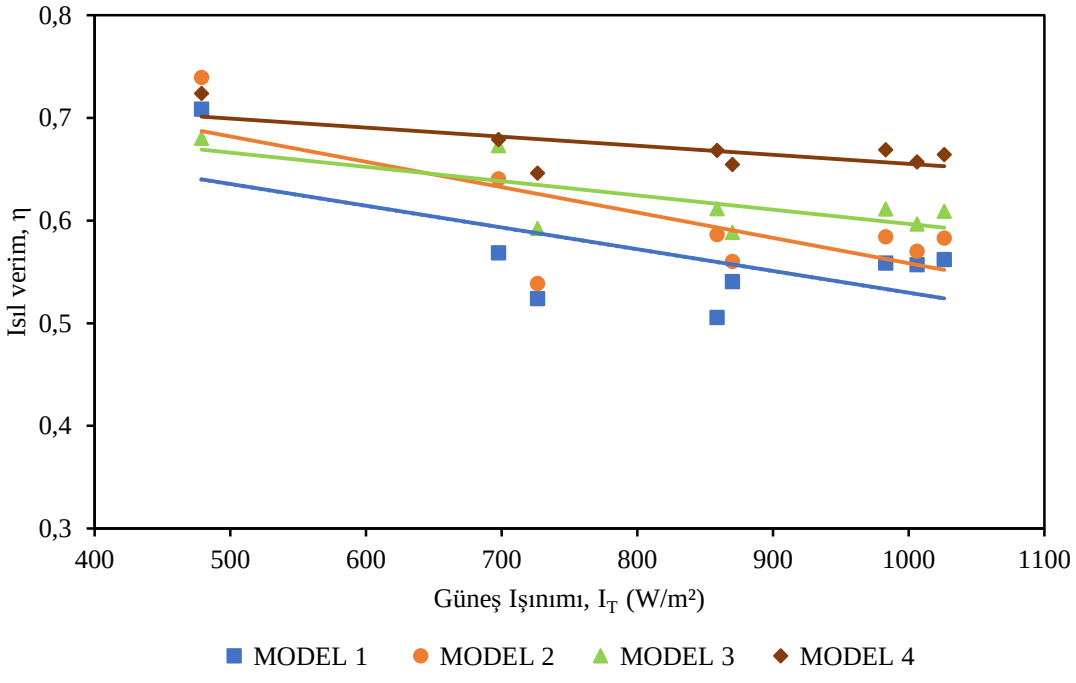
Tüm modellerde kollektör yüzeylerine gelen güneş ışınımındaki anlık değişimin, kollektörlerin ısıl verimine etkisi 0.022 kg/s, 0.033 kg/s ve 0.044 kg/s hava debileri için sırası ile Şekil 7.42, 7.43 ve 7.44'de verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi, ışınım değerlerinin artması ile tüm modellerde ve debilerde ısıl verimler azalmaktadır. Güneş ışınımı ile ısıl verim arasındaki ters orantı bu beklenen durumu desteklemektedir. Artan güneş ışınımı etkisi ile yutucu plaka yüzey sıcaklığı artmakta ve çevreye daha fazla ısı kaybolmaktadır. Bu durumda havaya aktarılan faydalı enerjideki artış daha az olduğundan, sonuç olarak kollektörün enerji verimliliği azalmaktadır. Yaklaşık aynı ışınım değerlerinde, yüksek debiler için ısıl verim değerleri beklendiği gibi daha yüksektir.



Şekil 7.42. Isıl verimin güneş ışınımı ile değişimi ($\dot{m} = 0.022\ kg/s$)



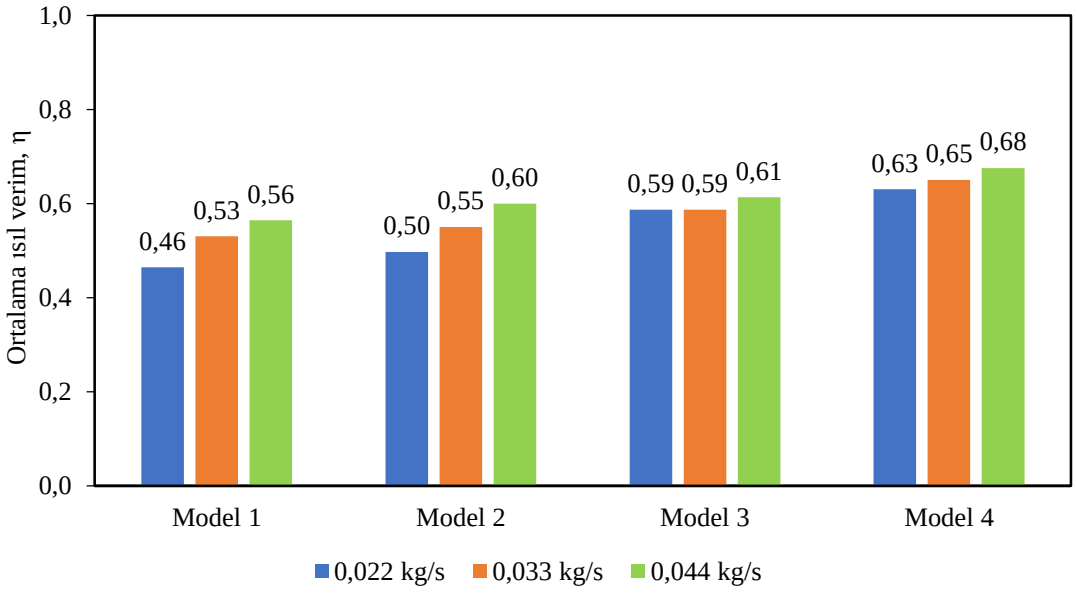
Şekil 7.43. Isıl verimin güneş ışınımı ile değişimi ($\dot{m} = 0.033\ kg/s$)



Şekil 7.44. Isıl verimin güneş ışınımı ile değişimi ($\dot{m} = 0.044\ kg/s$)

7.13. Kollektörlerin Ortalama Isıl Verimleri

Hava debisinin üç farklı değerinde kollektör modellerinin ortalama ısıl verimleri Şekil 7.45'de gösterilmiştir. Şekilden açıkça görüldüğü gibi, tüm modellerde hava debisinin artışı ile ortalama ısıl verimlerin arttığı görülmektedir. 0.022 kg/s hava debisi için Model 2, Model 3 ve Model 4 kollektörlerin Model 1'e göre günlük ortalama ısıl verimlerindeki artış oranı sırası ile % 11, % 44, % 60; 0.033 kg/s hava debisi için Model 2, Model 3 ve Model 4 kollektörlerin Model 1'e göre günlük ortalama ısıl verimlerindeki artış oranı sırası ile % 11, % 20, % 37; 0.044 kg/s hava debisi için Model 2, Model 3 ve Model 4 kollektörlerin Model 1'e göre günlük ortalama ısıl verimlerindeki artış oranı sırası ile % 10, % 14, % 28'dir. Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 için tüm hava debilerindeki genel ortalama ısıl verim değerleri sırası ile 0.52, 0.55, 0.60 ve 0.65'dir.



Şekil 7.45. Kollektörlerin ortalama ısıl verimleri

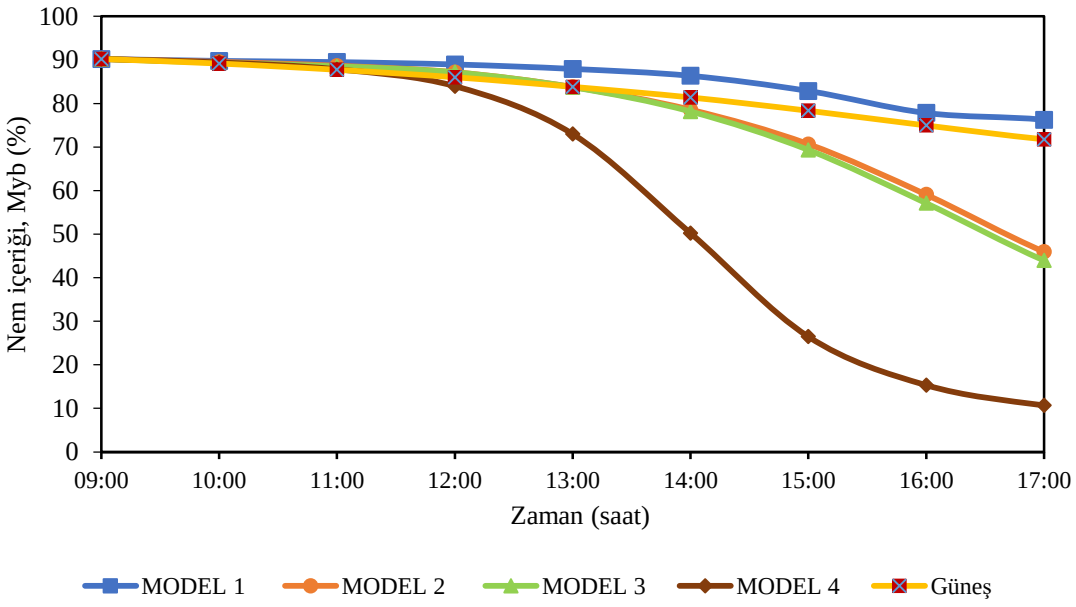
7.14. Kurutma Deney Sonuçları

Kurutma ile ilgili deney sonuçlarını karşılaştırmak için saatlik güneş ışınım değerleri birbirine yakın olan günlere (24, 27 ve 30 Ağustos 2016) ait veriler dikkate alınmıştır. Deneylerde numune olarak yeşil fasülye kurutulmuştur. Deneylerden önce

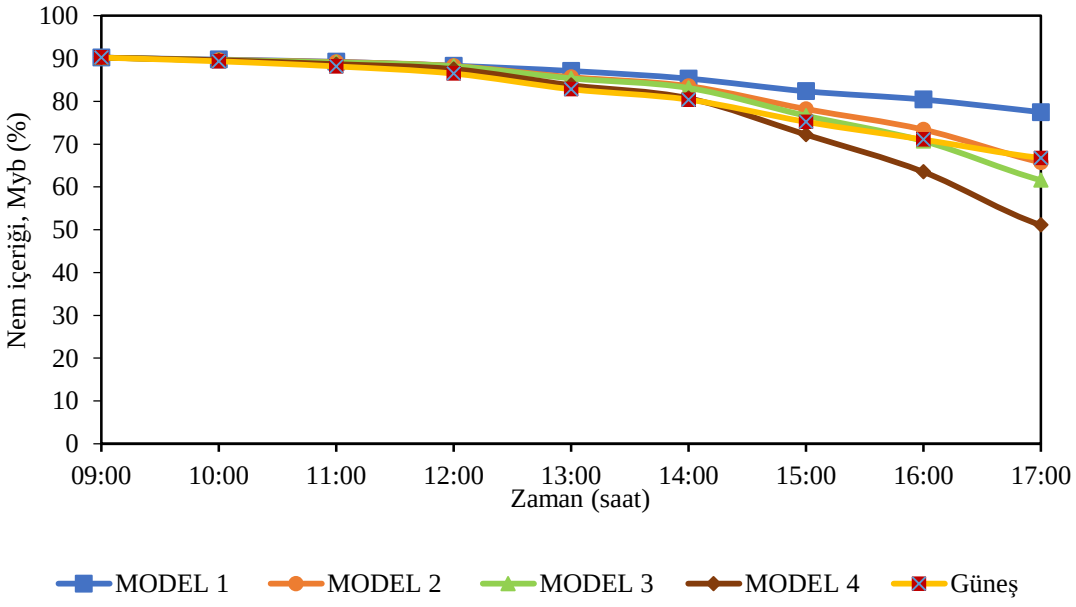
fasülye dilimleri Presica marka bir nem belirleme cihazında kurutulmuş ve yeşil fasülyelerin ilk nem içeriği yaş bazda % 90.22 olarak belirlenmiştir.

7.14.1. Nem içeriğinin zamana göre değişimi

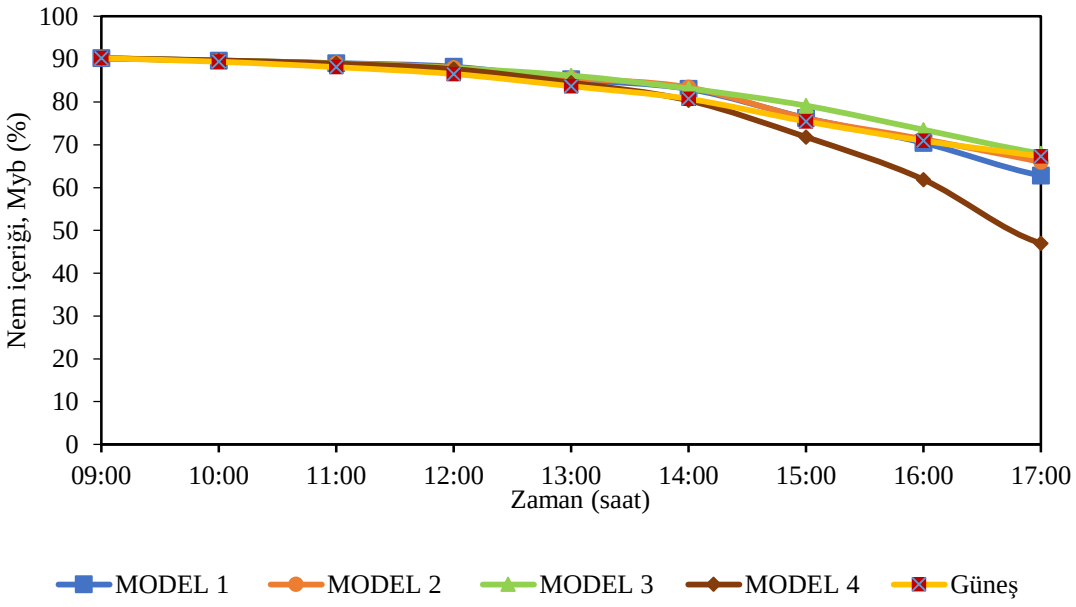
Şekil 7.46, 7.47 ve 7.48'de üç farklı hava debisi için, farklı kollektör modelleri ile yapılan deneylerde fasülye dilimlerinin yaş bazdaki nem içeriğinin zamanla değişimi görülmektedir. Şekillerde aynı günlerde güneş altında açık havada yapılan kurutma deneyi sonuçları da verilmiştir. Sabah saatlerinde ürünün nem içeriğindeki azalmanın yavaş olduğu, öğleden sonra ise güneş ışınımının etkisi ile kurutma havası sıcaklığının artması sonucunda kurumanın hızlandığı ve nem içeriğindeki azalmanın da hızlandığı görülmektedir. Şekillerden de görüldüğü üzere, üç farklı kurutma havası debisinde yapılan deneyler sonucunda nem içeriğinin zamanla değişiminin en hızlı olduğu kollektörün Model 4 olduğu, bunu sırası ile Model 3 ve Model 2'nin takip ettiği görülmektedir. Genel olarak en yavaş ve en az kuruma, düz yutucu plakalı ve kanatsız olan kollektör Model 1'de gerçekleşmiştir. Güneş altındaki kurutmada ise genel olarak nem içeriği değişimi Model 1'den daha hızlıdır. 0.022 kg/s hava debisinde deney sonunda ürünlerin yaş bazdaki nem içerikleri Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 için sırası ile % 76, % 46, % 44 ve % 11'dir. 0.033 kg/s hava debisinde deney sonunda nem içeriği değerleri Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 için sırası ile % 78, % 67, % 62 ve % 51'dir.0.044 kg/s debide deney sonunda nem içeriği değerleri Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 için sırası ile % 63, % 66, % 67 ve % 47'dir. Açık havada güneş altındaki kurutmada ise gün sonunda ürünün nem içeriği % 68-71 aralığındadır. Deney sonunda ürünlerdeki en düşük nem içeriği 0.022 kg/s hava debisinde yapılan deneyde elde edilmiş, kurutma havası debisinin artması ile deney sonunda nem içeriği değerleri daha yüksek değerlerde kalmıştır. Bu durum, kurutma havası debisinin artışı ile kollektör çıkışında hava sıcaklığının azalması sonucunda ürünlerde daha az kuruma olduğu şeklinde açıklanabilir. Kurutma deney sonuçlarından da anlaşıldığı gibi, yutucu plaka geometrisini trapez profilli yapmak ve plakaya kanatlar eklemek suretiyle kurutma havası sıcaklığı arttığından, daha kısa sürede kuruma yapılabilmektedir.



Şekil 7.46. Nem içeriğinin zamanla değişimi ($\dot{m} = 0.022\ kg/s$)

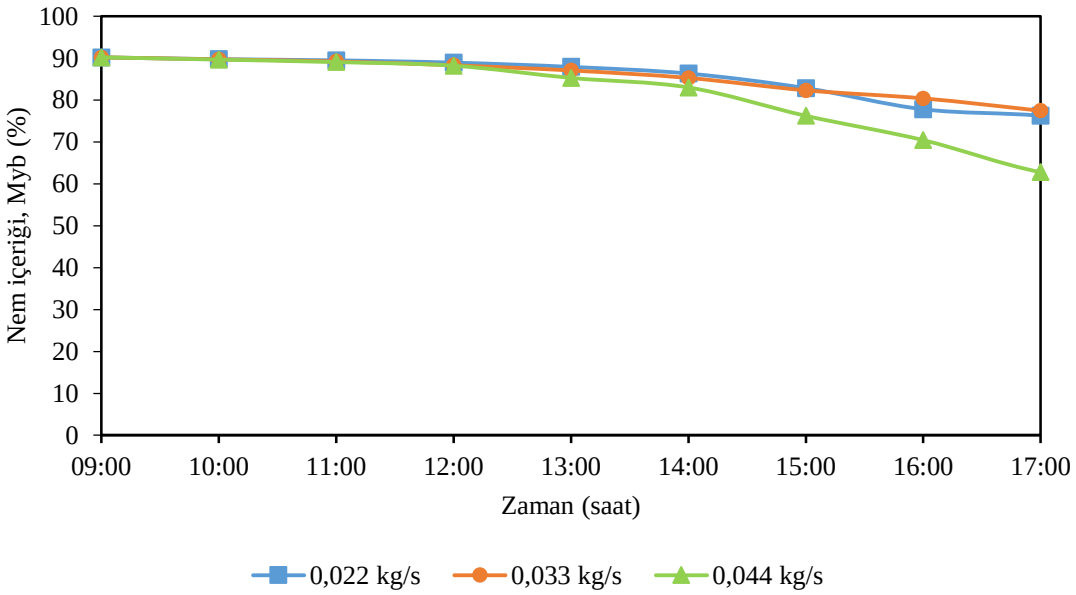


Şekil 7.47. Nem içeriğinin zamanla değişimi ($\dot{m} = 0.033\ kg/s$)

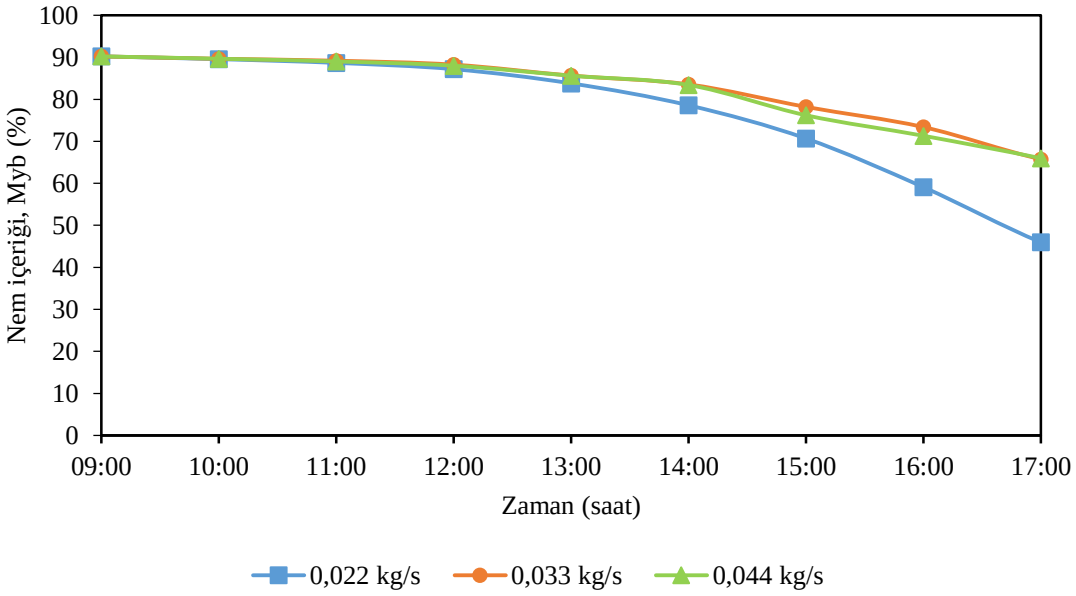


Şekil 7.48. Nem içeriğinin zamanla değişimi ($\dot{m} = 0.044\ kg/s$)

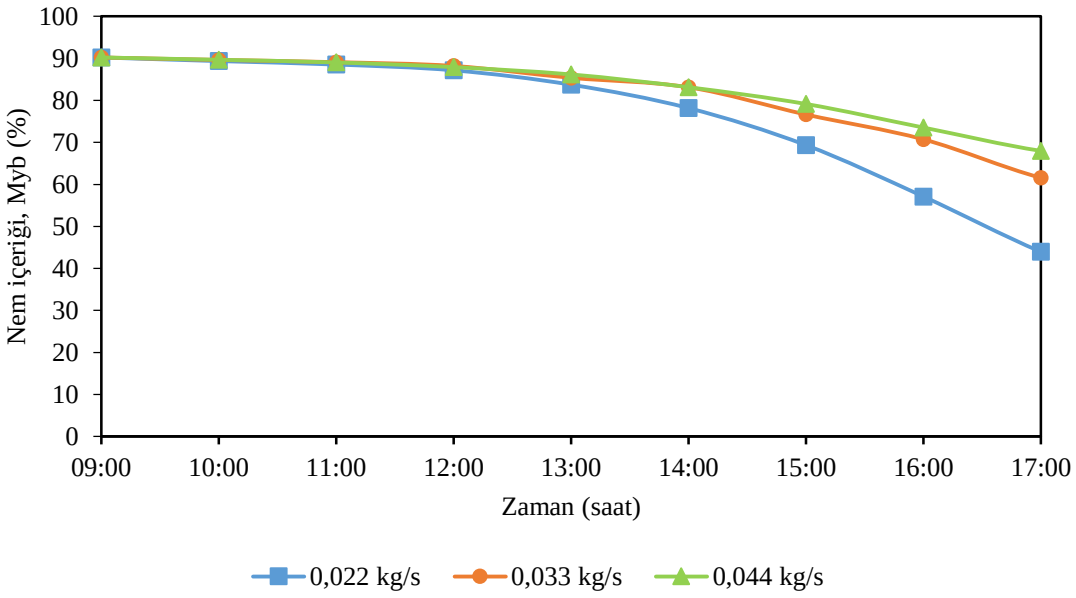
Her bir kollektör modeli için üç farklı kurutma havası debisine göre nem içeriğinin zamanla değişimi sırası ile Şekil 7.49, 7.50, 7.51 ve 7.52'de verilmiştir. Gün sonunda ürünün en düşük nem içeriği Model 1'de 0.044 kg/s debide % 63, Model 2'de 0.022 kg/s debide % 46, Model 3'te 0.022 kg/s debide % 44, Model 4'te ise 0.022 kg/s debide % 11 elde edilmiştir. Kurutma havası debisinin artışı ile kurutma prosesinin bundan olumsuz etkilendiği ve yüksek hava debisinde deney sonunda nem içeriği değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Hava debisinin artışı ile kurutma havası sıcaklığı azalmakta ve bunun sonucunda ürünlerin kuruma süresi artmaktadır.



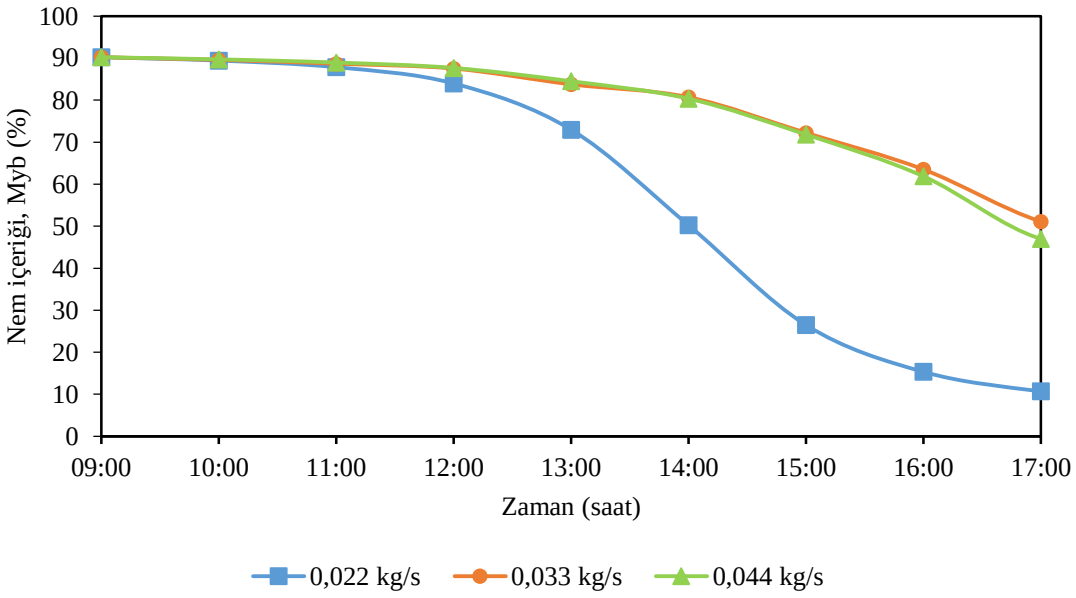
Şekil 7.49. Nem içeriğinin zamanla değişimi (Model 1)



Şekil 7.50. Nem içeriğinin zamanla değişimi (Model 2)



Şekil 7.51. Nem içeriğinin zamanla değişimi (Model 3)



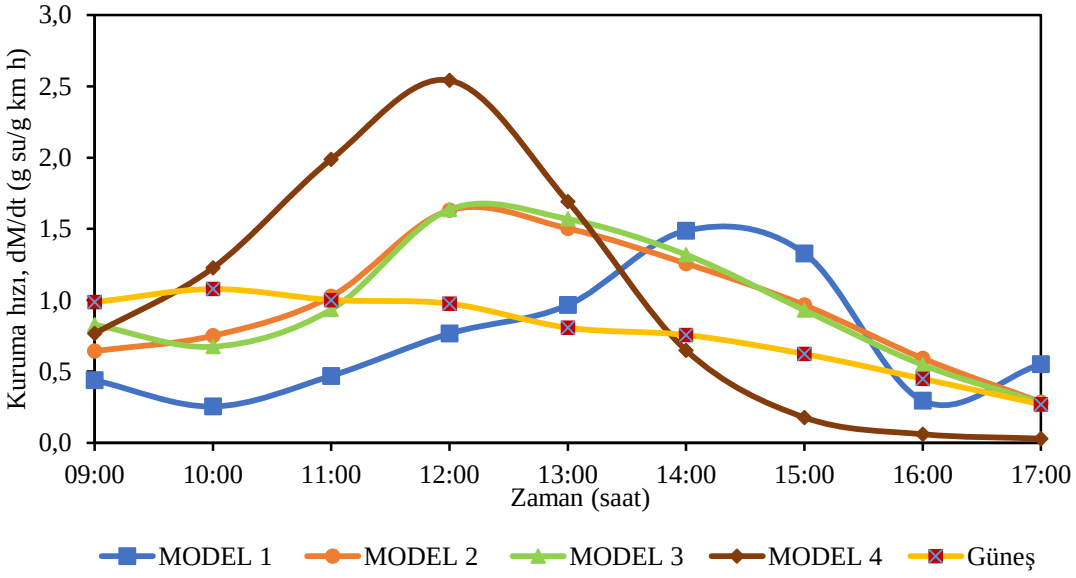
Şekil 7.52. Nem içeriğinin zamanla değişimi (Model 4)

7.14.2. Kuruma hızının zamana göre değişimi

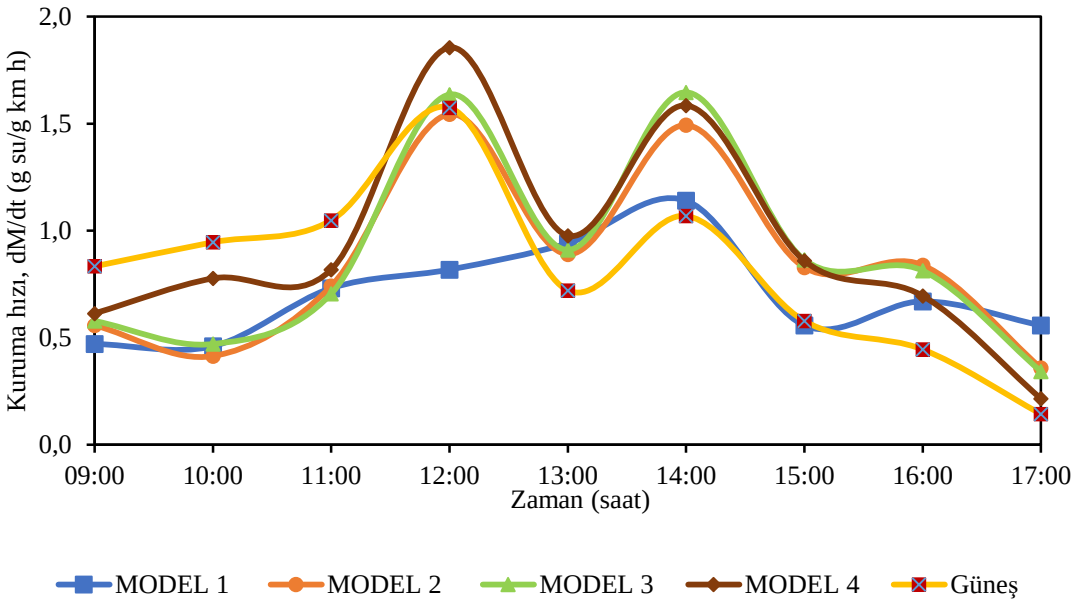
Kurutma havasının 0.022 kg/s, 0.033 kg/s ve 0.044 kg/s debilerinde tüm kollektör modelleri için kuruma hızının zamana göre değişimi Şekil 7.53, 7.54 ve 7.55'de verilmiştir. Şekil 7.53'de 0.022 kg/s hava debisinde Model 1 için kuruma hızı saat 14:00'de en yüksek değerine erişirken, diğer modellerde kuruma hızı saat 12:00'da maksimuma ulaşmıştır. 0.022 kg/s kurutma havası debisinde kuruma hızının en yüksek değeri 1.49 g.su/g.km.h iken, bu değer Model 2 ve Model 3 için 1.64 g.su/g.km.h, Model 4 için ise 2.54 g su/g km h'dir. Açık havada güneş altındaki kurutmada ise kuruma hızı 1.0 g.su/g.km.h değerinden itibaren ilerleyen zamanla doğrusal olarak azalış göstermiştir.

Şekil 7.54 ve Şekil 7.55 incelendiğinde, 0.033 kg/s ve 0.044 kg/s hava debilerinde de, kuruma hızı saat 12:00'a kadar artmakta, saat 14:00'da en yüksek değerine ulaşmakta ve daha sonra azalmaktadır. Deney süresince güneş ışınımının anlık artış veya azalışına bağlı olarak kurutma havası sıcaklığının artması veya azalması sonucu kuruma hızı da anlık olarak değişmektedir. Güneş altındaki kurutmada ise, güneş ışınımının anlık değişimine paralel olarak kuruma hızının gün boyunca dalgalı bir seyir izlediği görülmektedir.

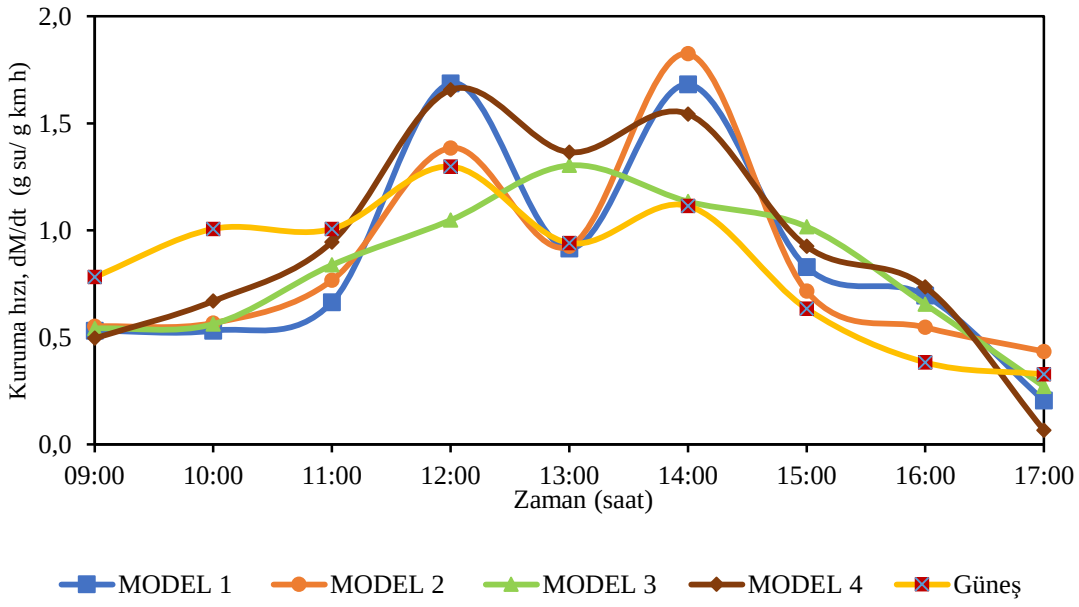
Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 için 0.022 kg/s hava debisinde günlük ortalama kuruma hızı değerleri sırası ile 0.73, 0.96, 0.86 ve 1.02 g.su/g.km.h; 0.033 kg/s hava debisi için sırası ile 0.71, 0.85, 0.88 ve 0.93 g.su/g.km.h; 0.044 kg/s hava debisi için sırası ile 0.85, 0.85, 0.81 ve 0.94 g.su/g.km.h.'dir. Bu değerlere göre tüm debiler için en yüksek ortalama kuruma hızı Model 4'te elde edilmiştir.



Şekil 7.53. Kuruma hızının zamanla değişimi ($\dot{m} = 0.022\ kg/s$)

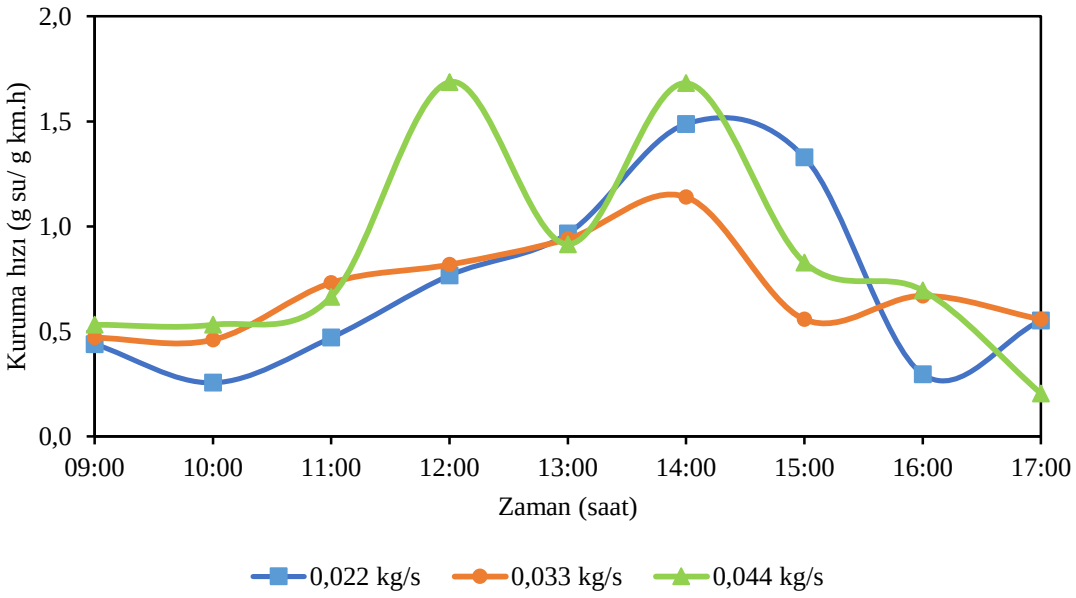


Şekil 7.54. Kuruma hızının zamanla değişimi ($\dot{m} = 0.033\ kg/s$)

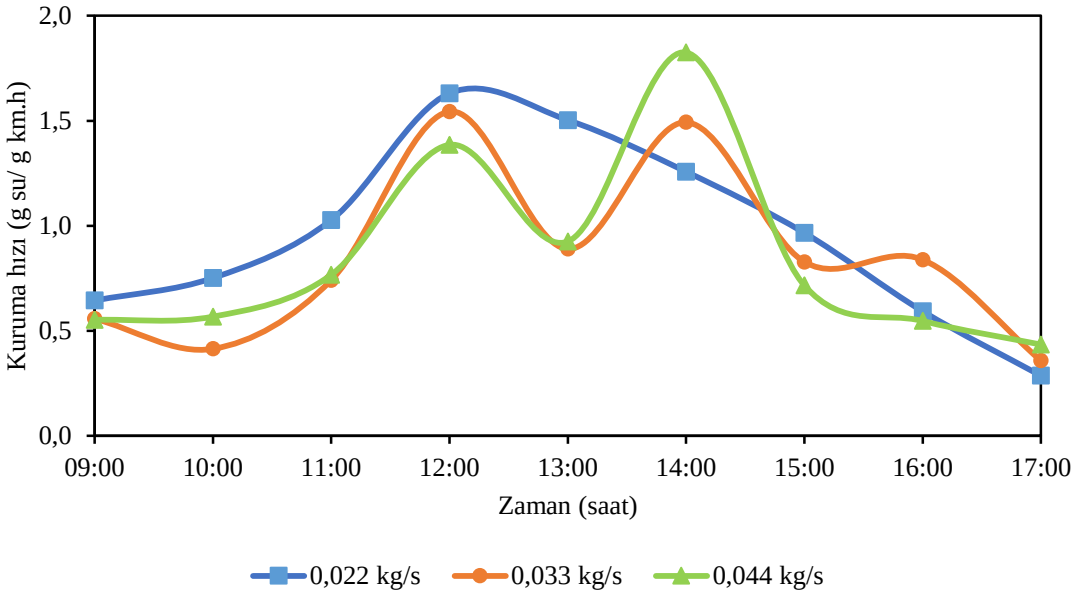


Şekil 7.55. Kuruma hızının zamanla değişimi ($\dot{m} = 0.044\ kg/s$)

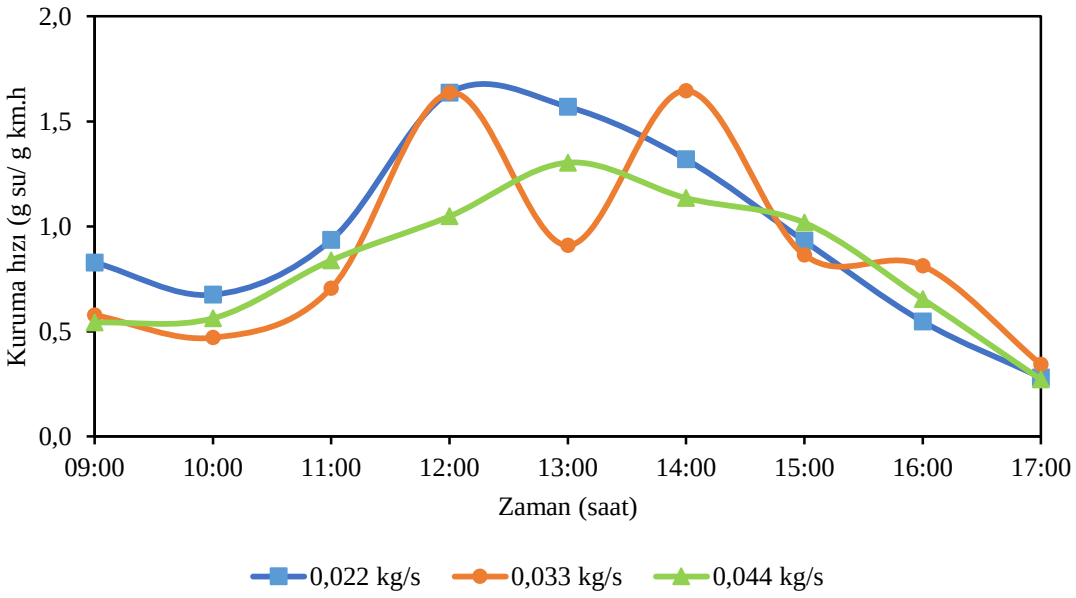
Her kollektör modeli için kurutma havası debisinin kuruma hızına etkisini belirlemek için Şekil 7.56, Şekil 7.57, Şekil 7.58 ve Şekil 7.59 çizilmiştir. Şekiller incelendiğinde, genel olarak tüm modellerde kuruma hızının öğleye kadar arttığı, öğleden sonra ise güneş ışınımındaki anlık artış veya azalışa paralel olarak dalgalandığı görülmektedir. Güneş ışınımındaki anlık değişim nedeniyle farklı modeller için kuruma hızı eğrileri farklı zamanlarda birbirlerini kesmektedir. Günlük ortalama kuruma hızı Model 1 için en yüksek değerine 0.044 kg/s debide ulaşırken, diğer kollektörler için en yüksek değerine 0.022 kg/s debide ulaşmaktadır. Buradan, yutucu plaka yüzey alanındaki artış ile, düşük hava debilerinde kollektör çıkışındaki hava sıcaklığının arttığı ve bu şekilde daha yüksek kuruma hızları elde edildiği sonucuna varılmaktadır. Böylece etkili yutucu plaka tasarımları sayesinde kollektör veriminin artması sonucu daha düşük hava hızlarında ve daha kısa sürede ekonomik kurutma yapmak mümkün olacaktır.



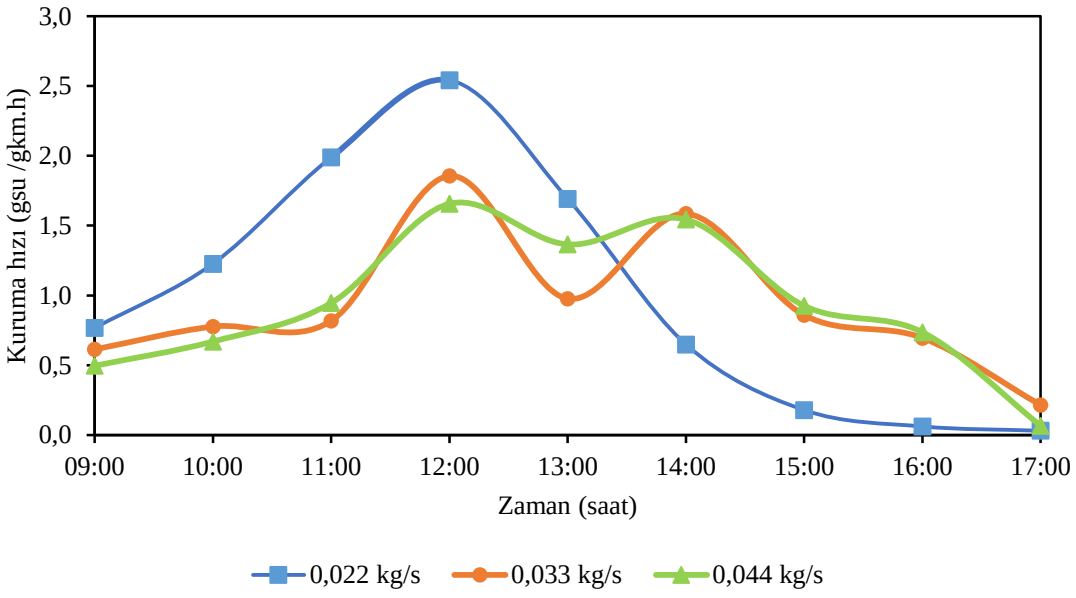
Şekil 7.56. Kuruma hızının zamanla değişimi (Model 1)



Şekil 7.57. Kuruma hızının zamanla değişimi (Model 2)



Şekil 7.58. Kuruma hızının zamanla değişimi (Model 3)



Şekil 7.59. Kuruma hızının zamanla değişimi (Model 4)

8. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışmasında, düz yutucu plakalı kollektörün yanında yutucu plakaları farklı olan üç kollektör modeli tasarlanmış, imal edilmiş ve Konya iklim şartlarında performans testleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde aynı zamanda kurutma kabinlerindeki tepsilere dizilen yeşil fasülye dilimleri de kurutmaya tabi tutulmuştur. Farklı kollektör modelleri ve hava debisi parametrelerinin kollektörlerin verimliliğine ve kurutulan ürünün kuruma kinetiğine etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Genel olarak tüm kollektör modellerinde, yutucu plaka yüzey sıcaklıkları öğleye kadar güneş ışınımı yoğunluğunun artışına paralel olarak artmakta, öğleden sonra ise düşen ışınımla birlikte azalmaktadır. Plaka yüzey alanları yaklaşık aynı olan Model 1 ve Model 2 kollektörler için, Model 2 de yutucu plakanın ortalama yüzey sıcaklığı Model 1'den daha düşüktür. Bunun nedeni, Model 2'deki trapez profil yüzeyin akış içinde türbülans etkisi oluşturması ve bunun sonucunda yüzeyden akışkana daha fazla ısı transferi gerçekleşmesidir. Model 2'ye göre Model 3'te ve Model 3'e göre Model 4'te yutucu yüzey sıcaklıkları daha düşüktür. Kanatlar sayesinde yutucu plakalardan havaya ısı geçişi arttığından, yüzey sıcaklıkları da azalmaktadır.

Yaklaşık aynı ışınım değerlerinde havanın kütle debisi azaldıkça, kollektörden çıkan havanın sıcaklığı artmaktadır. Akışın kütle debisinin (ve hızının) azalması ile, kanaldan geçerken yutucu plaka ile daha uzun süre temas eden havanın çıkış sıcaklığı artmaktadır. Yüksek debilerde ise, plaka yüzeyinde biriken ısı hızla uzaklaştırılmakta ve bunun sonucunda kanaldan geçen havanın çıkış sıcaklığı daha düşük olmaktadır.

Genellikle gün boyunca kollektör çıkışında havanın en düşük sıcaklığı Model 1'de, en yüksek sıcaklığı ise Model 4'te ölçülmüştür. Trapez geometrili ve kanatlı yutucu plaka yüzeyler vasıtası ile ısı transfer yüzey alanı artmaktadır. Ayrıca akışta meydana gelen ilave türbülans etkisi ile plakadan havaya daha fazla ısı geçişi olmakta ve havanın çıkış sıcaklığı artmaktadır.

Eğik kollektör yüzeyine gelen güneş ışınımı yoğunluğu arttıkça yutulan ışınım etkisi ile plaka yüzey sıcaklığı yükselmekte ve sonuç olarak kanaldan geçen hava daha yüksek sıcaklıklara ulaşmaktadır. Tüm ışınım değerlerinde en düşük sıcaklık farkı Model 1'de, en yüksek sıcaklık farkı ise daha fazla yüzey alanına sahip olduğundan Model 4'te gerçekleşmektedir.

Kollektörlerde havaya kazandırılan faydalı ısıl enerji değerleri güneş ışınımı değerlerinin artışına paralel olarak öğleye kadar artmakta, daha sonra azalmaktadır. En düşük faydalı enerji değerleri düz plakalı ve kanatsız olan Model 1 kollektörde, en yüksek faydalı enerji değerleri ise yüzey alanı en büyük olan trapez profilli ve kanatlı plakalı kollektör Model 4'te elde edilmiştir. Yutucu plakaya kanat ilavesi ile yüzey alanı arttığından, havaya geçen faydalı ısıl enerji de artmaktadır. Hava debisi ile kollektörlerde havaya kazandırılan faydalı enerji miktarı doğru orantılıdır.

Yüksek hava debilerinde plakadan havaya hızlı ısı geçişi nedeni ile yutucu plaka yüzey sıcaklığı ve buna bağlı olarak kollektörden havanın çıkış sıcaklığı azalmaktadır. Bu durumda kollektörden çevreye ısı kayıpları azaldığından, havaya aktarılan faydalı ısıl enerji ve dolayısı ile kollektörün ısıl verimliliği yükselmektedir.

Eğik kollektör yüzeyine gelen ışınım değerlerinin artması ile kollektöre giren enerjinin artışı sonucu yutucu yüzeyden havaya aktarılan faydalı enerji artmaktadır.

Tüm kollektörlerin ısıl verimleri belirli bir değerden başlayarak saat 11:00'e kadar bir miktar azalmakta, öğle vaktinde ve öğleden sonra yaklaşık olarak yatay bir seyir izlemekte ve saat 15:00'ten sonra yine azalmaktadır. Tüm hava debilerinde en düşük verim Model 1'de, en yüksek verim ise Model 4'te bulunmuştur.

Artan güneş ışınımı yoğunluğu ile kollektör ısıl verimi ters orantılıdır. Işınımdaki artış ile yutucu plaka yüzey sıcaklığı artar. Bu durumda ısı kaybının artması sonucunda havaya aktarılan faydalı enerji azaldığından kollektörün ısıl verimi azalır.

Kollektöre giren havanın sıcaklık artışındaki en yüksek değer 0.022 kg/s hava debisi için 44 ^{o}C ile Model 4 kollektörde, en düşük değer ise 0.044 kg/s hava debisinde 7 ^{o}C ile Model 1'de elde edilmiştir. Model 4 kollektörde günlük ortalama sıcaklık artışı değerleri 0.022 kg/s, 0.033 kg/s ve 0.044 kg/s hava debileri için sırası ile 34 ^{o}C, 24 ^{o}C ve 19 ^{o}C'dir.

Bütün hava debilerinde kollektör veriminin en düşük değeri Model 1'de, en yüksek değeri ise Model 4'te bulunmuştur. En düşük kollektör verimi 0.022 kg/s debide Model 1 için % 46, en yüksek kollektör verimi ise 0.044 kg/s debide Model 4 için % 68 bulunmuştur. Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 kollektörler için tüm hava debilerindeki ortalama ısıl verim değerleri sırası ile 0.52, 0.55, 0.60 ve 0.65'dir.

Bu çalışmada yeşil fasulyenin kuruma davranışlarını belirlemek için yapılan deneyler sonucunda, sabah saatlerinde ürünün nem içeriğinin yavaş azaldığı, öğleden

sonra ise güneş ışınımının etkisi ile kurutma havası sıcaklığının artması sonucunda kurumanın hızlandığı ve nem içeriğinin daha hızlı azaldığı görülmüştür. Ürünün nem içeriğinin zamanla değişimi en hızlı Model 4 kollektörde gerçekleşmiş, bunu sırası ile Model 3 ve Model 2 takip etmiştir. En yavaş ve en az kuruma ise, düz yutucu plakalı ve kanatsız Model 1 kollektörde gerçekleşmiştir.

Kurutma havası debisinin nem içeriğinin zamanla değişimine etkisi de araştırılmıştır. Deneyin sonlandırıldığı gün sonunda Model 4 kollektörle kurutma deney setinde ürünün nem içeriği değerleri kurutma havası debisi 0.022 kg/s için % 8, 0.033 kg/s için % 42 ve 0.044 kg/s için % 45'tir. Farklı model kollektörlü her bir kurutma sisteminde kurutma havası debisinin artışı ile kurutma işlemi bundan olumsuz etkilenmiş ve yüksek hava debisinde deney sonunda ürünün nem içeriği değerlerinin halen yüksek olduğu görülmektedir. Hava debisinin artışı ile kurutma havası sıcaklığı azaldığından ürünün kuruma süresi artmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları yönünden oldukça şanslı olan ülkemizde fosil yakıt tüketimini ve böylece çevre kirliliğini azaltmak için güneş enerjisinden daha fazla yararlanma yolları aranmalıdır. Sıvılı güneş kollektörlerine nazaran verimleri düşük de olsa, mevcut teknolojik imkânlar ile verimi artıracak teknikler geliştirilerek, daha az maliyetle havalı kollektörler üretilebilir. Çevre dostu kollektörler tarımsal alanlarda düşük sıcaklıkta kurutmada veya fosil yakıt kullanılarak yapılan kurutma uygulamalarında enerji desteği olarak kullanılabilir.

9. KAYNAKLAR

Akbulut, A., 2006, Elazıg yöresinde yetisen dutların yeni gelistirilen havalı kolektörler yardımıyla kurutulması ve kurutma parametrelerinin elde edilmesi, *Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006, Elazıg*.

Aktaş, M., Ceylan, İ. ve Doğan, H., 2005, Isı pompalı endüstriyel fındık kurutma fırınının modellenmesi, *Politeknik Dergisi*, 8 (4), 329-336.

Alta, Z. D., Çağlayan, N., Ezan, M. A. ve Ertekin, C., 2015, Thermal analysis of a solar air heater for drying purposes, *CIGR Journal* (Special issue), 193-199.

Altıntop, N., Demiral, D. ve Çınar, G., 1997, Matrix TipDüzlemsel Havalı Güneş Kollektörlerin Analitik Ve Deneysel İncelenmesi, *11.Ulusal Isı Bilimi Ve Tekniği Kongresi*, 992-1001.

ASAE , S., 1982, Moisture measurement—peanuts, *ASAE S 410*, 1, 679-680.

Atul Lanjewar, J.L. Bhagoria ve Sarviya, R. M., 2011, Heat transfer and friction in solar air heater duct with W-shaped rib roughness on absorber plate, *Energy and Buildings* (36), 4531-4541.

Benli H, 2013, Experimentally derived efficiency and exergy analysis of a new solar air heater having different surface shapes, *Renewable Energy*, 50, 58-67.

Bhattacharyya, T., Anandalakshmi, R. ve Srinivasan, K., 2017, Heat Transfer Analysis on Finned Plate Air Heating Solar Collector for its Application in Paddy Drying, *Energy Procedia* (109), 353-360.

Binark, K. ve Deliçay, Ç., 1993, Hava Isıtmalı Güneş Kollektörleri Dizaynı, *Isı Bilimi Tekniği*, 204-212.

Chang, W., Wang, Y., Li, M., Luo, X., Ruan, Y., Hong, Y. ve Zhang, S., 2015, The theoretical and experimenal research on thermal performance of solar air collector with finned absorber, *Energy Procedia* (70), 13-22.

Comakli, K. ve Yuksel, B., 2004, Environmental impact of thermal insulation thickness in buildings, *Applied Thermal Engineering*, 24 (5-6), 933-940.

Dhanushkodi, S., Wilson, V. H. ve Sudhakar, K., 2014, Thermal Performance evaluation of Indirect forced cabinet solar dryer for cashew drying, *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*, 14 (11), 1248-1254.

Duffie J.A ve Beckman, 1980, Solar engineering of thermal processes.

Ficarella, A., Perago, A., Starace, G. ve Laforgia, D., 2003, Thermo-fluid-dynamicinvestigation of a dryer, using numerical and experimental approach, *Food Engineering Reviews*, 59, 413-420.

Gallali, Y. M., Abujnah, Y. S. ve Bannani, F. K., 2000, Preservation of fruits and vegetables using solar dryer: A comparative study of natural and solar drying, *Renewable Energy*, 19 (203-212).

Garg, H. P. ve Datta Gupta, S., 1988, Performance Studies On A Finned-Air Heater, *Energy*, 14 (2), 87-92.

Gülçimen F ve Durmuş A, 2010, Kurutmada Kullanmak İçin Havalı Kollektörler Tasarlanması, *MMO Makale*, 38-43.

Holman, J. P., 2007, Experimental Methods for Engineers (7th Ed.). *New Delhi: Tata Mcgraw hill Publishing Company*, 2007.

Ivanova, D. ve Andonov, K., 2001, Analytical and experimental study of combinedfruit and vegetable dryer, *Energy Conversion and Management*, 42, 975-983.

J.F.Orgill ve K.G.Hollands, 1977, Correlation Equation for Hourly Diffuse Radiation on Horizontal Surfaces, *Solar Energy*, 19 (4), 357-359.

Kabeel, A. E. ve Mejarik, K., 1998, Shape optimization for absorber plates of solar air collectors, *Renewable Energy*, 13 (1), 121-131.
Kakac S., Shah R.K. ve W., A., 1987, Hand Book of Single Phase Convective Heat Transfer,Wiley, New York.
Kareem, M. W., Habib, K., Ruslan, M. H. ve Saha, B. B., 2017, Thermal performance study of a multi-pass solar air heating collector system for drying of Roselle (Hibiscus sabdariffa), *Renewable Energy* (12), 99.
Kavak, E., Biçer, Y. ve Yıldız, C., 1999, Kurutma Ve Kurutma Modelleri, *Tmmob Makina Mühendisleri*.
Kline, S. J. ve McClintock, F. A., 1953, Describing Uncertainties in Single-Sample Experiments, *Mechanical Engineering*, 3.
Li, S., Wang, H., Meng, X. ve Wei, X., 2017, Comparative study on the performance of a new solar air collector with different surface shapes, *Applied Thermal Engineering* (114), 639-644.
Metwally, M. N., Abou-Ziyan, H. Z. ve El-Leathy, A. M., 1997, Performance of advanced corrugated-duct solar air collector compared with five conventional designs, *Renewable Energy*, 10 (4), 519-537.
Midilli, A., 2003, Mathematical modeling of thin layer drying of pistachio by using solar energy, *Energy Conversion and Management*, 44 (7), 1111-1122.
Mohammad, A. A., 1996, Counter-Current Solar AirHeater, *Proceedings Of The First Trabzon İnternational Energy And Environment Symposium*.
N. Madhukeshwara ve Prakash, E. S., 2013, An investigation of heat transfer enhancement and friction characteristics in solar air heater duct with cube shaped uniform roughness on the absorber plate, *International Journal of Mechanical Engineering (IJME)* (3), 1-12.
Parker, B. F., Lindley, M. R., Colliver, D. G. ve Murphy, W. E., 1998, Thermal Performance Of Three Solar Air Heaters, *Solar Energy*, 13 (7), 543-547.
Radivoje, M. T., 2003, Small capacity mobile dryers for drying biologicalmaterials, *Drying Technology*, 21, 1137-1150.
Tiris M, Tiris Ç ve İ.E, T., 1996, Statistical comparison of models for estimating hourly-diffuse radiation in Gebze, *Energy*, 21 (1), 67-70.
Yeh, H. M. ve Ting, K. C., 1987, Efficiency of Solar Air Heaters Packed With iron Fillings, *Energy*, 13 (7), 543-547.
Yiğit A ve İ, A., 2010, Güneş Enerjisi, *Alfa Aktüel Dağıtım*, BURSA.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Anıl KILIÇ
Uyruğu : TÜRK
Doğum Yeri ve Tarihi : KOCAELİ 12/11/1992
Telefon : 5532622691
Faks :
e-mail : anlklc92@hotmail.com

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	Cahit Elginkan Anadolu Lisesi	2010
Üniversite	:	Selçuk Üniversitesi	2014
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi	
Doktora	:		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2017-	Modül Çelik Yapı ve Petrol San. Tic. Ltd. Şti.	Makina Müh.

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER: İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR: SELÇUK DARICI, ANIL KILIÇ, 2017, Thermal Performance Analysis of A Forced Convection Solar Air Collector International Conference On Energy And Thermal Engineering: Istanbul 2017, 25-28 April 2017, Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey.

SELÇUK DARICI, ANIL KILIÇ, 2018, Experimental Analysis of A Solar Air Collector With Trapezoidal Absorber Plate, 7th International Conference on Advanced Technologies (ICAT'18), 28 April-01 May 2018, Antalya, Turkey.