

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI HAVA KANALI TASARIMLARINA SAHİP
GÜNEŞ-HAVA KOLLEKTÖRLERİNİN
PERFORMANSININ DENEYSEL İNCELENMESİ

BİLAL KARABAĞ

KOCAELİ 2016

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

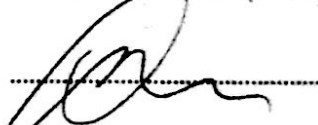
**FARKLI HAVA KANALI TASARIMLARINA SAHİP
GÜNEŞ-HAVA KOLLEKTÖRLERİNİN PERFORMANSININ
DENEYSEL İNCELENMESİ**

BİLAL KARABAĞ

Doç.Dr. Cenk ÇELİK
Danışman, Kocaeli Üniv.

Doç.Dr. Hüseyin PEHLİVAN
Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.

Yrd.Doç.Dr. Ali KİBAR
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.



Tezin Savunulduğu Tarih: 22.06.2016

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tez konumu seçmemde ve uygulamamda bana imkan, destek ve güven veren, yardımlarını esirgemeyen kıymetli hocam, danışmanım Doç.Dr. Cenk ÇELİK'e, çalışmalarımın en başından sonuna kadar her aşamasında teknik ve akademik destekleriyle yanımda olan Yrd.Doç.Dr. Ali KİBAR ve Doç.Dr.Hüseyin PEHLİVAN'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu deneysel çalışmanın başından sonuna kadar bana destek olan arkadaşlarım Seydi KOÇAK, İsmet AYDIN, Tugay CAN ve Dilan ÖZKILIÇ'a canı gönülden teşekkür ederim.

Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında 2014/007 numaralı projeye maddi destek sağlayan Kocaeli Üniversitesi BAP Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

Ayrıca bugünlere gelmemde, geleceğe umut ve güvenle bakmamda en büyük pay sahibi olan, hiçbir zaman desteklerini benden esirgemeyen ve hep yanımda olan aileme en içten sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos – 2016

Bilal KARABAĞ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
GİRİŞ	1
1. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
2. ALTERNATİF ENERJİ KAYNAĞI OLARAK GÜNEŞ ENERJİSİ	8
2.1. Güneş'in Fiziki ve Kimyasal Yapısı	8
2.2. Dünya'nın Güneş Enerjisi Potansiyeli	8
2.3. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli	11
2.4. Güneş Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları.....	12
2.5. Güneş Enerjisinden Faydalanma Şekilleri	13
2.5.1. Fotovoltaik paneller (güneş pilleri).....	13
2.5.2. Termal güneş santralleri.....	13
2.5.3. Yoğunlaştırıcı sistemler	14
2.5.4. Güneş havuzu	14
2.5.5. Güneş bacası	15
2.5.6. Güneş ocakları	15
2.5.7. Trombe duvar	16
2.5.8. Kurutma ve seralar	16
2.5.9. Su arıtma sistemi.....	16
3. GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ	17
3.1. Sıvılı Güneş Kollektörleri	18
3.2. Havalı Güneş Kollektörleri	18
3.2.1. Havalı güneş kolektörlerinin elemanları.....	20
4. DENEY DÜZENİĞİNİN HAZIRLANMASI VE DENEYSEL ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ.....	26
4.1. Giriş.....	26
4.2. Deneyde Kullanılan Araç ve Gereçler	26
4.2.1. Kollektörler	27
4.2.2. Fanlar	32
4.2.3. Kollektör sehpası	33
4.2.4. Ölçme aletleri.....	33
4.3. Deney Düzenineğin Test Edilmesi ve Başlangıç Deneyleri	36
4.4. Deneylerde Kullanılan Hesap Yöntemleri	39
5. DENEYSEL SONUÇLAR	42
5.1. Deneysel Hata Analizi	79
6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER	84
KAYNAKLAR	86

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	90
ÖZGEÇMİŞ	91



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Deklinasyon açısı	9
Şekil 2.2.	Zenit açısı.....	10
Şekil 2.3.	Güneş'ten gelen radyasyonun yeryüzünde dağılımı	11
Şekil 2.4.	Güneş havuzu sistemi	14
Şekil 2.5.	Güneş bacası sistemi	15
Şekil 2.6.	Güneş ocağı.....	16
Şekil 3.1.	Düzlemsel güneş kolektörünün elemanları.....	17
Şekil 3.2.	Parabolik güneş kolektörü	17
Şekil 3.3.	Sıvılı güneş kolektörlerinin elemanları.....	18
Şekil 3.4.	Güneş kolektöründeki enerji değişimleri.....	21
Şekil 3.5.	Kolektörlerde kullanılan yutucu yüzey şekilleri.....	23
Şekil 4.1.	Yalıtım malzemesi yerleştirilen kolektörler	28
Şekil 4.2.	Kolektörlerin hava giriş-çıkışının gerçekleşeceği arka yüzeyi	28
Şekil 4.3.	Düz plakalı kolektörün kesit ve önden görünüşü.....	29
Şekil 4.4.	Trapez plakalı kolektörün kesit ve önden görünüşü	29
Şekil 4.5.	Dikdörtgen plakalı kolektörün kesit ve önden görünüşü.....	30
Şekil 4.6.	İmalatı yapılan trapez yutucu plakalı kolektör	30
Şekil 4.7.	İmalatı yapılan dikdörtgen yutucu plakalı kolektör	31
Şekil 4.8.	Deneylerde kullanılan düz plakalı kolektör	31
Şekil 4.9.	Deneylerde kullanılan trapez ve dikdörtgen plakalı kolektörler.....	31
Şekil 4.10.	Fanların kolektör bağlantıları	32
Şekil 4.11.	Kolektörlerin üzerine yerleştirildiği kolektör sehpası	33
Şekil 4.12.	Sıcaklık ölçümünde kullanılan dijital termometre.....	34
Şekil 4.13.	Deneylerde kullanılan veri kaydedici ısı çift	34
Şekil 4.14.	Hava hızı ölçümünde kullanılan el tipi anemometre	35
Şekil 4.15.	Işınım şiddetini ölçmek için deneylerin yapıldığı mekâna yerleştirilen piranometre ve veri kaydedici ekipmanı	36
Şekil 4.16.	Anlık ışınım şiddetini ölçmek için kullanılan portatif piranometre.....	36
Şekil 4.17.	Düz plakalı kolektör içerisinde hava sıcaklığı değişimi	37
Şekil 4.18.	Trapez plakalı kolektör içerisinde hava sıcaklığı değişimi.....	37
Şekil 4.19.	Dikdörtgen plakalı kolektör içerisinde hava sıcaklığı değişimi.....	38
Şekil 4.20.	Üç farklı kolektör için kanal içi hava hızı değişimi.....	38
Şekil 5.1.	27 Nisan 2016 tarihinde düz plakalı kolektörde havanın kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları.....	42
Şekil 5.2.	27 Nisan 2016 tarihinde düz plakalı kolektöre ait ışınım şiddeti zaman verim grafiği	42
Şekil 5.3.	27 Nisan 2016 tarihinde trapez kanallı kolektörde havanın kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları	43
Şekil 5.4.	27 Nisan 2016 tarihinde trapez kanallı kolektöre ait ışınım şiddeti zaman verim grafiği	43
Şekil 5.5.	27 Nisan 2016 tarihinde dikdörtgen plakalı kolektörde havanın kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları	44

Şekil 5.6.	27 Nisan 2016 tarihinde dikdörtgen plakalı kolektöre ait ışınım şiddeti zaman verim grafiği	44
Şekil 5.7.	27 Nisan 2016 tarihli deneye ait üç farklı kolektör için zaman verim grafiği	45
Şekil 5.8.	28 Nisan 2016 tarihinde düz plakalı kolektörde havanın kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları.....	46
Şekil 5.9.	28 Nisan 2016 tarihinde düz plakalı kolektöre ait ışınım şiddeti zaman verim grafiği	46
Şekil 5.10.	28 Nisan 2016 tarihinde trapez kanallı kolektörde havanın kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları	47
Şekil 5.11.	28 Nisan 2016 tarihinde trapez kanallı kolektöre ait ışınım şiddeti zaman verim grafiği	47
Şekil 5.12.	28 Nisan 2016 tarihinde dikdörtgen plakalı kolektörde havanın kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları	48
Şekil 5.13.	28 Nisan 2016 tarihinde dikdörtgen plakalı kolektöre ait ışınım şiddeti zaman verim grafiği.....	48
Şekil 5.14.	28 Nisan 2016 tarihli deneye ait üç farklı kolektörün zaman-verim grafiği	49
Şekil 5.15.	29 Nisan 2016 tarihinde düz plakalı kolektörde havanın kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları.....	50
Şekil 5.16.	29 Nisan 2016 tarihinde düz plakalı kolektöre ait ışınım şiddeti zaman verim grafiği	50
Şekil 5.17.	29 Nisan 2016 tarihinde trapez kanallı kolektörde havanın kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları	51
Şekil 5.18.	29 Nisan 2016 tarihinde trapez kanallı kolektöre ait ışınım şiddeti zaman verim grafiği	51
Şekil 5.19.	29 Nisan 2016 tarihinde dikdörtgen plakalı kolektörde havanın kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları	52
Şekil 5.20.	29 Nisan 2016 tarihinde dikdörtgen plakalı kolektöre ait ışınım şiddeti zaman verim grafiği.....	52
Şekil 5.21.	29 Nisan 2016 tarihli deneye ait üç farklı kolektörün zaman-verim grafiği	53
Şekil 5.22.	02 Mayıs 2016 tarihinde düz plakalı kolektörde havanın kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları.....	54
Şekil 5.23.	02 Mayıs 2016 tarihinde düz plakalı kolektöre ait ışınım şiddeti zaman verim grafiği	54
Şekil 5.24.	02 Mayıs 2016 tarihinde trapez plakalı kolektörde havanın kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları	55
Şekil 5.25.	02 Mayıs 2016 tarihinde trapez plakalı kolektöre ait ışınım şiddeti zaman verim grafiği	55
Şekil 5.26.	02 Mayıs 2016 tarihinde dikdörtgen plakalı kolektörde havanın kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları	56
Şekil 5.27.	02 Mayıs 2016 tarihinde dikdörtgen plakalı kolektöre ait ışınım şiddeti zaman verim grafiği.....	56
Şekil 5.28.	02 Mayıs 2016 tarihli deneye ait üç farklı kolektörün zaman-verim grafiği	57
Şekil 5.29.	07 Mayıs 2016 tarihinde düz plakalı kolektörde havanın kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları.....	58

Şekil 5.30. 07 Mayıs 2016 tarihinde düz plakalı kollektör için ışınlım şiddeti zaman verim grafiği	58
Şekil 5.31. 07 Mayıs 2016 tarihinde trapez plakalı kollektörde havanın kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları	59
Şekil 5.32. 07 Mayıs 2016 tarihinde trapez plakalı kollektöre ait ışınlım şiddeti zaman verim grafiği	59
Şekil 5.33. 07 Mayıs 2016 tarihinde dikdörtgen plakalı kollektörde havanın kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları	60
Şekil 5.34. 07 Mayıs 2016 tarihinde dikdörtgen plakalı kollektöre ait ışınlım şiddeti zaman verim grafiği.....	60
Şekil 5.35. 07 Mayıs 2016 tarihli deneye ait üç farklı kollektörün zaman-verim grafiği	61
Şekil 5.36. 08 Mayıs 2016 tarihinde düz plakalı kollektörde havanın kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları.....	62
Şekil 5.37. 08 Mayıs 2016 tarihinde düz plakalı kollektöre ait ışınlım şiddeti zaman verim grafiği	62
Şekil 5.38. 08 Mayıs 2016 tarihinde trapez kanallı kollektörde havanın kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları	63
Şekil 5.39. 08 Mayıs 2016 tarihinde trapez plakalı kollektöre ait ışınlım şiddeti zaman verim grafiği	63
Şekil 5.40. 08 Mayıs 2016 tarihinde dikdörtgen plakalı kollektörde havanın kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları	64
Şekil 5.41. 08 Mayıs 2016 tarihinde dikdörtgen plakalı kollektör için ışınlım şiddeti zaman verim grafiği.....	64
Şekil 5.42. 08 Mayıs 2016 tarihli deneye ait üç farklı kollektörün zaman-verim grafiği	65
Şekil 5.43. 10 Mayıs 2016 tarihinde düz plakalı kollektörde havanın kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları.....	66
Şekil 5.44. 10 Mayıs 2016 tarihinde düz plakalı kollektöre ait ışınlım şiddeti zaman verim grafiği	66
Şekil 5.45. 10 Mayıs 2016 tarihinde trapez kanallı kollektörde havanın kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları	67
Şekil 5.46. 10 Mayıs 2016 tarihinde trapez kanallı kollektör için ışınlım şiddeti zaman verim grafiği	67
Şekil 5.47. 10 Mayıs 2016 tarihinde dikdörtgen plakalı kollektörde havanın kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları	68
Şekil 5.48. 10 Mayıs 2016 tarihinde dikdörtgen plakalı kollektöre ait ışınlım şiddeti zaman verim grafiği.....	68
Şekil 5.49. 10 Mayıs 2016 tarihli deneye ait üç farklı kollektörün zaman-verim grafiği	69
Şekil 5.50. Kollektörlerin çalıştığı günlere ait ortalama verim grafiği	70
Şekil 5.51. Düz plakalı kollektörde Reynolds ve Nusselt sayılarının değişimi	71
Şekil 5.52. Trapez plakalı kollektörde Reynolds ve Nusselt sayılarının değişimi.....	72
Şekil 5.53. Dikdörtgen plakalı kollektörde Reynolds ve Nusselt sayılarının değişimi	72
Şekil 5.54. Üç farklı kollektör için Reynolds sayılarının karşılaştırması	73
Şekil 5.55. Üç farklı kollektör için Nusselt sayılarının karşılaştırması.....	73
Şekil 5.56. Düz plakalı kollektöre ait deneysel ve teorik taşınım katsayıları	74
Şekil 5.57. Trapez plakalı kollektöre ait deneysel ve teorik taşınım şiddetleri.....	75

Şekil 5.58. Dikdörtgen plakalı kollektöre ait deneysel ve teorik taşınım şiddetleri	76
Şekil 5.59. Deneysel taşınım katsayılarının üç farklı kollektör için değişimi	76
Şekil 5.60. Teorik taşınım katsayılarının üç farklı kollektör için değişimi.....	77
Şekil 5.61. Düz plakalı kollektörün literatürdeki diğer kollektörlerle karşılaştırılması	77
Şekil 5.62. Trapez plakalı kollektörün literatürdeki diğer kollektörlerle karşılaştırılması	78
Şekil 5.63. Dikdörtgen plakalı kollektörün literatürdeki diğer kollektörlerle karşılaştırılması	79



TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1. Saydam örtü olarak kullanılan bazı camların teknik özellikleri	21
Tablo 3.2. Farklı malzemelerin boyca uzama yüzdeleri	24
Tablo 3.3. Kollektörlerde kullanılan yalıtım malzemelerinin teknik özellikleri.....	25
Tablo 4.1. Kollektör elemanları ve teknik özellikleri	27



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Alan
C _p	: Sabit basınçta özgül ısı, (kJ/kgK)
h	: Saat
I	: Işınım şiddeti, (W/m ²)
J	: Joule
m	: Kütleli debi, (kg/s)
s	: Saniye
T	: Sıcaklık
Q	: Faydalanılan toplam enerji, (W)
V	: Hız, (m/s)
W	: Watt
ρ	: Yoğunluk, (kg/m ³)
η	: Verim
F _R	: Isı kazanım faktörü

Kısaltmalar

AC	: Alternating Current (Alternatif Akım)
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
Epdm	: Ethylene Propylene Diene Monomer (Etilen Propilen Kauçuğu)
ODTÜ	: Orta Doğu Teknik Üniversitesi
PV	: Photovoltaics (Fotovoltaik)
T	: Thermal (Isıl)

FARKLI HAVA KANALI TASARIMLARINA SAHİP GÜNEŞ-HAVA KOLLEKTÖRLERİNİN PERFORMANSININ DENEYSSEL İNCELENMESİ

ÖZET

Günümüzde, tükenbilir fosil kökenli enerji kaynaklarına alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması oldukça yaygın bir çalışma alanıdır. Güneş enerjisi ise bu alternatif kaynakların başında gelmektedir. Güneş enerjisinin ısı ve ışınım enerjisinden yararlanmak amacıyla aktif ve pasif güneş enerji sistemleri kullanılmaktadır.

Yapılan bu deneysel çalışmada, pasif güneş enerjili bir sistem olan güneş-hava kollektörlerinin performansları incelenmiştir. Güneş-hava kollektörleri yutucu bir yüzey vasıtasıyla depolayıp muhafaza ettiği enerjiyi havaya aktararak amaçlanan ısıtma işini gerçekleştirmekte kullanılan sistemlerdir. Bu çalışmada ise bahsedilen hava kaynaklı güneş kollektörlerinin performansları, değişen hava yutucu plaka tasarımlarına göre deneysel olarak incelenmiştir. Deney için; trapez, dikdörtgen ve düz yutucu plaka geometrilerine sahip olan üç adet birbirinden farklı kollektör kullanılmıştır. Kollektörler eş zamanlı olarak aynı ortam koşullarında çalıştırılmıştır. Deney süresince dış hava sıcaklığı, havanın kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları, yutucu yüzeyin sıcaklığı ve havanın kollektör içerisindeki ve çıkışındaki hızları ölçülmüştür.

Deneysel çalışmada çevre sıcaklığının, ışınım şiddetinin, yutucu plaka geometrisinin, kollektör içerisindeki hava hızının kollektör verimini etkileyen faktörler olduğu anlaşılmıştır. Deneysel çalışmada elde edilen veriler sonucunda dış hava sıcaklığının, ışınım şiddetinin, kollektör içerisindeki hava hızının ve yutucu plaka yüzey alanının artması ile kollektör verimlerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Güneş, Güneş-hava kollektörleri, Isıtma, Kollektör.

THE EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE EFFECT OF SOLAR-AIR COLLECTOR STRUCTURE TO PERFORMANCE

ABSTRACT

Nowadays, renewable energy is an important field of study which represents a clean alternative to non-renewable energy sources. Solar power is one of the most-widely used renewable power source. Passive or active solar energy systems are used to benefit from solar radiation energy. In this study, performance of solar air collectors which are passive solar energy systems were investigated experimentally. Solar air heaters are energy systems that capture sun's heat with the help of an absorber plate and heat the air through conduction. Three collectors which have flat plate, rectangle and trapezoidal geometric air channel were used for experiments. Collectors were operated for heating two identical places simultaneously. During the experiments, ambient temperature, collector inlet and exit temperatures, absorber plate surface temperatures and air velocity in the channel were measured. The effect of solar air collector structures to solar air collector efficiency was determined according to the obtained data during experiments.

Key words: Energy, Solar, Solar-air collectors, Heating, Collector.

GİRİŞ

İnsanlar tarih boyunca enerji ihtiyacını birçok farklı kaynakla temin etmişlerdir. Bu kaynaklar ilk çağlarda ulaşılması daha kolay olan (odun, kömür vb.) kaynaklar olurken, ilerleyen zamanlarda bunların yerini petrol, doğalgaz gibi yeraltı kaynakları almıştır ve bu kaynaklar günümüzde hala kullanılmaktadır. Dünyada enerji ihtiyacı, artan nüfus ve çağımızın getirmiş olduğu ihtiyaçlar doğrultusunda her geçen gün artmaktadır [1]. Halihazırda kullanılmakta olan fosil kökenli tükenbilir kaynakların (doğalgaz, kömür, petrol vb.), zamanla azalması ve bu kaynakların doğaya verdikleri zararların artık kontrol edilebilir boyutları aşması nedeniyle alternatif enerji kaynaklarına olan ilgi giderek artmaktadır. Yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynakları, doğadan sınırsız olarak temin edilmesi, kullanımlarının doğaya fosil kökenli kaynaklar kadar zarar vermemesi, istenmeyen artık gazlar oluşturmaması ve uzun vadeli kullanımlarda çok daha verimli ve ekonomik olması, zor bir teknoloji gerektirmemesi ve lokal uygulanabilmesi gibi önemli avantajlara sahiptir. Bu faktörler bizleri alternatif olabilecek yeni enerji kaynakları bulmak konusunda arayışlara yöneltmektedir [1].

Bu alternatif kaynakların başında ise güneş enerjisi gelmektedir. Güneş, Dünyamız için sonsuz bir enerji kaynağı olarak görülebilmekle beraber, birçok enerji sistemi için gerekli olan birbirinden farklı biçimde enerji çeşitliliğini bizlere sağlayabilmektedir.

Ülkemiz de bulunduğu konum itibarıyla kullanılabilir Güneş enerjisi bakımından oldukça avantajlı durumdadır. Ülkemizde Güneş enerjisi ile ilgili çalışmalar 1970'li yıllardan sonra başlasa da çalışmalar giderek artmaktadır. Özellikle ülkemizin güney kesiminde yer alan Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz Bölgesi önemli Güneş enerjisi potansiyeline sahiptir [2].

Güneş enerjisinden faydalanmak amacıyla kullanılan sistemler ise kullanım biçimine göre aktif güneş enerji sistemleri ve pasif güneş enerji sistemleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Pasif sistemlerde, sistem elemanları toplayıcı gibi davranır ve bir

mekanik ekipman barındırmadan ısı soğurulup, depolanır ve taşıyıcı akışkana iletilir. Aktif sistemlerde ise enerji dönüşümü ve iletimi için elektrikli veya mekanik olabilen yardımcı elemanlar bulunur.

Bu deneysel çalışmanın içeriği olan güneş-hava kolektörleri, bir pasif güneş enerji sistemlidir. Güneş-hava kolektörleri güneş ışınımından absorbe ettiği enerjiyi taşıyıcı akışkan olan havaya aktararak arzu edilen ortamın ısıtılmasını sağlamaktadır [3]. Bu kolektörlerin en yoğun kullanıldığı alan elbette ısıtmadır. Ülkemizde harcanılan enerjinin büyük bir bölümünün ısıtma, soğutma gibi konfor ve iklimlendirme koşulları için harcandığı düşünüldüğünde, Güneş enerjisinin kolektörler yoluyla ısıtma işleminde kullanımı son derece mantıklı ve efektif bir alternatif yöntemdir.

Bu deneysel çalışmada ise geometrik olarak farklı yutucu plakalara sahip olan üç farklı güneş-hava kolektörü tasarlanmış ve kolektörlerin performansları deneysel olarak incelenerek hangi tip kolektörün daha verimli olduğunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma özellikle ülkemizde güneş-hava kolektörlerinin ısıtma alanında daha yaygın olarak kullanılmasını amaçlamaktadır.

1. LİTERATÜR TARAMASI

Geçmişten bu yana havalı güneş kolektörleri, kısaca güneş-hava kolektörleri üzerinde, performans ve verimlilik artırmaya, tasarım ile uygulanabilirliğini kolaylaştırmaya ve maliyetini azaltmaya yönelik birçok çalışma yapılmıştır.

Binark ve Deliçay, çalışmalarında hava kanalının olmadığı bir kolektör ve farklı şekillerde tasarlanmış üç farklı kolektörün kullanıldığı deneyler yapmışlardır. Deneylerinde çift geçişli ve çift camlı labirentli kolektörün diğerlerine göre veriminin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir [4].

Akpınar ve arkadaşları, çalışmasında dört farklı yutucu plaka kullanarak bunların verimini deneysel olarak incelemiştir. Yutucu plaka tipi olarak üçgen, yaprak, dikdörtgen ve düz tip yutucu plaka kullanmışlar ve en yüksek verim değerinin yaprak tip yutucu plakalı kolektörden elde edildiğini saptamışlardır [5].

Esen, yutucu plaka üzerine farklı engeller yerleştirerek bu engellerin güneş-hava kolektörünün verimi üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmasında engeller yerleştirilen yutucu plakalı kolektörün veriminin düz tip yutucu plakalı kolektöre göre daha verimli olduğunu tespit etmiştir [6].

Parker ve arkadaşları, çalışmalarında güneş-hava kolektörü içerisinde V oluklu yutucu plaka kullanmışlardır. Deneylerinde hava akışını yutucu yüzeyin altından, üstünden ve hem altından hem üstünden olmak üzere üç farklı şekilde yapmışlar ve kolektörlerin ısı performansını ve verimi incelenmiştir [7].

H.D. Amari, hava akışının kolektörün yan yüzeylerinden geçtiği bir kolektör tasarlamış ve bu düzenekte ısı verimliliği hesaplamıştır. Farklı debilerle yaptığı çalışmalarda maksimum kolektör veriminin yüzde 72 olduğunu bulmuştur [8].

Ertekin ve Bilgili, güneş-hava kolektörlerinin yapımı için gerekli olan absorbe edici yüzey, saydam örtü, kolektör kasası ve yalıtım malzemeleri hakkında bilgiler vermiş ve güneş-hava kolektörleri için formüller vermişlerdir [9].

M. Ameri ve arkadaşlarının 2015 yılında yaptıkları çalışmada, zorlanmış akış ile çalışan güneş hava kolektörlerinin tek ve çift cam için ısıl davranışlarını gösteren matematiksel bir simülatör oluşturulmuştur. Enerji ve ekserji analizleri kullanılarak uzunluk, derinlik, kanat biçimleri ve Re sayısının etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, kanat ve ince sac kullanılan sistemlerin daha verimli olduğunu ayrıca yüksek Re sayısı değerlerinde ($Re > 22000$) ince sac ve çift camlı sistemlerin ekserji veriminin negatif değerler aldığını göstermiştir [10].

G. Chen ve arkadaşları 2015 yılında, metal ve polimer maddelerden yapılmış güneş kolektörlerini inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Deneyde metal kolektöre göre polimer kolektörün %67,8, saydam plastik kaplamalı metal kolektörün ise %40,3 daha hafif olduğu belirlenmiştir. Polimer kolektörün yapımında polikarbonat petek paneller tercih edilmiştir. Çalışma sonucunda polimer kolektörün veriminin metal kolektöre göre % 8-15 daha düşük olduğu bulunmuştur [11].

M. Ameri ve arkadaşı 2014 yılında, doğal akış ile çalışan güneş hava kolektörlerinin tek ve çift cam için matematiksel modellerini oluşturmuşlardır. Enerji ve ekserji denklemleri kullanarak hava kanalının ortasında asılı duran kalay sac, üçgen ve dikdörtgen biçimindeki eksensel kanatlar, hava kanallarının derinlik ve uzunluklarının kolektör verimine olan etkileri incelenmiştir. Termodinamiğin ikinci kuralına göre hesaplamalar yapıldığında çift camlı kolektörlerin tek camlılara, üçgen kanatlı kolektörlerin de dikdörtgen kanatlılara göre daha verimli çalıştığı belirlenmiştir [12].

K. Amari ve M. A. Abd-AlRaheem 2013 yılında yaptığı çalışmada, çeşitli fotovoltaik/termal (PV/T) hibrit kolektörlerin, Irak hava koşullarında elektriksel ve ısıl performansları karşılaştırılmıştır. Deney için dört farklı PV/T hibrit hava kolektörü üretilmiştir. Üretilen kolektörlerin üçü hava kanalı, cam, eksensel fan ve paralel bağlı iki PV panelinden oluşmaktadır. Ölçülen değerler, panel yüzeylerinin üst ve alt sıcaklıkları, kolektör boyunca hava sıcaklığı, havanın debisi, basınç düşüşü, güneş panelinin ürettiği güç ve rüzgâr hızı, ortam sıcaklığı, ışıyım şiddeti gibi hava koşullarıdır. Sonuçlar çift kanal tek geçiş kolektör modelinin (model III), tek kanal çift geçiş (model II) ve tek kanal tek geçiş (model IV) modellerine göre daha verimli olduğunu ortaya koymuştur. Model III' teki basınç düşüşünün model II ve IV' e göre

daha düşük olduğu ve model IV' ün ısıl veriminin %18,04 değerini aldığı belirlenmiştir [13].

M. A. Paya-Marin, B. S. Gupta ve arkadaşları 2015 yılında, deliksiz, mat camlı, arkadan hava geçişli güneş hava kolektörleri hakkında bir yıla yayılmış geniş çaplı bir araştırma yapmışlardır. Farklı hava debilerinde sıcaklık, rüzgâr hızı ve güneş ışınım değerleri ölçülmüştür. Kolektör kanal uzunluklarının sistem verimi üzerine direkt etkisi olduğu belirlenmiştir. Ayrıca arkadan hava geçişli kolektörlerdeki sıcaklık yükselişi için bir denklem sunulmuştur [14].

A. Ibrahim ve arkadaşlarının 2010 yılında yaptıkları çalışmada, termal ve elektriksel enerji üreten düz levhalı fotovoltaik/termal (PV/T) güneş panelleri incelenmiş, hava, su ve hava su karışımıyla çalışan panellerin tasarım ve performans değerlendirmeleri yapılmıştır. Ayrıca bütünleşmiş PV ve PV/T panellerin nasıl geliştirilebileceğini konu edinmiştir. Farklı tasarım ve performanslardaki düz levhalı PV/T panelleri karşılaştırılmıştır. Hava ya da su ile çalışan PV panellerin ikisinde de sistemin verimi üzerinde en fazla etkisi olan faktörler, kolektörün alanı ve geçişlerin sayısı olarak belirlenmiştir. Düz levhalı PV/T güneş panellerin, endüstri ve yaşam alanlarında düşük enerji gereksinimli uygulamalar için kullanımında gelecek vaat ettiği gösterilmiştir [15].

M. G. Özkaya ve arkadaşları 2007 yılında hava ısıtmalı güneş kolektörünün verimini deneysel olarak tespit eden bir çalışma yapmışlardır. Kolektör üç farklı hava debisinde, farklı gün ve sıcaklık koşullarında denenmiştir. Kolektör giriş çıkış sıcaklıkları, yutucu yüzey sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve güneş ışınım değerleri ölçülmüştür. Deney sonucunda yüksek hava hızlarında sistem veriminin arttığı belirlenmiştir [16].

M. Abuşka ve M. B. Akgül'ün 2014 yılında yaptığı çalışmada trapez ve düz tip yutucu plakalı güneş enerjili hava kolektörlerinin ısıl verimi incelenmiştir. Deneyde ortam sıcaklığı, güneş ışınım değeri, yutucu plaka üzerindeki iki farklı noktanın sıcaklık değerleri, kolektör çıkışında havanın hızı ve sıcaklığı ölçülmüştür. Deney sonuçlarına göre trapez yutucu plakalı kolektörün ısıl verimini %28,5, düz plakalı kolektörün ısıl verimi ise %23,1 olarak hesaplamışlardır [17].

İ. Sancar ve H. Bulut' un yaptığı çalışmada mahal ısıtmasında kullanılan havalı güneş kolektörlerinin Adıyaman hava koşullarında performansları karşılaştırılmıştır. 4 adet kolektör ikişerli paralel olarak seri bağlanmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda havalı güneş kolektörünün ortalama ısı verimi %61 olarak belirlenmiştir. Kolektör veriminin havanın hızı ve debisiyle doğru orantılı olarak değiştiğini tespit etmişlerdir. Saatlik ortalama kolektör verim değerinin %56 ile %67 arasında değiştiği, bunun sebebinin Adıyaman' da kış şartlarında güneş ışınım ve ortam hava sıcaklığı değerlerinin öğlene kadar artan daha sonra ise azalan eğilim göstermesi olduğu belirlenmiştir. Kolektörlere giriş çıkış noktaları arasındaki hava sıcaklıkları farkının 20 °C' ye ulaştığı, çıkış sıcaklığının güneş ışınımı ile doğru orantılı olarak değiştiği saptanmıştır. Ayrıca kolektörden geçen havanın kütlesinin yüksek olduğu günlerde kolektör veriminin arttığı ve en düşük verimin hava debisinin az olduğu günlerde oluştuğu tespit edilmiştir [18].

H. Karakaya ve Durmuş A. 2009 yılında, farklı tip yüzey geometrilerine sahip havalı kolektörlerde verim ve ekserji analizini konu edinen bir çalışma yapmışlardır. Deneyde 1,6x1,6 (m²) yutucu yüzey alanına sahip, akım yolu spiral dönmeli olarak üç farklı kolektör kullanmışlardır. Akım yolunun uzatılması ve geometrisiyle akışkanın türbülansa uğraması sağlanmıştır. Bu durumun ısı transferini ve basınç kayıplarını artırdığını tespit etmişlerdir [19].

İ. Sugözü ve C. Sarsılmaz 2006 yılında yaptıkları çalışmada havalı güneş kolektörü ile iç ortam ısıtılmasını deneysel olarak araştırmışlardır. Deney için Elazığ'da 13 m³ lük bir oda deney mekanı olarak kullanılmış ve odanın güney duvarına düz toplayıcı havalı güneş kolektörü yerleştirilmiştir. Kış aylarında odanın iç ortam havası kolektör ile ısıtılmıştır. Deney sonucunda oda sıcaklığının 5 °C ile 20 °C arasında arttığı gözlemlenmiştir [20].

M. Abuska ve arkadaşlarının 2014 yılında yaptıkları çalışmada, trapez tip yutucu plakalı güneş enerjili bir hava kolektörünün ısı verimi deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde dış hava sıcaklığı, küresel ışınım, yutucu plaka yüzey sıcaklık değerleri, kolektör çıkış hava hızı ve sıcaklığı ölçülmüştür. Daha sonra kolektörün ısı verimi hesaplanmıştır. Sonuçlar ile yapay sinir ağları modeli oluşturularak ısı verim farklı

giriş etkenleri için belirlenmiştir. Sonuç olarak, yapay sinir ağları modelinin güneş enerjili hava kolektörünün ısıl verimini başarıyla tahmin ettiği belirlenmiştir [21].

F. Bayrak ve H. F. Öztop, 2014 yılında kapalı hücreli alüminyum köpük engellere sahip hava ısıtılmalı güneş kolektörlerinin ısıl verimini belirlemeye çalışan bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında, farklı kalınlıklarda gözenekli engeller ile engelsiz yüzeye sahip güneş-hava kolektörlerinin enerji analizini yapmışlardır. Gözenekli malzeme olarak kapalı hücreli alüminyum malzeme kullanmışlardır. Ölçümler 6 mm ve 10 mm kalınlıklarındaki engeller ile 0,016 kg/s ve 0,025 kg/s debilerinde çalışılarak elde edilmiştir. Deneyde beş tip kolektörün ısıl verimi birbiriyle karşılaştırılmış ve sonuç olarak en yüksek verim ve sıcaklık değerlerinin 0,025 kg/s debisi ve 6 mm kalınlığındaki şaşırtılmalı dizilime sahip kolektörde olduğu tespit edilmiştir [22].

H. Bulut ve A.F. Durmaz, 2006 yılında yaptıkları çalışmada kolektör malzeme seçimine özellikle önem vererek bir havalı güneş kolektörü imal etmişlerdir ve sistemi Şanlıurfa iklim şartlarında deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyde kolektör giriş ve çıkışındaki havanın bağıl nemi, sıcaklığı ve hızı, güneş ışınım şiddeti, yutucu yüzey sıcaklığı ölçülmüştür. Verilerle kolektörün ısıl verim değerleri hesaplanmıştır. Havalı güneş kolektörün ortalama ısıl verimi %53 olarak bulunmuştur. Kolektör giriş ve çıkış hava sıcaklıkları arasındaki fark ortalama olarak 20 °C olarak saptanmıştır. Yapılan deney sonucunda, güneş kolektörlerinin bina ısıtmasında kullanılabileceği görülmüş ve önerilmiştir [23].

A. Keçebaş ve arkadaşları 2008 yılında, havalı güneş kolektörlerinde farklı tip emici plakaların performansına olan etkisini araştıran bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada model I diye tanımladığı zikzaklı yutucu yüzeye sahip kolektör ile düz emici yüzeye sahip model II diye adlandırılan iki farklı tip kolektör kullanılmıştır. Deneyler Karabük şartlarında Ağustos ve Eylül aylarında toplam 5 günde yapılmıştır. Deneylerden edinilen veriler ile kolektörlerin enerji ve ekserji verimleri hesaplanmıştır. Deney sonucunda model II tip kolektörün veriminin %46,5 ile %1,35, model I tip kolektör veriminin ise %32,72 ile %1,13 arasında değiştiğini, model II tip kolektörün daha verimli olduğu belirlenmiştir [24].

2. ALTERNATİF ENERJİ KAYNAĞI OLARAK GÜNEŞ ENERJİSİ

2.1. Güneş'in Fiziki ve Kimyasal Yapısı

Dünyamız için başlıca ve temel enerji kaynağı olan Güneş, son derece yoğun ve sıcak gazlardan oluşan bir yıldızdır. Güneş, Dünya'ya yaklaşık $1,5 \times 10^8$ km uzaklıkta bulunmaktadır, çapı yaklaşık 7×10^5 km ve kütlesi ise 2×10^{30} kilogramdır [25]. Çapı Dünya'nın yaklaşık 110 katı, kütlesi ise yaklaşık 330 katıdır. Yüzey sıcaklığı 5800 °K civarında, merkezindeki sıcaklık ise 16 milyon derecelere ulaşabilmektedir [25]. Hacimsel olarak yaklaşık %90, kütleli olarak ise %75 hidrojen elementinden oluşur. Kalan kısmının ise neredeyse tamamını helyum oluşturmaktadır. Güneş içerisinde hidrojen çekirdekleri füzyon reaksiyonları sonucu helyuma dönüşür ve her bir hidrojen atomunun tepkimesinde yaklaşık 10^{12} Joule enerji açığa çıkar ki Güneş'in toplam ışınma enerjisi saniyede $3,8 \times 10^{26}$ J kadardır [25]. Güneşte saniyede 6×10^{11} kg hidrojen atomu reaksiyona girer ve her dört protondan bir helyum çekirdeği oluşturur, bu da Güneş'in kütlelerinin her saniye 4,5 milyon ton azalmasına sebep olur. Güneş içerisindeki hidrojenin füzyon ile helyuma dönüşmesi sonucu azalan bu kütle miktarı uyarınca bilim insanları tarafından Güneş'in ömrünün yaklaşık 5 milyar yıl kadar olduğu tahmin edilmektedir [25].

2.2. Dünya'nın Güneş Enerjisi Potansiyeli

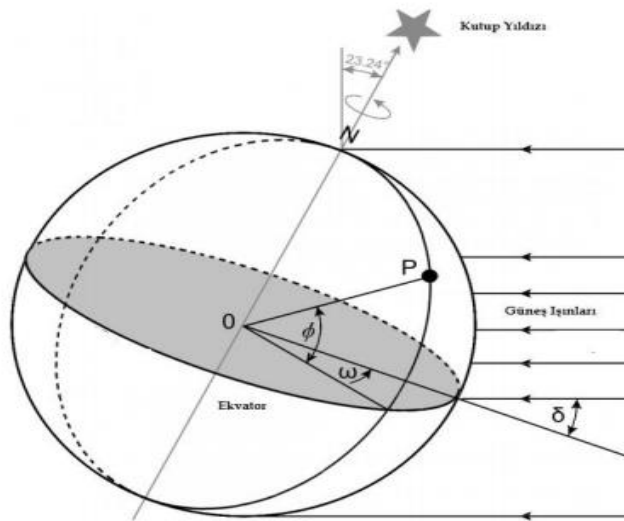
Dünya bir gezegen olarak hem Güneş'in etrafında hem de kendi eksenini etrafında belirli periyotlarla dönmektedir. Bu da Dünya'ya ulaşan güneş ışınlarının belirli zaman aralıklarında farklılıklar göstermesi anlamına gelmektedir. Bu zaman aralıkları günlük ve yıllık olarak değişebilir. Dünya Güneş'e $1,5 \times 10^8$ km uzaklıkta olması dolayısıyla Güneş'in enerjisinin saniyede 4×10^{26} J değerindeki kısmı Dünya'ya ulaşır ki bu değer Güneş'in potansiyeline kıyasla az gibi görünebilir ancak bu değer dünyamızın ihtiyaç duyduğu enerji miktarının yaklaşık 20000 katıdır [25]. Güneş ışınları Dünya'ya ışık hızı olan yaklaşık 300000 km/s hızla 8 dakikada ulaşmaktadır. Bu ışınlar Dünya'ya ne kadar dik bir açıyla gelirse enerji miktarı o kadar fazla soğurulacaktır ve daha fazla kullanılabilir düzeyde olacaktır ancak Dünya

zaten kendi yörüngesinde ekvator ile eliptik düzlem arasında $23,7^\circ$ lik bir açıyla dönmektedir, bu da Dünya'ya gelen ışınım miktarlarının sürekli değiştiğini göstermektedir [25].

Dünya üzerine 1 m^2 lik alana dik olarak düşen güneş açısına güneş değışmezi denir ki bu değer 1373 W/ m^2 olarak belirlenmiştir. Bu değerin değışmediğı kabul edilir çünkü Güneş ışınları Dünya atmosferine sürekli olarak dik açıyla gelmektedir, ancak yeryüzünde $0-1100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında değışim gösterir [25].

Güneş ışınlarının Dünya ile yaptığı doğal ve türetilmiş açılar şu şekilde tanımlanmıştır:

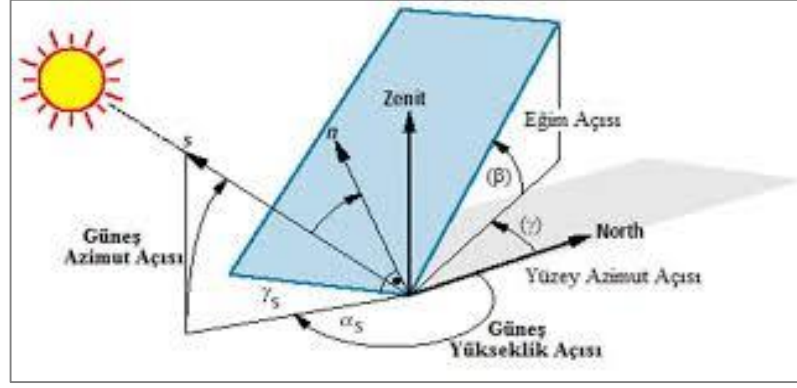
Deklınasyon Açısı : Güneşten gelen ışınların ekvator düzlemi ile yaptığı açı olarak kabul edilir. Kuzey yarım küre için pozitif, güney yarım küre için negatif değerlidir. Deklınasyon açısı $-23,45$ ile $+23,45$ arasında değışir. İlkbahar ekinoksu (21 Mart) ve sonbahar ekinoksunda (21 Eylül) bu açı değeri sıfır olur.



Şekil 2.1.Deklınasyon açısı [26]

Geliş Açısı : Eğik yüzeyin dikeyi ile ışın arasındaki açıdır.

Zenit Açısı : Güneş ışınlarının vurduğu yatay yüzeyin normali ile güneş ışınlarının arasındaki açıdır.



Şekil 2.2. Zenit açısı [27]

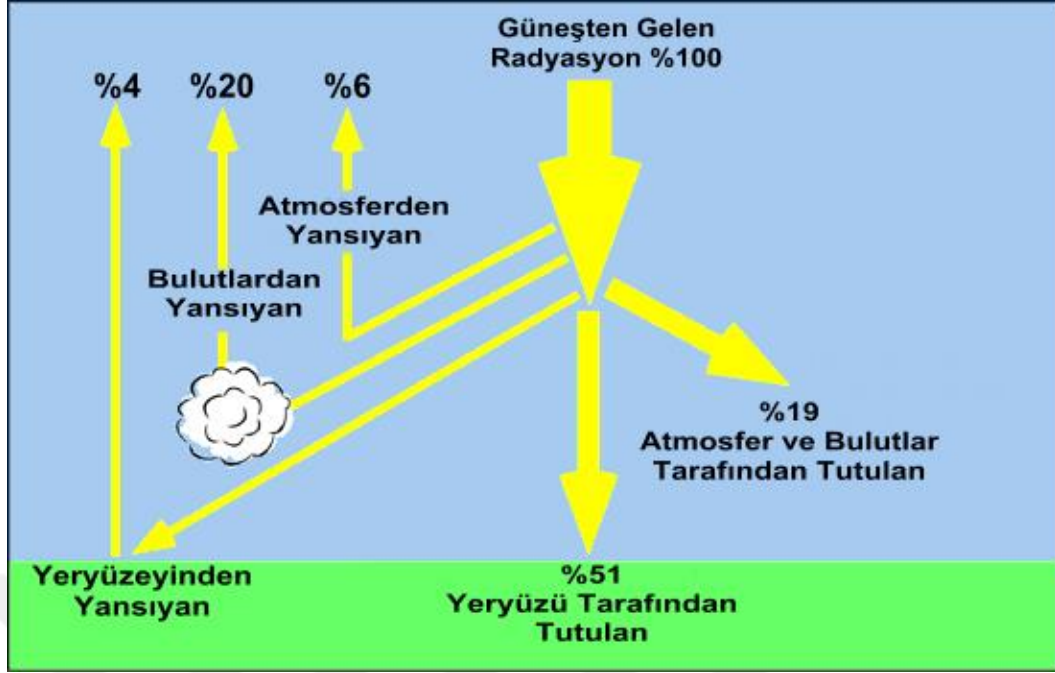
Enlem Açısı : Ekvator düzlemi ile dünyanın merkezine olan radyal çizgi arasında bulunan açıdır. Enlem kuzey yarım küre için artı değerli olup $- 90^\circ$ ile 90° arasında değişir.

Saat Açısı : Zamanın açısal olarak ölçüsünün tanımlandığı açıdır ve bir saat 15° boylama eşittir. Öğleden evvel açı artı ve öğleden sonra eksi değer alır. Örneğin, saat 09:00 için açı $+ 45^\circ$ ve saat 14:00 için $- 30^\circ$ olur.

Eğim Açısı: Yatay yüzey ile eğik yüzey arasında kalan açıdır. Ekvatora yönelen yüzey için artı değer alır.

Güneş Azimut Açısı: Güneş ışınlarının Dünya'nın kuzeyine göre saat ibrelerinin istikametinde değişimini belirleyen açıdır.

Güneş ışınımının tamamı yeryüzüne ulaşmaz, %30 kadarı dünya atmosferi tarafından geriye yansıtılır. Güneş ışınımının %50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır. Bu enerji ile Dünya'nın sıcaklığı yükselir ve yeryüzünde yaşamsal faaliyetler sağlanır. Bu ısınma sıcaklık ve basınç dengesini değiştirerek rüzgâr hareketlerine ve okyanus dalgalanmalarına neden olur. Güneşten gelen ışınımının %20'si atmosfer ve bulutlarda tutulur. Yer yüzeyine gelen güneş ışınımının %1'den azı bitkiler tarafından fotosentez olayında kullanılır. Bitkiler, fotosentez sırasında güneş ışığıyla birlikte karbondioksit ve su kullanarak, oksijen ve şeker üretirler. Fotosentez, yeryüzünde bitkisel yaşamın kaynağıdır. Dünya'ya gelen bütün güneş ışınımı, sonunda ısıya dönüşür ve tekrar uzaya salınır.



Şekil 2.3. Güneş'ten gelen radyasyonun yeryüzünde dağılımı [28]

2.3 Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Ülkemiz sahip olduğu konum itibariyle güneş potansiyeli olarak birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Geçmişten günümüze güneş enerjisi ülkemizde su ısıtma, konut ısıtma, pişirme ve kurutma gibi yöntemlerde ağırlıklı kullanılsa da elektrik enerjisi üretiminde dünya nazarında nispeten geri kalmıştır. Ancak son zamanlarda güneş enerjisi üzerine yapılan çalışmalar ve ülkemizin bu türlü çalışmalara fiziksel olarak oldukça müsait olması gelecek adına ümit vericidir. Nitekim Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından veriler hazırlanmış ve ülkemizdeki güneş enerjisi potansiyelini ortaya koymuştur [29].

Ülkemizin güneş enerji potansiyelini açığa çıkarmak için yapılan çalışmalarda ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi ve ortalama toplam ışınım şiddeti belirlenmiştir. Ancak ülkemizin güneş potansiyelinin daha yüksek değerlerde olduğu tahmin edilmekte ve bu değerlerin gerçekliğinin sağlanması için devlet tarafından çalışmalar yapılmış ve yapılmaya da devam etmektedir [30].

Ülkemizin güneş enerjisi açısından en yüksek potansiyele sahip bölgeleri Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz Bölgesi'dir. Güneş enerjisinin bölgelere göre dağılımı da yine EİE Genel Müdürlüğü tarafınca belirlenmiştir [29].

Güneş enerjisi araştırma ve geliştirme konularında EİE'nin yanında Tübitak Marmara Araştırma Merkezi ve üniversiteler (Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Araştırma Enstitüsü, Muğla Üniversitesi, ODTÜ, Kocaeli Üniversitesi, Fırat Üniversitesi) çalışmalar yapmaktadır [29].

Güneş enerjisi verilerinin ölçülmesi konusunda Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü faaliyet göstermektedir. EİE de 1991 yılından bu yana kendi güneş enerjisi gözlem istasyonları kurmaktadır [29].

2.4. Güneş Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları

Güneş enerjisi tükenmeyen, temiz, erişimi kolay ve uzun vadede hesaplı bir alternatif ve sürdürülebilir enerji çeşidi olduğu için diğer enerji kaynakları arasında özel bir yere sahiptir. Ayrıca güneş enerjisi; rüzgâr, dalga, gel-git ve biokütle gibi diğer alternatif kaynakların da dolaylı veya direkt olarak temin edilmesini sağlamaktadır. Güneş enerjisinin avantajlarını daha detaylı olarak sıralarsak;

1. Güneş sınırsız ve tükenmeyen bir enerji kaynağıdır.
2. Dünyamızın her yerine ulaşabilen bir kaynaktır.
3. Ulaşımı ve eldesi kolaydır.
4. Zararlı gaz veya kimyasal içermez. Karbon monoksit, kükürt vb. zararlı atıkları bünyesinde bulunmaz.
5. Lokal olarak kullanılabilir.
6. Yüksek ve karmaşık bir teknoloji gerektirmez.
7. Ülkelerin enerjide dışa bağımlılığını azaltabilir.
8. İlk etapta yatırım maliyetleri yüksek gibi görünse de, uzun vadede oldukça hesaplı ve işletme giderleri de düşüktür.

Bu avantajlarının yanında elbette bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Onları da şu şekilde sıralayabiliriz;

1. Günümüz teknolojisi ile yatırım maliyetleri biraz yüksektir.
2. Her zaman istenen talebi karşılamayabilir çünkü güneş miktarı gün içerisinde ve yıl içerisinde oldukça değişkenlik göstermektedir.

3. İstikrarsız güneş ışınımı ve bunun yanında sürekli olan enerji ihtiyacı nedeniyle bu enerjinin depolanması gerekmektedir fakat enerji depolamak günümüzde zor ve maliyetli bir iştir.
4. Özellikle elektrik eldesi için kullanılmak istendiğinde sistem verimleri düşüktür (yaklaşık %15) ve paneller ciddi bir alan işgal edebilmektedir.

2.5. Güneş Enerjisinden Faydalanma Şekilleri

Güneş enerjisinden birçok farklı sistem aracılığıyla faydalanılmaktadır, bu sistemler temel olarak pasif ve aktif güneş enerji sistemleri olarak ikiye ayrılır.

Pasif sistemlerde, sistem elemanları toplayıcı gibi davranır ve bir mekanik ekipman barındırmadan ısı soğurulup, depolanır ve taşıyıcı akışkana iletilir.

Aktif sistemlerde ise enerji dönüşümü ve iletimi için elektrikli veya mekanik olabilen yardımcı elemanlar bulunur.

2.5.1. Fotovoltaik paneller (güneş pilleri)

Fotovoltaik paneller, güneş ışığını direkt olarak elektrik enerjisine dönüştürebilen bir teknolojidir. Güneşten elektrik enerjisi elde edilmesi noktasında en iyi bilinen sistemlerdir. N tipi diye adlandırılan çok elektronlu yarı iletken ile P tipi diye adlandırılan çok boşluklu yarı iletken oluşmuş sistemde ışının etkisiyle fazla elektronlar boşluklara girer ve akım elde edilir. PV panellerin dönüşüm verimleri ise %15 civarındadır.

2.5.2. Termal güneş santralleri

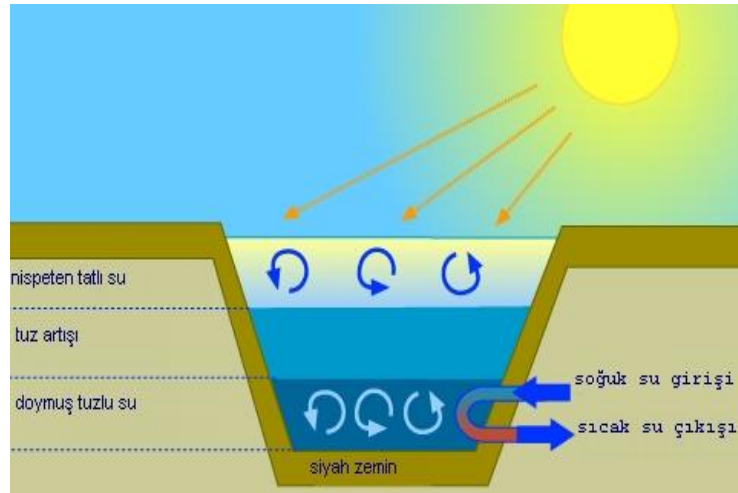
Bu santraller çok sayıda fotovoltaik panelin bir araya getirilmesiyle güneş enerjisinden yüksek miktarda elektrik enerjisini direkt olarak üreten karmaşık sistemlerdir. Özellikle Almanya ve İspanya termal güneş santrallerinde kurulu güç açısından dünyada başı çekmektedir, Amerika ve İsrail'in de bu alanda ciddi yatırımları vardır.

2.5.3. Yoğunlaştırıcı sistemler

Güneş enerjisinden aktif olarak (elektrik enerjisine dönüştürerek) faydalanma yollarından biri bahsedildiği gibi PV panellerdir. Bir diğer yöntem ise yoğunlaştırıcı sistemlerdir. Bu sistem, güneş enerjisini yoğunlaştırıcı sistemler kullanarak odaklayıp kızgın buhar elde edilerek, konvansiyonel yöntemlerle elektrik üretme mantığına dayanır.

2.5.4. Güneş havuzu

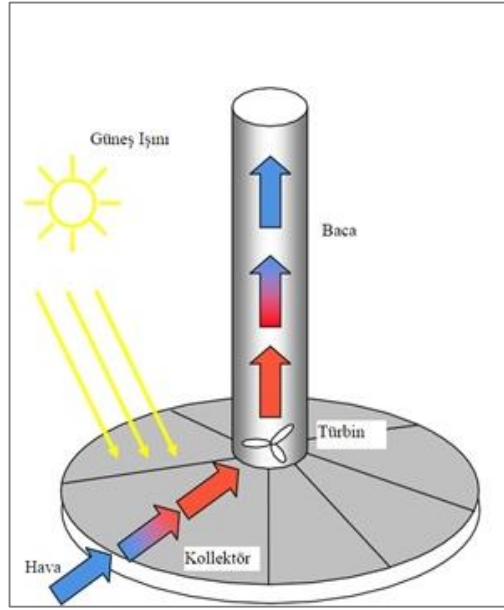
Güneş havuzları, içerisinde belirli bir yükseklikte su bulunan, zemini siyah renkli ve güneş ışınımını belirli miktarda tuz konsantrasyonu içeren suyun içerisinde tutarak yaklaşık 90 °C sıcaklıkta sıcak su elde edilmesini sağlayan sistemlerdir ve emilen güneş radyasyonunu ortalama %20 verimle ısıya çevirirler. Havuza eklenecek tuz konsantrasyonu ile ısı dağılımı ve tutulan ısı miktarı da değişkenlik gösterir. Artan tuz konsantrasyonu daha fazla ısının soğurulmasını sağlarken tuz yoğunluğu da yüzeyden tabana doğru gittikçe artar. Bu da yüzey sıcaklığının nispeten düşük olması durumunda dahi zeminde yüksek sıcaklıkta suyun elde edilmesini sağlar. Bu sıcak su bir eşanjöre pompalanarak ısı olarak yararlanılabileceği gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir.



Şekil 2.4. Güneş havuzu sistemi [31]

2.5.5. Güneş bacası

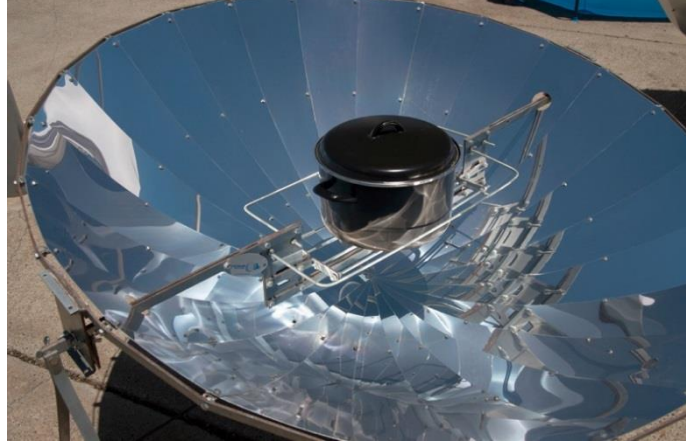
Güneş bacaları elektrik üreten diğer sistemlere nazaran daha farklı bir sistemdir. Sistem güneş kolektörleri, baca ve bir türbinden oluşur. Kolektörlerin alt kısmından giren ortam havası ısınarak yoğunluğunu kaybederek yükselmektedir ve kazandığı bu kinetik enerji sayesinde bacaya yerleştirilen türbini döndürmektedir, bu sayede güneş bacalarından elektrik enerjisi üretilmektedir. Sistem verimleri oldukça düşük olmakla birlikte (%5'in altında) kullanımı da henüz yaygınlaşmamıştır.



Şekil 2.5. Güneş bacası sistemi [32]

2.5.6. Güneş ocakları

Güneş ocağı, enerjisini doğrudan Güneş'ten alır ve yiyecek veya sıvı pişirmek için kullanılır. Güneş ocakları diğer pişirme araçlarına göre oldukça basit ve ucuzdur. Ocakları ısıtmak için kullanılan benzin, gaz, kömür, elektrik veya odun gibi yakıtların kullanılmasına gerek yoktur.



Şekil 2.6. Güneş ocağı [33]

2.5.7. Trombe duvar

Trombe duvarı bir pasif güneş enerji sistemi olup daha çok güneş mimarisi başlığı altında incelenir. Güneş ışığını soğuran düzlemsel bir yüzey ve bu yüzeyin arkasında (genellikle) ısıtılmak istenen ortama ait dış duvar bulunur. Duvar güney cepheye bakar ve cam absorber görevi görür. Duvar ile cam yüzey arasında oluşan sıcak hava kütlesi, havanın yoğunluğu azaldığından dolayı doğal konveksiyonla iletilmek istenen yere hava kanalları ve menfez gibi devre elemanlarıyla aktarılır.

2.5.8. Kurutma ve seralar

Güneş enerjisinin tarımsal kullanımı olarak tarif edilebilir. Özellikle kırsal kesimde ürün yetiştirmek için kurulan seralar, güneş enerjisi sayesinde ısıtılarak bitkilerin yetişmesi için uygun koşullar elde edilir

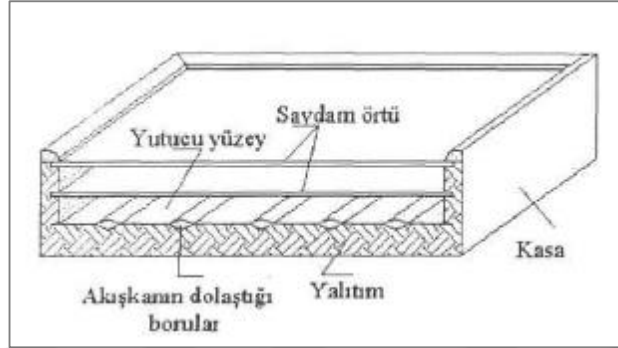
2.5.9. Su arıtma sistemi

Güneş enerjisi ile su arıtma çok eski ve ilkel bir yöntemdir. Sığ bir havuz üzerine yerleştirilen eğimli bir cam yüzey güneş alan bir alanda bekletilir ve buharlaşan su tanecikleri yüzeye çarparak tekrar yoğunlaşır ve bir hortum yoluyla tahliye edilir.

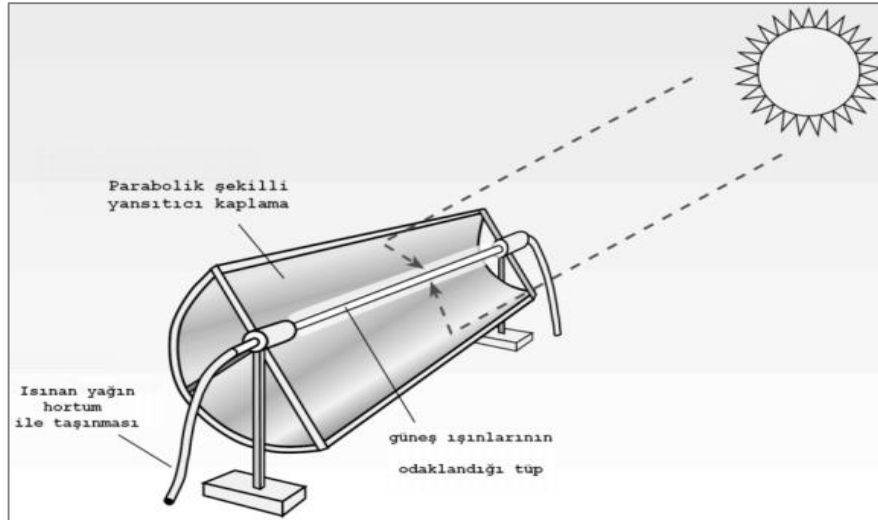
Güneş enerjisinin toplanıp, enerjisinin bir akışkana aktarıldığı sistemler vardır ki bunlar en genel tabirle güneş kollektörleri olarak adlandırılır. Bu çalışmanın da temel konusu olan güneş kollektörleri hakkında detaylı bilgi ve deneysel çalışmalar alt başlıklarda ayrıntılarıyla ele alınacaktır.

3. GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ

Güneş kollektörleri, güneşin ışınım enerjisini ısıya çeviren ve sistemde kullanılan akışkana aktarılmasını sağlayan düzeneklerdir. Temel olarak iki farklı tipte güneş kollektörü vardır. Bunlar düzlemsel güneş kollektörleri ve yoğunlaştırıcı tip güneş kollektörleridir. Şekil 3.1. ve Şekil 3.2.'de bu kollektör tipleri ve kısımları gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Düzlemsel güneş kollektörünün elemanları [34]

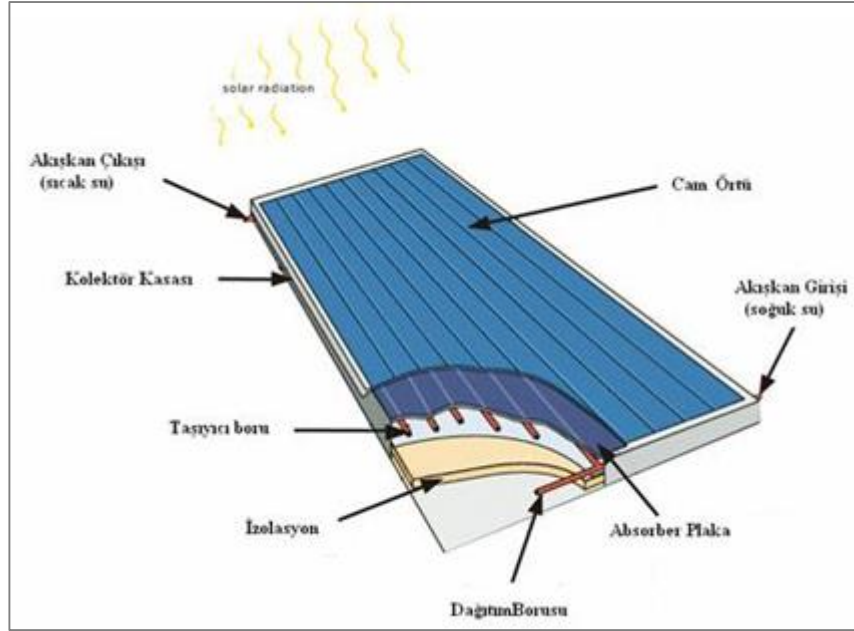


Şekil 3.2. Parabolik güneş kollektörü [35]

Düzlemsel kollektörler, sistemde dolaşan taşıyıcı akışkan tiplerine göre ise sıvılı (sulu) güneş kollektörleri ve havalı güneş kollektörleri olmak üzere ikiye ayrılırlar.

3.1. Sıvılı Güneş Kolektörleri

Sıvılı güneş kolektörleri güneşin ışınım enerjisini ısıya çevirerek sistemde dolaşan sıvıya (suya) aktarır. Son derece basit bir çalışma sistemine ve oldukça yaygın kullanıma sahiptir. Sistem temel olarak saydam bir örtü, güneş ışınımını absorbe eden yutucu bir tabaka, akışkan sıvı olan suyu taşıyan taşıyıcı borular, kasa ve kasa yalıtımından oluşur. Genellikle konutlarda, sıcak su temini veya ısınma amaçlı kullanılmaktadır. Özellikle kırsal kesimlerde duyulan sıcak su ihtiyacını giderme konusunda oldukça kullanışlıdır. Sıvı taşıyıcı güneş kolektörlerinin genel yapısı ve sistem elemanları Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Sıvılı güneş kolektörlerinin elemanları [36]

3.2. Havalı Güneş Kolektörleri

Hava kaynaklı güneş kolektörleri tıpkı sıvı kaynaklı güneş kolektörleri ile aynı mantıkla çalışır ve güneşin ışınım enerjisini sistemde dolaşan akışkana yani havaya aktarır. Havalı güneş kolektörleri, saydam üst örtü, yutucu plaka, havanın taşındığı kanallar, kolektör kasası ve yalıtımdan oluşur. Genellikle mahal ısıtmasında kullanılırlar ve endüstriyel uygulamaları da mevcuttur.

Sıvılı kolektörlere göre havalı kolektörleri çalışma şekilleri ve verimlilik açısından çeşitli konularda farklılık göstermektedir.

Sıvılı kollektörlerle havalı kollektörlerin yutucu plakalarla olan ısı transfer miktarları farklılık gösterir. Sıvılı kollektörlerde boru cidarı ile su arasındaki ısı transferi miktarı ısı iletimi iyi olan yutucu plaklarla artırılabilir ancak havalı kollektörlerde yutucu plakaya direkt temas halinde olan hava enerjisi direkt konveksiyon yoluyla yüzeyden aldığı için ısı transferi katsayısı yüksek malzeme kullanmak verimi çok fazla etkilemeyecektir [37].

Eşit düzeyde ısı ihtiyacı duyulan havalı ve sıvılı kollektör sistemlerinde, su ile aynı yoğunlukta olmadığı için aynı düzeyde enerjiyi veremeyecek olan havanın miktarının daha fazla olması gerekir ki bu da havalı kollektörlerde hava kanallarının ve yüzey alanlarının daha büyük olmasını gerektirir.

Sıvılı kollektörlerde ısıtma işleminde özellikle kış aylarında donma olayı gerçekleşebilir ve bunu engellemek için antifiriz kullanılabilir. Ayrıca korozyon gibi istenmeyen durumlar oluşabilir. Havalı kollektörlerde taşıyıcı akışkan hava olduğu için bu tip sorunlar görülmemektedir. Bu da havalı kollektörleri özellikle mekân ısıtma amaçlı kullanımlarda daha kullanılabilir ve avantajlı kılmaktadır [37].

Havalı güneş kollektörlerini sıvılı güneş kollektörlerine göre bazı avantaj ve dezavantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz;

Avantajları;

1. Özellikle mekân ısıtması konusunda daha pratik ve zahmetsiz bir yöntemdir.
2. Sıvılı kollektörlerde olduğu gibi donma veya korozyon gibi istenmeyen durumlar oluşmaz.
3. Bakım maliyetleri sıvılı kollektörlere göre daha düşüktür.
4. Hava kaçağı riski azdır, kaçak olsa da büyük sorunlar oluşturmaz.
5. Uzun ömürlüdür, daha hafiftir ve taşınması daha kolaydır.

Dezavantajları;

1. Sıvı kaynaklı kollektörlerine göre verimleri nispeten daha düşüktür.
2. Eşit ısı kapasiteli kollektörlerde, havalı kollektörlerde hava kanalları ve kollektör yüzey alanları daha fazla yer işgal etmektedir.
3. Hava yönlendirici fanları, sıvılı kollektörlerdeki pompalardan boyutlarına bağlı olarak daha fazla enerji harcarlar ve gürültülü çalışırlar.

Hava kaynaklı güneş kolektörlerinin verimli olması için bazı önemli koşullar vardır ve bunlar şu şekilde sıralanabilir;

- 1.Yutucu yüzeyin güneş ışınını absorbe etme kabiliyeti yüksek olmalıdır.
- 2.Yutucu yüzeyi olabildiğince mat-siyah renkte ve pürüzlü olmalıdır.
- 3.Saydam örtü camın ısı geçirgenliği yüksek olmalıdır.
- 4.Taşıyıcı akışkan havaya ısı aktarımı hızlı ve yüksek olan yutucu plaka elamanı seçilmelidir.
- 5.Güneş ışınlarına olabildiğince dik konumda tutulmalı ve kolektör yüzey alanı geniş olmalıdır.
- 6.Kollektör kasasının arka ve yan yüzeylerin ve hava tahliye hattının yalıtımının iyi yapılması gerekir.

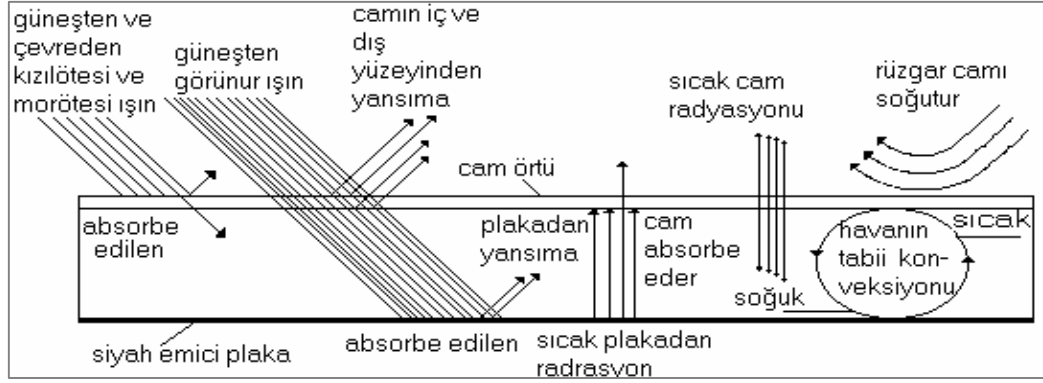
3.2.1. Havalı güneş kolektörlerinin elemanları

Havalı güneş kolektörleri temel olarak; saydam üst örtü, kolektör kasası ve yalıtımı, yutucu plaka ve bu plakalara entegre yerleştirilmiş hava kanallarından oluşur. Kollektör verimliliği için bu elemanların maksimum verimlilikte ve fayda sağlayacak şekilde seçilmesi gerekir.

3.2.1.1. Saydam üst örtü

Saydam üst örtünün esas amacı kolektörün üst kısmında oluşacak ısı kaybını engellemek ve kolektörü olumsuz dış etkilerden (yağmur, toz vb.) korumaktır. Saydam örtü, öncelikle dayanıklı olmalı ve mekanik kararlılık göstermelidir. Yüksek sıcaklığa dayanabilmeli, elastik özellik gösterebilmeli ve güneşin görünür ışınımını olabildiğince çok geçirmeli ve mor ötesi ışınları engellemelidir.

Saydam örtü olarak cam veya şeffaf plastik kullanılabilir. Ancak daha sağlam bir mekaniğe sahip olması, optik geçirgenliğinin yüksek olması, kolay temin edilebilir uzun ömürlü ve ucuz olması gibi sebeplerden dolayı saydam örtü olarak genellikle cam kullanılır.



Şekil 3.4. Güneş kollektöründeki enerji değişimleri [38]

Camın geçirgenliğini etkileyen faktörler camın kalınlığı, kırılma indisi ve en önemlisi içerisinde ihtiva ettiği demir oksit (Fe_2O_3) miktarıdır. Bir cam ne kadar fazla Fe_2O_3 içerirse gelen ışığı o kadar fazla oranda yansıtır ki bu da istenmeyen bir durum oluşturur. O sebeple düşük Fe_2O_3 içeren camlar daha kaliteli ve kollektör kullanımı için daha uygundur. 3 mm kalınlığında çok az miktarda Fe_2O_3 içeren bir cam gelen ışının %4-5 'ini yansıtırken, içerisinde hiç demir oksit içermeyen cam ise gelen ışının maksimum %1-2 'sini yansıtır. Cam kalitesi düştükçe yani Fe_2O_3 miktarı arttıkça yeşil renkte koyulaşmaya başlar ancak demir oksit içermeyen kaliteli camlar su rengine benzer tonda saydamdır [38].

Tablo 3.1. Saydam örtü olarak kullanılan bazı camların teknik özellikleri [34]

Malzeme	Standart Kalınlık (mm)	Işın Geçirgenlik (%)	Fe_2O_3 Miktarı (%)
Pencere Camı	4	85	0,081
Düşük demirli cam	3	87	0,080
Su beyazı camı	3	90	0,016
Polyester katkılı fiberglas	1	87	-
Pleksiglas (akrilik)	3	89	-

Yukarıdaki tabloda da belirtilen saydam plastikler cama göre daha dayanıklı ve elastik olarak imal edilebilirler ancak çizilmeye, aşınmaya karşı dirençleri daha düşüktür ve ağır hava koşulları karşısında ise oldukça dayanıksızdırlar [39].

Kollektörlerde kullanılan saydam örtünün sayısı artırılabilir, örneğin tek yerine çift kat cam kullanılabilir. Bu durumda ısı kaybı daha düşük değerlere indirilecektir ancak camın gelen ışınımı geçirme özelliği daha da azalacaktır.

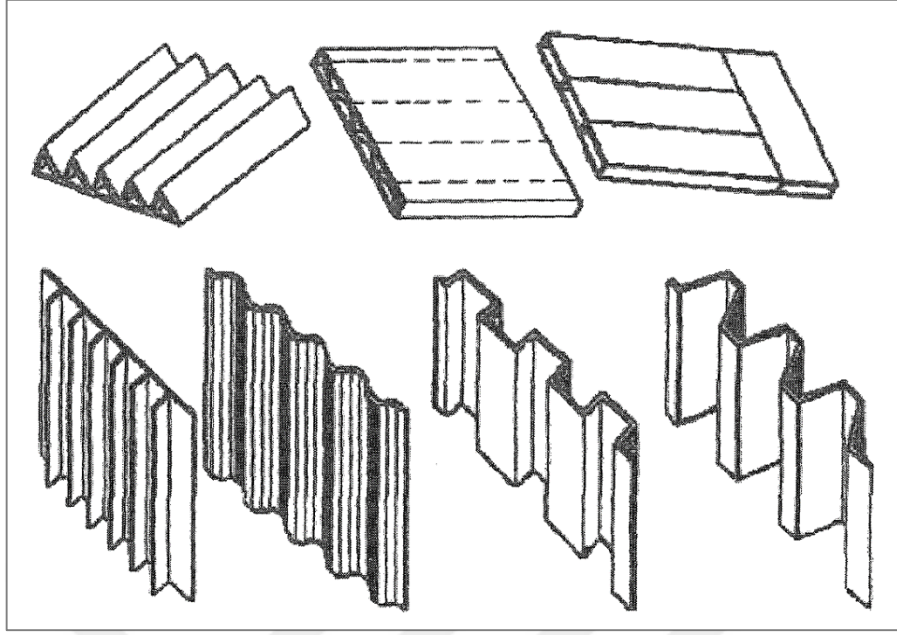
3.2.1.2. Yutucu plaka

Yutucu plakalar absorbe ettiği güneş enerjisini, ısı enerjisi olarak taşıyıcı havaya direkt olarak aktaran elemanlardır. Bu nedenle yutucu plakalar, havalı güneş kollektörlerinin önemli bir parçasıdırlar ve yutucu yüzeyin geometrik şekli, malzeme cinsi, rengi gibi değişkenler kollektör verimini doğrudan etkilemektedir.

Kollektörler çoğunlukla alüminyum, paslanmaz çelik, bakır ve bazı iletkenliği yüksek plastik bazlı malzemelerden seçilirler. Yutucu yüzeylerin güneş enerjisini daha fazla soğurabilmesi için seçilen malzemenin ışını soğurma özelliği iyi olmalıdır, aynı zamanda ısıyı havaya aktarabilmesi için de ısı iletkenlikleri yüksek olmalıdır. Bunun için yutucu yüzeyler, yüzey kaplama yöntemi ile kaplanabilir veya siyah mat bir boya ile boyanır.

Yutucu yüzey boyasının siyah mat bir renkte olması ve yüksek sıcaklıklara dayanabilmesi gerekmektedir. Boyalar genellikle silikon bazlıdır ve akrilik, reçine, polyester tipi siyah boyalar kullanılmaktadır.

Yutucu yüzeylerle ilgili en önemli unsurlardan biri de yüzeyin geometrik şekli ve toplam alanıdır. Plakanın yüzey alanı ne kadar geniş olursa güneş ışınını soğurma oranı o kadar fazla olacaktır, ayrıca ısı taşınımıyla yüzeyden havaya aktarıldığı için artan yüzey alanı havaya aktarılan ısı miktarını da artıracaktır ki bu da kollektör verimini doğrudan etkilemektedir. Yutucu plaka yüzeyleri bir çok farklı geometrik şekilde olabilirler, Şekil 3.5.'te bazı çeşitli kollektör tipleri gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Kollektörlerde kullanılan yutucu yüzey şekilleri [38]

Kollektörlerde kullanılacak bir yutucu yüzey şu özelliklere sahip olmalıdır;

1. Güneşten gelen görünür ışınları absorbe etme oranı yüksek, neşretme oranı ise düşük olmalıdır.
2. Yüksek sıcaklıklara dayanabilmesi ve ısıl genleşme sonucu kalıcı deformasyona uğramaması gerekir.
3. Isı iletim katsayısı yüksek olmalıdır.
4. Yutucu plaka yüzey alanının geniş olması, hem soğurulan enerji miktarını hem de hava ile yüzey arasındaki taşınım miktarını artırdığı için istenen bir özelliktir.
5. Dayanıklılık ve ısıl iletkenlik göz önüne alındığında metal yüzey olması daha mantıklıdır.
6. Önemli bir alan işgal ettiklerinden seçilen malzemenin ekonomik olması istenir.

3.2.1.3. Kollektör kasası

Kollektör kasası tüm kollektör elemanlarını çevreleyen ve korumasını sağlayan elemandır. Yutucu plakalar, yalıtım malzemeleri, hava kanalları kollektör kasasının içerisinde bulunur. Bu nedenle kollektör kasasının herşeyden önce sağlamlık ve dayanıklılığı ön planda tutulmaktadır. Ayrıca kollektör kasasının sızdırmaz şekilde tasarlanması ve ısı kaybını önlemek amacıyla ısı iletkenliğinin düşük olması istenir. Havalı güneş kollektörlerinde kullanılan kasa malzemesi temel olarak ahşap ve metal kasalar olmak üzere ikiye ayrılır.

Kasa imalatında ahşap kullanılmasının belli avantajları vardır. Bu avantajların başında hafif olması, ucuz olması, kolay şekil verilebilmesi ve ısı iletkenliklerinin görece düşük olması gibi sebepler gelmektedir. Ancak ahşap yüksek sıcaklığa, zorlu hava koşullarına (yağmur dolu vb.) ve ağır yüklemelere karşı metallere oranla fazla dayanıklı değildir. Özellikle yüksek sıcaklıklara çıktığında içerisinde nem ihtiva eden ahşap kasalarda şekilsel bozulma veya çatlama görülebilir.

Kollektör kasaları için genellikle ahşaba oranla metal malzemeler tercih edilir. Metallerin ısı ve mekanik dayanıklılığı ahşaplara göre üst düzeydedir bu nedenle daha fazla tercih edilirler. Ancak ahşaplara göre daha pahalı, ısı iletkenlikleri yüksek ve daha ağırdırlar. Bu malzeme genellikle galvaniz saclardır. Ağırlık, dayanıklılık koşullarına göre birkaç milimetre kalınlığında imal edilebilir. Kollektör kasası olarak galvaniz sacın yanı sıra alüminyum veya plastik bazlı malzemelerde kullanılabilir [34].

Kasa seçiminde önemli kriterlerden biri de seçilen malzemenin ısı genleşme katsayısıdır. Sürekli güneş altında çalışmak durumunda olan kollektörlerde kasa malzemesinin genleşmesi ve farklı eksenlerde uzaması istenmeyen bir durumdur ve kasa seçiminde göz önünde bulundurulması gereken bir özelliktir.

Tablo 3.2 Farklı malzemelerin boyca uzama yüzdeleri [38]

Malzeme	Boyca Uzama Miktarı (%)
Alüminyum	0,43
Pirinç	0,33
Beton	0,20
Bakır	0,23
Cam	0,14
Demir-Çelik	0,18
Plastik	0,80-3,3
Lastik	1,3-2,2
Ağaç (lif boyunca)	0,05-0,11
Ağaç (enine)	0,55-0,80

3.2.1.4. Yalıtım

Kollektörler için yalıtım fazlasıyla önem arz etmektedir. Çünkü özellikle yutucu plaka güneş altında çok fazla ısınmaktadır ve bu faydalı ısısının büyük bir bölümünü havaya aktarması istenmektedir. Bunun için ise kollektörün arka kısmına, yanlarına ve mümkünse alt ve üst kısımlarına yalıtım yapılması gerekmektedir.

Kollektörlerde kullanılmak üzere birçok farklı yalıtım malzemesi seçilebilir. Yalıtım malzemesi seçilirken dikkat edilmelidir çünkü çok yüksek sıcaklıklara çıktığında yalıtım malzemesinde şekilsel bozulma ve yanma gibi istenmeyen durumlar meydana gelebilir. Bu nedenle kollektörün çalışacağı sıcaklık ve boyutlarına göre yalıtım malzemesi belirlenmelidir. Yalıtım malzemeleri içinde en çok tercih edilenleri cam yünü ve taş yünü gibi kolay bulunan ve hesaplı yalıtım malzemeleridir. Yalıtım malzemesinin kalınlığı, yalıtım malzemesinin cinsine, ısı iletim katsayısına, kollektör boyutlarına ve tercihe göre 10 mm den 100 mm ye kadar çıkarılabilir.

Tablo 3.3. Kollektörlerde kullanılan yalıtım malzemelerinin teknik özellikleri [40]

Malzeme Cinsi	Isı iletim katsayısı (W/m ² K)	Çalışma Sıcaklığı (°C)	Yoğunluğu (kg/m ³)
Cam yünü	0,032	250-500	15-20
Taş yünü	0,036-0,055	650-1050	
Polyster köpük	0,029	70-80	20
Poliüretan köpük	0,023	104	35
PVC	0,35	100-130	40-80
Kalsiyum silikat	0,055	650	
Perlit	0,048	820	
Fenolik köpük	0,033	135	
Gözenekli plastik	0,04	100	

4. DENEY DÜZENEĞİNİN HAZIRLANMASI VE DENEYSEL ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ

4.1. Giriş

Bu çalışmada dikdörtgen, trapez ve düz yutucu plakalara sahip olan üç farklı güneş kolektörü kullanılmıştır. Bu üç farklı kolektör eş zamanlı olarak, aynı ortam koşulları altında çalıştırılmıştır. Deneyler 27 Nisan–10 Mayıs tarihleri arasında saat 08:00 ile 17:00 arasında Kocaeli ilinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler süresince yutucu yüzeyin sıcaklığı, havanın kolektöre giriş ve çıkış sıcaklığı ile kolektör içersinde hareket eden havanın sıcaklığı giriş ve çıkış noktaları arasında belirli aralıklarla ısı çiftleri ile ölçülmüştür. Hava hızı kolektör çıkışına yerleştirilen el tipi rüzgâr gülü modeli anemometre ile ölçülmüştür. Radyasyon değeri kolektörlerin bulunduğu ortama monte edilen piranometre ile anlık ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler ışığında kolektör verimleri, Reynolds ve Nusselt boyutsuz sayıları ve ısı taşınım katsayıları hesaplanmıştır.

Bu deneysel çalışmada, tasarımı yapılan üç farklı geometrik hava kanalına sahip güneş kolektörlerinin ısı verimlerinin hesaplanması ve en uygun çalışma koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

4.2. Deneyde Kullanılan Araç ve Gereçler

Her kolektörde kullanılmak üzere; iki adet aksenal fan, kolektörlerin üzerinde bulunduğu taşıyıcı şase, kolektör çıkış havasını ortama aktarmak için kullanılan yalıtılmış iletim borusu, koruyucu ve güneş ışınını geçiren saydam örtü (cam) ve ölçülen parametre verilerini kaydeden ölçme cihazları kullanılmıştır.

Kolektör elemanları ve bu elemanların teknik özellikleri Tablo 4.1’de gösterilmektedir.

Tablo 4.1. Kollektör elemanları ve teknik özellikleri

Sistemin Elemanları	Teknik Özellikler
Kollektör Kasası	2000x1000x100 mm ölçülerinde 2 mm kalınlığında AISI 304 çelik sac kullanılmıştır.
İzolasyon	Kollektör tabanında 40 mm kalınlığında cam yünü kullanılmıştır.
Yutucu Plaka	Et kalınlığı 0,5 mm olan alüminyum sac plaka (1050A) kullanılmıştır.
Saydam Örtü	1000x1996x6 mm ölçülerinde düz desenli temperli buzlu cam kullanılmıştır. Kullanılan cam <0.002 %Fe ₂ O ₃ ve %90,7 güneş enerjisi geçirgenliği değerlerine sahiptir.
Fan	İki adet 120x120x38 mm ölçülerinde, 23 W, 90 m ³ /h, AC 220V aksenal fan kullanılmıştır.
Sızdırmazlık	Kollektör birleşim yerlerinde epdm kauçuk fitil ve silikon kullanılmıştır.
Yutucu Plaka Boyası	Yutucu plaka RayMax marka selektif boya ile boyanmıştır. Kullanılan boyanın emissivitesi 0,20-0,49, absorpsivitesi 0,88-0,94 arasındadır. Kullanılan boya %100 silikon bazlı akrilik reçine esastır.

4.2.1.Kollektörler

Kollektör imalatında, kasa olarak 2000x1000x100 mm ölçülerinde 2 mm et kalınlığında paslanmaz çelik sac (AISI 304) kullanılmıştır. Isı yalıtımı kollektör tabanına yerleştirilen 40 mm kalınlığında cam yünü ile sağlanmıştır. Yutucu plaka olarak et kalınlığı 0,5 mm olan alüminyum sac (1050A), yutucu plaka boyası olarak

da silikon bazlı reçine esaslı siyah-mat spreyc boyalı ve saydam örtü olarak da 6 mm kalınlığında temperli düz cam kullanılmıştır. Cam ile kollektör kasası arası bağlantıların sızdırmazlığı kauçuk fitil ve silikon kullanılarak sağlanmıştır. Hava kollektörlere alt kısımda yer alan iki adet fan yardımıyla alınarak, üst tarafta bulunan 100 mm çapındaki kanaldan tahliye edilmektedir.

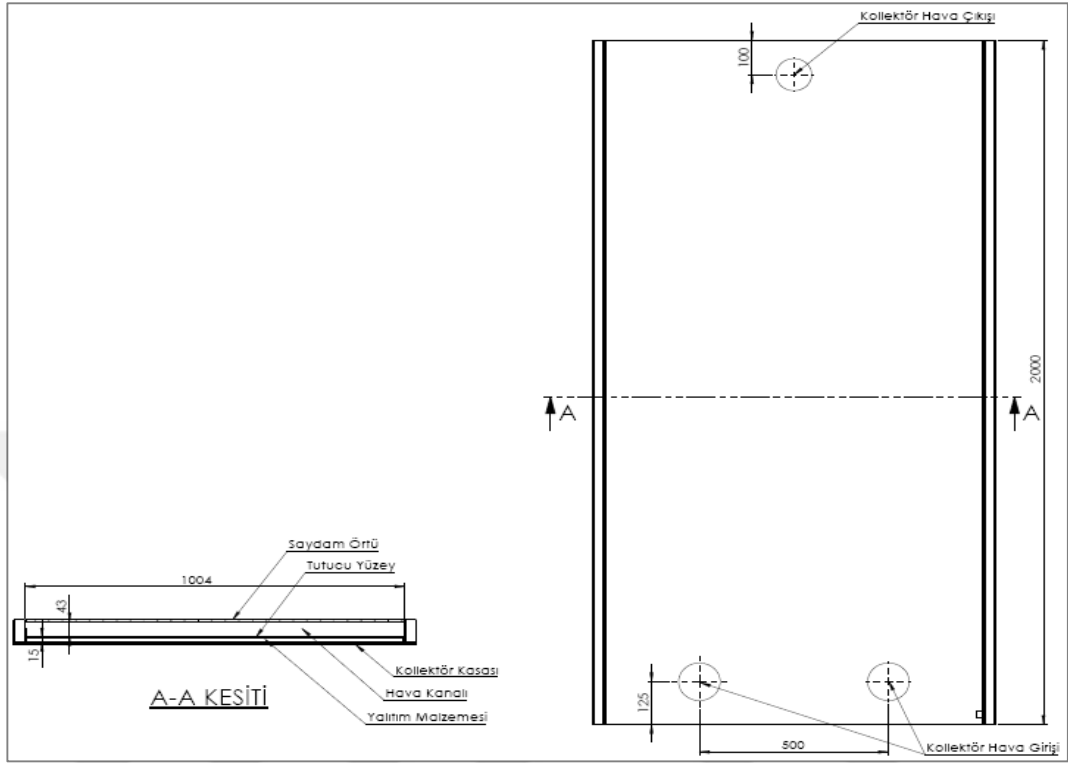


Şekil 4.1. Yalıtım malzemesi yerleştirilen kollektörler

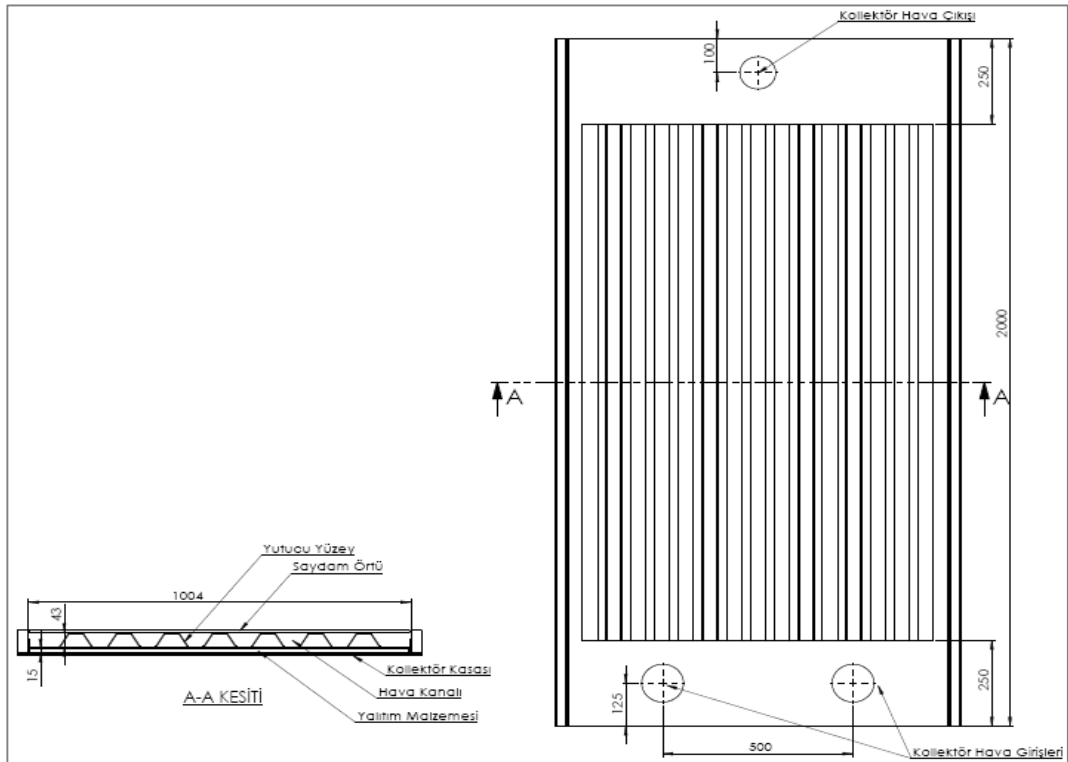


Şekil 4.2. Kollektörlerin hava giriş-çıkışının gerçekleşeceği arka yüzeyi

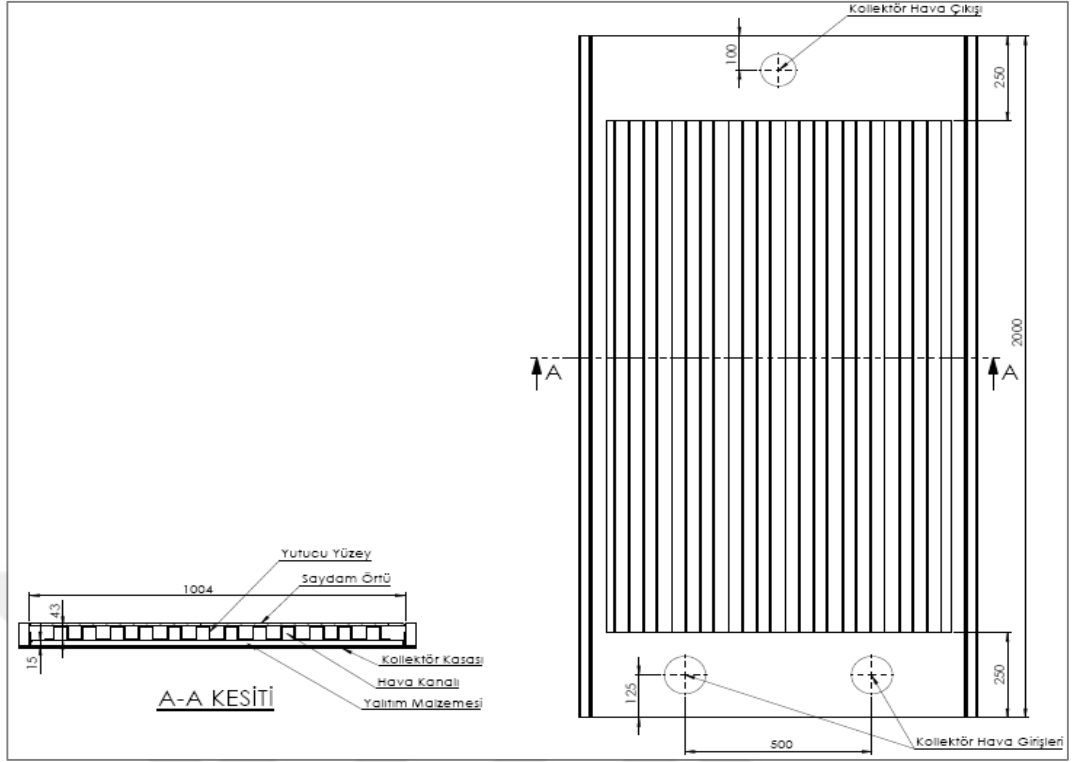
Şekil 4.3., Şekil 4.4. ve Şekil 4.5.'te üç farklı kollektörün önden ve kesit görünüşleri ile ölçüleri teknik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Düz plakalı kollektörün kesit ve önden görünüşü



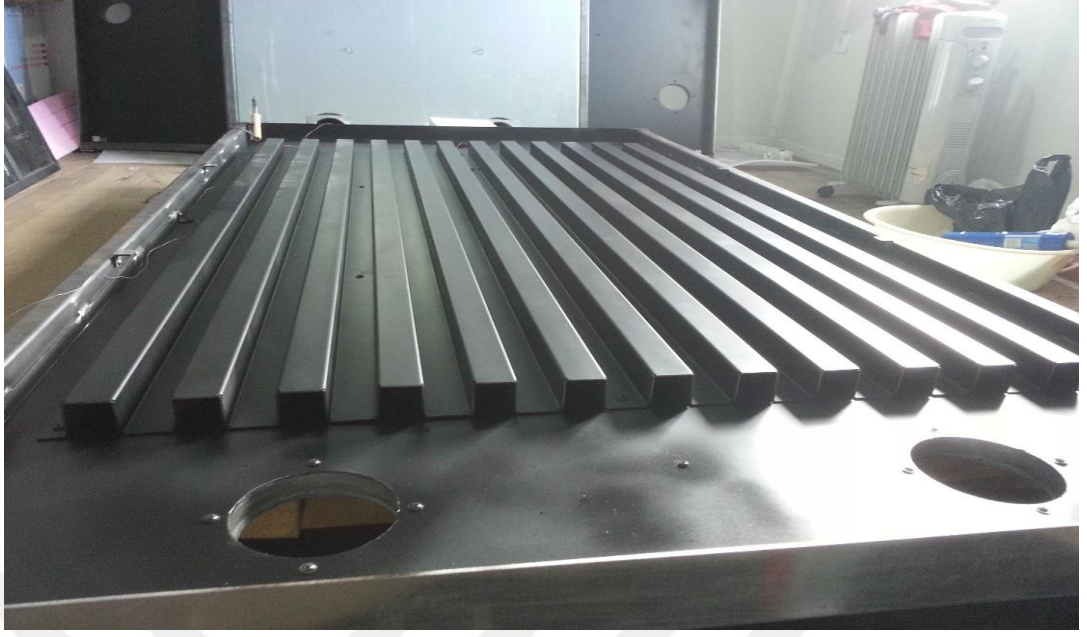
Şekil 4.4. Trapez plakalı kollektörün kesit ve önden görünüşü



Şekil 4.5. Dikdörtgen plakalı kollektörün kesit ve önden görünüşü



Şekil 4.6. İmalatı yapılan trapez yutucu plakalı kollektör



Şekil 4.7. İmalatı yapılan dikdörtgen yutucu plakalı kollektör



Şekil 4.8. Deneyleerde kullanılan düz plakalı kollektör



Şekil 4.9. Deneyleerde kullanılan trapez ve dikdörtgen plakalı kollektörler

4.2.2. Fanlar

Kollektörlerin alt kısımlarında içeri havanın alınmasını sağlayan iki adet aksel fan bulunmaktadır. Fanlar 90 m³/h kapasiteli, AC 220V geriliminde çalışan aksel fanlardır. Fan kollektörün arka kısmından vidalı bağlantı ile monte edilmiştir hava kaçaklarını önlemek için ise etrafına silikonla koruma yapılmıştır.



Şekil 4.10. Fanların kollektör bağlantıları

4.2.3. Kollektör sehпасı

Kollektör sehпасı kollektörlerin üzerinde durduğu sabit metal desteklerdir. Kollektörlere güneş açısının hep dik gelmesi istenmektedir ancak güneş ve dünyanın konumu eğim açısı hareketleri dikkate alındığında bu durum mümkün değildir. Güneş ışığından maksimum düzeyde faydalanmak için kollektör güneşin hareket yönüne ve açısına göre harekete edecek şekilde tasarlanabilir ancak bu maliyetli bir tasarımdır. Bu nedenle kollektörler optimum bir açıda sabit tutulmalıdır. Kollektörler Şekil 5.10’ da görülen ayaklı ve zeminle yaklaşık 47° açı yapan metal şaseler üzerine yerleştirilmiştir. Fakat sistemin yaz ve kış aylarında çalışma durumuna göre optimum fayda için enlem açısından daha az veya daha fazla olması faydalı olabilir.



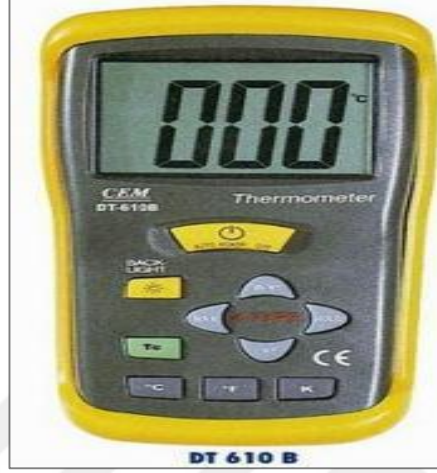
Şekil 4.11. Kollektörlerin üzerine yerleştirildiği kollektör sehпасı

4.2.4. Ölçme aletleri

Deneye süresince elde edilmek istenen verileri ölçen ve bu verileri kaydetmekte kullanılan ölçme aletleri, tipleri ve özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- Termometre:

Dış hava sıcaklığını ölçmek için ısı çiftleri ile aynı kalibrasyonda ve veri toplama aralığında çalışan CEM-DT610B marka ve modelinde dijital termometre kullanılmıştır.



Şekil 4.12. Sıcaklık ölçümünde kullanılan dijital termometre

- Isıl çift :

Isıl çiftler kollektör boyunca hareket eden havanın çeşitli noktalarında sıcaklığının ve kollektör yüzey sıcaklığının hassas ölçümleri için kullanılmıştır. Deneyde CEM-DT8891E marka ve modelinde K tipi ısı çifti kullanılmıştır.



Şekil 4.13. Deneylerde kullanılan veri kaydedici ısı çifti

- Anemometre :

Havanın kollektöre giriş ve çıkış hızlarını ölçmek için digital anemometre kullanılmıştır. Böylece havanın kollektör içerisindeki ortalama hızı ve havanın debisi hesaplanmıştır. Deneylerde Kestrel 3000 marka ve modelinde el anemometresi kullanılmıştır.



Şekil 4.14. Hava hızı ölçümünde kullanılan el tipi anemometre

- Piranometre :

Piranometre deneylerin yapıldığı süre boyunca güneşin ışınım değerini ölçen ve kaydeden cihazdır. Gün boyu değişkenlik gösteren ışınım şiddeti değerlerinin kaydedilmesi kollektörlerin verimliliğinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Deneylerde HIOKI LR 5041 marka piranometre kullanılmıştır. Anlık ışınım şiddetini ölçmek için ise CEM DT-1307 marka ve modelinde portatif piranometre kullanılmıştır.



Şekil 4.15. Işınım şiddetini ölçmek için deneylerin yapıldığı mekâna yerleştirilen piranometre ve veri kaydedici ekipmanı



Şekil 4.16. Anlık ışınım şiddetini ölçmek için kullanılan portatif piranometre

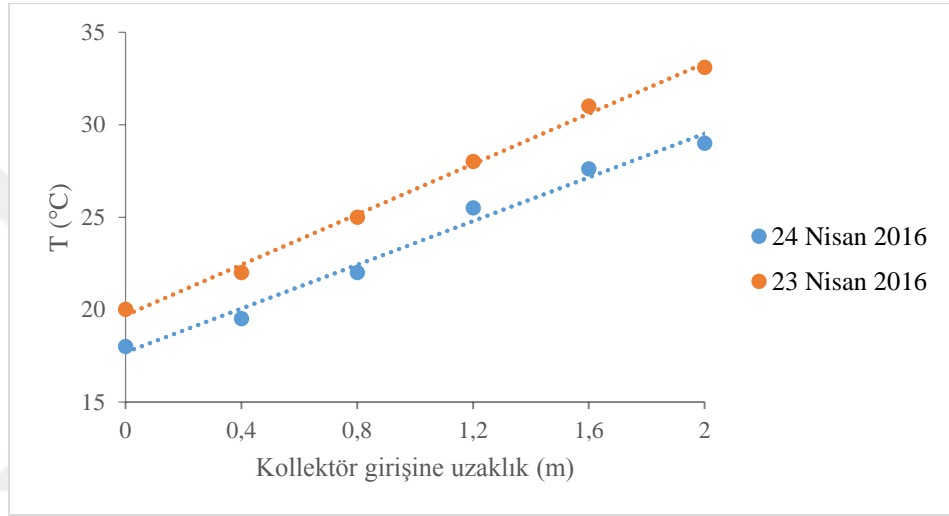
4.3. Deney Düzeneginin Test Edilmesi ve Başlangıç Deneyleri

Hazırlanan düzenekte deneyler yapılmadan önce, düzenegın düzgün çalışıp çalışmadığını belirlemek ve değerlerin tutarlılığını öngörebilmek için başlangıç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bir düzenegın deneysel çalışmada kullanıma hazır olabilmesi için bazı koşulları sağlaması gerekmektedir. Bu koşullar;

- Tekrarlanabilirlik: Sistemde sürekliliğın sağlanması.

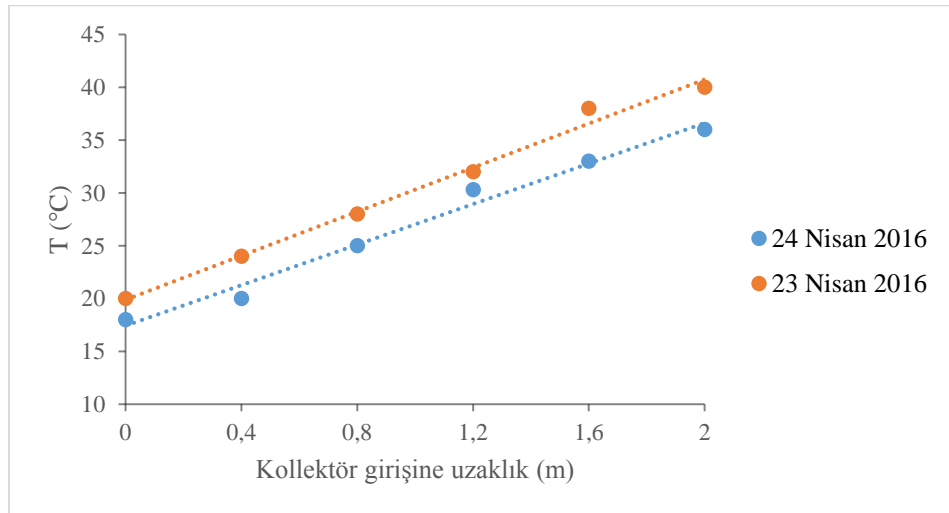
- Ölçülebilirlik: Deneysel ölçülecek ana parametrelerin (sıcaklık, hız, ışınım şiddeti) ölçümünün sağlanabilmesi.
- Değerlendirilebilirlik: Ölçülen değerler aracılığıyla deneylerin amacına ilişkin somut verilerin elde edilebilmesi ve yorumlanabilmesi.

Bu deney düzeneğinde 30 dakikalık aralıklarla dış ortam sıcaklığı, havanın kollektörden çıkış sıcaklığı, güneşin açılma ışınım şiddeti değeri, havanın kollektör içerisindeki ve çıkışındaki hızları ölçülmüştür.



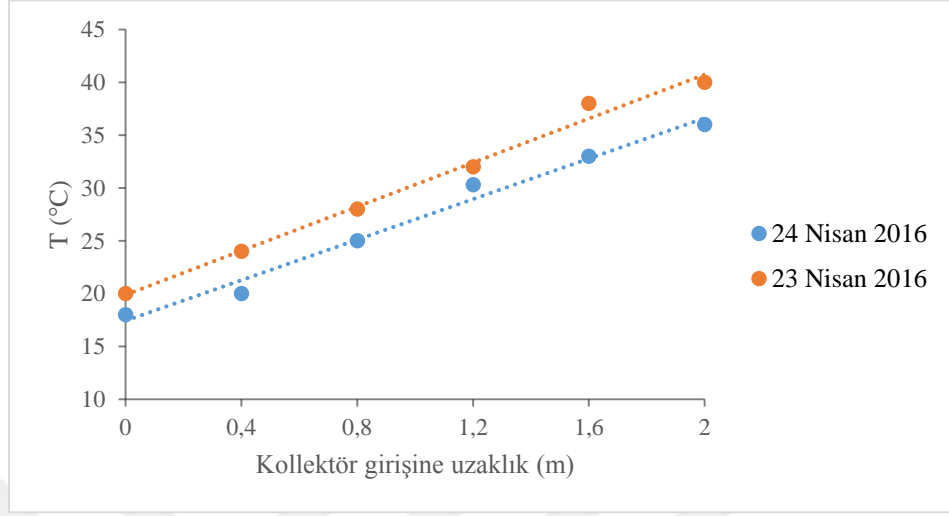
Şekil 4.17. Düz plakalı kollektör içerisinde hava sıcaklığı değişimi

23 Nisan ve 24 Nisan 2016 tarihlerinde düz plakalı kollektör için yapılan ön deneylerde elde edilen sonuçlar Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



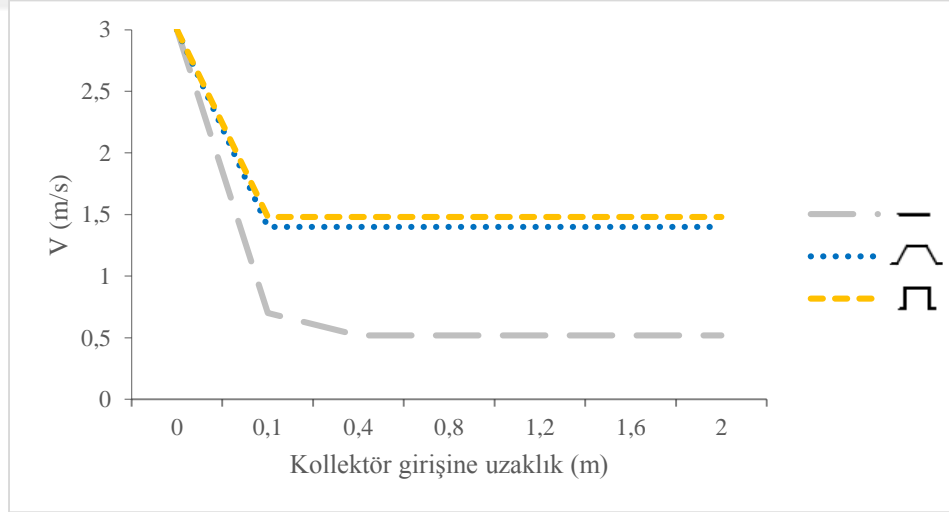
Şekil 4.18. Trapez plakalı kollektör içerisinde hava sıcaklığı değişimi

23 Nisan ve 24 Nisan 2016 tarihlerinde trapez plakalı kollektör için yapılan ön deneylerde elde edilen sonuçlar Şekil 4.18’de gösterilmiştir



Şekil 4.19. Dikdörtgen plakalı kollektör içerisinde hava sıcaklığı değişimi

23 Nisan ve 24 Nisan 2016 tarihlerinde dikdörtgen plakalı kollektör için yapılan ön deneylerde elde edilen sonuçlar Şekil 4.19’da gösterilmiştir



Şekil 4.20. Üç farklı kollektör için kanal içi hava hızı değişimi

Yapılan deneyler sonucunda güneş hava kollektörleri bütün olarak bir açık sistem olarak ele alınmaktadır ve ısı transferi sürekli rejim şartlarında gerçekleşmektedir. Düz plakalı kollektörde ortalama hava sıcaklığı 23,6 °C, trapez plakalıda 27 °C, dikdörtgen plakalıda 29,16 °C olarak görülmektedir.

Hava hızlarının değişimi ise üç farklı kollektör için Şekil 4.20.'de gösterilmiştir. Üç kollektör için de kollektöre giriş hızı yaklaşık 3 m/s iken değişen kesit alanları sonucu hız değerleri, düz plakalıda 0,52 m/s, trapez plakalı da 1,40 m/s ve dikdörtgen plakalı kollektörde 1,48 m/s olarak değişmektedir.

23-24 Nisan 2016 tarihinde gerçekleştirilen bu ön deneyler sayesinde düzenekte deneylerin sağlıklı yürütmesine engel teşkil edebilecek problemlerin (hava sızdırması, metal genişmesi vb.) olmadığı gözlemlenmiştir.

4.4. Deneylerde Kullanılan Hesap Yöntemleri

Havalı güneş kollektörlerinde enerji dengesi aşağıdaki denklem uyarınca yazılır;

$$Q_u = A_C F_R [S - U_L (T_a - T_ç)] \quad (4.1)$$

Bu denklemde,

Q_u : Kollektörden alınan kullanılabilir enerji, (W)

A_C : Kollektör alanı, (m²)

F_R : Isı kazanım faktörü

S : Birim alanda absorbe edilen güneş ışınımı, (W/m²)

U_L : Kollektörün ısı kayıp katsayısı, (W/m²K)

T_a : Kollektör içerisindeki akışkanın ortalama sıcaklığı, (°K)

$T_ç$: Çevre sıcaklığı, (°K)

F_R , ısı kayıp faktörü ise gerçek durumda kollektörden akışkana aktarılan toplam enerjinin, akışkanın sıcaklığının kollektör yüzeyine eşit olması durumunda aktarılan toplam enerjiye oranıdır. Bu kavram kollektör performansının tanımlanması açısından önem arz etmektedir.

Kollektör içerisindeki hava yutucu plaka ve cam arasında taşınmakta ve ışınlama direkt maruz kalmaktadır. Bu durumda hesaba katılması gereken ışınlama ısı transferi miktarı;

$$h_r = \frac{4 \sigma T_a^3}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} \quad (4.2)$$

σ : Stefan Boltzmann sabiti, ($5,67 \cdot 10^{-8}$ (W/m²K⁴))

- ϵ_1 : Camın yayma katsayısı
 ϵ_2 : Yüzeyin yayma katsayısı

Zorlanmış akış içeren sistemlerde önem arz eden boyutsuz eşitlikler olan Reynolds ve Nusselt sayıları aşağıda belirtilen formüller uyarınca hesaplanmıştır;

$$Re = \frac{\rho V D_H}{\mu} \quad (4.3)$$

- P : Akışkanın yoğunluğu, (kg/m³)
 V : Akışkanın hızı, (m/s)
 D_H : Hidrolik çap, (m)
 μ : Dinamik viskozite, (N s/m²)

$$Nu = 0,102 Re^{(0,675)} Pr^{(1/3)} \quad (4.4)$$

- Pr : Prandtl sayısı

Isı taşınım katsayısı;

$$h = Nu \frac{k}{D_H} \quad (4.5)$$

- k : Isı iletim katsayısı, (W/m K)

Havalı güneş kolektörlerinin verimlilikleri aşağıda belirtilen yöntem ve denklemler uyarınca yapılmaktadır. Kolektörler sabit hava debisinde çalıştırılmıştır ve kolektör boyunca taşınan havanın ortalama sıcaklığı (T_{ort}) kolektör giriş (T_g) ve çıkış ($T_ç$) sıcaklıklarının aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır;

$$T_{ort} = \frac{T_ç - T_g}{2} \quad (4.6)$$

Kolektör verimi havaya aktarılan faydalı enerjinin, kolektör yüzeyine gelen güneşin ışınım enerjisine olan oranı olarak tanımlanabilir.

Kolektörden havaya aktarılan faydalı enerji;

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p (T_ç - T_g) \quad (4.7)$$

denklemini uyarınca hesaplanır. Bu denklemde;

- \dot{Q} : Faydalanılan toplam enerji miktarı, (W)
 \dot{m} : Havanın kütleli debisi, (kg/s)
 C_p : Sabit basınçta havanın özgül ısısı, (kJ/kgK)
 T_g : Havanın kollektöre giriş sıcaklığı, (°K)
 $T_ç$: Havanın kollektörden çıkış sıcaklığı, (°K)
olarak tanımlanır.

Sistemde taşınan havanın kütleli debisi ise;

$$\dot{m} = \rho VA \quad (4.8)$$

formülü ile hesaplanır. Bu formülde;

- V : Havanın kanal içerisindeki hızı, (m/s)
 A : Havanın taşındığı kanalın kesit alanı, (m²)
olarak tanımlanmıştır.

Havalı kollektörlerin verimi ise havaya aktarılan faydalı enerjinin, kollektöre gelen ışınım şiddetine oranıdır ve bu şu eşitlikle ifade edilir;

$$\eta = \frac{Q}{I \cdot A} \quad (4.9)$$

bu denklemde;

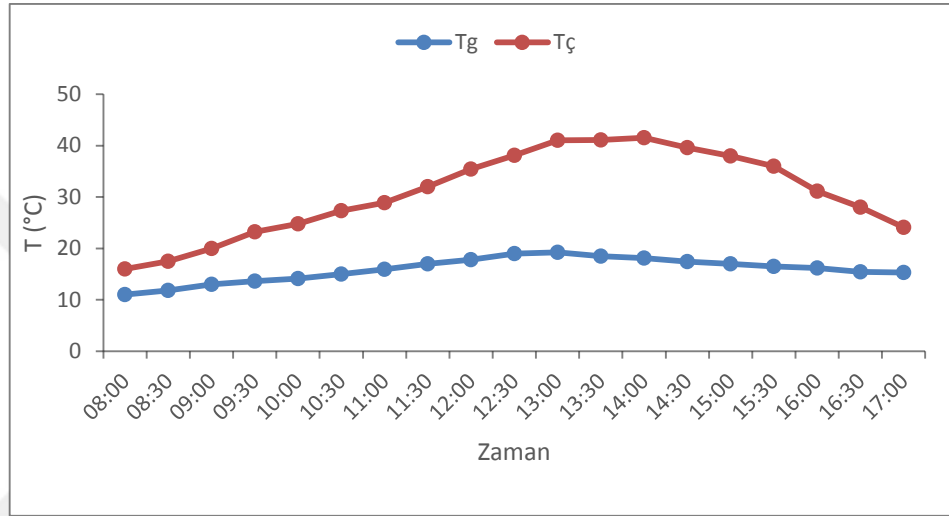
- η : Kollektör verimi
 \dot{Q} : Faydalanılan toplam enerji, (W)
 I : Güneşin ışınım şiddeti, (W/m²)
 A : Kollektör yüzey alanı, (m²)
olarak tanımlanır. Daha açık bir ifade ile verim;

$$\eta = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_ç - T_g)}{I \cdot A} \quad (4.10)$$

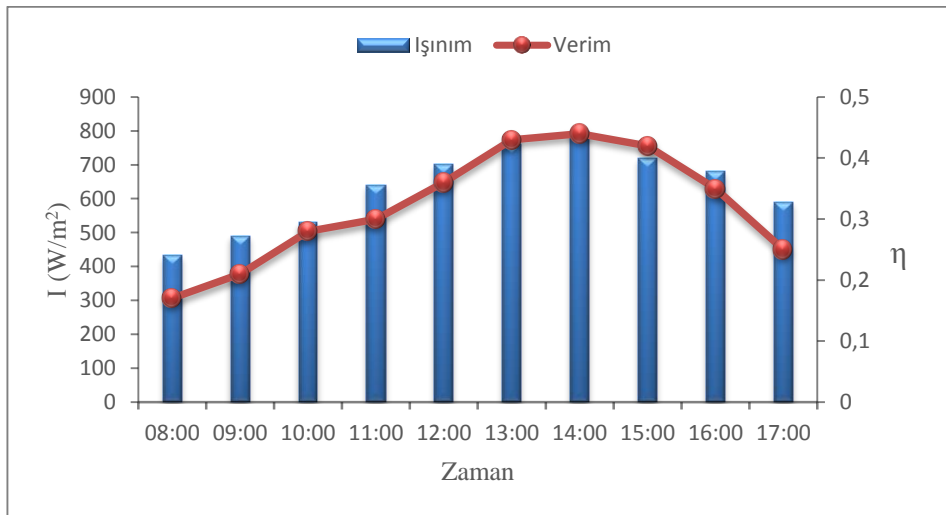
formülü ile ifade edilebilir.

5. DENEYSEL SONUÇLAR

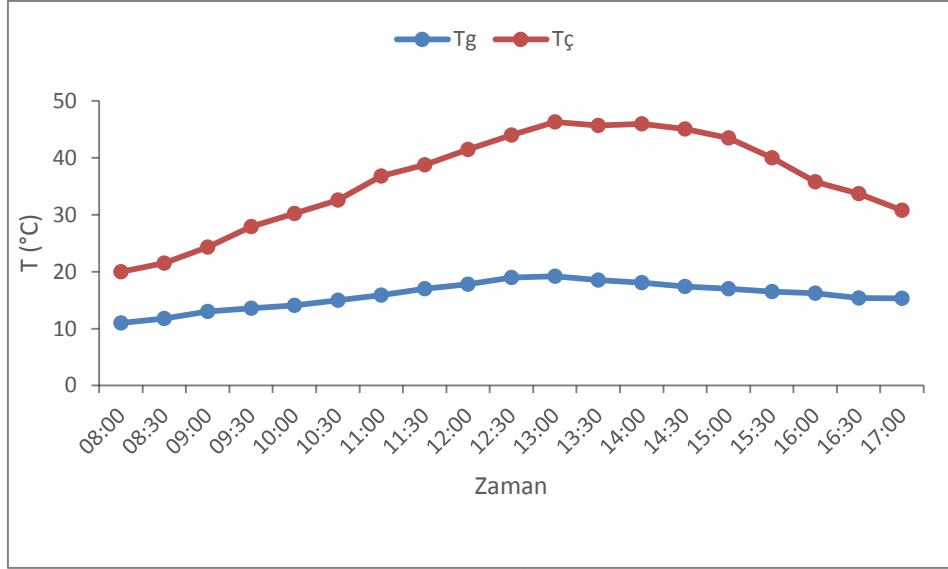
27 Nisan – 10 Mayıs 2016 tarihleri arasında üç farklı tip kollektör için belirli günlerde gerçekleştirilen deneysel çalışmalara ait rakamsal veriler ve grafiksel gösterimler detaylandırılmış ve yorumlanmıştır.



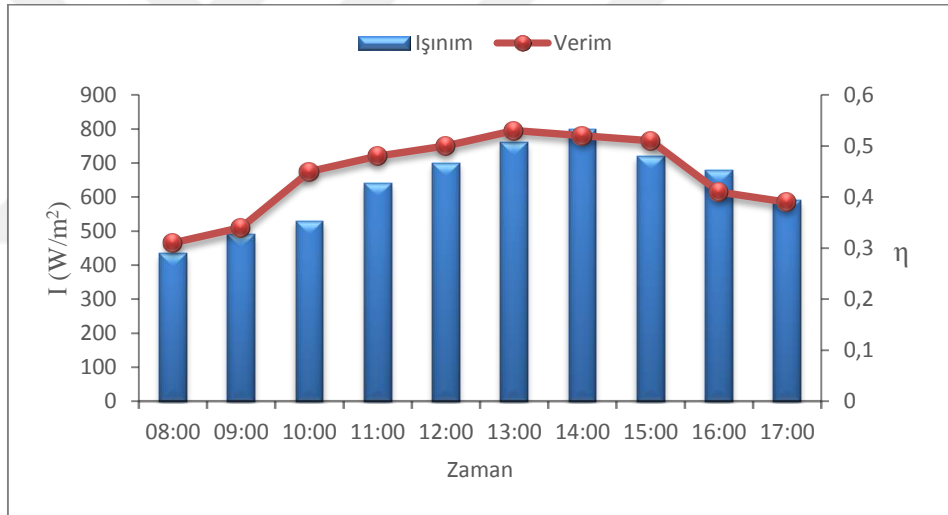
Şekil 5.1. 27 Nisan 2016 tarihinde düz plakalı kollektörde havanın kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları



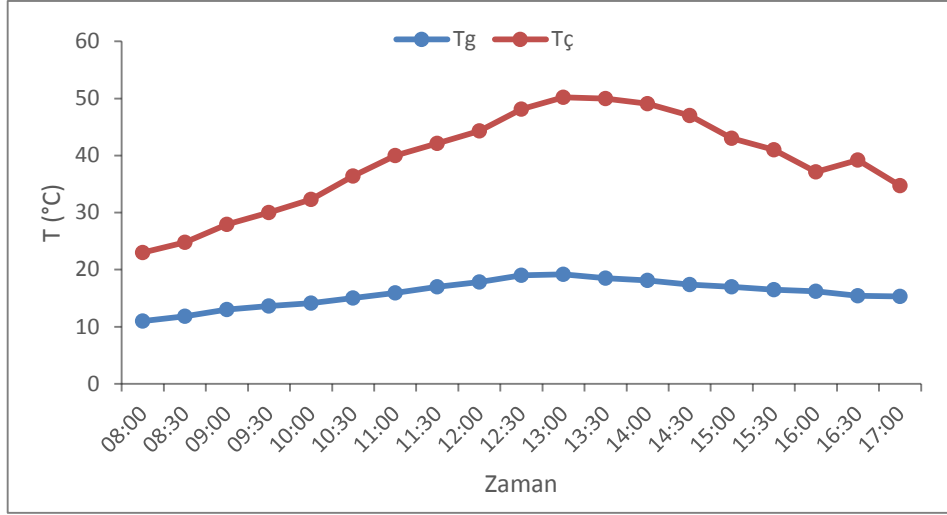
Şekil 5.2. 27 Nisan 2016 tarihinde düz plakalı kolektöre ait ışınım şiddeti zaman verim grafiği



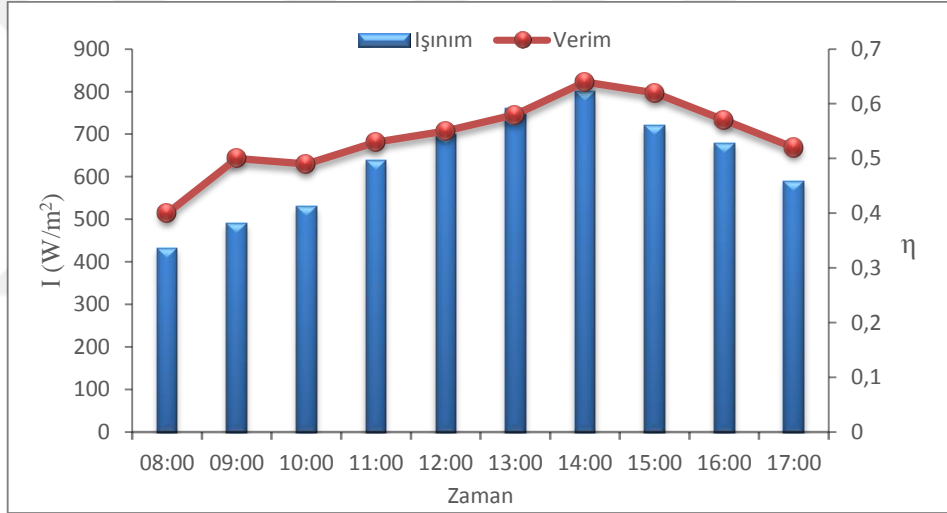
Şekil 5.3. 27 Nisan 2016 tarihinde trapez kanallı kollektörde havanın kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları



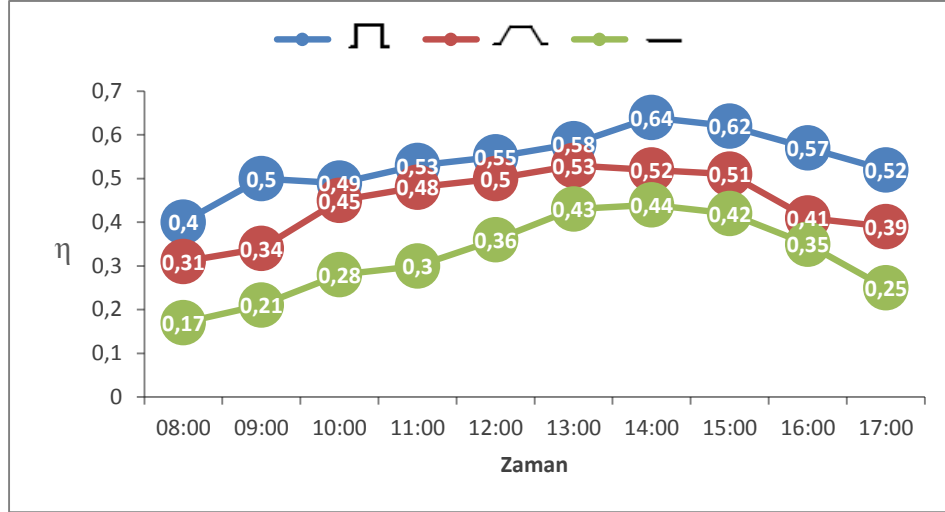
Şekil 5.4. 27 Nisan 2016 tarihinde trapez kanallı kolektöre ait ışınım şiddeti zaman verim grafiği



Şekil 5.5. 27 Nisan 2016 tarihinde dikdörtgen plakalı kolektörde havanın kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları



Şekil 5.6. 27 Nisan 2016 tarihinde dikdörtgen plakalı kolektöre ait ışınım şiddeti zaman verim grafiği

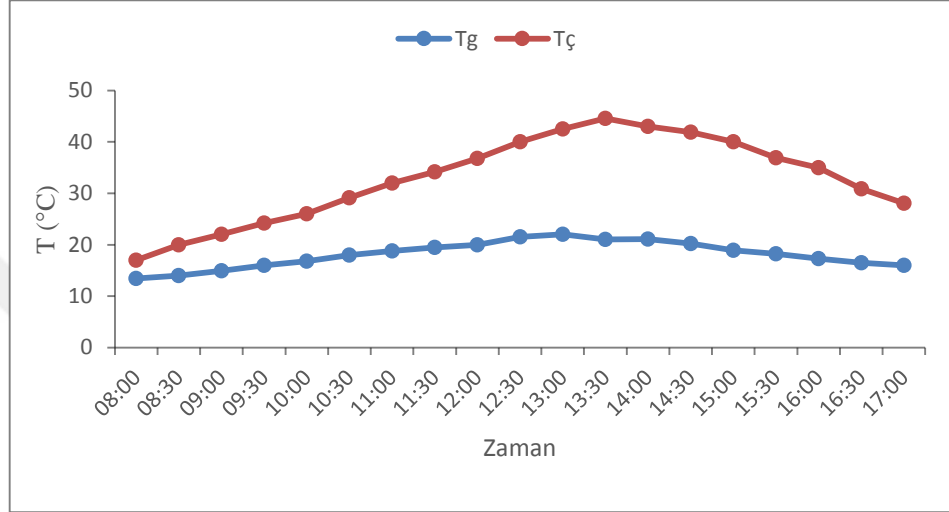


Şekil 5.7. 27 Nisan 2016 tarihli deneye ait üç farklı kolektör için zaman verim grafiği

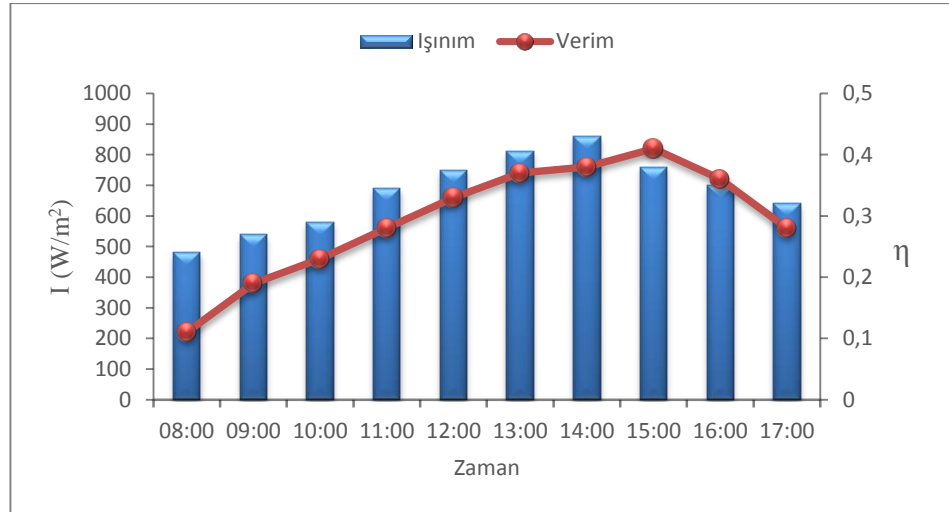
27 Nisan 2016 günü yapılan deneylerde, dijital termometre ile ölçülen hava sıcaklığı değeri gün içerisinde en az 11 °C, en fazla 19,2 °C olarak okunmuştur (Şekil 5.5.). Gün içerisinde minimum ışınım şiddeti değeri 430 W/m², maksimum ışınım şiddeti ise saat 14:00 civarında piranometre aracılığıyla 800 W/m² olarak ölçülmüştür (Şekil 5.6.). Üç farklı kolektör tipi ile eş zamanlı olarak yapılan deneylerde, bir açık sistem olarak ele alınan hava kolektörlerinde ısı transferi sürekli rejim şartlarında gerçekleşmektedir. Kolektörde gerçekleşen bu ısı transferi sonucu maksimum kolektör çıkış havası sıcaklıkları düz plakalı kolektörde 41,5 °C (Şekil 5.1.), trapez plakalı kolektörde 46,3 °C (Şekil 5.3.), dikdörtgen plakalı kolektörde ise 50,2 °C olarak ölçülmüştür (Şekil 5.5.). Maksimum sıcaklık artışı 31,5 °C (Şekil 5.5) ile dikdörtgen plakalı kolektörde meydana gelmiştir. Maksimum verim değerleri düz plakalı kolektörde yüzde 44, trapez plakalıda yüzde 53, dikdörtgen plakalıda ise yüzde 64 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.7.). Kolektörlerde maksimum verim değerlerinin olduğu zaman dilimleri ise her kolektör için farklılık göstermektedir (Şekil 5.7.).

Yapılan deneylerde kolektör çıkış sıcaklığının giriş sıcaklığına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği gözlemlenmektedir. Artan giriş sıcaklığı ile üç farklı kolektörde de çıkış sıcaklığında artış gözlemlenmektedir. Giriş sıcaklığındaki maksimum yüzde artış miktarı dikdörtgen plakalı kolektörde elde edilmiştir. Işınım şiddetinin etkisi ile üç farklı kolektörün verimlerindeki değişimler de Şekil 5.2., Şekil 5.4. ve Şekil 5.6.'da gösterilmiştir. Üç farklı kolektör için de verimlilik değerleri

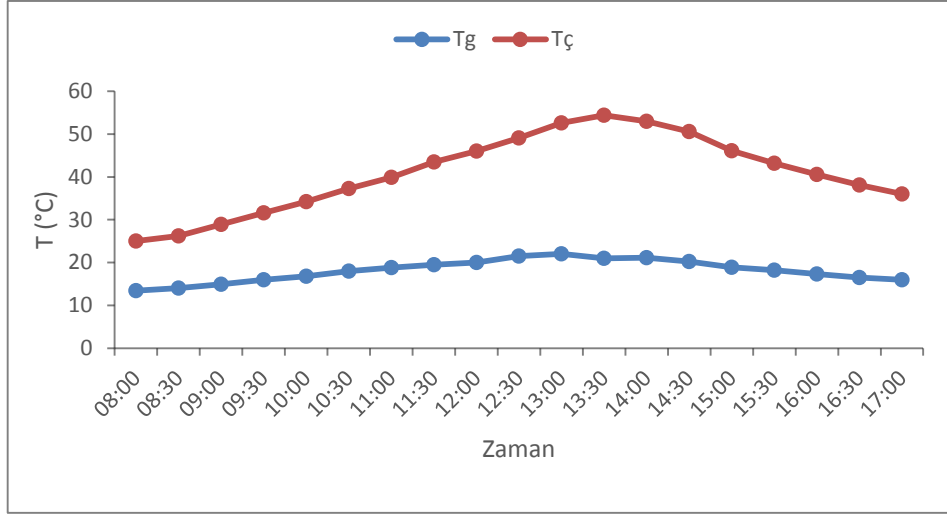
ışınım şiddetine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Verim değerlerindeki değişim, günün sabah saatlerinde ışıınım şiddeti ile daha orantılı olarak gözlemlenirken, öğleden sonra verim değerlerinin daha düzensiz değişimlere uğradığı görülmektedir (Şekil 5.6.). Işınım şiddetine bağlı olarak verim değerlerinde meydana gelen bu değişimler literatürdeki benzer çalışmalarda da [34] görülmektedir.



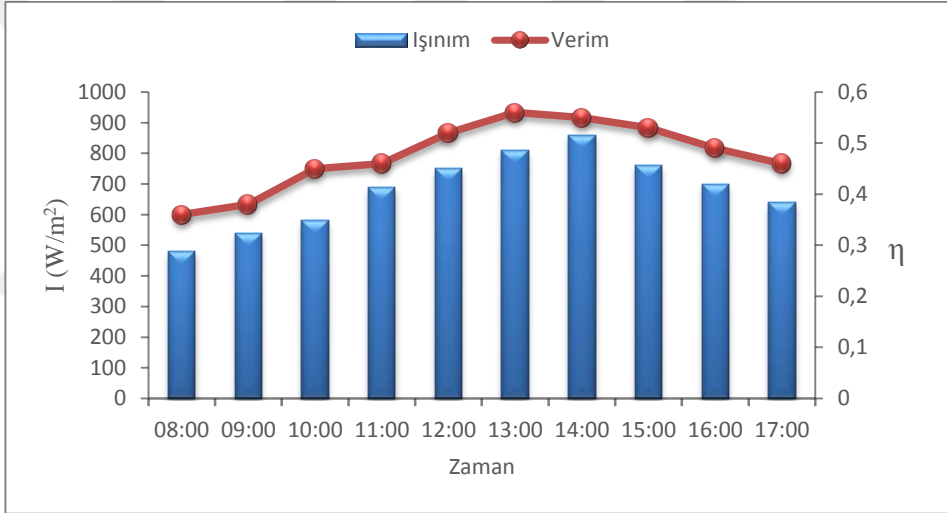
Şekil 5.8. 28 Nisan 2016 tarihinde düz plakalı kollektörde havanın kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları



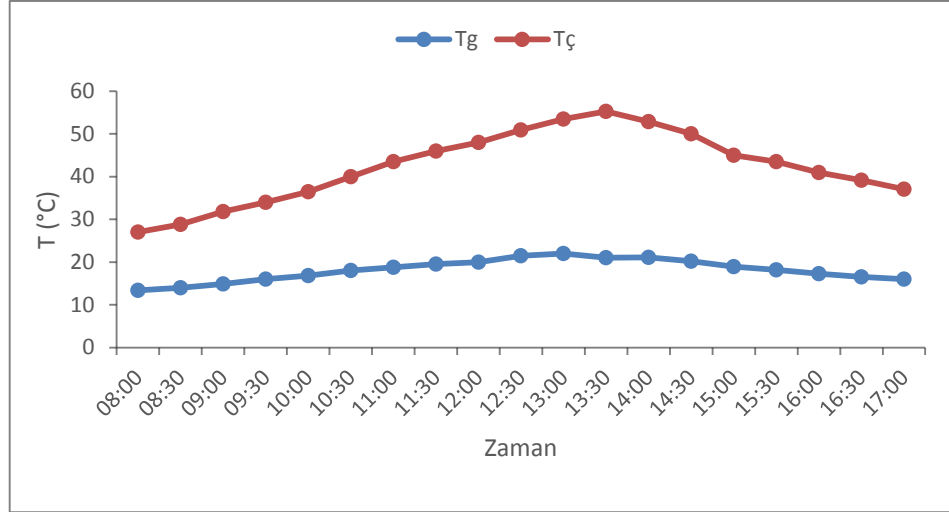
Şekil 5.9. 28 Nisan 2016 tarihinde düz plakalı kollektöre ait ışıınım şiddeti zaman verim grafiği



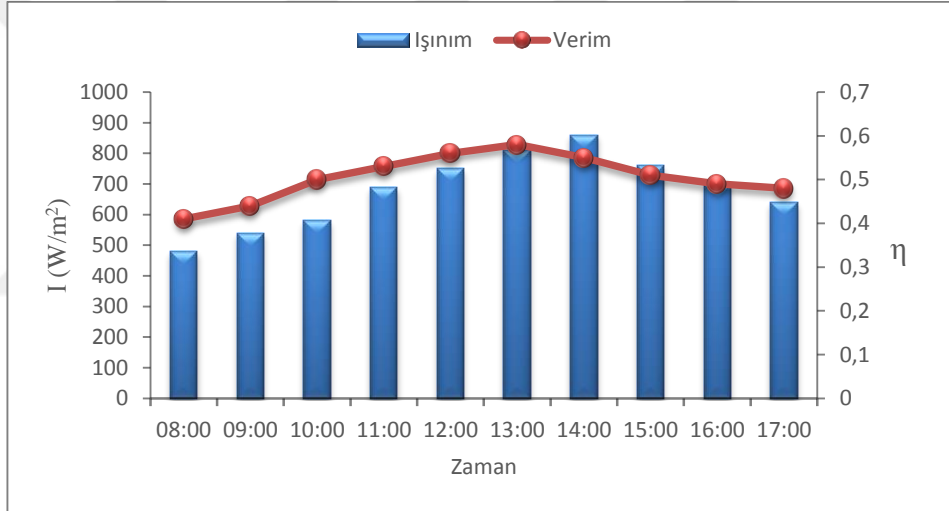
Şekil 5.10. 28 Nisan 2016 tarihinde trapez kanallı kollektörde havanın kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları



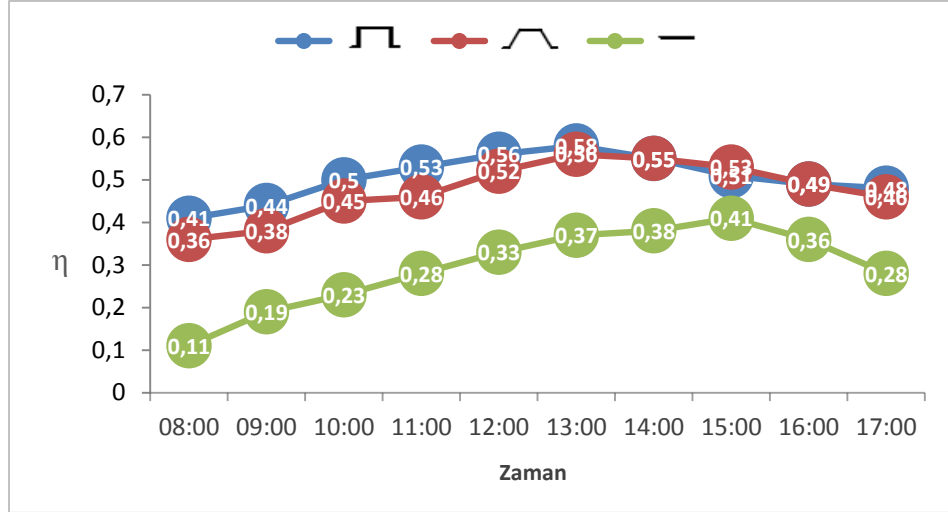
Şekil 5.11. 28 Nisan 2016 tarihinde trapez kanallı kollektöre ait ışınım şiddeti zaman verim grafiği



Şekil 5.12. 28 Nisan 2016 tarihinde dikdörtgen plakalı kollektörde havanın kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları



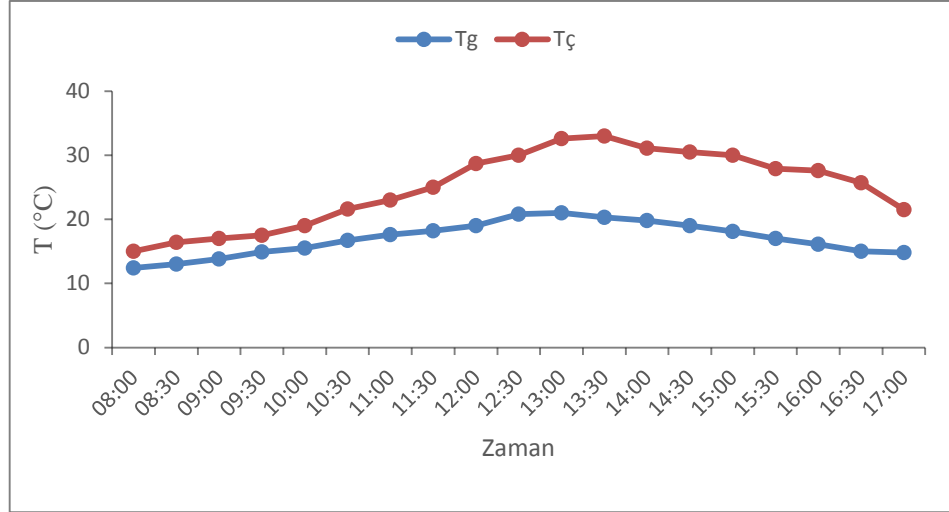
Şekil 5.13. 28 Nisan 2016 tarihinde dikdörtgen plakalı kollektöre ait ışınım şiddeti zaman verim grafiği



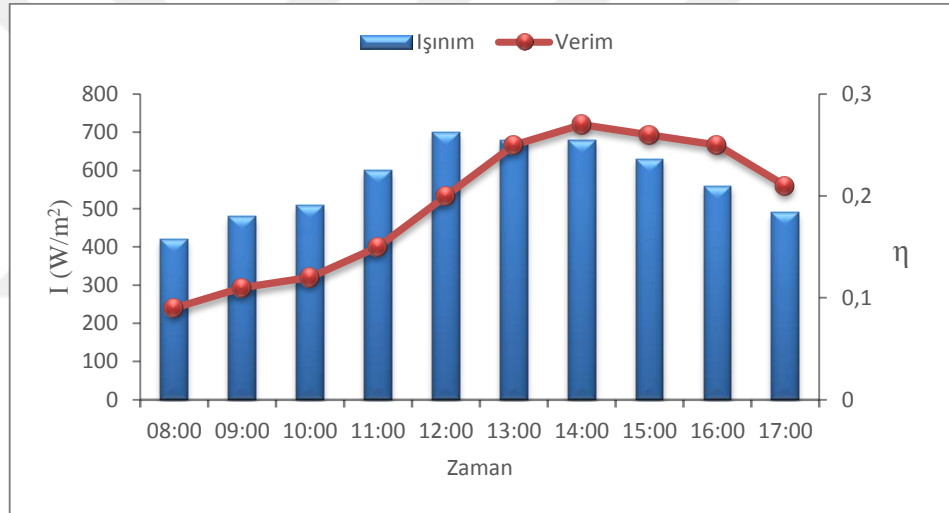
Şekil 5.14. 28 Nisan 2016 tarihli deneye ait üç farklı kollektörün zaman-verim grafiği

28 Nisan 2016 günü yapılan deneylerde dijital termometre ile ölçülen hava sıcaklığı gün içinde en fazla 22 °C olarak ölçülmüştür (Şekil 5.12). Gün içerisinde minimum ışınım şiddeti 480 W/m², maksimum ışınım şiddeti ise 810 W/m² olarak okunmuştur (Şekil 5.13.). Maksimum kollektör çıkış havası sıcaklıkları düz plakalı kollektörde 44,6 °C (Şekil 5.8.), trapez plakalı kollektörde 54,4 °C (Şekil 5.10.), dikdörtgen plakalı kollektörde ise 55,3 °C olarak ölçülmüştür (Şekil 5.12.). Maksimum sıcaklık artışı 34,3 °C (Şekil 5.12) ile dikdörtgen plakalı kollektörde meydana gelmiştir. Maksimum verim değerleri düz plakalı kollektörde yüzde 41, trapez plakalıda yüzde 56, dikdörtgen plakalıda ise yüzde 58 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.14 .).

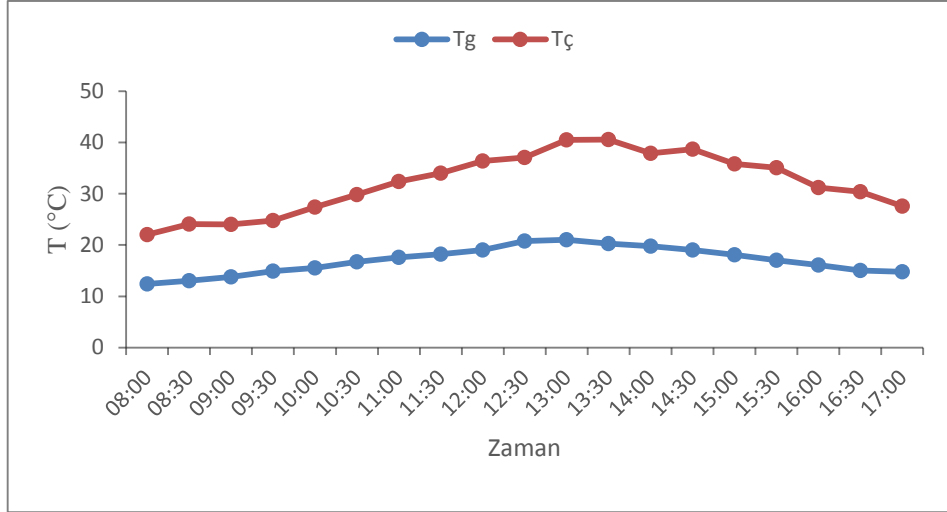
Yapılan deneylerde üç farklı kollektörde de elde edilen maksimum çıkış sıcaklığı saat 13:00 civarında elde edilmiştir, ancak maksimum verim değerlerinin oluştuğu zaman dilimleri her kollektör için farklılık göstermektedir (Şekil 5.14.). 27 Nisan 2016 tarihinde yapılan deneylerde de görüldüğü gibi havanın kollektöre giriş sıcaklığının artması ile çıkış sıcaklığının da artmış olduğu bugünkü deneylerde de saptanmaktadır. Diğer iki kollektörle kıyaslandığında, düz plakalı kollektörde maksimum verim değerinin ışınım şiddetinin nispeten daha düşük olduğu saat 15:00 civarında elde edildiği görülmektedir (Şekil 5.9.). Bu sonuç 27 Nisan 2016 tarihinde yapılan deneylerde ortaya çıkan ışınım şiddeti ile verimin orantılı şekilde değiştiği çıkarımı ile ters düşmektedir.



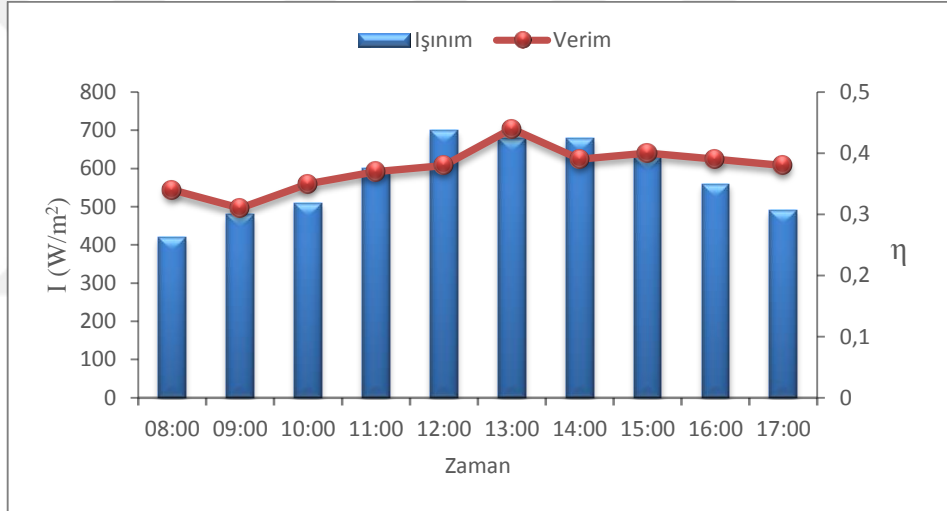
Şekil 5.15. 29 Nisan 2016 tarihinde düz plakalı kollektörde havanın kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları



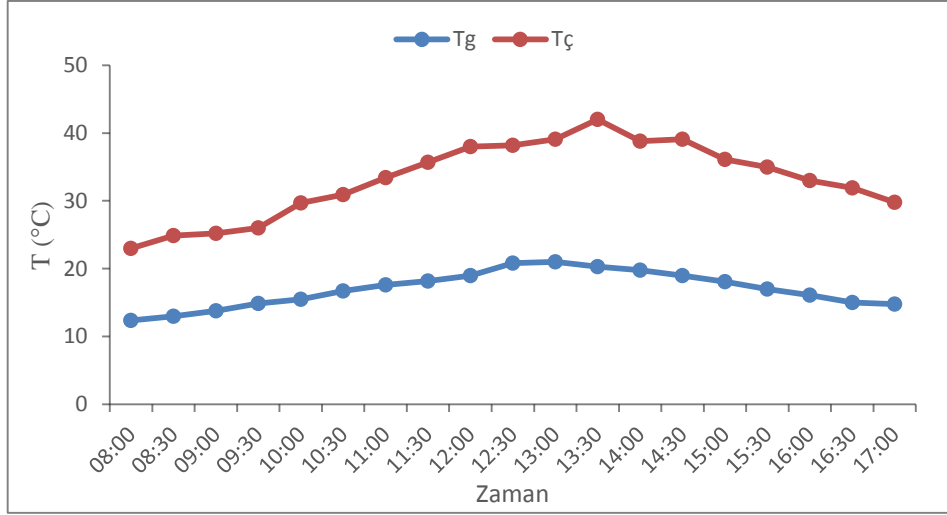
Şekil 5.16. 29 Nisan 2016 tarihinde düz plakalı kollektöre ait ışınım şiddeti zaman verim grafiği



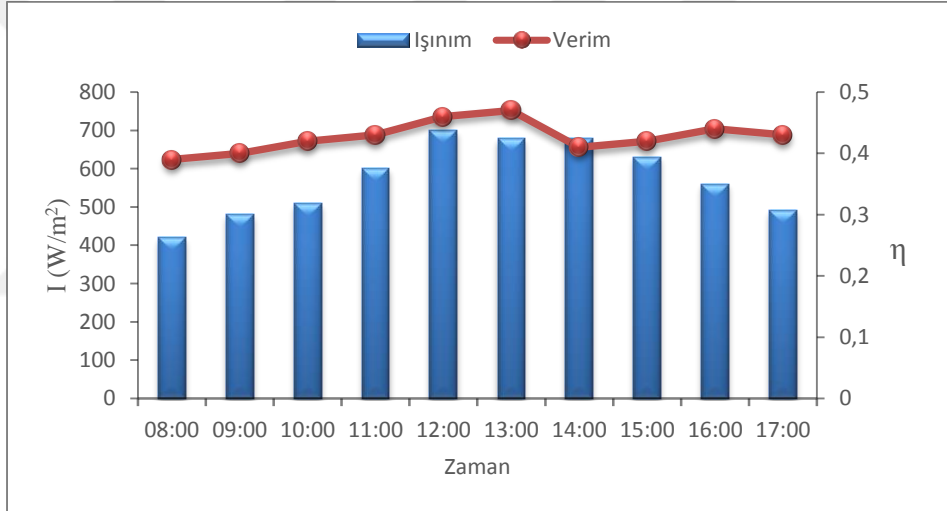
Şekil 5.17. 29 Nisan 2016 tarihinde trapez kanallı kollektörde havanın kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları



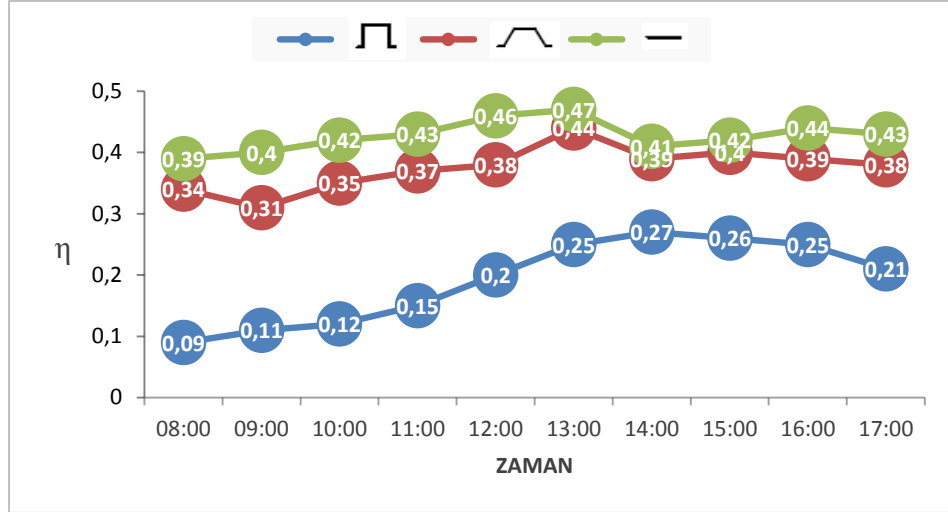
Şekil 5.18. 29 Nisan 2016 tarihinde trapez kanallı kollektöre ait ışınım şiddeti zaman verim grafiği



Şekil 5.19. 29 Nisan 2016 tarihinde dikdörtgen plakalı kolektörde havanın kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları



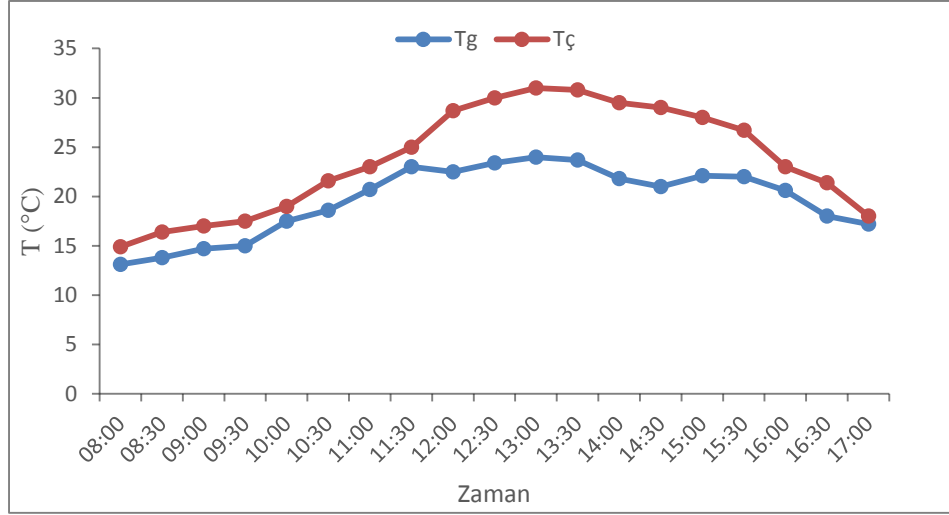
Şekil 5.20. 29 Nisan 2016 tarihinde dikdörtgen plakalı kolektöre ait ışınım şiddeti zaman verim grafiği



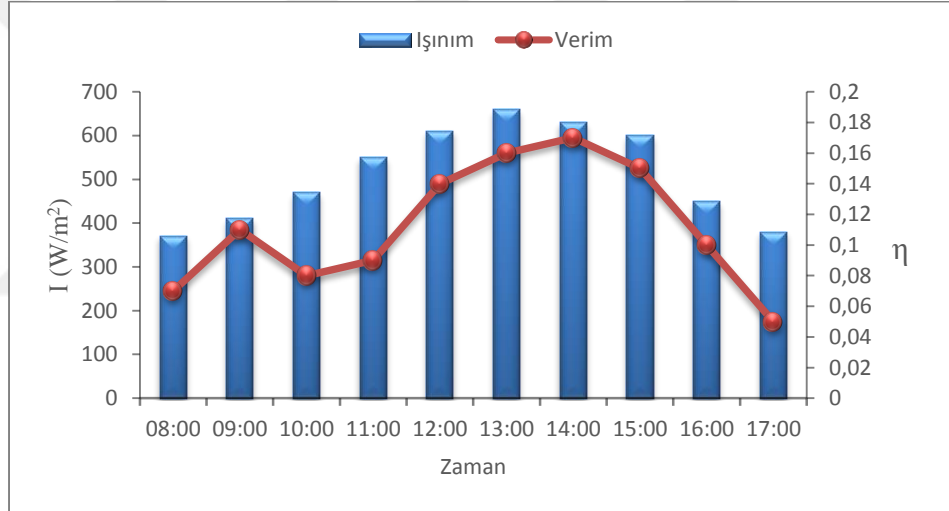
Şekil 5.21. 29 Nisan 2016 tarihli deneye ait üç farklı kollektörün zaman-verim grafiği

29 Nisan 2016 gününde yapılan deneylerde üç farklı kollektöre ait havanın kollektöre giriş-çıkış sıcaklığı ve ışınım şiddeti-verim grafikleri yukarıda gösterilmektedir. Gün boyunca hava sıcaklığının 12,4 °C ile 20,8 °C arasında, ışınım şiddetinin ise 420 W/m² ile 700 W/m² arasında değiştiği dijital termometre ve piranometre vasıtasıyla ölçülerek gözlemlenmiştir (Şekil 5.15.). Hesaplanan en yüksek verim değerleri düz plakalı kollektör için yüzde 27, trapez plakalı kollektör için yüzde 44, dikdörtgen plakalı kollektör için yüzde 47 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.21.). Maksimum sıcaklık artışı 21,7 °C ile dikdörtgen plakalı kollektörde elde edilmiştir (Şekil 5.19.).

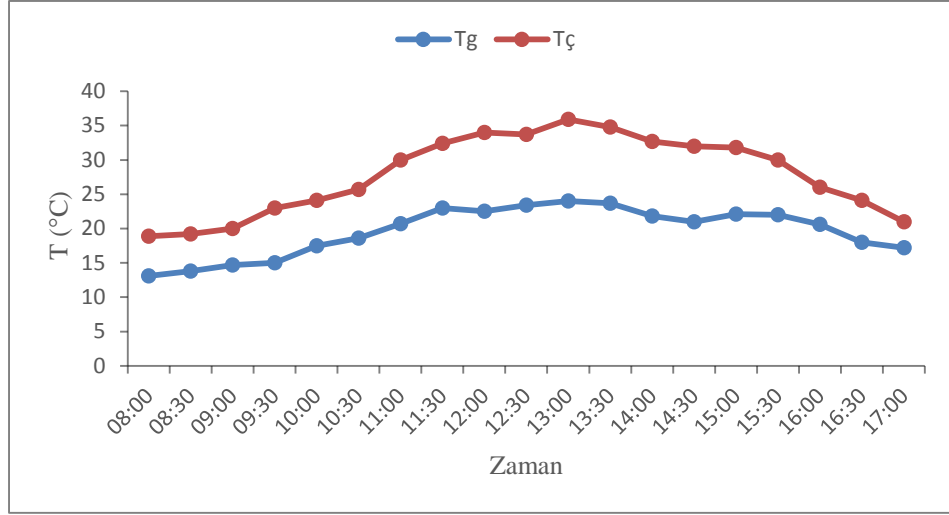
29 Nisan 2016 tarihinde yapılan deneylerin sonuçları, 27 Nisan ve 28 Nisan 2016 tarihlerinde yapılan deneylerin sonuçları ile karşılaştırıldığında gün içerisindeki verim değerlerinde çok yüksek dalgalanmalar oluşmadığı gözlemlenmiştir. Özellikle dikdörtgen ve trapez plakalı kollektörlerde gün boyunca değişen hava sıcaklığı ve ışınım şiddetine rağmen verim değerlerinde sırasıyla yüzde 8 ve yüzde 13 mertebesinde değişim gözlemlenmiştir, bu değer düz plakalı kollektörde yüzde 18 olarak görülmektedir (Şekil 5.21.). 27 Nisan ve 28 Nisan 2016 tarihlerinde yapılan deneylerde ışınım şiddetinin daha yüksek aralıklarda değişkenlik gösterdiği (Şekil 5.6., Şekil 5.13.) bu durumun verim değerlerine de yansıdığı görülmüştür.



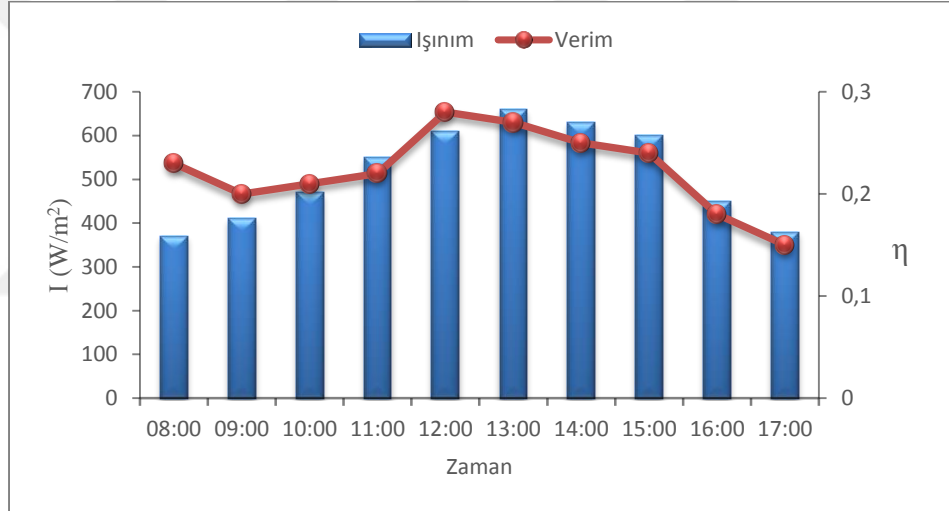
Şekil 5.22. 02 Mayıs 2016 tarihinde düz plakalı kollektörde havanın kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları



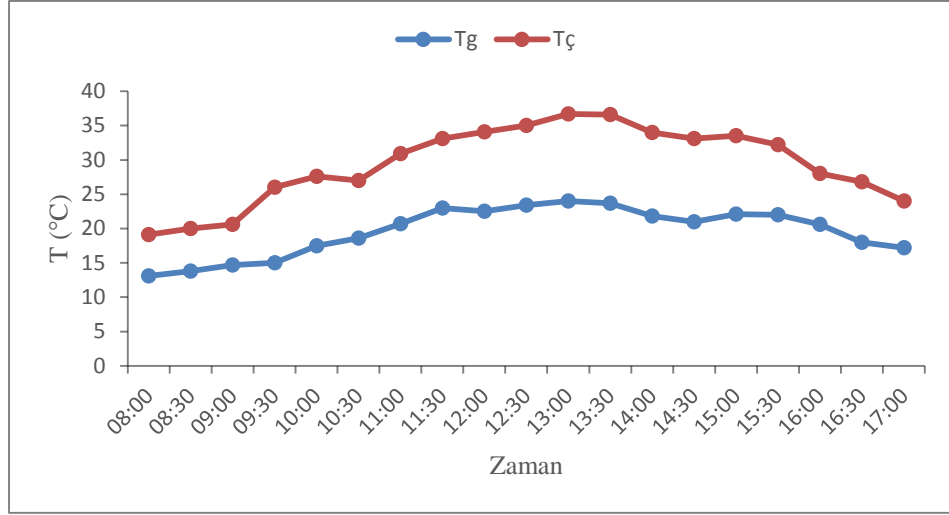
Şekil 5.23. 02 Mayıs 2016 tarihinde düz plakalı kollektöre ait ışınım şiddeti zaman verim grafiği



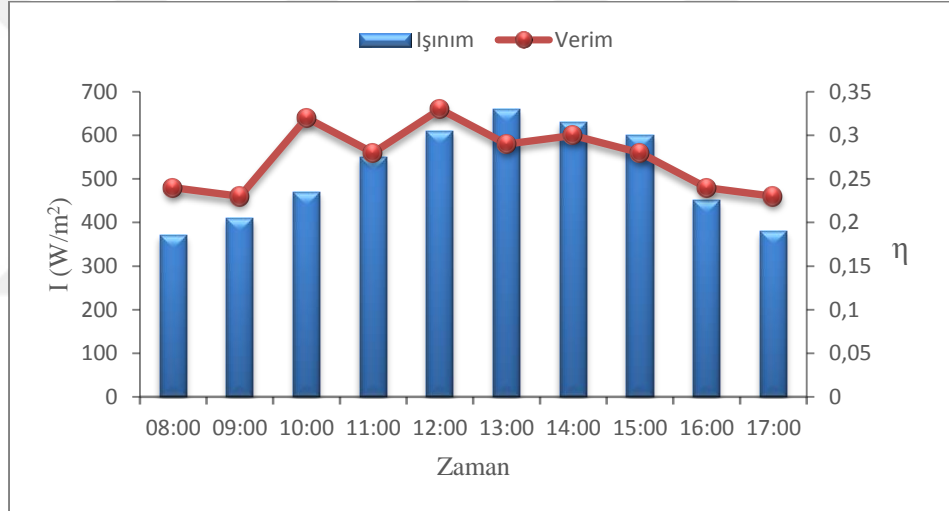
Şekil 5.24. 02 Mayıs 2016 tarihinde trapez plakalı kollektörde havanın kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları



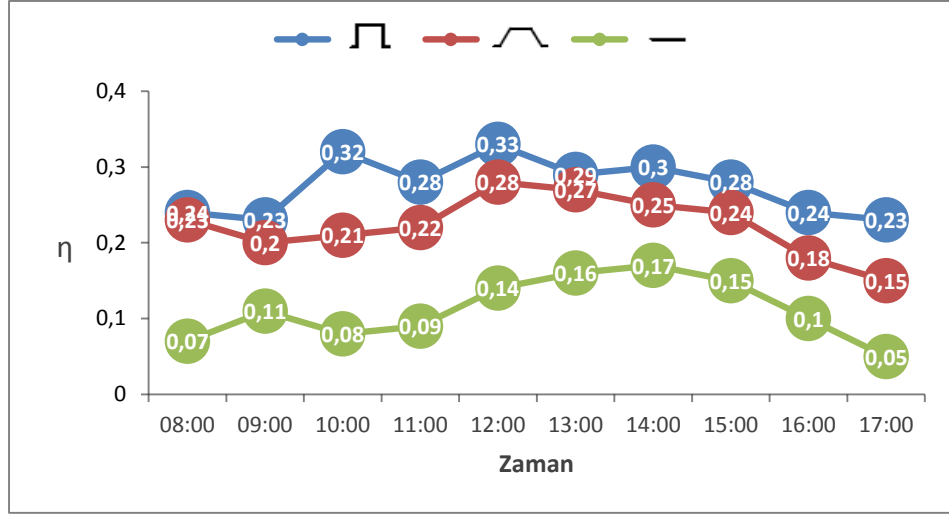
Şekil 5.25. 02 Mayıs 2016 tarihinde trapez plakalı kollektöre ait ışınım şiddeti zaman verim grafiği



Şekil 5.26. 02 Mayıs 2016 tarihinde dikdörtgen plakalı kolektörde havanın kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları



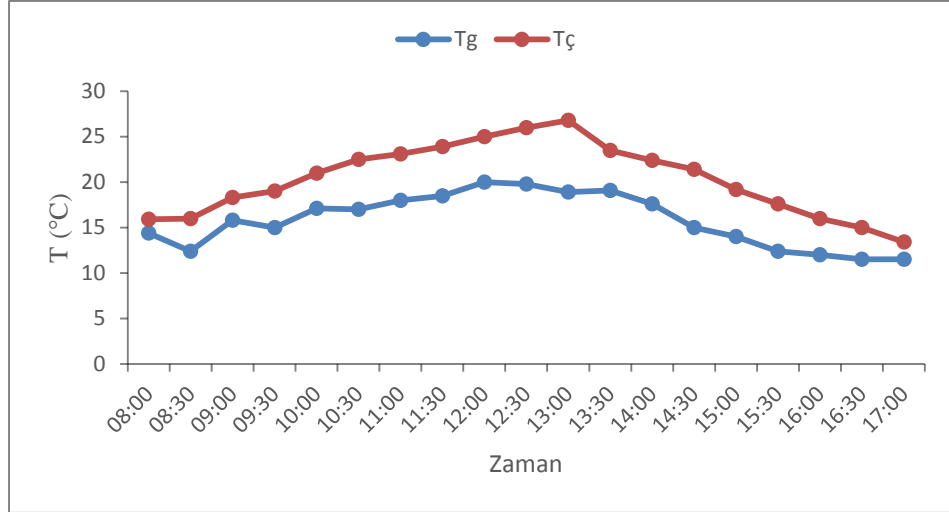
Şekil 5.27. 02 Mayıs 2016 tarihinde dikdörtgen plakalı kolektöre ait ışınım şiddeti zaman verim grafiği



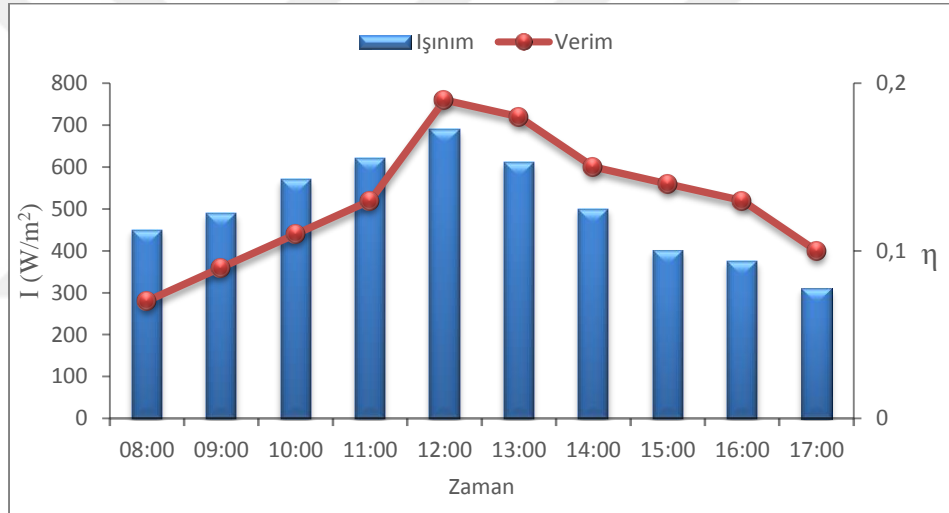
Şekil 5.28. 02 Mayıs 2016 tarihli deneye ait üç farklı kollektörün zaman-verim grafiği

02 Mayıs 2016 günü yapılan deneylerde ölçülen hava sıcaklığı gün içinde en fazla 23,7 °C, en düşük 13,1 °C olarak okunmuştur (Şekil 5.22.). Gün içerisinde minimum ışınım şiddeti 370 W/m², maksimum ışınım şiddeti ise saat 13:00'te yaklaşık 660 W/m² olarak ölçülmüştür (Şekil 5.23.). Elde edilen maksimum çıkış sıcaklıkları dikdörtgen kanallı kollektörde 36,7 °C, trapez kanallı kollektörde 35,9 °C, düz plakalı kollektörde 32,6 °C olarak görülmektedir (Şekil 5.26.), maksimum sıcaklık artışı 12,9 °C ile (Şekil 5.26.) dikdörtgen plakalı kollektörde elde edilmiştir.

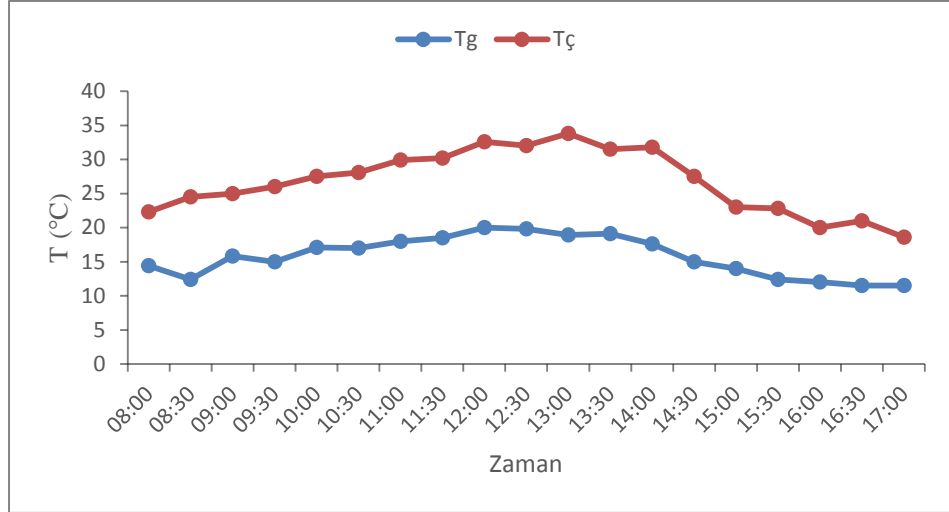
Üç farklı kollektör tipi için 02 Mayıs 2016 tarihinde yapılan deneylerde, kollektör verimlerinin 27 Nisan, 28 Nisan ve 29 Nisan 2016 günlerine kıyasla oldukça düşük değerlerde olduğu görülmektedir. Dış hava sıcaklığı bahsi geçen üç güne oranla daha yüksek değerlerde olmasına rağmen ışınım şiddeti değerleri daha düşüktür. Bu hava koşullarında yapılan deneylerde, kollektör çıkış sıcaklık değerlerinin ve verim değerlerinin daha önceki deneysel çalışmalara oranla daha düşük değerlerde olduğu görülmektedir.



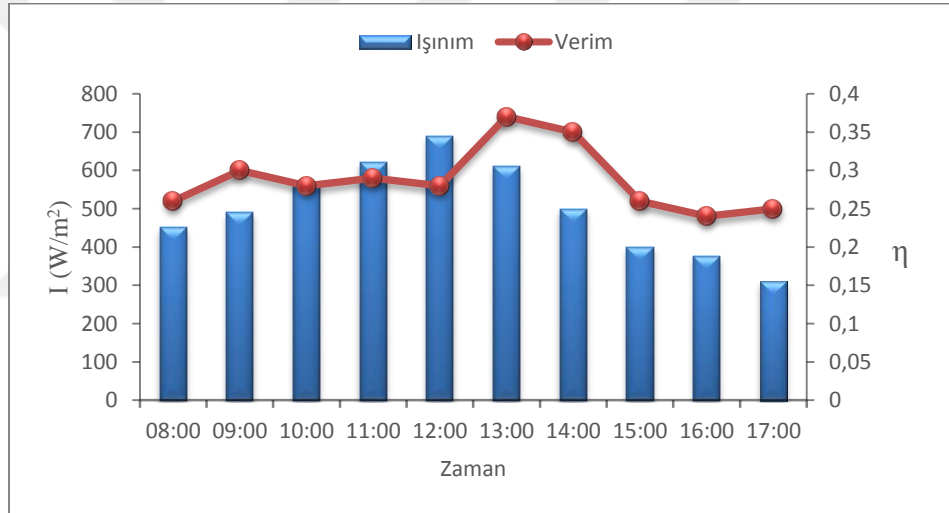
Şekil 5.29. 07 Mayıs 2016 tarihinde düz plakalı kollektörde havanın kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları



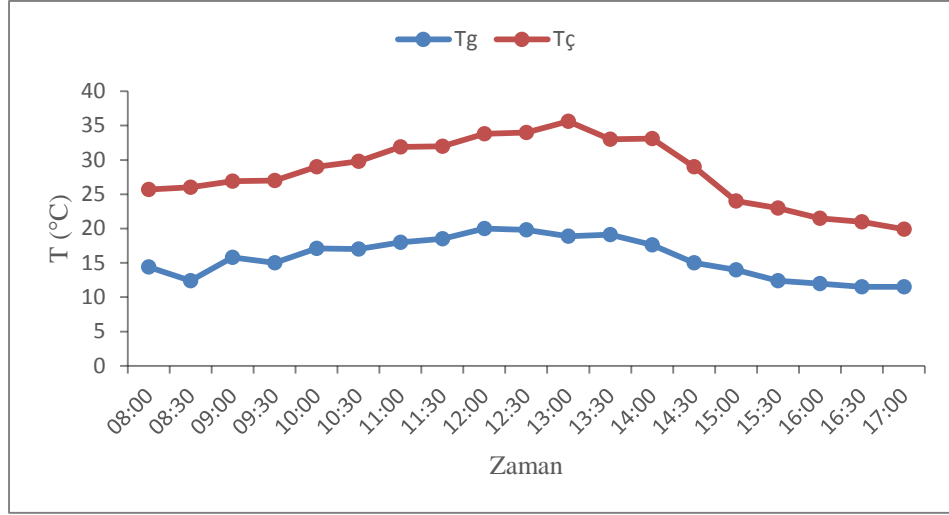
Şekil 5.30. 07 Mayıs 2016 tarihinde düz plakalı kollektör için ışınım şiddeti zaman verim grafiği



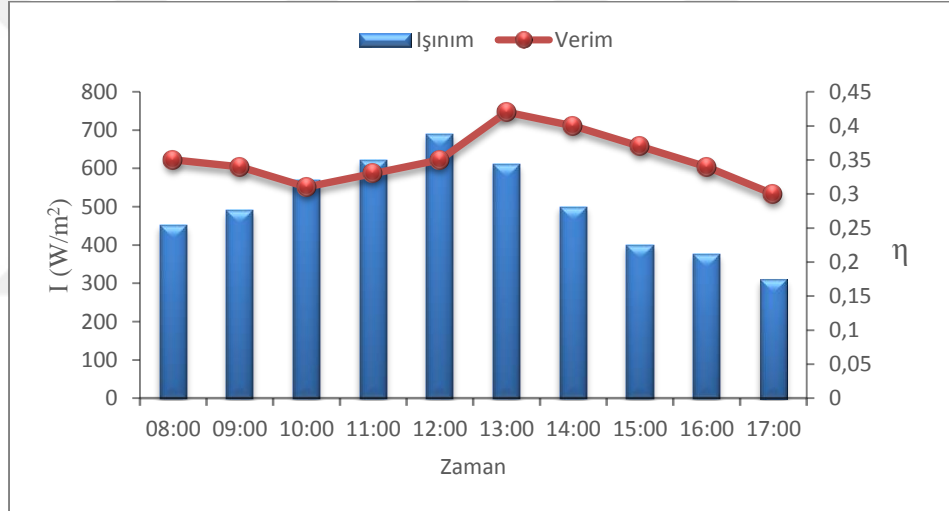
Şekil 5.31. 07 Mayıs 2016 tarihinde trapez plakalı kollektörde havanın kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları



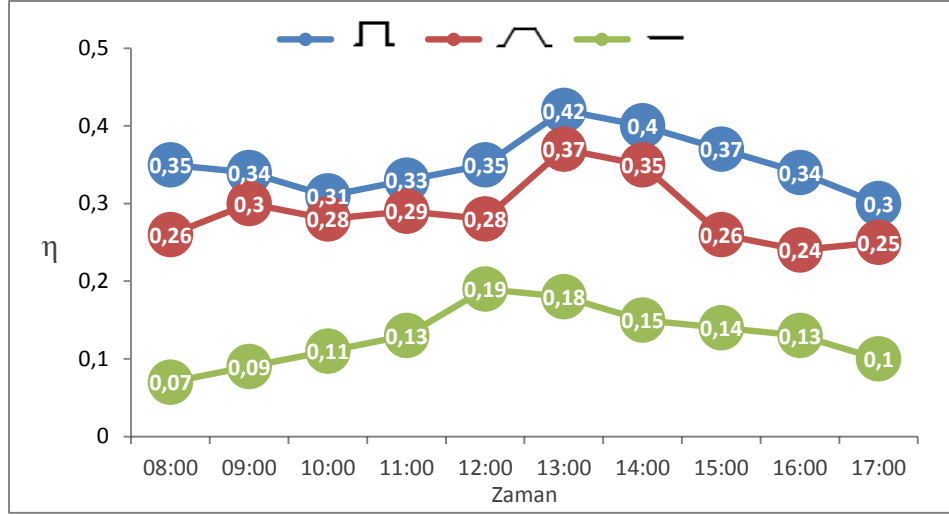
Şekil 5.32. 07 Mayıs 2016 tarihinde trapez plakalı kollektöre ait ışınım şiddeti zaman verim grafiği



Şekil 5.33. 07 Mayıs 2016 tarihinde dikdörtgen plakalı kolektörde havanın kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları



Şekil 5.34. 07 Mayıs 2016 tarihinde dikdörtgen plakalı kolektöre ait ışınım şiddeti zaman verim grafiği

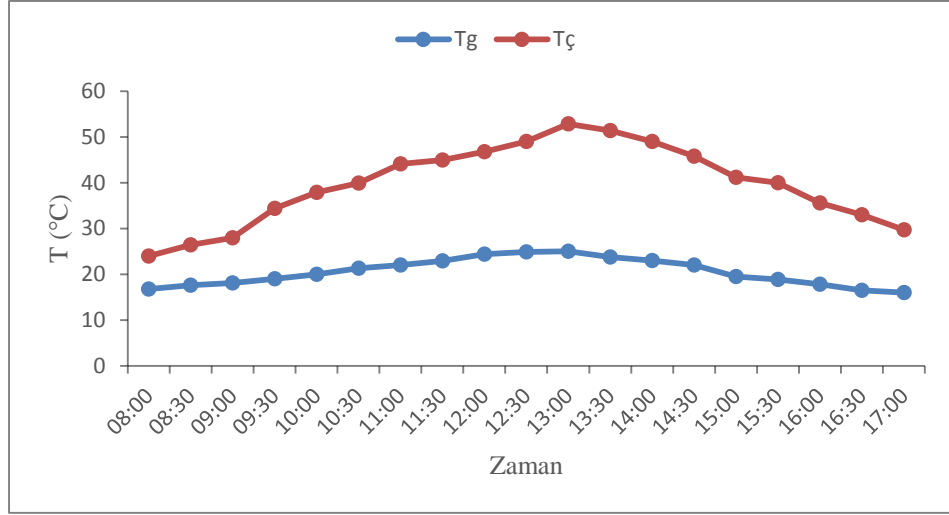


Şekil 5.35. 07 Mayıs 2016 tarihli deneye ait üç farklı kollektörün zaman-verim grafiği

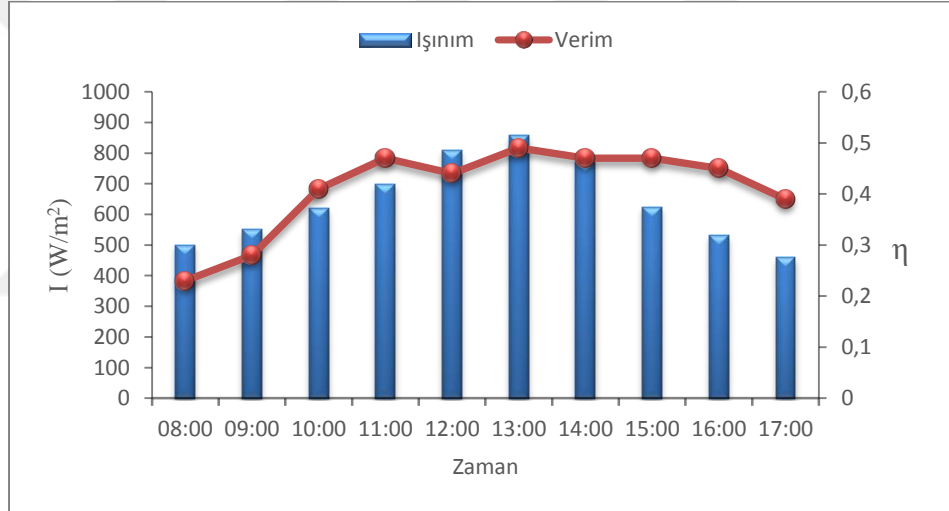
07 Mayıs 2016 günü yapılan deneylerde gün içinde en yüksek hava sıcaklığı değeri dijital termometre ile 20 °C, en düşük ise 11,5 °C olarak okunmuştur. Gün içerisinde minimum ışınım şiddeti 310 W/m², maksimum ışınım şiddeti ise saat 12:15'te yaklaşık 690 W/m² olarak ölçülmüştür (Şekil 5.30.).

Deneylerde kollektörlerde elde edilen maksimum çıkış sıcaklığı değerleri dikdörtgen kanallı kollektörde 35,6 °C (Şekil 5.33.), trapez plakalı kollektörde 33,8 °C, düz plakalı kollektörde 26,8 °C olarak hesaplanmıştır. Maksimum sıcaklık artışı 16,7°C ile (Şekil 5.33.) dikdörtgen kanallı kollektörde elde edilmiştir. Maksimum verim değerleri düz plakalı kollektörde yüzde 19, trapez plakalı kollektörde yüzde 37, dikdörtgen plakalı kollektörde yüzde 42 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.35.).

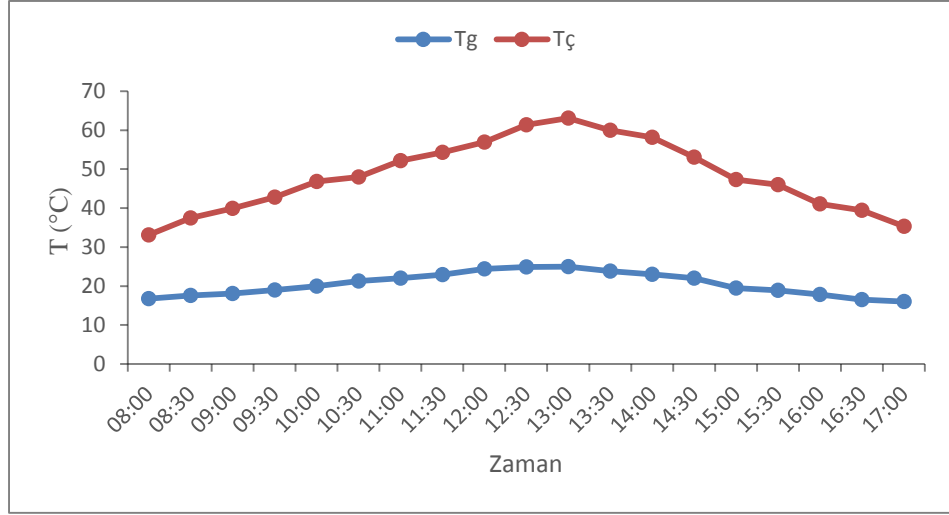
07 Mayıs 2016 günü yapılan deneylerde maksimum verim değerlerinin üç farklı kollektör için farklı zaman dilimlerinde elde edildiği görülmektedir. Düz ve dikdörtgen plakalı kollektörlerin gün içerisinde değişen verim değerleri öğleden sonra daha yüksek değerlerde seyrederken, trapez plakalı kollektörde sabah saatlerinde verim değerleri daha yüksek olmaktadır (Şekil 5.35.). Verim değerinde en yüksek değişim trapez plakalı kollektörde meydana gelmektedir.



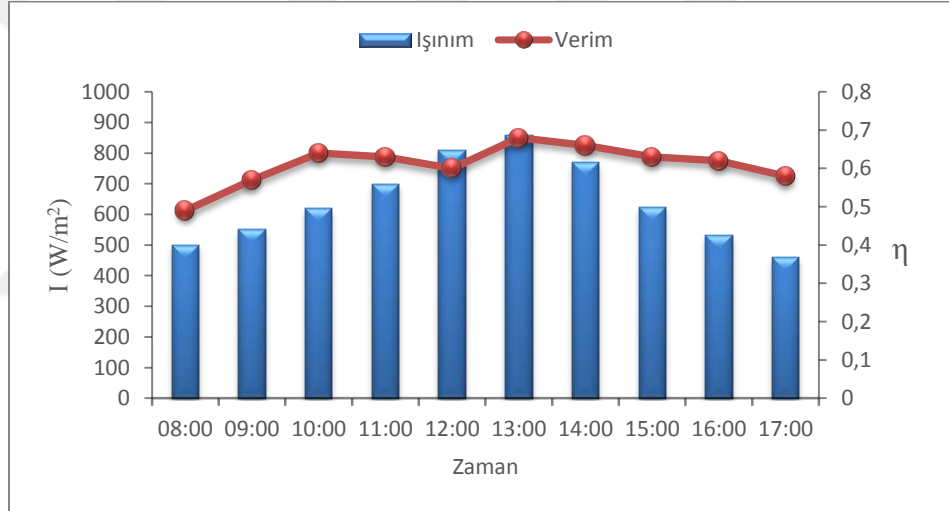
Şekil 5.36. 08 Mayıs 2016 tarihinde düz plakalı kollektörde havanın kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları



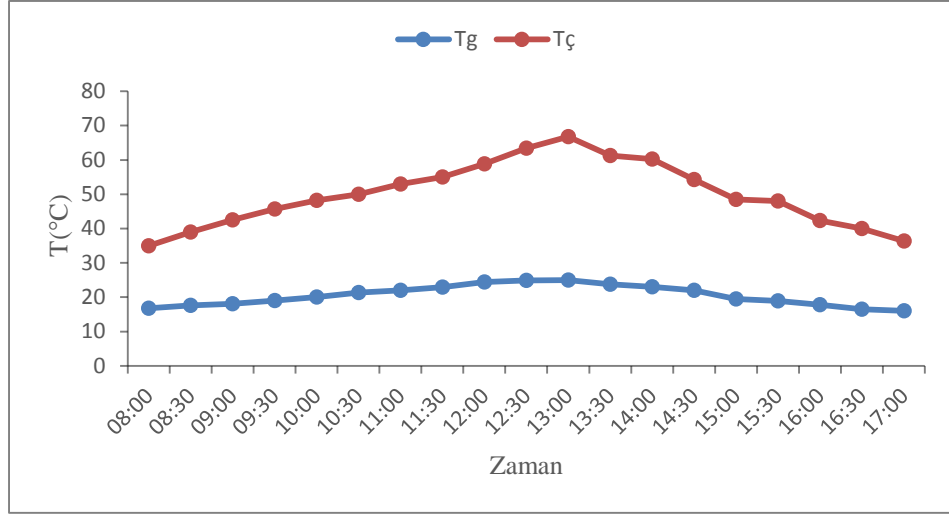
Şekil 5.37. 08 Mayıs 2016 tarihinde düz plakalı kollektöre ait ışınım şiddeti zaman verim grafiği



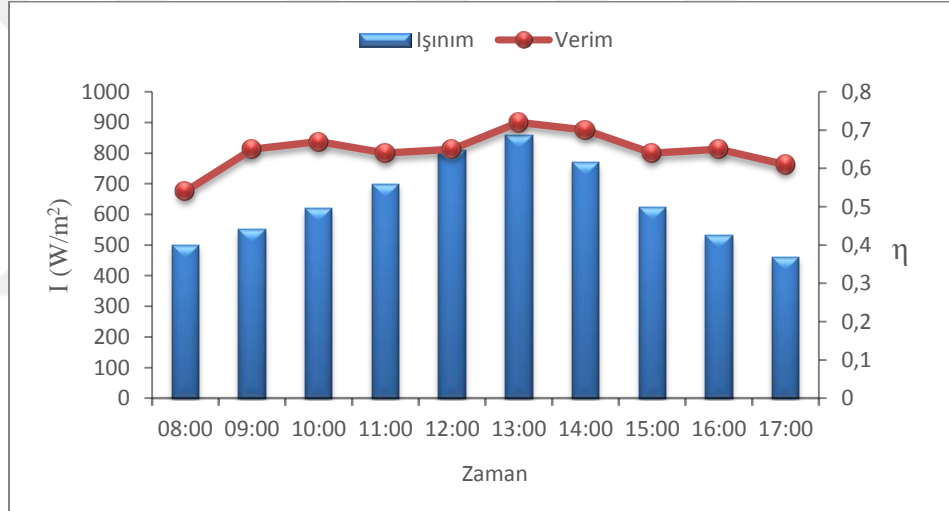
Şekil 5.38. 08 Mayıs 2016 tarihinde trapez kanallı kollektörde havanın kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları



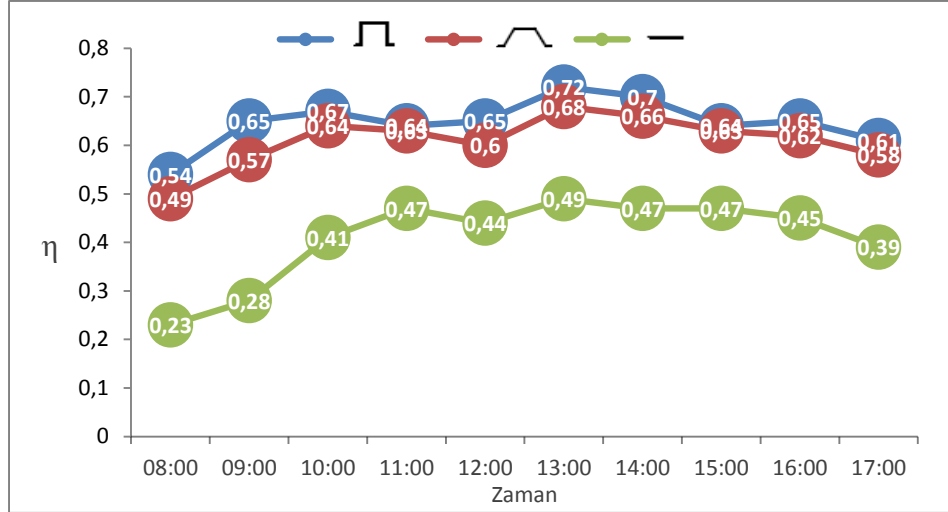
Şekil 5.39. 08 Mayıs 2016 tarihinde trapez plakalı kollektöre ait ışınım şiddeti zaman verim grafiği



Şekil 5.40. 08 Mayıs 2016 tarihinde dikdörtgen plakalı kolektörde havanın kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları



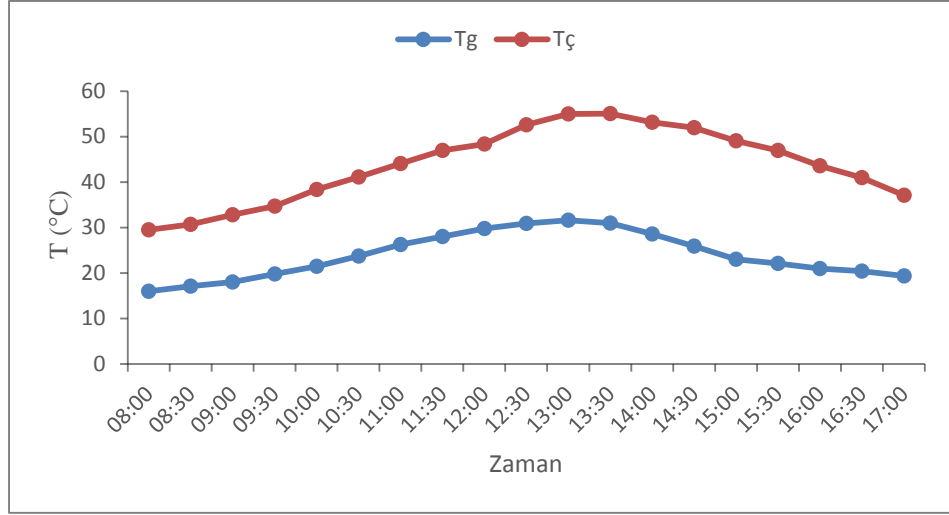
Şekil 5.41. 08 Mayıs 2016 tarihinde dikdörtgen plakalı kolektör için ışınım şiddeti zaman verim grafiği



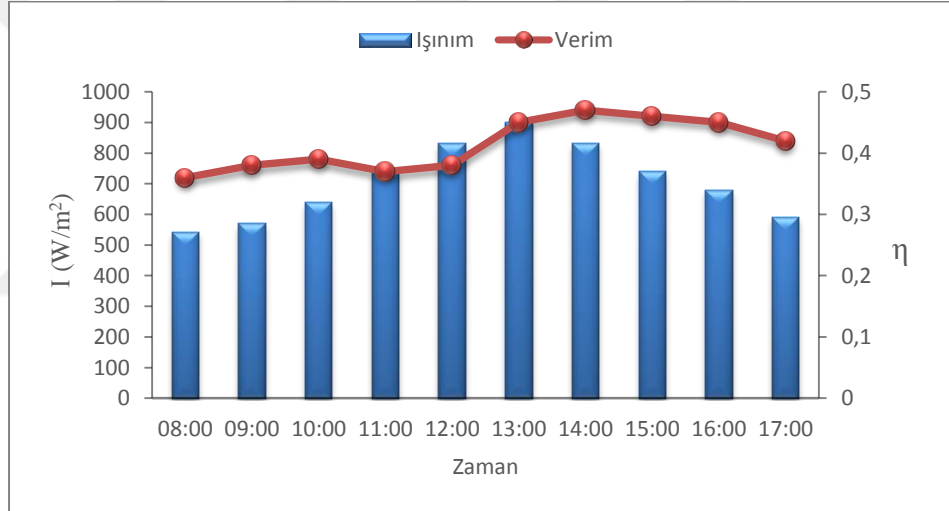
Şekil 5.42. 08 Mayıs 2016 tarihli deneye ait üç farklı kollektörün zaman-verim grafiği

08 Mayıs 2016 günü yapılan deneylerde hava sıcaklığının 25 °C ile 16 °C arasında değiştiği, ışıınım şiddetinin ise 460 W/m² ile 860 W/m² arasında değiştiği dijital termometre ve piranometre aracılığıyla gözlemlenmiştir (Şekil 5.37.). Deneylerde elde edilen maksimum çıkış sıcaklıkları dikdörtgen kanallı kollektörde 66,8 °C, trapez plakalı kollektörde 63,1 °C, düz plakalı kollektörde 52,9 °C olarak hesaplanmıştır. (Şekil 5.40.). Maksimum sıcaklık artışı 41,8 °C (Şekil 5.40.) ve maksimum verim 0,72 (Şekil 5.42.) değerleri dikdörtgen plakalı kollektörde elde edilmiştir.

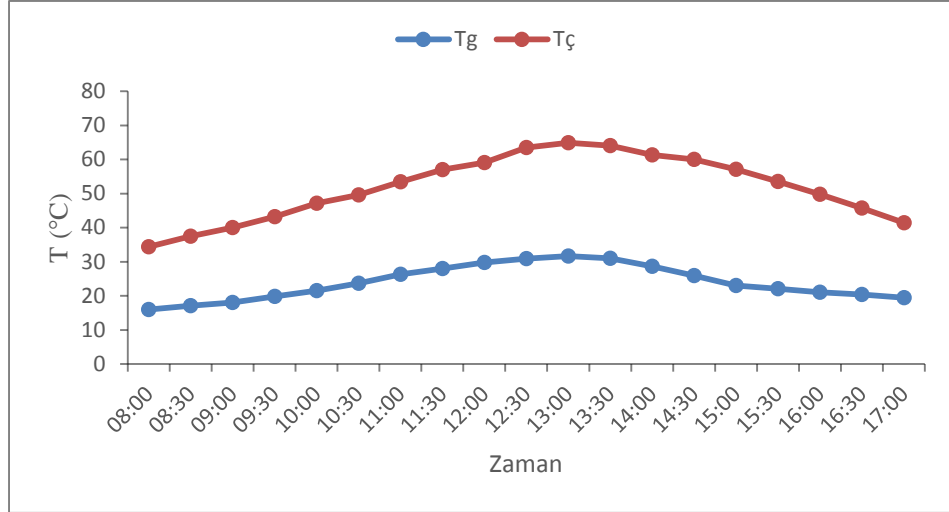
Deney sonuçları ile elde edilen grafikler incelendiğinde üç kollektör tipi için de verim değerlerinin daha önceki deneylere kıyasla yüksek olduğu görülmektedir. 08 Mayıs tarihinde gerçekleştirilen deneyler, 28 Nisan 2016 tarihinde gerçekleştirilen deneyler ile kıyaslandığında gün içerisindeki ortalama ışıınım şiddeti değerlerinin birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. Ancak dış hava sıcaklıklarının (kollektör giriş sıcaklıkları) 08 Mayıs 2016 tarihinde daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir (Şekil 5.40.). 08 Mayıs 2016 tarihinde havanın kollektör içerisindeki maksimum sıcaklık artışının yüzde oranı da 28 Nisan 2016 tarihinde gerçekleşen maksimum sıcaklık artışından daha fazladır.



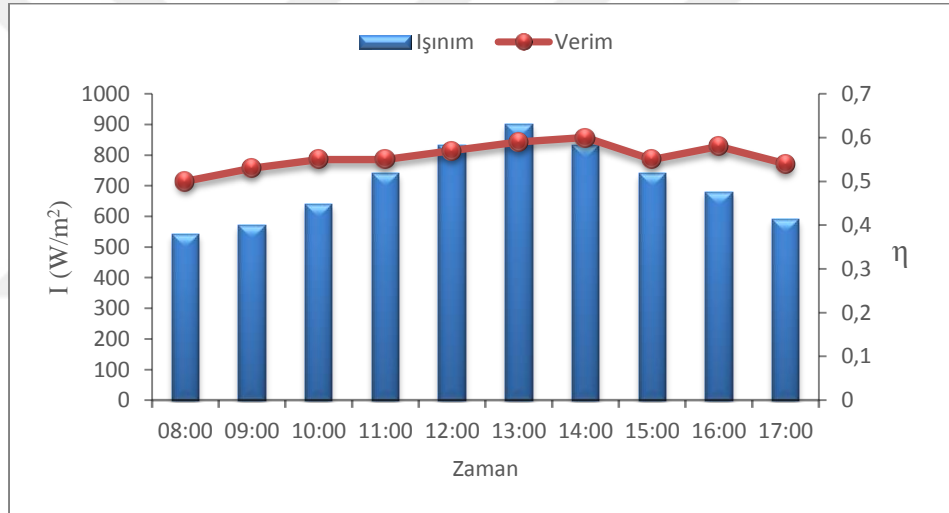
Şekil 5.43. 10 Mayıs 2016 tarihinde düz plakalı kollektörde havanın kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları



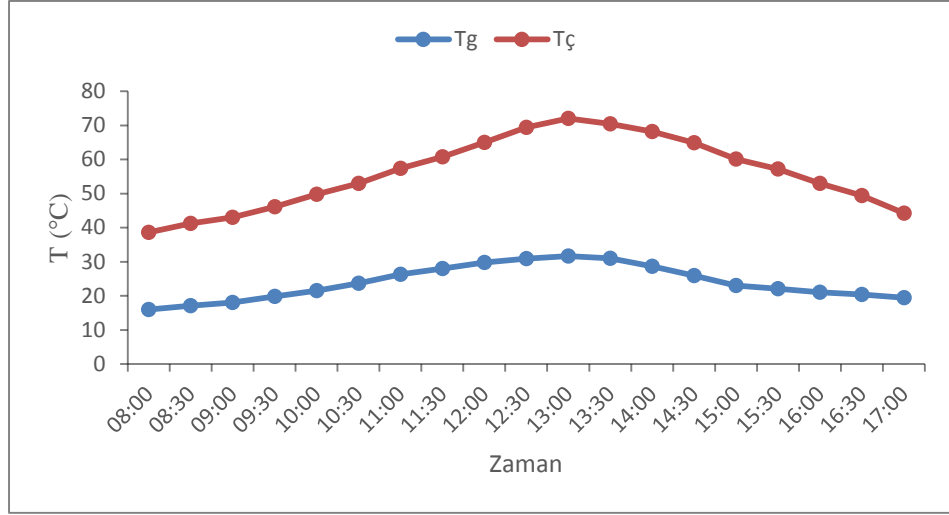
Şekil 5.44. 10 Mayıs 2016 tarihinde düz plakalı kollektöre ait ışınım şiddeti zaman verim grafiği



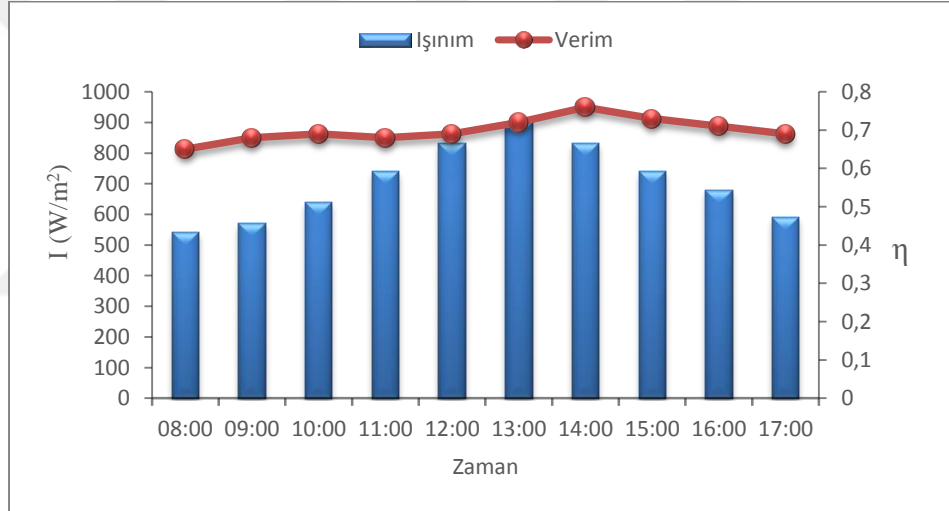
Şekil 5.45. 10 Mayıs 2016 tarihinde trapez kanallı kollektörde havanın kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları



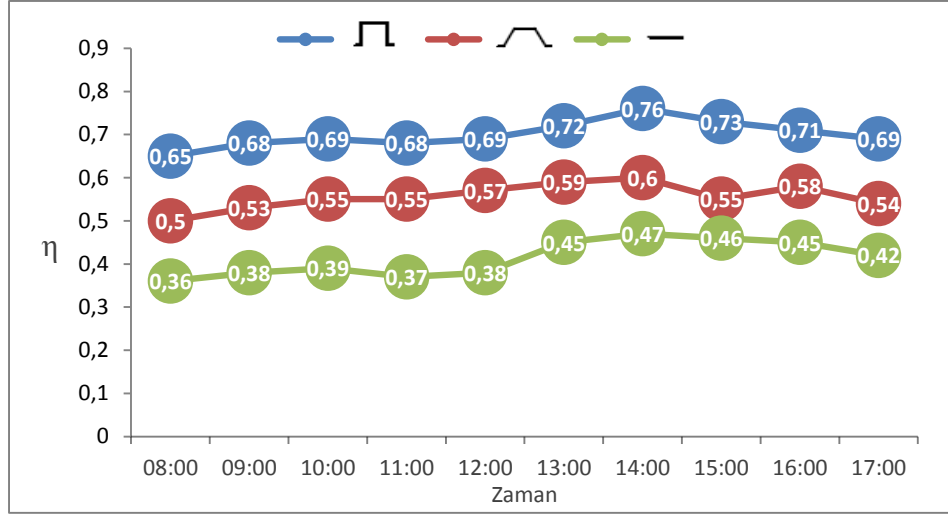
Şekil 5.46. 10 Mayıs 2016 tarihinde trapez kanallı kollektör için ışınım şiddeti zaman verim grafiği



Şekil 5.47. 10 Mayıs 2016 tarihinde dikdörtgen plakalı kolektörde havanın kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları



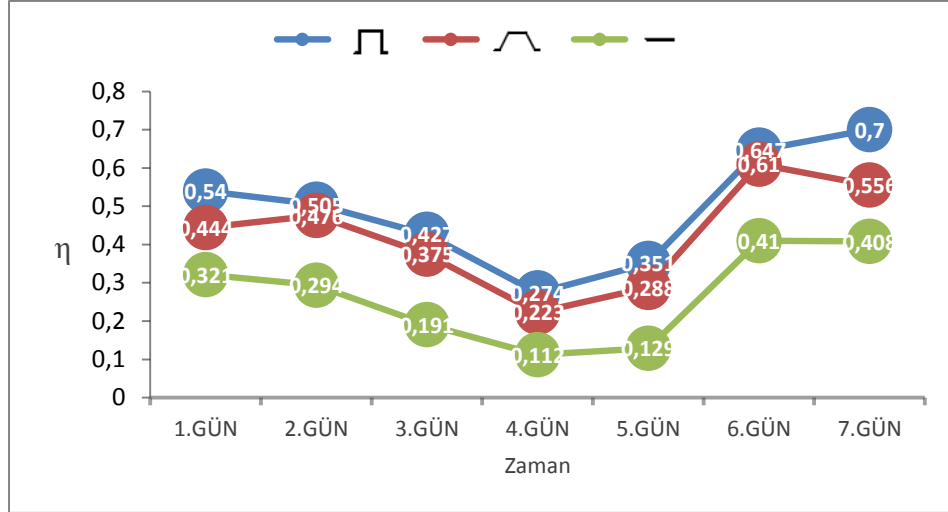
Şekil 5.48. 10 Mayıs 2016 tarihinde dikdörtgen plakalı kolektöre ait ışınım şiddeti zaman verim grafiği



Şekil 5.49. 10 Mayıs 2016 tarihli deneye ait üç farklı kollektörün zaman-verim grafiği

10 Mayıs 2016 günü yapılan deneylerde hava sıcaklığı gün içinde en fazla 31,6 °C, en düşük 16 °C olarak okunmuştur (Şekil 5.47.). Gün içerisinde minimum ışınım şiddeti 540 W/m², maksimum ışınım şiddeti yaklaşık 900 W/m² olarak piranometre aracılığıyla ölçülmüştür (Şekil 5.48.). Deneylerde elde edilen maksimum çıkış sıcaklığı dikdörtgen kanallı kollektörde 72 °C (Şekil 5.47.) ve maksimum sıcaklık artışı 40,4°C (Şekil 5.47.) değerleri dikdörtgen plakalı kollektörde elde edilmiştir. Maksimum verim değerleri düz plakalı kollektörde 0,76 , trapez plakalıda 0,6 , düz plakalıda 0,47 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.49.).

10 Mayıs 2016 tarihinde dikdörtgen plakalı kollektörde gerçekleştirilen deneyde hesaplanan 0,76 verim değeri ile deneylerdeki maksimum verim değeri elde edilmiştir. 08 Mayıs 2016 tarihinde elde edilen sonuçlarla (Şekil 5.40. , Şekil 5. 41.) kıyaslandığında ışınım şiddeti ve kollektör giriş sıcaklıklarının, 10 Mayıs 2016 tarihinde yapılan deneylerde daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 5.47. , Şekil 5.48.). Işınım şiddeti ve kollektör giriş sıcaklıklarının daha yüksek olmasına rağmen verim değerlerinin, 08 Mayıs 2016 tarihindeki kollektör verim değerlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Gün içerisinde bazı zaman dilimlerinde ışınım şiddetinin artması ile kollektör veriminin düştüğü de görülmektedir. Benzeri duruma literatürdeki benzer çalışmalarda [10] da rastlanmaktadır. Bu durum 27 Nisan 2016 tarihinde yapılan deneyde ışınım şiddeti ile kollektör veriminin doğru orantılı değişimi çıkarımına ters düşmektedir.



Şekil 5.50. Kollektörlerin çalıştığı günlere ait ortalama verim grafiği

Üç farklı tip kollektörün eş zamanlı olarak çalıştığı deneylerde bir hafta boyunca kollektörlerin her gün ortalama verimleri hesaplanarak, Şekil 5.50’de birbirleri ile kıyaslamaları gösterilmiştir. Görüldüğü gibi maksimum verimlilik değeri dikdörtgen plakalı kollektörde elde edilirken, trapez plakalı kollektörün verim değeri ise ona yakın düzeylerde seyretmektedir. Düz plakalı kollektör ise verimlilik değerleri kıyaslandığında sonda gelmektedir.

Deneyler süresince havanın kollektörlere giriş ve çıkış noktaları arasında belirli aralıklarla Reynolds, Nusselt boyutsuzları ve ısı taşınım katsayısı teorik ve deneysel olarak hesaplanmıştır.

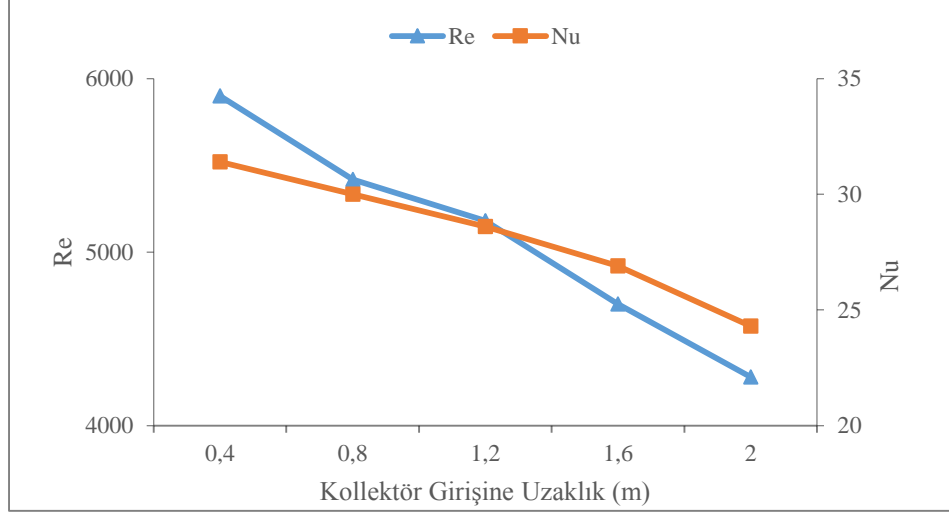
Düz plakalı kollektör için Reynolds bağıntısı;

$$Re = \frac{\rho V D_H}{\mu} \quad (5.1)$$

şeklinde yazılır ve hesaplanmaktadır. Nusselt sayısı ise Reynolds ve Prandtl sayısına bağlı bir boyutsuz olup dairesel kesitli olmayan kanallar için kullanılan bağıntı uyarınca düz plakalı kollektörde [41];

$$Nu = 0,102 Re^{(0,675)} Pr^{(1/3)} \quad (5.2)$$

eşitliği ile elde edilir. Deney süresince hesaplanan ve Şekil 5.51’de gösterilen Reynolds ve Nusselt boyutsuzları Denklem (5.1) ve Denklem (5.2)’de belirtilen eşitlikler ile teorik hesaplamalar sonucu elde edilmiştir.



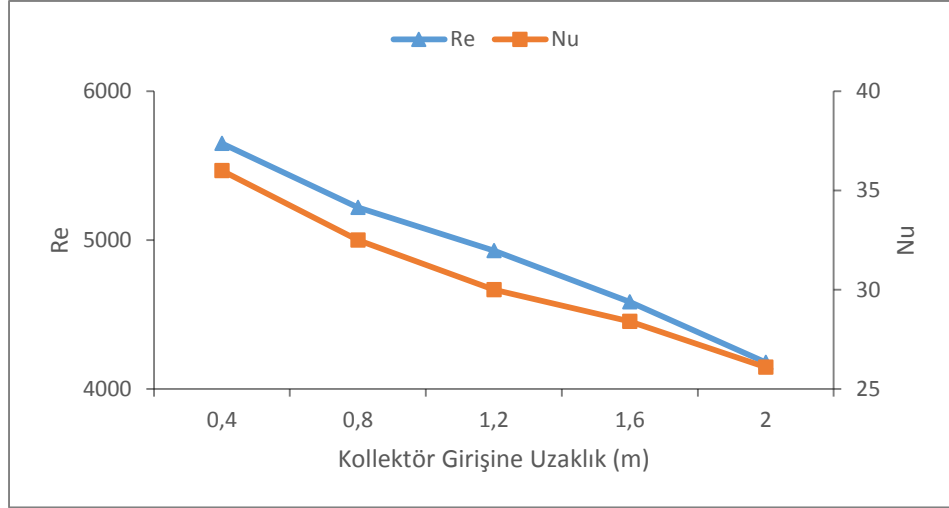
Şekil 5.51. Düz plakalı kollektörde Reynolds ve Nusselt sayılarının değişimi

Düz plakalı kollektör için Reynolds ve Nusselt boyutsuz sayılarının değişimi Şekil 5.51’de görülmektedir. Reynolds sayısı kollektör girişinden çıkışına kadar 5900 ile 4200 değerleri arasında, Nusselt sayısı ise 32 ile 24 değerleri arasında değişmektedir. Şekil 5.51’de görüldüğü gibi sürekli rejim şartları içerisinde çalışan sistemde Reynolds ve Nusselt sayıları sürekli olarak azalmaktadır.

Trapez plakalı kollektör için de Reynolds sayısı Denklem (5.1) uyarınca, Nusselt sayısı ise yine dairesel olmayan kanallar için kullanılan bağıntı uyarınca trapez kanal için Reynolds ve Prandtl sayılarının bir fonksiyonu olarak [41];

$$Nu=0,16 Re^{(0,638)} Pr^{(1/3)} \quad (5.3)$$

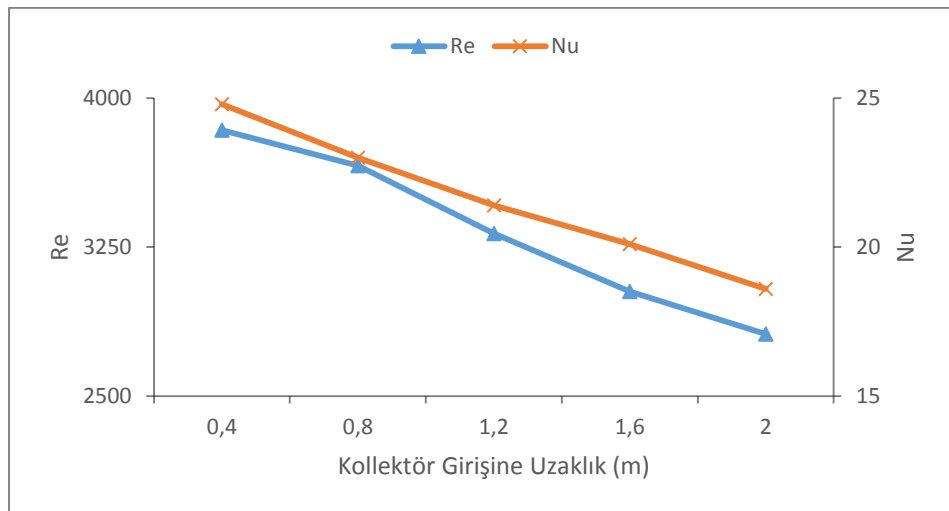
eşitliği ile hesaplanır.



Şekil 5.52. Trapez plakalı kollektörde Reynolds ve Nusselt sayılarının değişimi

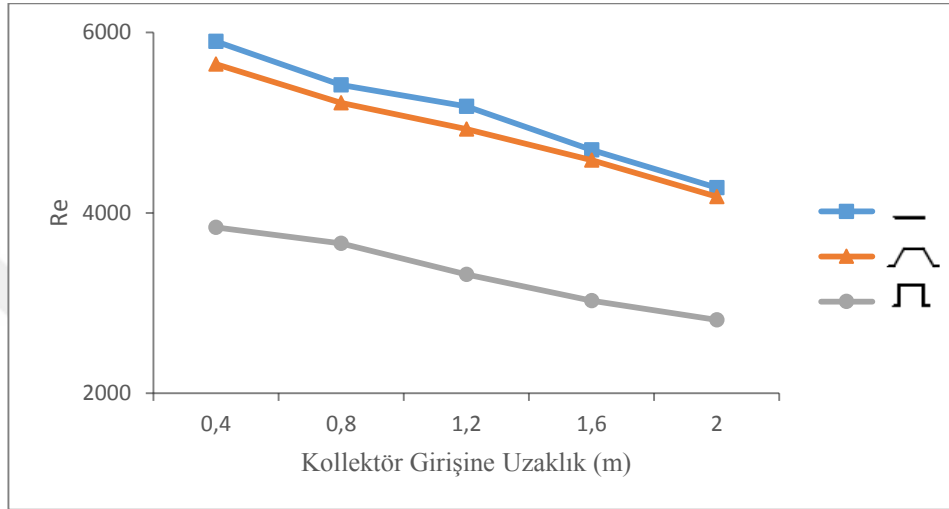
Trapez plakalı kollektör için Reynolds ve Nusselt boyutsuz sayılarının değişimi Şekil 5.52’de görülmektedir. Reynolds sayısı kollektör girişinden çıkışına kadar 5650 ile 4180 değerleri arasında, Nusselt sayısı ise 36 ile 26 değerleri arasında değişmektedir. Şekil 5.52’de görüldüğü gibi sürekli rejim şartları içerisinde çalışan sistemde Reynolds ve Nusselt sayıları sürekli olarak azalmaktadır.

Dikdörtgen plakalı kollektör için Reynolds boyutsuz sayısı Denklem (5.1), Nusselt boyutsuz sayısı ise yine dairesel olmayan kanallar için yazılmış olan Denklem (5.2) ile elde edilmektedir.

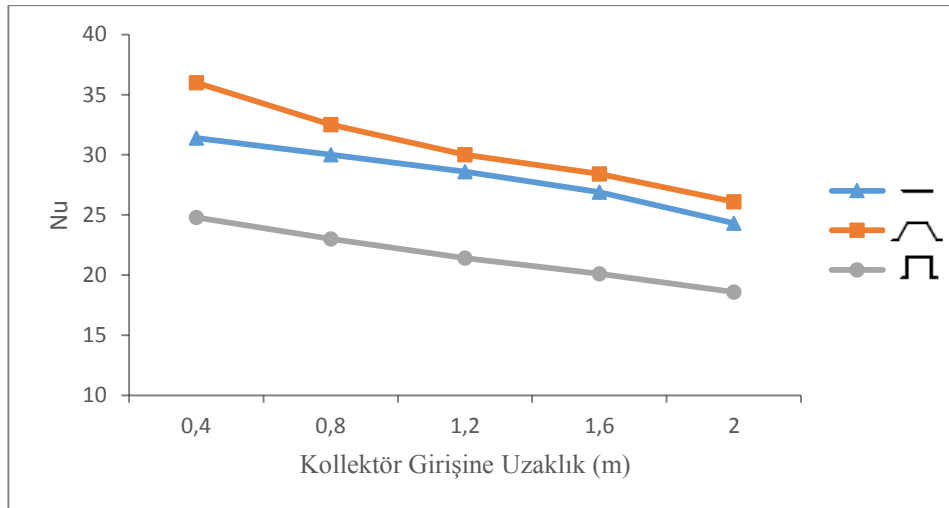


Şekil 5.53. Dikdörtgen plakalı kollektörde Reynolds ve Nusselt sayılarının değişimi

Dikdörtgen plakalı kollektör için Reynolds ve Nusselt boyutsuz sayılarının değişimi Şekil 5.53’de görülmektedir. Reynolds sayısı kollektör girişinden çıkışına kadar 3900 ile 2800 değerleri arasında, Nusselt sayısı ise 25 ile 18 değerleri arasında değişmektedir. Şekil 5.53’de görüldüğü gibi sürekli rejim şartları içerisinde çalışan dikdörtgen plakalı hava kollektörü sisteminde kollektör girişinden çıkışına kadar olan süreçte Reynolds ve Nusselt sayıları sürekli olarak azalmaktadır.



Şekil 5.54.Üç farklı kollektör için Reynolds sayılarının karşılaştırması



Şekil 5.55. Üç farklı kollektör için Nusselt sayılarının karşılaştırması

Teorik taşınım katsayısı Denklem 5.4’te belirtildiği gibi hesaplanan teorik Nusselt sayısından;

$$h_i = Nu \frac{k}{D_H} \quad (5.4)$$

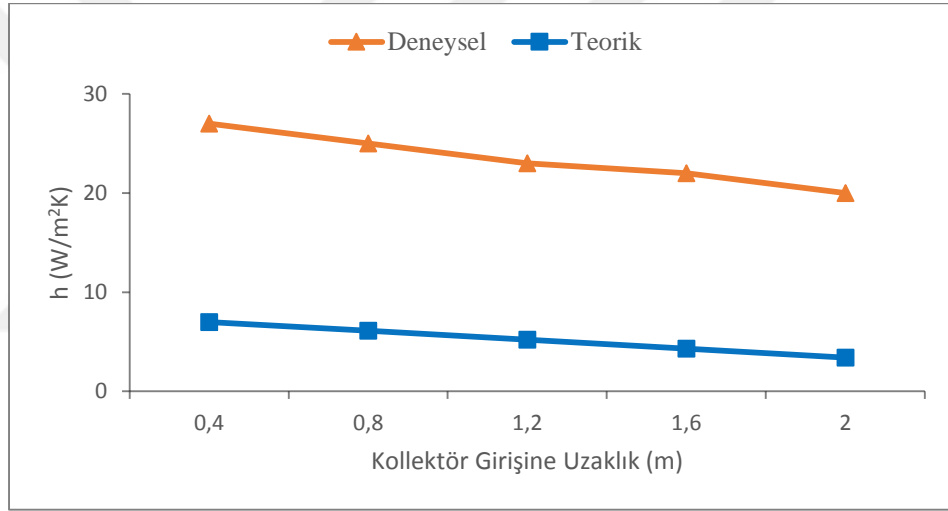
eşitliği uyarınca elde edilir. Deneysel taşınım katsayısı ise havanın deney sonucu almış olduğu hesaplanan gerçek ısı miktarının belirlenmesi ile elde edilir. Havanın kazandığı gerçek ısı miktarı;

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p (T_{\check{c}} - T_g) \quad (5.5)$$

eşitliği ile hesaplanır. Havanın kazandığı gerçek ısı miktarının tamamının taşınım ile gerçekleştiği kabulüyle;

$$\dot{m} C_p (T_{\check{c}} - T_g) = h_d A \Delta T_{\log} \quad (5.6)$$

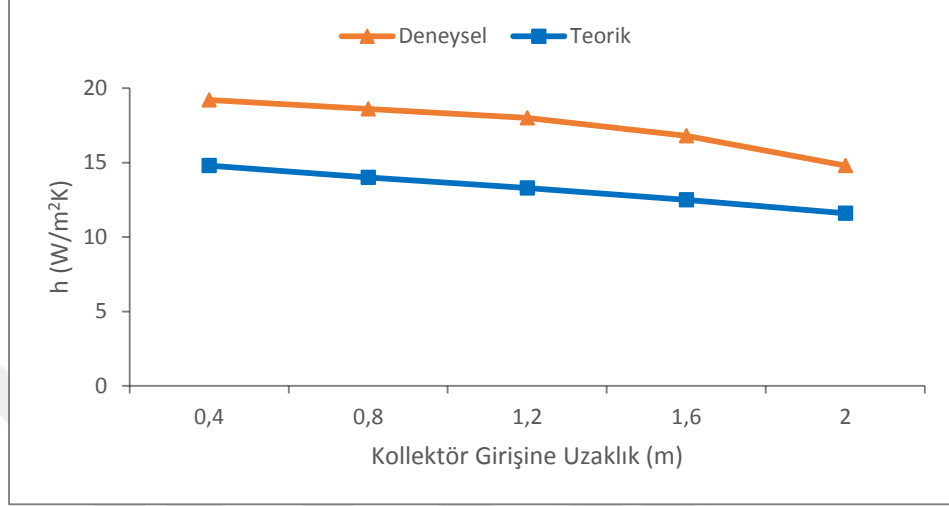
eşitliğinden deneysel taşınım katsayısı (h_d) değeri elde edilir.



Şekil 5.56. Düz plakalı kollektöre ait deneysel ve teorik taşınım katsayıları

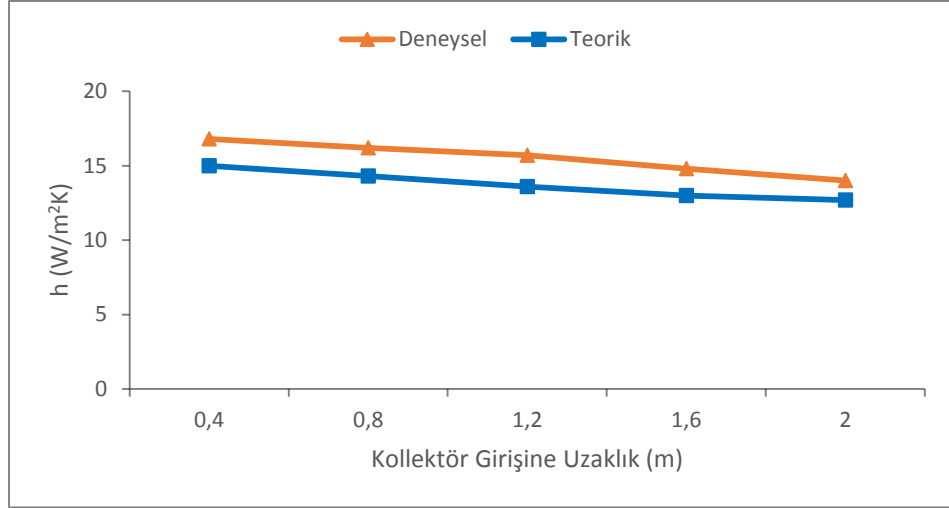
Düz plakalı kollektöre ait teorik ve deneysel taşınım katsayıları Şekil 5.56'da gösterilmiştir. Teorik taşınım katsayısı 3,6 ile 7 (W/m²K) değerleri arasında, deneysel taşınım katsayısı ise 20 ile 27 (W/m²K) değerleri arasında değişmektedir. Her iki taşınım katsayısının da doğrusal olmayan biçimde azaldığı görülmektedir. Deneysel taşınım katsayısının teorik taşınım katsayısından daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Deneysel taşınım katsayısı hesabı yapılırken (Denklem 5.6) kollektör içerisindeki havaya aktarılan ısı miktarının sadece taşınım yoluyla gerçekleştiği kabul edilmektedir. Öte yandan güneşin direkt olarak ışınlama ile havaya aktardığı, yine yutucu plaka ve camların ışınlama yoluyla havaya aktardığı ısı transferi miktarları Denklem 4.2'de belirtilen eşitlik uyarınca hesaplanmaktadır. Teorik

hesaplamalar sonucu belirlenen ışımla ısı transferi miktarları (h_r), çevresel faktörler sonucu hesaba katılmayan etkenler (çevredeki cisimlerden veya zeminden yansıyan güneş ışını vb.) teorik ve deneysel taşınım katsayısı arasındaki farkı meydana getirmektedir.



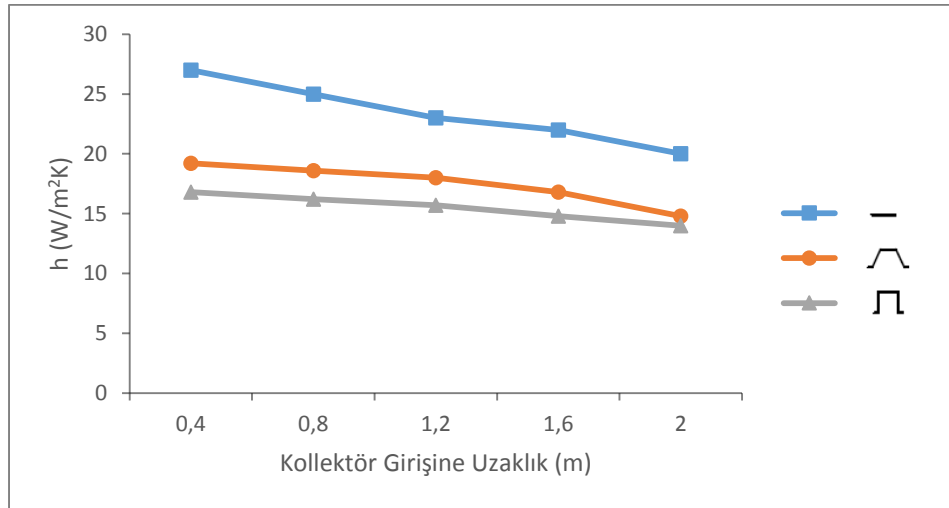
Şekil 5.57. Trapez plakalı kollektöre ait deneysel ve teorik taşınım şiddetleri

Trapez plakalı kollektöre ait teorik ve deneysel taşınım katsayıları Şekil 5.57’de gösterilmiştir. Teorik taşınım katsayısı 11,6 ile 14,8 (W/m^2K) değerleri arasında, deneysel taşınım katsayısı ise 14,8 ile 19,2 (W/m^2K) değerleri arasında değişmektedir. Her iki taşınım katsayısının da kollektör girişinden çıkışına doğru azalmakta olduğu grafikte görülmektedir. Şekil 5.56’da düz plakalı kollektördeki taşınım katsayıları ile kıyaslandığında teorik ve deneysel taşınım katsayıları arasındaki farkın daha az olduğu görülmektedir. Bu durumdan ışımla ısı transferi miktarının trapez plakalı kollektörde düz plakalıya göre daha az miktarda olduğu sonucu çıkarılmaktadır.



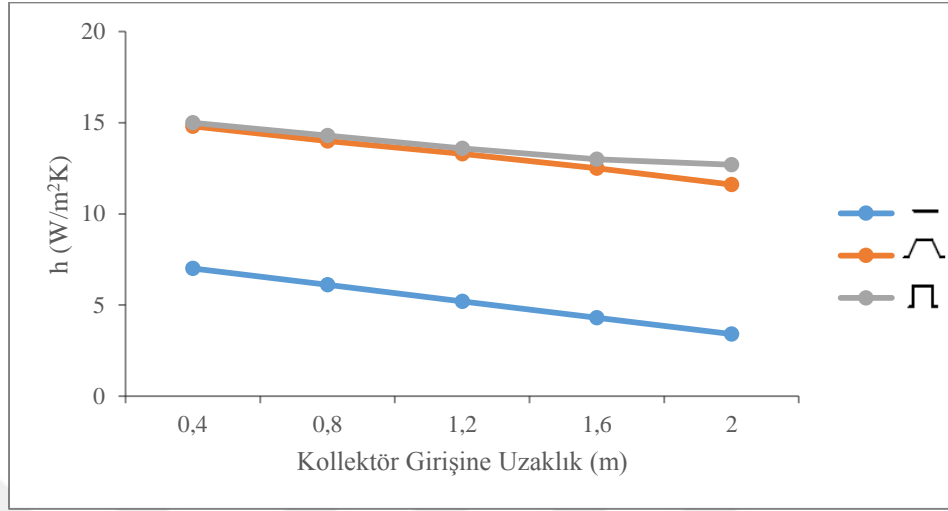
Şekil 5.58. Dikdörtgen plakalı kollektöre ait deneysel ve teorik taşınım şiddetleri

Dikdörtgen plakalı kollektöre ait teorik ve deneysel taşınım katsayıları Şekil 5.58’de gösterilmiştir. Teorik taşınım katsayısı 12,7 ile 15 (W/m²K) değerleri arasında, deneysel taşınım katsayısı ise 14 ile 16,8 (W/m²K) değerleri arasında değişmektedir. Şekil 5.58’de dikdörtgen plakalı kollektör için belirtilen sonuçlar, Şekil 5.56 ve Şekil 5.57’de yer alan düz plakalı ve trapez plakalı kollektörler için taşınım katsayılarının gösterildiği grafiklerdeki sonuçlarla kıyaslandığında, deneysel ve teorik taşınım katsayılarının birbirine en yakın değerlerde olduğu düzeneğin dikdörtgen plakalı kollektör olduğu görülmektedir.



Şekil 5.59. Deneysel taşınım katsayılarının üç farklı kollektör için değişimi

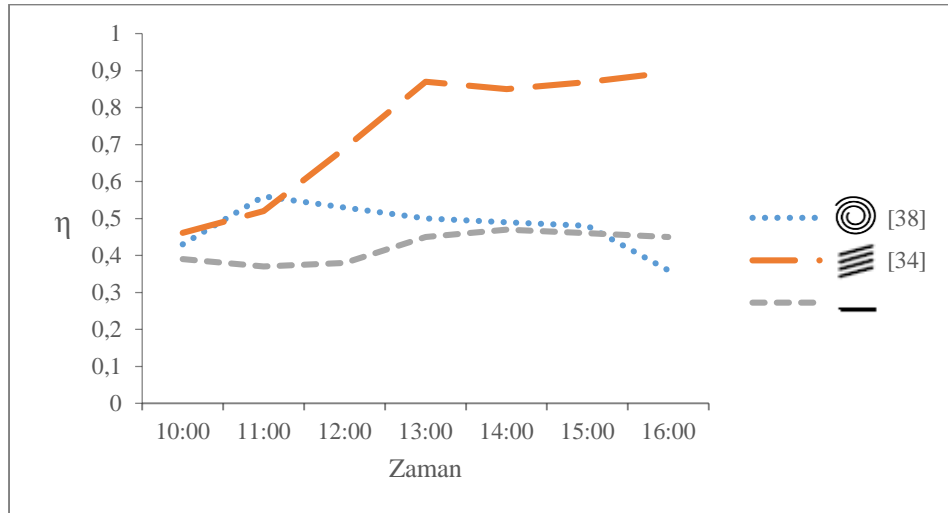
Şekil 5.59'da üç farklı kollektör için deneysel taşınım katsayılarının kıyaslanması gösterilmiştir.



Şekil 5.60. Teorik taşınım katsayılarının üç farklı kollektör için değişimi

Şekil 5.60'da üç farklı kollektör için teorik taşınım katsayılarının kıyaslanması gösterilmiştir.

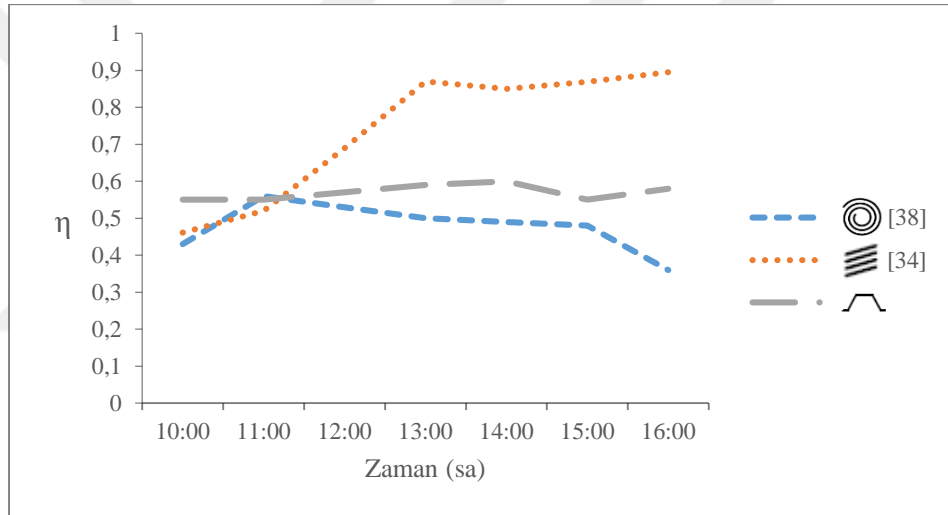
Deneysel için tasarlanan üç farklı kollektör, literatürde yer alan benzer çalışmalardan olan yakın hava debisi ve yüzey alanına sahip spiral kanallı hava kollektörü ile çalışmalar yapan Karakaya H.'nin [38] ve aynı hava hızına sahip yutucu plaka üzerine çapraz engeller yerleştirilerek çalışmalar yapan Kırbaş İ.'nin [34] deneysel çalışmaları ile verimlilik değerleri açısından karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.61. Düz plakalı kollektörün literatürdeki diğer kollektörlerle karşılaştırılması

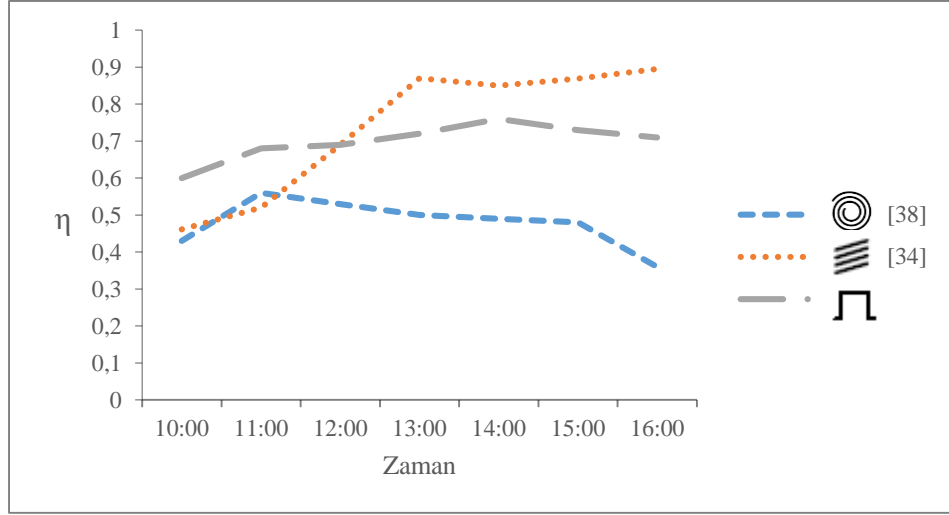
Şekil 5.61’de tasarlamış olduğumuz düz plakalı kollektörün gün boyunca saatlere göre değişen verim değerlerinin, spiral hava kanalı kullanan Karakaya H. [38] ve yutucu plaka üzerinde çapraz engeller kullanan Kırbaş İ.’in [34] deneysel çalışmaları sonucu elde ettiği verim değerleri ile karşılaştırılması gösterilmektedir.

Kırbaş İ.’nin tasarlamış olduğu yutucu plaka üzerine çapraz engellerin yerleştirildiği kollektörün [34] gün içerisindeki verim değerlerinin, bizim tasarladığımız düz plakalı kollektörün verim değerlerine oranla daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil.5.61.). Karakaya H. tarafından tasarlanan spiral kanallı kollektörün [38] verim değerlerinin tasarladığımız düz plakalı kollektörün verim değerlerine yakın ve yüksek olduğu görülmektedir (Şekil.5.61.).



Şekil 5.62. Trapez plakalı kollektörün literatürdeki diğer kollektörlerle karşılaştırılması

Şekil 5.62’de tasarlamış olduğumuz trapez plakalı kollektörün gün boyunca saatlere göre değişen verim değerlerinin, Karakaya H. [38] ve Kırbaş İ.’nin [34] deneysel çalışmaları sonucu elde ettiği verim değerleri ile karşılaştırılması gösterilmektedir.



Şekil 5.63. Dikdörtgen plakalı kollektörün literatürdeki diğer kollektörlerle karşılaştırılması

Şekil 5.63'te tasarladığımız dikdörtgen plakalı kollektörün gün boyunca saatlere göre değişen verim değerlerinin, Karakaya H. [38] ve Kırbas İ.'nin [34] deneysel çalışmaları sonucu elde ettiği verim değerleri ile karşılaştırılması gösterilmektedir.

5.1. Deneysel Hata Analizi

Deneysel çalışmalar daha gerçekçi ve kesin sonuçlar vermesi açısından, sayısal ve analitik çalışmalara oranla daha çok tercih edilmekte olan çalışma türleridir. Ancak deneysel çalışmalar süresince ölçülen parametrelerin ve elde edilen sonuçların doğruluk miktarlarının belirlenmesi, deneysel çalışmalar için önemli bir gerekliliktir. Bu nedenle deneysel hata analizlerinin yapılması ve ölçülen her parametre için hata miktarlarının belirlenmesi gerekmektedir.

Deneysel çalışmalar süresince yapılabilecek ölçüm hataları, ölçme aletlerinden veya deneyleri gerçekleştiren kişiler tarafından kaynaklanabilir. İnsanlar tarafından kaynaklanan hata miktarları deneylerin dikkat ve titizlikle yürütülmesi sonucu ihmal edilecek düzeye getirilebilir hatta ortadan kaldırılabilir ancak ölçme aletleri için bu durum söz konusu değildir, bu nedenle ölçme araçlarının hata değerlerinin kesinlikle dikkate alınması ve hesaplanması gerekmektedir. Ölçme araçlarının hata miktarları, üretici firmaların üretim ve deneme süreçleri sonunda gözlemleyerek sayısal değerlere dönüştürdükleri değerler sonucu belirlenmektedir.

Farklı bağımsız parametrelerin ölçüldüğü bir deney düzeneğinde, ölçülen parametrelerin hata değerleri sonucu ortaya çıkan toplam hata miktarı şu eşitlik ile ifade edilir;

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.7)$$

bu denklemde R, x_1, x_2, \dots, x_n bağımsız değişkenlerin fonksiyonlarıdır. W_1, W_2, \dots, W_n ise bağımsız değişkenlerin belirsizliğini ifade etmektedir.

Deneysel sıcaklık ölçümü için CEM 9981-E model K tipi ısı çifti, CEM DT 610B model dijital termometre kullanılmıştır. Hava hızı ölçümü için Kestrel 3000 model anemometre, ışınım şiddeti ölçümü için CEM DT 1307 model piranometre, zaman ölçümü için ise Geonate W100 model dijital saat kullanılmıştır.

Deney süresince ölçülen parametreler ve hata miktarları şu şekildedir;

- Sıcaklık Ölçümünde Yapılan Hatalar

Deney süresince ölçülen sıcaklık değerlerinde çeşitli noktalarda meydana gelen toplam hata miktarları, ölçme aletleri tarafından kaynaklanan hatalar sonucu şu şekilde ifade edilmiştir;

(a) Digital termometreden kaynaklanan hata ; $\pm 0,5$ °C

(b) Isıl çiftlerden kaynaklanan hata ; $\pm 0,1$ °C

(c) Sistem elemanlarından kaynaklanan hata ; $\pm 0,1$ °C

Ölçülen sıcaklıklar için toplam hata miktarı;

$$W_s = [(a)^2 + (b)^2 + (c)^2]^{1/2} \quad (5.8)$$

$$W_s = [(0,5)^2 + (0,1)^2 + (0,1)^2]^{1/2} \quad (5.9)$$

$$W_s = \pm 0,519 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (5.10)$$

- Hız Ölçümünde Yapılan Hatalar

Deney süresince ölçülen hız değerlerinde çeşitli noktalarda meydana gelen toplam hata miktarlar, ölçme aletleri tarafından kaynaklanan hatalar sonucu şu şekilde ifade edilmiştir;

(d) Anemometreden kaynaklanan hata ; $\pm 0,15$ m/s

(e) Debi kaçaklarında kaynaklanan hata ; $\pm 0,01$ m/s

$$W_H = [(d)^2 + (e)^2]^{1/2} \quad (5.11)$$

$$W_H = [(0,15)^2 + (0,01)^2]^{1/2} \quad (5.12)$$

$$W_H = 0,1503 \text{ (m/s)} \quad (5.13)$$

- Işınım Şiddeti Ölçümünde Yapılan Hatalar

Deney süresince ölçülen ışınım şiddeti değerlerinde çeşitli noktalarda meydana gelen toplam hata miktarlar, ölçme aletleri tarafından kaynaklanan hatalar sonucu şu şekilde ifade edilmiştir;

(f) Piranometreden kaynaklanan hata ; ± 10 W/m²

(g) Çevre koşullarından kaynaklanan hatalar ; ± 1 W/m²

$$W_I = [(f)^2 + (g)^2]^{1/2} \quad (5.14)$$

$$W_I = [(10)^2 + (1)^2]^{1/2} \quad (5.15)$$

$$W_I = 10,04 \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (5.16)$$

- Zaman Ölçümünde Yapılan Hatalar

(h) Dijital saatten kaynaklanan hata ; $\pm 0,016$ s

$$W_Z = [(h)^2]^{1/2} \quad (5.17)$$

$$W_Z = [(0,016)^2]^{1/2} \quad (5.18)$$

$$W_Z = 0,016 \text{ s} \quad (5.19)$$

Tablo.5.1. Deneylerde yapılan hataların toplam değerleri

Hata Oluşturan parametreler	Birim	Toplam hata
Sıcaklık ölçümündeki hata	°C	0,519
Hız ölçümündeki hata	m/s	0,1503
Işınım şiddeti ölçümündeki hata	W/m ²	10,04
Zaman ölçümündeki hata	s	0,016

5.2.Hata Miktarlarının Deney Sonuçlarına Etkileri

Debi için belirsizlik hesabı;

$$\dot{m} = \rho VA \quad (5.20)$$

$$W_{\dot{m}} = \left[\left(\frac{\partial \dot{m}}{\partial V} w_V \right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{m}}{\partial \rho} w_\rho \right)^2 \right]^{1/2} = 0,018 \quad (5.21)$$

Taşıma katsayısı için belirsizlik hesabı;

$$h = \frac{\dot{m} c_p \Delta T}{A \Delta T_{\log}} \quad (5.22)$$

$$W_h = \left[\left(\frac{\partial h}{\partial \dot{m}} w_{\dot{m}} \right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial \Delta T} w_{\Delta T} \right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial \Delta T_{\log}} w_{\Delta T_{\log}} \right)^2 \right]^{1/2} = 0,0639 \quad (5.23)$$

Reynolds sayısı için belirsizlik hesabı;

$$Re = \frac{\rho V D_H}{\mu} \quad (5.24)$$

$$W_{Re} = \left[\left(\frac{\partial Re}{\partial V} w_V \right)^2 + \left(\frac{\partial Re}{\partial \rho} w_\rho \right)^2 + \left(\frac{\partial Re}{\partial D_H} w_{D_H} \right)^2 + \left(\frac{\partial Re}{\partial \mu} w_\mu \right)^2 \right]^{1/2} = 0,0556 \quad (5.25)$$

Nusselt sayısı için belirsizlik hesabı;

$$Nu = 0,102 Re^{0,675} Pr^{(1/3)} \quad (5.26)$$

$$W_{Nu} = \left[\left(\frac{\partial Nu}{\partial Re} w_{Re} \right)^2 + \left(\frac{\partial Nu}{\partial Pr} w_{Pr} \right)^2 \right]^{1/2} = 0,0413 \quad (5.27)$$

Tablo.5.2. Hesaplanan parametreler için toplam belirsizlik değerleri (%)

\dot{m}	h	Re	Nu
$\pm 1,8$	$\pm 6,39$	$\pm 5,56$	$\pm 4,13$

6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada hava debisinin eşit tutulduğu, üç farklı geometride yutucu plakaya sahip havalı güneş kolektörlerinin ısı performanslarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Deneyle her kolektör tipi için, eşit koşullarda eş zamanlı olarak farklı günlerde gerçekleştirilmiştir.

Deneylede kolektör verimine çevre hava sıcaklığı (kolektör giriş sıcaklığı) ve ışınım şiddetinin doğrudan etki ettiği gözlemlenmiştir. Işınım şiddetinin artması ile kolektör giriş ve çıkış arasındaki sıcaklık farkının arttığı gözlemlenmiştir. Işınım şiddetinin maksimum değerlerine ulaştığı günün öğle saatlerinde kolektör verimlerinin de en yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Bir diğer faktör olan çevre sıcaklığının kolektör verimini doğru orantılı olarak etkilediği gözlemlenmiştir. Işınım şiddetinin aynı değerlerde ölçüldüğü farklı zaman dilimlerinde, çevre hava sıcaklığının yüksek olduğu durumlarda kolektör veriminin de daha yüksek olduğu görülmektedir.

Üç farklı kolektör tipi için performanslar kıyaslandığında ise deneyleler süresince ortalama verim değerleri, dikdörtgen plakalı kolektörde %50,2 , trapez plakalı kolektörde %43,1 ve düz plakalı kolektörde %27,6 olarak hesaplanmıştır. Aynı hava debisi ile çalıştırılan kolektörlerde verim değerlerinin farklılık göstermesinin sebepleri, havanın kolektör içerisinde temas ettiği yutucu plaka yüzey miktarının ve kolektör içerisindeki hava hızlarının yüzey geometrilerine bağlı olarak değişkenlik göstermesidir. Havanın temas ettiği yüzey alanı miktarı dikdörtgen plakalı kolektörde diğer kolektörlere oranla daha fazladır. Ayrıca kanal içerisindeki hava hızı (1,48 m/s) diğer kolektörlere oranla dikdörtgen plakalı kolektörde daha yüksektir. Hava hızının artması dolayısıyla akışkanın taşınım katsayısının da artması, ısı transferi miktarını artırmaktadır.

Deney sonuçları irdelendiğinde ışınım şiddetinin, çevre sıcaklığının, yutucu plaka geometrisinin ve kolektör içerisindeki hava hızının kolektör verimlerine etki ettiği anlaşılmaktadır. Bu bağlamda, tasarlanacak olan güneş-hava kolektörlerinin yutucu

plaka yüzey alanının geniş tutulması, havanın kollektör içerisindeki hızının artırılması, kollektörün üst, yan ve özellikle arka kısımlarında yalıtımların sağlıklı biçimde yapılması, kollektör malzemelerinin mekanik ve ısı özellikleri, ağırlığı ve maliyeti göz önünde bulundurularak seçilmesi kollektörün dayanıklılığı, kullanılabilirliği ve performansı açısından önem arz eden faktörlerdir.



KAYNAKLAR

- [1] Kelek N. Ü., Hava Isıtıcı Optimum Güneş Kollektörü Dizaynı, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 1996, 50883.
- [2] Kılıç A., Öztürk A., *Güneş Işınımı ve Düz Toplayıcılar*, 2. Baskı, Segem, Ankara, 1984.
- [3] İnallı M., Uçar A., Tanyıldızı V., Çift Geçişli Hava Isıtmalı Güneş Kollektörlerinde Yutucu Yüzey Konumunun Isıl Verime Etkisi, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2001, **13**(1), 421-426.
- [4] Binark K., Deliçay, Hava Isıtmalı Güneş Kollektörleri Dizaynı, *Isı Bilimi Tekniği 9.Ulusal Kongresi*, Elazığ, Türkiye, 20-22 Eylül 1993.
- [5] Akpınar E.K., Koçyiğit F., Experimental Investigation of Thermal Performance of Solar Air Heater Having Different Obstacles On Absorber Plates, *Int. Com. In Heat and Mass Transfer*, 2013, **37**, 416-421.
- [6] Esen H., Experimental Energy and Exergy Analysis of A Double-Flow Solar Air Heater Having Different Obstacles On Absorber Plates, *Building and Environment*, 2008, **43**, 1046-1054.
- [7] Parker B. F., Lindley M. R., Colliver D. G., Murphy W. E., Thermal Performance Of Three Solar Air Heaters, *Solar Energy*, 1998, **13**(7), 543-547.
- [8] Amari H. D., A Mathematical Model Of Thermal Performance of A Solar Air Heater with Slats, *Renewable Energy*, 2003, **28**, 1597-1615.
- [9] Ertekin C., Bilgili E., Güneş Enerjili Hava Isıtıcılarında Verim, *5. Ulusal Soğutma ve İklimlendirme Tekniği Kongresi*, Adana, Türkiye, 02-03 Nisan 1998.
- [10] Ameri M., Bahrehand D., Gholampour M., Energy and Exergy Analysis of Different Solar Air Collector Systems With Forced Convection, *Renewable Energy*, 2015, **83**, 1119-1130.
- [11] Chen G., Doroshenko A., Koltun P., Shestopalov., Comparative Field Experimental Investigations of Different Flat Plate Solar Collectors, *Solar Energy*, 2015, **115**, 577-588.
- [12] Ameri M., Bahrehand D., Energy and Exergy Analysis of Different Solar Air Collector Systems With Natural Convection, *Renewable Energy*, 2014, **74**, 357-368.

- [13] Amori K. E., Abd-Alraheem M. A., Field Study of Various Air Based Photovoltaik/Thermal Hybrid Solar Collectors, *Renewable Energy*, 2014, **63**, 402-414.
- [14] Paya-Marin M. A., Lim J. B. P, Chen J.F., Lawson R. M., Gupta B. S., Large Scale Test of A Novel Back-Pass Non-Perforated Unglazed Solar Air Collector, *Renewable Energy*, 2015, **83**, 871-880.
- [15] Ibrahim A., Othman M. Y., Ruslan M. H., Mat S., Sopian K., Recent Advances In Flat Plate Photovoltaik/Thermal (PV/T) Solar Collectors, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011, **15**, 352-365.
- [16] Özkaya M. G., Kırbaş İ., İncili V., Havalı Güneş Kollektörlerinin Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi, *Politeknik Dergisi*, 2007, **10**(3), 253-256.
- [17] Abuşka M., Akgül M. B., Trapez Yutucu Plakalı Güneş Enerjili Hava Kollektörünün Isıl Veriminin Deneysel Olarak İncelenmesi, *Politeknik Dergisi*, 2014, **17**(4), 177-181.
- [18] Sancar I., Bulut H., Mahal Isıtmasında Kullanılan Havalı Güneş Kollektörleri ve Adıyaman Şartlarında Performanslarının İncelenmesi, *Adıyaman Üniversitesi Bilim , Kültür ve Sanat Sempozyumu II*, Adıyaman, 02-03 Nisan 2015.
- [19] Karakaya H., Durmuş A., Farklı Tip Yüzey Geometrilerine Sahip Havalı Kollektörlerde Verim ve Ekserji Analizi, *Tesisat Mühendisliği*, 2011, **121**, 16-24.
- [20] Sugözü İ., Sarsılmaz C., Havalı Güneş Kollektörü ile İç Ortam Isıtılmasının Deneysel Olarak Araştırılması, *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Der.*, 2006, **18**(2), 257-265.
- [21] Abuşka M., Altıntaş V., Akgül M. B., The Modelling of Solar Air Collector with Thermal Efficiency Analysis and Artificial Neural Networks, *Rostocker Symposium on Thermophysical Properties for Technical Thermodynamics*, İzmir, 12-15 Haziran 2014.
- [22] Bayrak F., Oztop H. F., Experimental Analysis of Thermal Performance of Solar Air Collectors with Aluminum Foam Obstacles, *Journal of Thermal Science and Technology*, 2015, **35**(1), 11-20.
- [23] Bulut H., Durmaz A. F., Bir Havalı Güneş Kollektörünün Tasarımı, İmalatı ve Deneysel Analizi, *I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, Eskişehir, 21-23 Haziran 2006.
- [24] Keçebaş A., Gedik E., Öz E. S., Havalı Güneş Kollektörlerinde Farklı Tip Emici Plakaların Performansa Olan Etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2008, **23**(4), 777-784.

- [25] Duffie J. A., Beckman W. A., Solar Radiation, Wiley J., *Solar Energy Thermal Processes*, 4th ed., Wiley and Sons, New Jersey, 2013.
- [26] Derse M. S., Batman'ın İklim Koşullarında Eğimli Düzleme Gelen Güneş Işınımının Farklı Açılış Değerlerinde Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bingöl-Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman, 2014, 372614.
- [27] Yılmaz S., Karatutlu A., Kecec C., Design A PLC-Based Real Time Sun Tracking System, *International Journal of Scientific and Technological Research*, 2015, 1(5), 24-31.
- [28] <http://mgm.gov.tr/cocuklar/kitapmeteoroloji.aspx?s=gunesisinlari>, (Ziyaret Tarihi: 12 Şubat 2016).
- [29] <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/tgunes.htm>, (Ziyaret Tarihi: 12 Şubat 2016).
- [30] <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/gunes.aspx>, (Ziyaret Tarihi: 13 Şubat 2016).
- [31] <http://www.limitsizenerji.com/gunes-havuzlari/>, (Ziyaret Tarihi: 13 Şubat 2016).
- [32] <http://www.garioto.com/gunes-bacasi>, (Ziyaret Tarihi: 13 Şubat 2016).
- [33] <http://www.fizikportali.com/>, (Ziyaret Tarihi: 13 Şubat 2016).
- [34] Kırbaş İ., Havalı Güneş Kollektörlerinin Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006, 196743.
- [35] <http://www.limitsizenerji.com/parabolik-oluk-kollektorler/>, (Ziyaret Tarihi: 15 Şubat 2016).
- [36] http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx, (Ziyaret Tarihi: 15 Şubat 2016).
- [37] Bilgili M. E., Hava Isıtılmalı Güneş Kollektörlerinde Isıl Verimin Tahmini Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 1998, 78411.
- [38] Karakaya H., Değişik Yüzey Geometrilerine Sahip Havalı Güneş Kollektörlerinin Tasarlanması ve Isıl Performanslarının Deneysel Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2005, 169326.
- [39] Tırıs Ç., Tırıs M., Düzlemsel Güneş Kolektörlerinin Verimini Artıran Parametreler, *T.M.M.O. Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 1994, 26, 35-40.

- [40] Sancar İ., Adıyaman İklim Koşullarında Havalı Güneş Kollektörleri ile Mahal Isıtmasının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 2014, 405031.
- [41] <http://www.pathways.cu.edu.ec/ec/Text-PDF/Part%20B-9.pdf>, (Ziyaret Tarihi: 18 Nisan 2016).
- [42] Homan J. P., *Experimental Methods For Engineering*, 8th ed., McGraw-Hill, New York, 2012.



KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] Üçler K., Kibar A., **Karabağ B.**, Yiğit K. S., Mekan İçerisinde, Pencere Altında Bulunan Radyatörlerin Etrafına Yerleştirilen Engellerin Deneysel Olarak İncelenmesi, 3. *Anadolu Enerji Sempozyumu*, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, 1-3 Ekim 2015.



ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında Tokat'ta doğdu. İlköğretimini Tokat'ta, lise öğrenimini Sivas'ta tamamladı. 2008 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden 2012 yılında mezun oldu. 2013 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir. 2013 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

