

**İÇERİSİNDE GÖZENEKLİ ENGELLER BULUNAN
HAVA ISITMALI GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜNÜN
PERFORMANS ANALİZİ**

Fatih BAYRAK

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Hakan F. Öztop**

AĞUSTOS – 2011

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İÇERİSİNDE GÖZENEKLİ ENGELLER BULUNAN HAVA ISITMALI GÜNEŞ
KOLLEKTÖRÜNÜN PERFORMANS ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih BAYRAK

Enstitü No: 091119107

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19 Temmuz 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 03 Ağustos 2011

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hakan F. ÖZTOP (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Ebru KAVAK AKPINAR (F.Ü)

Doç. Dr. Hikmet ESEN (F.Ü)

AĞUSTOS - 2011

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, akademik bilgilerin yanında, maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen değerli hocalarım Doç. Dr. Hakan F. ÖZTOP'a, Prof. Dr. Yasin VAROL'a ve Yrd. Doç. Dr. Ahmet KOCA'ya, deney süresince beni yalnız bırakmayan manevi kardeşim Mert GÜRTÜRK'e, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (FÜBAP) yönetim birimi tarafından desteklenen TEKF.10.01 no'lu projemize katkıda bulunan FÜBAP çalışanlarına, kollektörün yapımında firmalarındaki ekipmanları hizmetimize sunan ÖZBAYLAR şirketine teşekkür ederim.

Fatih BAYRAK

ELAZIĞ - 2011

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	IX
SEMBOLLER LİSTESİ	X
KISALTMALAR.....	XII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Güneş Enerjisi.....	1
1.2. Güneş Enerjisinden Yararlanan Sistemler	2
1.3. Güneş Enerjisi Kullanımının Tarihsel Gelişimi	3
1.4. Türkiye'de Güneş Enerjisi Gelişiminin Tarihçesi.....	4
1.5. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli	4
1.6. Ülkemizde Güneş Enerjisi Uygulamaları.....	6
1.6.1. Güneş Mimarisi	6
1.6.2. Güneş Enerjisiyle Kurutma.....	7
1.6.3. Güneş Enerjili Sıcak Su Hazırlama Sistemleri.....	7
1.6.4. Fotovoltaik (PV) Sistemler	8
1.6.5. Güneş Enerjisi ile Soğutma ve İklimlendirme	8
1.7. Güneş Açılarları	8
1.7.1. Esas Güneş Açılarları.....	8
1.7.2. Türetilen Güneş Açılarları	9
1.8. Güneş Kollektörleri.....	9
1.8.1. Sabit (odaklanamayan) Kollektörler	10
1.8.2. Odaklanabilen Kollektörler.....	10
1.9. Havalı Isıtmalı Güneş Kollektörleri	11
1.9.1. Kollektör Örtüsü	14
1.9.2. Yutucu Plaka.....	17
1.9.3. Yutucu Yüzey Kaplama.....	19

1.9.3.1. Seçici Olmayan Kaplamalar	19
1.9.3.2. Seçici Kaplamalar.....	19
1.9.4. Kollektör Kasası ve Yalıtımı	21
1.10. Hava Isıtmalı Güneş Kollektörleri ile İlgili Literatür Araştırması	23
2. MATERYAL VE METOT	27
2.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler	28
2.1.1. Kollektör.....	28
2.1.2. Radyal Fan	30
2.1.3. Hız Kontrol Cihazı	30
2.1.4. Anemometre.....	31
2.1.5. Isıl Çiftler (thermocouples).....	32
2.1.6. Dijital Ölçü Aleti.....	33
2.1.7. Veri Derleyici	34
2.1.8. Piranometre (Pyranometre)	35
2.1.9. Gözenekli Malzeme	36
2.1.9.1. Açık Hücreli Metalik Köpükler	36
2.1.9.2. Kapalı Hücreli Metalik Köpükler.....	37
2.2. Deneyin Yapılışı.....	42
2.3. Enerji ve Ekserji Analizi.....	46
2.3.1. Enerji Analizi.....	47
2.3.2. Ekserji Analizi	48
2.4. Hata Analizi	50
3. BULGULAR	54
4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	70
5. ÖNERİLER.....	71
KAYNAKLAR.....	72
ÖZGEÇMİŞ.....	76

ÖZET

Hava ısıtmalı güneş kollektörleri, kurutma ve ortam ısıtmasında yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Araştırmacılar, bu kollektörlerin emici yüzeylerinde ısı transferini arttırmaya yönelik farklı tasarımlar yaparak, kollektörlerin ısı performanslarını arttırmaya çalışmışlardır. Bu çalışmada da, 5 farklı tipteki hava ısıtmalı güneş kollektörlerinin ısı performans analizleri incelenmiştir.

Bu kollektörlerin emici yüzeyine, kalınlıkları 6 ve 10 mm, yüzey alanları 50 cm² olan, kapalı hücreli alüminyum köpükler yerleştirilmiştir. Alüminyum köpükler, plaka üzerine, şaşırtmalı ve şaşırtmasız olarak yerleştirilmiş ve ayrıca düz kolektör için de deneyler aynı şartlarda yapılmıştır. Deneyler, Haziran ve Temmuz aylarında, 0.016 kg/s ve 0.025 kg/s olmak üzere iki farklı hava debisinde yapılmıştır.

Termodinamiğin I. ve II. Kanunlarına göre analizler yapılmış ve enerji ve ekserji verimleri elde edilmiştir. Toplam olarak, 16 farklı parametrenin incelenmesi sonucunda, 6 mm şaşırtmalı kollektörün tüm debi değerlerinde en yüksek verime sahip olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar, literatür sonuçları ile karşılaştırılmış ve elde edilen enerji ve ekserji verimlerinin oldukça iyi olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Havalı güneş kollektörleri, güneş enerjisi, kollektör, gözenekli malzeme.

SUMMARY

Performance Analysis of Solar Air Heater with porous Obstacles

Solar air collectors have been used for drying process and space heating. The researchers made different designs on absorbing surface of these collectors to enhance the heat transfer. In this study, thermal performance analysis has been performed for five different types of solar air collectors.

Closed-cell aluminum foams with 6 and 10 mm thicknesses and 50 cm² surface area is placed on absorber plate increase heat transfer. Aluminum foams are placed on plate as staggered and non-staggered manner and experiments were done for flat collector in same conditions. Experiments are performed for June and July at different flowrates as 0.016 kg/s and 0.025 kg/s.

Analysis was performed according to first and second law of thermodynamics and energy and exergy efficiencies are obtained. Totally, 16 parameters were tested. It is found that the collector designed by 6 mm staggered aluminum foam gives best result for all flow rates. Results are compared with literature and good results are obtained for energy and exergy efficiencies.

Keywords: Solar air collectors, solar energy, collector, porous material.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Güneş enerjisinden faydalanma şekilleri [2].	2
Şekil 1.2. Güneş kollektörlerinin sınıflandırılması.....	10
Şekil 1.3. Havalı güneş kollektörünün şematik görünüşü [11].....	13
Şekil 1.4. Cam örtü geçirgenliği ile kollektör veriminin değişimi [14].	15
Şekil 1.5. Havalı kollektörlerin yutucu yüzey şekilleri [2].....	17
Şekil 1.6. (a) Saf (içsel) soğurucular, (b) Yarı iletken-metal ikilileri, (c) Çok katmanlı soğurucular, (d) Metal-dielektrik kompozit, (e) Yüzey dokulandırma, (f) Solar iletimlikaplama/karacisim benzeri soğurucu [18].	20
Şekil 1.7. Havalı güneş kollektörü tasarımında seçilmesi gereken parametreler [20].	22
Şekil 1.8. Kanatçıklardaki oluk açıları (a) 0°, (b) 12°, (c) 18°, (d) 30° [34].	26
Şekil 1.9. Güneş kollektörü içerisindeki sıcaklık dağılımları [35].	26
Şekil 2.1. Elazığ ilinin aylara göre (a) güneşlenme süresi değerleri, (b) global radyasyon değerleri [37].	27
Şekil 2.2. Kollektörün yalıtım aşaması.....	28
Şekil 2.3. Kollektörün yalıtım işleminden sonraki imalat aşaması	29
Şekil 2.4. Difüzörlerin imalat aşaması	29
Şekil 2.5. Radyal fanın aynı açıdan (a) katı modellemesi, (b) fotoğrafı.....	30
Şekil 2.6. Hız kontrol cihazının üstten görünüşü [38].	31
Şekil 2.7. Deneyde kullanılan anemometrenin önden görünüşü [39].....	32
Şekil 2.8. Isıl çift (bakır ve kostantan) uçlarının lehimlenmiş görünümü	33
Şekil 2.9. VC 97 Dijital Multimetre (ölçü aleti) [41].	34
Şekil 2.10. Veri derleyicinin önden görünüşü [42].	34
Şekil 2.11. Isıl çiftlerin veri derleyici kartına bağlantısı	35
Şekil 2.12. Pyranometrenin tam kesit önden görünüşü (a) sensör, (b-c) koruyucu cam, (d) plastik muhafaza, (e) kablo, (f) dengeleyici sehpa, (g) bağlantı uçları, (h) nem sensörü.....	36
Şekil 2.13. Açık hücreli alüminyum köpük [43].	37
Şekil 2.14. Açık hücreli alüminyum köpüğün hücre ve gözenek yapıları.....	37

Şekil 2.15. Kapalı hücreli alüminyum köpük [43].	38
Şekil 2.16. Alüminyum köpüklerin emici yüzey üzerine sıralanışının teknik resim görünüşleri (a) sıralı ve şaşırtmalı dizilimlerin yandan görünüşü, (b) şaşırtmalı dizilimin üstten görünüşü, (c) sıralı dizilimin üstten görünüşü	40
Şekil 2.17. Gözenekli alüminyum köpüklerin emici yüzey üzerine (a) sıralı (b) şaşırtmalı dizilimleri.....	41
Şekil 2.18. Sistemin önden görünüşü	43
Şekil 2.19. Sistemin yandan görünüşü	43
Şekil 2.20. Sistemin arkadan görünüşü	44
Şekil 2.21. Deney setinin şematik gösterimi ve kullanılan elemanlar. (a) ısınım probu (pyranometer), (b) havalı kollektörler, (c) veri derleyici (data logger), (d) bilgisayar, (e) radyal fanlar, (f) hız kontrol cihazları, (g) ısı çiftler (thermocouples)	45
Şekil 3.1. 6 mm sıralı ile düz kollektörün farklı debilerdeki enerji ve ekserji grafikleri	55
Şekil 3.2. 10 mm sıralı ile düz kollektörün farklı debilerdeki enerji ve ekserji grafikleri	56
Şekil 3.3. 6 mm şaşırtmalı ile düz kollektörün enerji ve ekserji grafikleri.....	57
Şekil 3.4. 10 mm şaşırtmalı ile düz kollektörün enerji ve ekserji grafikleri.....	57
Şekil 3.5. 6 ve 10 mm şaşırtmalı kollektörlerin enerji ve ekserji grafikleri	58
Şekil 3.6. 6 ve 10 mm sıralı kollektörlerin farklı debilerdeki enerji ve ekserji grafikleri	59
Şekil 3.7. 6 mm sıralı ve şaşırtmalı kollektörlerin farklı debilerdeki enerji ve ekserji grafikleri	60
Şekil 3.8. 10 mm sıralı ve şaşırtmalı kollektörlerin farklı debilerdeki enerji ve ekserji grafikleri	61
Şekil 3.9. 6 mm sıralı ile düz kollektörlerin yerel saate göre ısınım-sıcaklık grafikleri ..	63
Şekil 3.10. 10 mm sıralı ile düz kollektörlerin yerel saate göre ısınım-sıcaklık grafikleri	63
Şekil 3.11. 6 mm şaşırtmalı ile düz kollektörlerin yerel saate göre ısınım-sıcaklık grafikleri	64
Şekil 3.12. 10 mm şaşırtmalı ile düz kollektörlerin yerel saate göre ısınım-sıcaklık grafikleri	64
Şekil 3.13. 6 ve 10 mm şaşırtmalı kollektörlerin yerel saate göre ısınım-sıcaklık grafikleri	65

Şekil 3.14. 6 ve 10 mm sıralı kollektörlerin yerel saate göre ışıınım-sıcaklık grafikleri	66
Şekil 3.15. 6 mm sıralı ve şaşırtmalı kollektörlerin yerel saate göre ışıınım-sıcaklık grafikleri	67
Şekil 3.16. 10 mm sıralı ve şaşırtmalı kollektörlerin yerel saate göre ışıınım-sıcaklık grafikleri	68
Şekil 3.17. Literatürdeki bazı çalışmaların (a) enerji, (b) ekserji değerleri.....	69

TABLolar LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli [4].	5
Tablo 1.2. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [4].	6
Tablo 1.3. Havalı güneş kolektörlerinin avantaj ve dezavantajları [8].	12
Tablo 1.4. Elektromanyetik radyasyonun spektral özellikleri [13].	14
Tablo 1.5. Çeşitli örtü malzemelerinin özellikleri [13].	16
Tablo 1.6. Saydam örtü olarak kullanılan bazı malzemelerin test değerleri [15].	16
Tablo 1.7. Bazı yüzeylerin güneş ışıınımını yutma ve uzun dalga boylu ışıınımları yansıtma oranları [2].	18
Tablo 1.8. Yalıtım malzemelerinin özellikleri [19].	21
Tablo 2.1. Anemometrenin teknik özellikleri.	31
Tablo 2.2. Dijital ölçü aletinin teknik özellikleri [41].	33
Tablo 2.3. 10 mm kalınlığındaki alüminyum köpüğün test sonuçları [44].	38
Tablo 2.4. Çevre sıcaklığına göre ısı iletim katsayısının değışimi [44].	39
Tablo 2.5. Deneylerde kullanılan parametreler	42
Tablo 2.6. Sıcaklık ölçümünden kaynaklanan hatalar	51
Tablo 2.7. Zaman ölçümünden kaynaklanan hatalar	52
Tablo 2.8. Hız ölçümünden kaynaklanan hatalar	52
Tablo 2.9. Diğer hatalar	52
Tablo 2.10. Deneyler sırasında meydana gelen toplam hata miktarları	53

SEMBOLLER LİSTESİ

A	: Kesit alanı (m^2)
A_c	: Kollektör yüzey alanı (m^2)
C_p	: Akan akışkanın özgül ısısı ($J/kg^\circ C$)
h	: Entalpi (J/kg)
$\dot{m}$	: Kütleli debi (kg/s)
I	: Güneş ışınlamı şiddeti (W/m^2)
P	: Basınç (N/m^2)
R	: Evrensel gaz sabiti ($J/kg^\circ C$)
s	: Entropi ($J/kg^\circ C$)
T	: Sıcaklık ($^\circ C$)
V	: Akışkan hızı (m/s)
W	: Belirsizlik
$\dot{Q}_c$	: Yararlı ısı (W)
$\dot{Q}_y$	: Kollektör yüzeyi tarafından emilen güneş enerjisi (W)
$\dot{S}$	: Entropi üretimi ($W/kg^\circ C$)
$\dot{E}_{giriş}$	: Giren enerji (W)
$\dot{E}_{çıkış}$	: Çıkan enerji (W)
$\dot{E}x_{giriş}$	: Ekserji girişi (W)
$\dot{E}x_{çıkış}$	: Ekserji çıkışı (W)
$\dot{E}x_{kayıp}$	: Ekserji kaybı (W)
$\dot{E}x_D$	: Boyutsuz ekserji kaybı (-)
ρ	: Akışkanın yoğunluğu (kg/m^3)
α	: Yutma oranı (-)
τ	: Geçirgenlik (-)
ε	: Yansıtma katsayısı (-)
η	: Enerji verimi (-)
η_{II}	: Ekserji verimi (-)
ψ	: Özgül ekserji (J/kg)

Alt indisler

<i>ç</i>	: Çıkış
<i>e</i>	: Çevre
<i>g</i>	: Giriş
<i>h</i>	: Hava
<i>ort</i>	: Ortalama
<i>th</i>	: Toplam hata
<i>x</i>	: Değişken
<i>y</i>	: Yüzey

KISALTMALAR

DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
MBEAE	: Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü
ODTÜ	: Orta Doğu Teknik Üniversitesi
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
AR-GE	: Araştırma ve Geliştirme
Srl	: Sıralı
Şrt	: Şaşırtmalı

1. GİRİŞ

1.1. Güneş Enerjisi

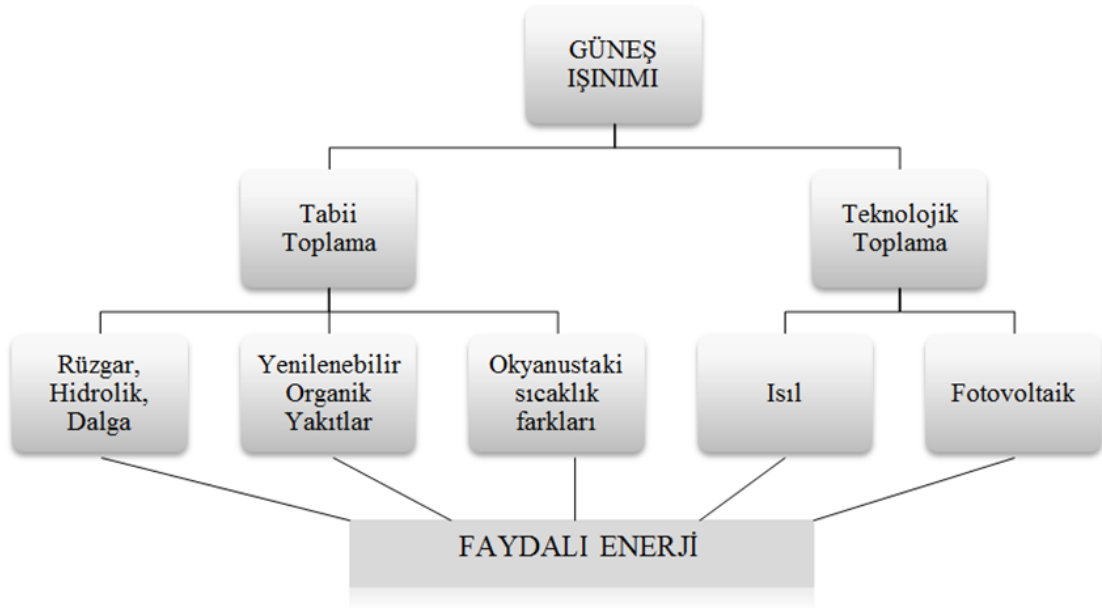
Birincil ve yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlisi olan güneş, gerçekte dünyamızın temel enerji kaynağıdır. Dünyamızın aydınlatılması ve ısıtılmasının yanında, canlıların yaşamasını ve büyümesini, ayrıca bazı enerji kaynaklarının oluşmasını sağlar. Birincil enerji olarak atmosferi geçip bir yılda yeryüzüne ulaşan güneş enerjisi miktarı (8.9×10^{13} TET/yıl) (1 ton taş kömürü eşdeğeri) küçümsenmeyecek kadar büyük bir değerdir [1].

Güneş, içinde sürekli olarak hidrojenin helyuma dönüştüğü füzyon reaksiyonları gerçekleşmektedir ve oluşan kütle farkı, ısı enerjisine dönüşerek uzaya yayılmaktadır. Güneşten yeryüzüne gelen enerjinin yaklaşık % 30'u yansıma ve saçılmalarla uzaya geri gider, yaklaşık % 20'si de atmosferde soğurulmaktadır. Dünya'ya gelen güneş enerjisi, insanoğlunun kullandığı tüm enerjinin 15-16 bin katı dolayındadır. Bu durumda, dünya yüzeyinde bu enerjiyi olabildiğince verimli ve etkin kullanmanın yollarının araştırılması gerekmektedir [2].

Güneş enerjisi yenilenebilir bir enerji kaynağı oluşunun yanında, insanlık için önemli bir sorun olan fosil bazlı enerji kaynaklarının çevreye verdiği zararı bünyesinde bulundurmaması, yerel olarak uygulanabilmesi ve karmaşık bir teknoloji gerektirmemesi gibi üstünlükleri sebebiyle son yıllarda üzerinde yoğun çalışmaların yapıldığı bir konu olmuştur.

1.2. Güneş Enerjisinden Yararlanan Sistemler

Hemen hemen bütün enerji kaynakları güneş ışınımının maddeler üzerindeki fiziksel ve kimyasal tesirinden meydana gelmektedir. Hidrolik enerji, rüzgar enerjisi, dalga enerjisi v.b. güneş ışınımından dolayı olarak oluşan enerjilerdir. Güneş enerjisinden faydalı enerjiye ulaşma yöntemleri Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Güneş enerjisinden faydalanma şekilleri [2].

Güneş enerjisinin kullanım alanları şu şekilde sıralanabilir;

- Sıcak su temini,
- Binaların ısıtılması,
- Soğutma,
- Kurutma,
- Güneş fırınları,
- Elektrik üretimi,
- Deniz suyunun arıtılması ve tuz üretimi,
- Sanayide buhar üretimi,
- Tarım.

Güneş enerjisinin diğer enerji türlerine göre çok sayıda üstünlüğü bulunmaktadır. Bunlar;

- Bol ve tükenmeyen tek enerji kaynağıdır.
- Temiz enerji türüdür, çevreyi kirletici duman, gaz, karbonmonoksit, kükürt ve radyasyon gibi atıkları yoktur.
- Birçok uygulaması için karmaşık bir teknolojiye gerek duyulmamaktadır.
- İşletme masrafları çok düşüktür.

Güneş enerjisinin yukarıda belirtilen üstünlüklerine rağmen günümüzde uygulamalarının az oluşunun sebepleri vardır,

- Birim yüzeye gelen güneş ışıınımı az olduğundan büyük yüzeylere gerek duyulmaktadır.
- Güneş ışıınımı sürekli olmadığından depolama gerekmektedir.
- Enerji ihtiyacının fazla olduğu kış aylarında güneş ışıınımı az ve geceleri de hiç yoktur.

1.3. Güneş Enerjisi Kullanımının Tarihsel Gelişimi

Güneş enerjisinden istifade edebilmek için insanların yaptığı çalışmalar çok eski tarihlere dayanmaktadır. Kaynaklara göre ilk defa Sokrat (M.Ö. 400) evlerin güney yönüne fazla pencere konularak güneş ışıınımının içeri alınmasını belirtmiştir. Arşimet (M.Ö. 250) iç bükey aynalarla güneş ışıınımını odaklayarak Sirakuza'yı kuşatan gemileri yakmıştır. Çalışmalar 1600'lü yıllarda Galile'nin merceği bulmasıyla gelişme göstermiştir. İlk olarak 1725 yılında Belidor tarafından güneş enerjisi ile çalışan bir su pompası geliştirilmiştir. Fransız bilim adamı Mohuchok 1860'da parabolik aynalar yardımı ile güneş ışıınımını odaklayarak küçük bir buhar makinesi üzerinde çalışmış, güneş pompaları ve güneş ocakları üzerinde deney yapmıştır. Birinci dünya savaşı esnasında petrolün önem kazanması ile güneş enerjisine yönelik çalışmalar azalmıştır. 1930 yılından itibaren ilgili çalışmalar artmışsa da fazla uygulama alanı bulamamıştır, çalışmalar araştırma kurumlarının dışına çıkmamıştır. Ancak 1960'lı yıllardaki petrol krizinin ortaya çıkması insanları alternatif enerji kaynakları konusunda çalışma yapmaya itmiştir [3].

1.4. Türkiye'de Güneş Enerjisi Gelişiminin Tarihçesi

Ülkemizde 1960'ların başlarında güneş enerjisi ilk defa alternatif enerji kaynağı olarak anlaşılmış ve bazı yatırımcılar ve üniversitelerde verilen tezler ile bu konu da çalışmalar başlamıştır. 1970'lerin ortalarında, dünyadaki güneş enerjisi teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak, ülkemizde de bilhassa güneş enerjisinin ısı uygulamaları konusu üniversiteler, devlet ve endüstri açısından önem kazanmış ve güneş enerjisi çalışmaları bu tarihten itibaren artan bir hızla gelişmiştir. Güneş enerjisi konusundaki ilk ulusal kongre 1975 yılında İzmir'de gerçekleştirilmiştir. Yine ilk pasif güneş enerjisi uygulaması Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) bünyesinde 1975 yılında tesis edilmiştir. Güneş enerjisi konusundaki çalışmalar ağırlıklı olarak ODTÜ, İTÜ, Yıldız ve Ege Üniversiteleri tarafından yaygın olarak yürütülmekle beraber, Türkiye'deki tek Güneş Enerjisi Enstitüsü Ege Üniversitesi bünyesinde 1978 yılında kurulmuş ve o günden itibaren faaliyet göstermektedir. 1980'lerin sonunda bu konudaki çalışmaları devlet destekli TÜBİTAK bünyesindeki Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü (MBEAE) yürütmektedir. MBEAE, güneş enerjisi düşük sıcaklık uygulamaları ve Türk endüstrisinin ısı enerji ihtiyacının modellenmesi konusundaki projeleri 1977-1985 yılları arasında ağırlıklı olarak desteklemiştir. Yine TÜBİTAK bünyesinde 1986 yılında kurulan Ankara Elektronik Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü güneş pillerinin tasarımı ve üretimi konusundaki çalışmaları desteklemektedir [3].

1.5. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışıyım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7.2 saat), ortalama toplam ışıyım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3.6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir [4].

Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri ise Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli [4].

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -gün)	Güneşlenme Süresi (saat/gün)
Ocak	51.75	103.0
Şubat	63.27	115.0
Mart	96.65	165.0
Nisan	122.23	197.0
Mayıs	153.86	273.0
Haziran	168.75	325.0
Temmuz	175.38	365.0
Ağustos	158.40	343.0
Eylül	123.28	280.0
Ekim	89.90	214.0
Kasım	60.82	157.0
Aralık	46.87	103.0
Toplam	1311	2640
Ortalama	3.6 kWh/m ² -gün	7.2 saat/gün

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı da Tablo 1.2' de verilmiştir. Ancak, bu değerlerin, Türkiye'nin gerçek potansiyelinden daha az olduğu daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır. 1992 yılından bu yana EİE ve DMİ, güneş enerjisi değerlerinin daha sağlıklı olarak ölçülmesi amacıyla güneş enerjisi ölçümleri almaktadırlar. Devam etmekte olan ölçüm çalışmalarının sonucunda, Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin eski değerlerden % 20-25 daha fazla çıkması beklenmektedir [4].

Tablo 1.2. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [4].

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/M²-Yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/Yıl)
Güney Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

1.6. Ülkemizde Güneş Enerjisi Uygulamaları

1.6.1. Güneş Mimarisi

Mevcut binalarda enerji tüketimi oldukça yüksektir. Enerjiye olan bağımlılığın artmasıyla bu alanda yeni kararların alınmasına ve yenilenen teknolojiler ile birlikte yeni çalışmaları getirmiştir. Bina fonksiyonlarının yeniden düzenlenmesi, ısıtma ve havalandırma sistemlerinin değiştirilmesi, bina cephelerinin onarılması, güneş enerjisi teknolojilerinin uygulanmasında önemlidir. Havalı kollektörlerin kullanımı, iyi tasarlanmış çatı ve pencereler, ilave yalıtım gibi uygulamalar ile mevcut binalarda güneş enerjisi katkısı arttırılabilir.

Güneş mimarisine uygun tasarımlarda bina ısıtılmasında aktif ve pasif ısıtma teknikleri uygulanmaktadır. Aktif sistemlerde ısının yani güneş enerjisinin toplanması ve ısıtılacak hacimlere iletilmesi mekanik elemanlar yardımıyla gerçekleştirilir. Güneş enerjisi toplayıcı devresindeki çalışma akışkanı yardımıyla ısı, depolama ünitesine ve ısıtılacak ortama aktarılır. Çalışma akışkanı olarak kullanılan su veya havanın sistemde dolaşımı pompa, fan gibi cihazlar yardımıyla sağlanır. Pasif ısıtma sisteminde ise güneş enerjisinin toplanması ve ısıtılacak ortama iletilmesinde mekanik elemanlar gerekli değildir. Bu sistemde güneş

enerjisinin toplanması için binanın güney cephesinde yeterli büyüklükte geçirgen yüzey ve ısınin absorbsiyonu, depolanması ve dağıtımı için de ısıl kütle kullanılır. Temel prensipleri verilen pasif ısıtma sistemlerini direkt kazanç, indirekt kazanç ve ayrılmış kazanç olmak üzere üç grupta incelemek mümkündür. Direkt kazanç yönteminde güneş enerjisi binamızın güney cephesine yerleştirilmiş cam alandan yaşam hacmine gelir. Güney penceresi güneşin izlediği mevsimsel yörünge nedeniyle kışın maksimum güneş enerjisi girişini, yazın ise minimum güneş enerjisi geçişini sağlar. Burada yaşam hacmi toplayıcı işlevini yerine getirir. Gelen güneş enerjisinin bir kısmı hacmin ısıtılmasında kullanılırken, kalanı da hacmi oluşturan elemanlar tarafından absorbe edilir [1].

1.6.2. Güneş Enerjisiyle Kurutma

Güneş enerjisiyle kurutma sistemleri, tarım alanındaki uygulamalardır. Her çeşit meyve ve sebzenin doğal yollarla kurutulması sırasında toz, kuş, böcek gibi canlılar tarafından kirletilmesi temizlik sorununu gündeme getirir. Bu hijyenik sorun ülkelerin ihracatları sırasında bir sıkıntı oluşturur. Güneş enerjisi yardımıyla kapalı hacimlerde gerçekleştirilen kurutma işlemleri daha steril ortamlarda sağlanmış olur ve renk kalitesinde bozulma en aza indirgenir. Güneş enerjisi ile ilgili kurutma sistemleri dünya da ve Türkiye’de belirli bir seviyeye gelmiştir. Türkiye’deki üniversitelerde son zamanlarda yapılan yüksek lisans ve doktora çalışmaları buna bir örnektir.

1.6.3. Güneş Enerjili Sıcak Su Hazırlama Sistemleri

Güneşli su ısıtma sistemleri bulunduğu iklimin özellikleri ve çalışma şartlarına göre değişik tip, şekil ve büyüklüklerde tasarlanabilirler. Konutlarda sıcak su hazırlama genellikle tabii sirkülasyonlu sistemlerin iki çeşidi olan direkt ve indirekt sistemler kullanılır. Yapılan ölçümlere göre, ülkemizin % 63 ’ünde 10 ay, % 17’sinde 1 yıl boyunca güneş enerjisinden yararlanmak mümkündür. Özellikle güney bölgelerimizde, su ısıtmak amacıyla kullanılan güneş kolektörleri gün geçtikçe artmaktadır [5].

1.6.4. Fotovoltaik (PV) Sistemler

Güneş pilleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. Güneş pili modülleri uygulamaya bağlı olarak, akümülatörler, invertörler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş pili sistemi (fotovoltaik sistem) oluştururlar. Üniversitelerin dışında özel firmalarda bu alanda AR-GE bölümlerini oluşturmuş ve bu konu ile ilgili çeşitli çalışmalar yapmaktadırlar. Yapılan çalışmalardan bazıları; konut ve çevre aydınlatılması, sulama sistemleri, güneş enerjili (PV) arabalar vd.

1.6.5. Güneş Enerjisi ile Soğutma ve İklimlendirme

Gıda maddelerinin ve tıbbi ürünlerin yaz aylarında bozulmadan saklanabilmesi için soğuk ortamlar gerekmektedir. Soğutucuların elektrik tüketimini arttırdığını göz önünde tutarsak güneş enerjili soğutma sistemleri bu tüketimi azaltarak ülke enerjisine katkı sağlar.

1.7. Güneş Açıları

Güneş, sürekli enerji kaynağı gibi gözükse de mevsimsel ve jeopolitik durumlar, ışığın gelme açısı gibi öncelikli parametreler (etkenler) bu enerjiyi yer yer azaltmakta yada arttırmaktadır. Güneş enerjisinden daha iyi bir şekilde faydalanmak için güneş ışıının özelliklerinin, belirli bir yerdeki ve zamandaki miktarının belirlenmesi, bu istatistiklere göre de güneş sistemlerinin kurulması gerekmektedir. Dünya üzerindeki ekvator çizgisi referans alınarak güneş açılarının tespiti yapılmaktadır. Bilinmesi gereken güneş açıları aşağıdaki gibidir.

1.7.1. Esas Güneş Açıları

Dünya üzerindeki herhangi bir N noktasının güneşe göre konumu noktanın enlem açısına, saat açısına ve deklinasyon açısına bağlıdır. Bu açılar bilinirse o noktanın Dünya üzerindeki yeri tayin edilebilir.

Belirlenen noktayı Dünya merkezi ile birleştiren doğrunun ekvator çizgisine yaptığı açıya enlem açısı denir. Ekvatorun kuzeyine (+) simgesi ile güneye ise (-) simgesi ile ölçülür. Bu ölçüm kuzey kutbu için (+90°), güney kutbu için (-90°) olur.

Belirli bir noktanın boylamı ile Güneş'le Dünya merkezi arasındaki doğrunun açısı olarak ölçümü saat açısını verir.

Deklasyon açısı ise; Güneş'ten gelen ışınlar ile ekvator çizgisi arasındaki açıdır. Bu açı Dünya'nın dönme eksenini ile yörünge düzleminin normali arasında $23^{\circ}27''$ lık açıdan kaynaklanır.

1.7.2. Türetilen Güneş Açıları

Güneş ışınları ile yatay düzleme dik olan doğru arasındaki açı zenit açısıdır. Güneş ışınları yatay düzleme dik geldiğinde bu açı Güneş'in doğu ve batı kısmında 90° ölçülür.

Güneş yükseklik açısı; Güneş ışınları ile yatay düzlem arasındaki açıdır.

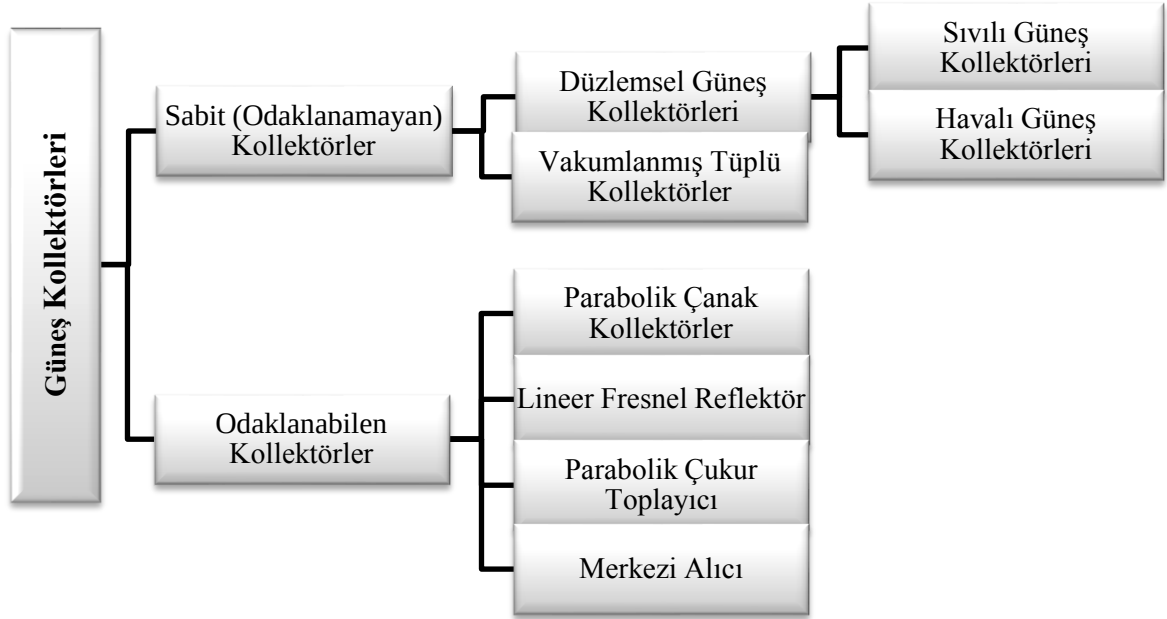
Güneş azimut açısı; Güneş ışınlarının Dünya'nın kuzeyine göre saat ibrelerinin istikametinde değişimini belirleyen açıdır.

1.8. Güneş Kollektörleri

Güneş kollektörlerinin yüzeyine düşen güneş ışınlarından bir kısmı yüzey tarafından tutulur ve akışkana doğru iletim ve taşınımıyla ısı geçişi olurken, dış yüzeyden çevreye, yüzey sıcaklığına ve ısı taşınım katsayısına bağlı olarak taşınımıyla ısı geçişi olur. Yutulan ışınlama ile çevreye olan ısı kaybının farkı faydalanılan güneş enerjisidir ve ısıtılmak istenilen akışkana geçer [2].

En basit anlamda güneş kollektörleri; güneşten gelen kullanılabilir enerjiyi toplayıp, çeşitli akışkanlar kullanarak başka bir ortama ileten ısı değiştirgeçlerinin özel bir çeşididir.

Sabit ve odaklanabilen güneş kollektörleri olmak üzere temelde iki tip güneş kollektörü vardır. Bu kollektörler de kendi içerisinde sınıflara ayrılmıştır. Bu sınıflandırma, Şekil 1.2'de verilmiştir. Sabit güneş kollektörleri düz yüzeyli olup, güneş ışığını odaklamazlar. Odaklanabilen güneş kollektörleri genellikle iç bükey bir yüzeye sahiptir ve güneş ışınının merkezi, artan radyasyon değişimi sebebiyle çok küçük bir bölgede ışınlama radyasyonuna maruz kalır. Sadece direkt radyasyondan faydalanırlar, yüksek sıcaklık temin edebilirler. Çalışabilmeleri için güneşi görmek zorundadırlar, bu nedenle odaklı kollektörler, güneşlenme yönünden zengin yörelerde, daha verimli olarak kullanılırlar. [6]



Şekil 1.2. Güneş kolektörlerinin sınıflandırılması

1.8.1. Sabit (odaklanamayan) Kollektörler

Düzlemsel güneş kolektörleri genellikle sabit pozisyonudadır ve güneşi izlemezler. Bunlar ekvatora doğru direkt olarak, kuzey yarımkürede güneye doğru, güneyde kuzeye doğru yönlendirilirler. Düzlemsel güneş kolektörleri Şekil 1.2’de görüldüğü gibi sıvılı ve havalı güneş kolektörleri olmak üzere kendi içinde iki tipe ayrılır. Bu tez, havalı güneş kolektörlerinin ısı analizi olduğu için bu tip daha ayrıntılı olarak incelenecek, diğer kolektörler tez başlığı dışında kaldığından değinilmeyecektir.

1.8.2. Odaklanabilen Kollektörler

Odaklanabilen güneş kolektörleri, güneş radyasyonunu merkezlendirmeye yararlar. Güneş radyasyonunun geniş bir kısmı çok küçük bir bölge üzerine yoğunlaştırılarak sıcaklık artırılabilir.

Odaklı güneş kolektörlerinin avantajlarından bazıları [7];

- Çalışma akışkanı, düz plakalı sistemlerle karşılaştırıldığında, odaklayıcı sistemlerde daha yüksek sıcaklıklara sahiptir. Böylece daha yüksek termodinamik verim elde edilebilir.
- Toplayıcı bölgedeki küçük ısı kayıplarından dolayı ısı verim çok büyüktür.
- Yansıtıcı yüzeyler daha az malzemeye ihtiyaç duyarlar ve yapısal olarak düzlemsel kolektörlerden daha basittirler. Bir odaklayıcı kolektör için, güneş toplama yüzeyinin birim alan başına düşen maliyeti düzlemsel kolektörlere oranla çok daha azdır.
- Toplam birim güneş enerjisinin küçük alanlı toplayıcılarda toplaması, seçici yüzey davranışı, vakum yalıtımı ile ısı kayıplarının azaltması ve kolektör etkinliğini artırması nedeniyle ekonomik olarak uygundur.

Odaklı güneş kolektörlerinin dezavantajları [6];

- Odaklanabilen sistemler, yoğunlaştırıcı oranına bağlı az yayılmış radyasyonları toplar.
- İzleme sistemlerinin bazılarının, güneşi takip eden kolektörlere imkan tanınması gerekir.
- Güneş yansıtıcı yüzeyler zamanla yansıtıcılıklarını kaybedebilirler ve periyodik temizliğe ve bakıma ihtiyaç duyarlar.

1.9. Havalı Isıtmalı Güneş Kolektörleri

Havalı güneş kolektörlerinde; güneş ışıınım enerjisi, ısı transfer akışkanı olarak kullanılan hava yardımıyla ısı enerjisine dönüştürülür. Havalı kolektörlerde ısıtılan hava doğrudan kullanılabilir veya güneş ışıınımı olmayan sürelerde ısı gereksinimini karşılamak üzere ısı enerjisi depolanabilir [8].

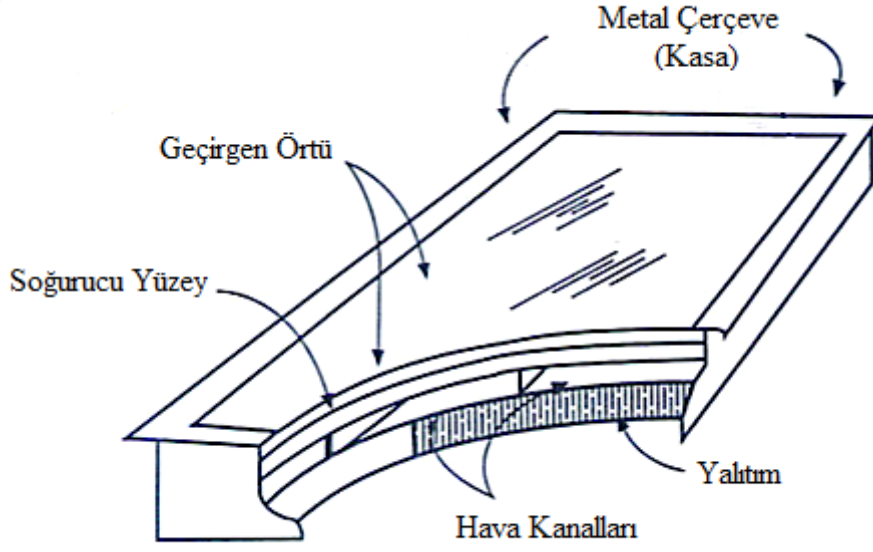
Hava, suya göre iyi bir ısı transfer akışkanı olmadığından havalı kolektörlerin verimi sıvılı kolektörlere oranla daha düşüktür. Kullanılan bu iki tip akışkanın termofiziksel özelliklerinin farklılığından dolayı kolektörlerde avantaj ve dezavantajlar oluşmaktadır. Hava ısıtmalı güneş kolektörlerinin avantaj ve dezavantajları da Tablo 1.3’de verilmiştir.

Tablo 1.3. Havalı güneş kolektörlerinin avantaj ve dezavantajları [8].

HAVALI KOLLEKTÖLER	
AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
• Donma problemi yoktur. • Basit ve güvenilirdir. • Kuru havada iç korozyon problemi yoktur. • Kaynama ve basınç problemi yoktur. • Hava sızıntılarının, su sızıntıları gibi zararlı etkisi yoktur.	• Hava iyi bir ısı transfer akışkanı değildir. • Hava debisinin artırılması için, hava kanallarının boyutlarını arttırmak gerekir. • Kanallar için geniş alana ihtiyaç vardır. • Sadece konut ısıtma ve kurutma sistemlerinde kullanılırlar. • Havalı kolektörlerin verimi, sıvılı kolektörlere oranla daha düşüktür.

Havalı güneş kolektörleri birçok yönden geleneksel ısı değiştirgeçlerinden farklılıklar göstermektedir. Geleneksel ısı değiştirgeçlerinde akışkandan akışkana olan yüksek orandaki ısı transferi, iletim ve taşınım yolu ile gerçekleşir. Havalı güneş kolektörlerinde ise enerji transferi uzak mesafedeki, ışıyım yayan bir enerji kaynağından havaya doğrudur [9].

En basit formda bir düzlemsel havalı güneş kolektörü, ısıyı soğurmak amacı ile siyah cisim gibi davranan düzlemsel bir plaka ve bu plaka üzerine yerleştirilen bir veya birkaç kat cam veya geçirgen örtüden meydana gelen yapıdır. Geçirgen örtü haricindeki tüm kolektör kısımları, enerji kayıplarını mümkün olduğu kadar azaltmak için, ısıl olarak iyi yalıtılmış olmalıdır. Kullanılan geçirgen örtü, atmosfere olan taşınım ve ışıyım kayıplarını azaltırken, güneş ışınlarının içinden geçerek düzlemsel plaka ve geçirgen örtü arasında kalan hacimde tutulmasını veya siyah cisim tarafından soğurulmasını sağlar. Elde edilen ısı daha sonra, soğurucu yüzey ile geçirgen örtü arasına yerleştirilen bir kanal içerisinden geçmekte olan havaya aktarılır [10].



Şekil 1.3. Havalı güneş kolektörünün şematik görünüşü [11].

Şekil 1.3’de de görüldüğü gibi hava ısıtmalı güneş kolektörleri genel anlamda dört ana kısımdan oluşur. Bu tez çalışmasında yutucu yüzey kaplaması kolektör kısımları arasında, kolektör kasası ve yalıtım bir madde de incelenecektir. Hava ısıtmalı güneş kolektörü kısımları;

- Kolektör örtüsü,
- Yutucu plaka,
- Yutucu yüzey kaplamaları,
- Kolektör kasası ve yalıtımı.

Ayrıca bu dört madde kolektör verimini de etkileyen en önemli faktörlerdir. Bunun yanında havalı kolektörlerde yutucu yüzey kanat geometrisi, kolektöre giren ve çıkan hava debisi, sıcaklığı, havanın girdiği ve çıktığı yer, akış yolu şekli havalı kolektörlerin verimlerini etkileyen diğer faktörlerdir.

1.9.1. Kollektör Örtüsü

Saydam örtünün amacı, güneş ışınımını içeriye alıp çevreye olan ısı kayıplarını azaltmaktır. Özellikle rüzgarlı bölgelerde taşımınla olan ısı kaybı çok fazladır ve saydam örtü kullanılmaması halinde, yutucu yüzey ile çevre havası arasındaki ısı taşımını çok büyük olacağından faydalı ışıyım azalır. Saydam örtü çevreye olan ısı kaybını önlediği gibi, yutucu yüzeyi dış etkenlerden korur. Kollektörlerde kullanılan saydam örtülerin, kısa dalga boylu güneş ışıyımını geçirme oranı büyük, yutucu levha tarafından neşredilen uzun dalga boylu ışıyımın dışarı çıkmaması için de uzun dalga boylu ışıyımları geçirme oranı küçük olmalıdır. Ucuz olmalı, kolay temin edilebilmeli, mor ötesi güneş ışıyımından etkilenmemeli, yüksek sıcaklıklara dayanabilmeli, kolay işlenebilmeli ve çevreden gelecek etkilere (dolu, taş vb.) dayanıklı olmalıdır [12].

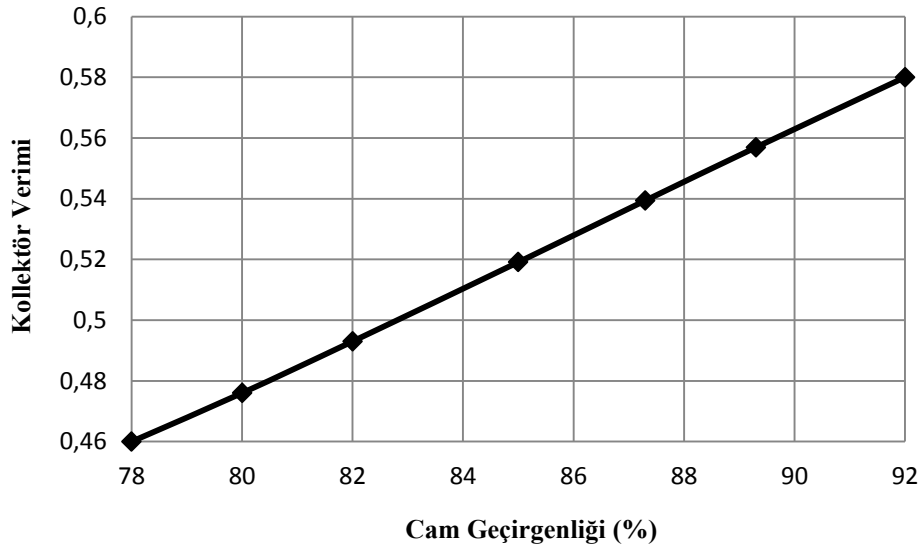
Tablo 1.4’de farklı güneş ışıyımının enerji, dalga boylu ve frekans özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 1.4. Elektromanyetik radyasyonun spektral özellikleri [13].

ışıyım Tipi	Enerji (kcal/mol)	Dalga Boyu (cm)	Frekans (Hz)
Gama ışıyımları	9.4×10^7	3×10^{-11}	10^{21}
X- ışıyımları	9.4×10^5	3×10^{-9}	10^{19}
	9.4×10^3	3×10^{-7}	10^{17}
Mor Ötesi	9.4×10^1	3×10^{-5}	10^{15}
Görünür	9.4×10^{-1}	3×10^{-3}	10^{13}
Kızıl Ötesi	9.4×10^{-1}	3×10^{-3}	10^{13}
Mikrodalga	9.4×10^{-3}	3×10^{-1}	10^{11}
	9.4×10^{-5}	3×10^1	10^9
Radyo Dalgaları	9.4×10^{-7}	3×10^3	10^7

Kollektör örtüsü 3-4 mm’lik camdan veya eşdeğeri saydamlık ve mor ötesi ışıyımlara karşı yeterli saydamlıkta malzemeden yapılmalı ve yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklı olmalıdır. Cam örtünün, yutma-geçirme oranı da kollektör verimini etkilemektedir. Camın geçirgenliği arttıkça kollektör veriminde de bir artış olduğunu Şekil 1.4’de bakarak

görebiliriz. Cam üzerine düşen güneş ışınının % 85-90'nı geçer. Geriye kalan kısım, ışığın camdan geçişi sırasında cam tarafından yutulur veya yansıtılır. Yutulan ışınım miktarı, camın içerdiği demir oksit (Fe_2O_3) oranına bağlıdır. Demir oranının artmasıyla absorbe edilen ışınım miktarı da artar [14].



Şekil 1.4. Cam örtü geçirgenliği ile kollektör veriminin değişimi [14].

Kollektör örtüsü, taşınım ile çevreye olan ısı kaybının azaltılmasının yanında, yutucu yüzeyin yağmur, dolu ve toz gibi dış etkenlerden korunması görevini de yerine getirir. Kollektör örtüsü olarak kullanılan cam ve plastik esaslı malzemelerin farklı avantaj ve dezavantajı vardır. Camın avantajı, optik ve mekanik özelliklerinin uzun dönem kararlı olmasıdır. Plastik malzemeler ise, cama göre daha dayanıklı ve elastiktirler. Ancak çizilme ve aşınmaya karşı rölatif olarak daha düşük dirençlidirler ve hava koşullarından çabuk etkilenebilirler [13].

Güneş kollektörlerinde kullanılan farklı geçirgen (saydam) örtü modelleri Tablo 1.5'de verilmiştir.

Tablo 1.5. Çeşitli örtü malzemelerinin özellikleri [13].

Malzeme	Standart Kalınlık (mm)	Güneş Işığı Geçirgenliği (%)	Fe ₂ O ₃ (%)
Pencere Camı	4	85	0.081
Düşük Demirli Cam	3	87	0.080
Su Beyazı Cam	3	90	0.016
Polyester Katkılı Fiberglass	1	87	-
Fleksiglass (akrilik)	3	89	-

Birçok yarı saydam plastikler yüksek sıcaklıklarda, hatta orta sıcaklıklarda özelliklerini kaybederler. Isıl genleşme katsayıları büyük olduğundan sızdırma ve bükülme problemleri vardır. Tablo 1.6’da da güneş kolektörlerinde saydam örtü olarak kullanılan bazı malzemelerin test değerleri verilmiştir. Plastikler, uygulamada saydam örtü malzemesi olarak cama göre daha az kullanılır.

Tablo 1.6. Sırdam örtü olarak kullanılan bazı malzemelerin test değeri [15].

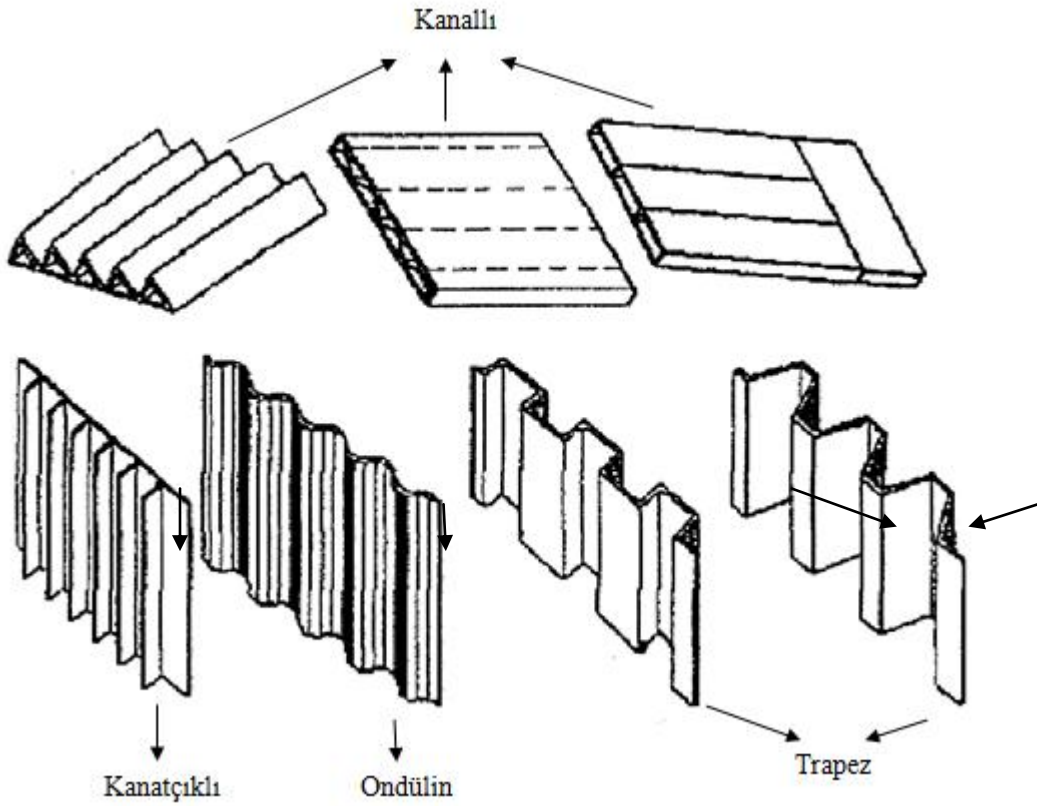
TEST	Geçirgenlik	Maksimum İşletme Sıcaklığı (°C)	Isıl Genleşme Katsayısı (m/°C)	Kalınlık (mm)	Ömür (yıl)
Polyester	85	100	27	0.025	4
Polikarbonat	82-89	120-135	68	3.2	-
Güçlendirilmiş plastikler	77-90	95	32-40	1.0	7-20
Cam	85	210	8.9	3.2	-
Düşük demirli cam	87	120	9	3.2	-
Su beyazı cam	85-91	210	8.7-15	3.2	>30

1.9.2. Yutucu Plaka

Yutucu plaka, kollektöre gelen güneş ışınlarını üzerinde absorbe ederler. Bakır, alüminyum, paslanmaz çelik, plastik vb. ısı iletkenliği uygun herhangi bir malzemeden imal edilebilir. Yutucu plaka ışınları yutması için koyu bir renge boyanır. Kullanılan boyanın yutma katsayısının yüksek, uzun dalga boylu radyasyonu yayma katsayısının düşük olması gerekmektedir.

Yutucu yüzeyin, her şeyden önce güneş ışınlamını yutma oranının yüksek ve uzun dalga ışınlam yayma oranı küçük olması gerekir. Işınlamı absorbe ederek levhanın, ısıyı temas halindeki akışkana iyi bir şekilde iletmesi için, ısı iletim katsayısı yüksek malzemeler seçilir ve ısı geçişinin çabuk ve iyi olması için levhalar ince yapılır. Bunların yanında, imalat kolaylığı, elde edilebilme imkanları, kolay işlenebilirliği ve fiyatı da göz önüne alınmalıdır [12].

Çeşitli hava ısıtmalı güneş kollektörlerine ait yutucu yüzey şekillerinden bazıları Şekil 1.5’de verilmiştir.



Şekil 1.5. Havalı kollektörlerin yutucu yüzey şekilleri [2].

İdeal bir yutucu yüzeyin şu özelliklere sahip olması beklenir.

- Yutucu yüzeye gelen görünür ışınlar (kısa dalga boyundaki ışınlar) yutma oranı yüksek, fakat yansıtma oranı çok düşük olmalıdır,
- Sıcaklığa karşı dayanıklı olmalıdır,
- Dış ortama karşı uzun zaman sonra bile rengini korumalı veya soyulmamalı,
- İstenildiğinde kolay bir şekilde temizlenebilmelidir.

Havalı kollektörlerde, yutucu yüzey ile kollektörde kullanılan akışkan arasında taşınım ile ısı transferi düşük olduğundan kullanılan yutucu yüzey malzemesinin ısı transfer alanı büyük tutulmalıdır. Bu özellik sebebiyle yutulan ısı miktarı artar [16].

Tablo 1.7. Bazı yüzeylerin güneş ışımasını yutma ve uzun dalga boylu ışımları yansıtma oranları [2].

Yutucu Yüzey	α	ε
Magnezyum karbonat	0.025-0.04	0.79
Beyaz sıva	0.07	0.91
Beyaz boya (Al üzerine 0,4mm)	0.20	0.91
Bayaz kağıt	0.25-0.28	0.95
Buz	0.31	0.96
Pürüzlü beton	0.60	0.97
Gri boya	0.75	0.95
Kırmızı yağlı boya	0.74	0.90
Su	0.94	0.95-0.96
Siyah boya (cila)	0.90	0.90
Siyah boya (mat)	0.94-0.98	0.88
Galvanizli çelik, oksitlenmiş	0.80	0.28
Galvanizli çelik, temizlenmiş	0.65	0.13
Alüminyum	0.15	0.05

1.9.3. Yutucu Yüzey Kaplama

Kollektör verimini arttıran en önemli parametrelerden biri de, yutucu plakanın seçici yüzey ile kaplanmasıdır. Yüzeyde seçicilik özelliği bulunduğunda, yüksek yutuculuk ve düşük ısı yayma özelliklerine sahip olacaktır. Seçici yüzey elde edilmesinde, önce kaplanacak yüzey temizlenerek asit banyosuna tabii tutulur. Isıl ışıınımı yayma oranı düşük ve güneş ışıınımını yutma oranı büyük olan bir madde ile ince bir film halinde kaplanır. Kaplamalar, kimyasal banyo, püskürtme veya elektroliz yöntemi ile gerçekleştirilir. Elektroliz işlemi gerek basit, gerekse ekonomik olması nedeniyle yaygın olarak uygulanmaktadır. Seçici yüzey olarak siyah nikel, siyah krom, siyah bakır, kobalt oksit kullanılmaktadır [14].

Yutucu yüzey kaplamaları iki bölümde sınıflandırılabilir.

1. Seçici olmayan kaplamalar
2. Seçici kaplamalar

1.9.3.1. Seçici Olmayan Kaplamalar

Seçici olmayan kaplamalar yansıma, soğurma, iletim ve emisyon gibi optik özellikleri tayfsal olarak birbirine benzer kaplamalardır. Diğer bir deyişle, aslında özel bir dalga boyu menzili üzerinde dalga boyundan bağımsızdırlar. Bunlar yaklaşık % 97 absorbsiyona ve yaklaşık % 89 emisyonu sahip siyah boyalardır (üretan boyalar) [17].

1.9.3.2. Seçici Kaplamalar

Seçici kaplamalar yansıma, absorbsiyon, iletim ve emisyon gibi optik özellikleri tayfsal olarak bağımlı olan kaplamalardır. Diğer bir deyişle, soğurma miktarı dalga boyuyla önemli derecede değişir ve böylece toplanan ısı enerjisi buna bağılı olarak yükselir. Seçici bir soğurucu yüzey, solar sistemlerde başarılı işlevsel kullanım için aşağıdaki karakteristiklerin birçoğuna mümkün olduğunca sahip olmalıdır [17].

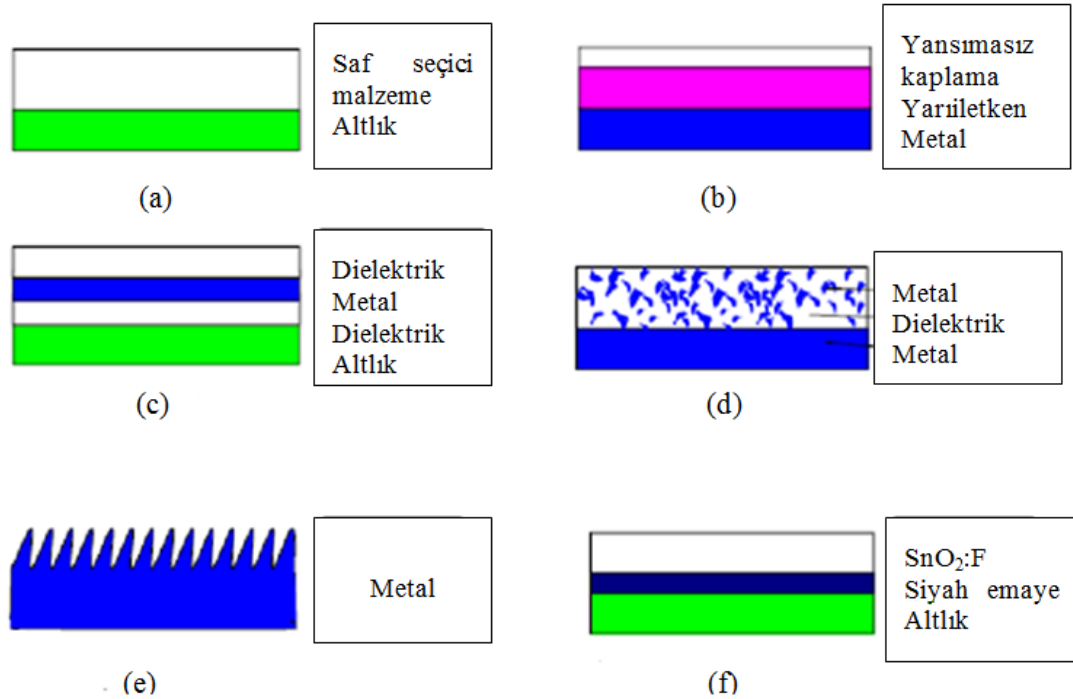
- Yüksek solar absorbsiyon (>0.90),
- Düşük termal emisyon (<0.20),
- Geniş kabul açısı,
- Arzu edilen çalışma sıcaklıkları ve çevre koşullarında uzun dönemli kararlılık,
- Kısa süreli aşırı ısınmalara karşı kararlılık,

- Kollektör durgunluğu boyunca yüksek sıcaklıklarda kararlılık,
- Rutubetli ortamda kararlılık,
- Kolektör ömrü için devamlılık,
- Verilen alt tabaka malzemelerine uygulanabilme,
- Yeniden üretilebilirlik,
- Makul fiyat.

Seçici yüzeylerin literatürde farklı tasarımları vardır. Bunları kategorize edersek 6 sınıfa ayırırlar;

1. Saf, içsel,
2. Yarı iletken-metal ikilisi,
3. Çok katmanlı soğurucular,
4. Çoklu-dielektrik kompozit kaplamalar,
5. Dokulu yüzeyler,
6. Bir kara cisim benzeri soğurucu üzerinde seçici solar iletimli kaplama [18].

Seçici kaplamaların şematik tasarımları Şekil 1.6'da gösterilmiştir.



Şekil 1.6. (a) Saf (içsel) soğurucular, (b) Yarı iletken-metal ikilileri, (c) Çok katmanlı soğurucular, (d) Metal-dielektrik kompozit, (e) Yüzey dokulandırma, (f) Solar iletimlikaplama/karacisim benzeri soğurucu [18].

1.9.4. Kollektör Kasası ve Yalıtımı

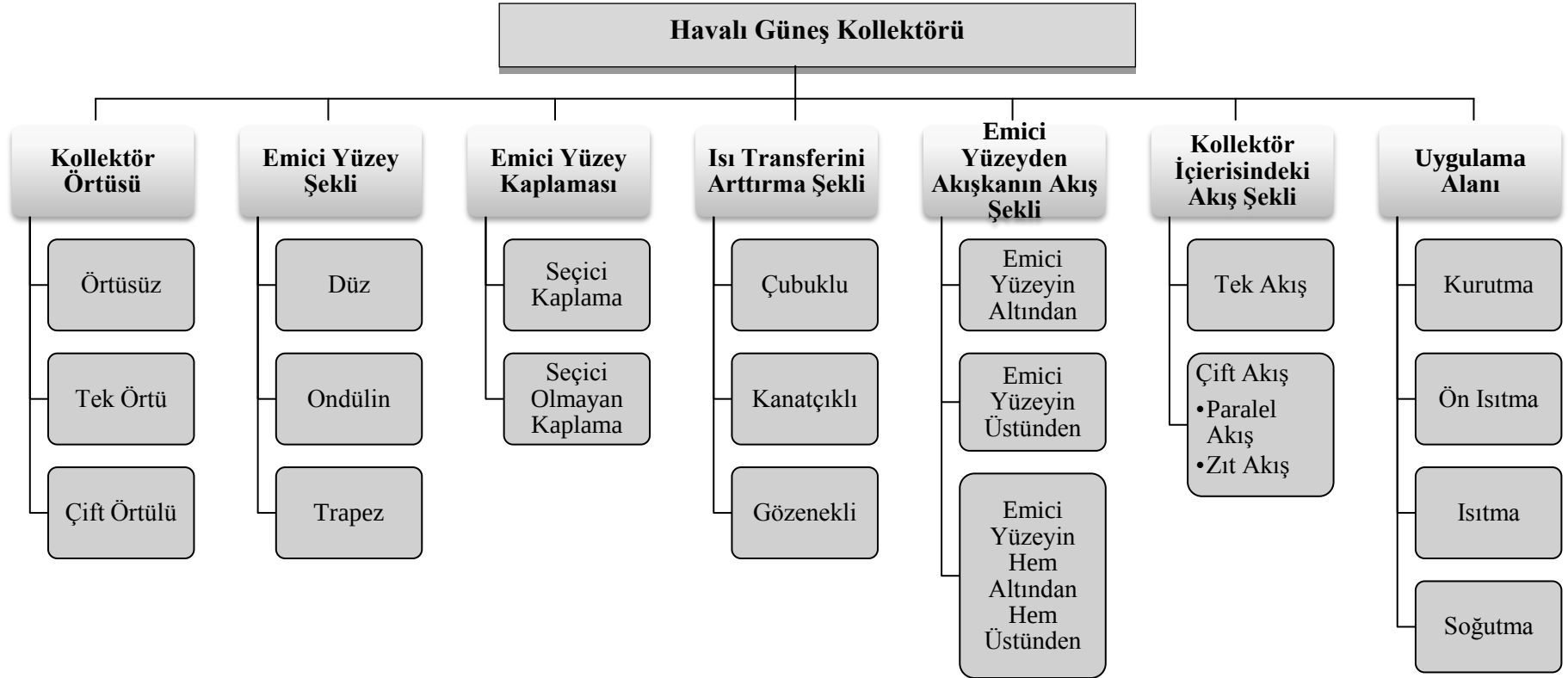
Kasa; alüminyum, paslanmaz çelik, galvanizli çelik, plastik gibi malzemelerden yapılmaktadır. Kasada mümkün mertebe aynı cins malzeme kullanılmalıdır. Kasa yalıtkanın ıslanmasını önleyebilecek sızdırmazlıkta olmalı ve özellikle kollektör giriş ve çıkışlarında kasanın tam sızdırmazlığı sağlanmalıdır. Yapımda kullanılan malzemelerin ısıl genleşmeleri dikkate alınarak boyutlandırılmalıdır.

Yalıtım malzemesi, kollektörün alt ve yan kısımlarından ısı kayıplarının azaltılması için ısı iletim katsayısı düşük olan malzemelerden seçilir. Yalıtım malzemesi seçilirken, yüksek sıcaklığa dayanabilirliği, neme direnci, şekil değiştirme, yanma ve genişleme özellikleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Isıl dirence sahip cam yünleri uygun yalıtım malzemeleri olarak gösterilebilir. Çeşitli yalıtım malzemelerinin özellikleri Tablo 1.8’de verilmiştir.

Tablo 1.8. Yalıtım malzemelerinin özellikleri [19].

Yalıtım Malzemesi	Isı İletim Katsayısı (W/mK)	Çalışma Sıcaklığı (°C)	Yoğunluğu (kg/m ³)
Cam yünü	0.032	250	15-120
Taş yünü	0.036-0.055	650-1050	
Polystrene köpük	0.029	70-80	20
Poliüretan köpük	0.023	104	35
PVC	0.035	100-130	40-80
Kalsiyum silikat	0.055	650	
Perlit	0.048	820	
Isocyanurate	0.025	121	
Fenolik köpük	0.033	135	
Gözenekli köpük	0.040	100	

Havalı güneş kollektörleri ile ilgili bu bilgiler göz önünde bulundurularak, Şekil 1.7’de ki gibi sınıflara ayrılmış bölümlerden istenilen tasarımlar seçilerek bir havalı ısıtmalı güneş kollektörü çalışması yapılabilir.



Şekil 1.7. Havalı güneş kollektörü tasarımında seçilmesi gereken parametreler [20].

1.10. Hava Isıtmalı Güneş Kollektörleri ile İlgili Literatür Araştırması

Havalı güneş kolektörleri üzerine ulusal ve uluslararası alanlarda çok sayıda çalışma yapılmıştır. Havalı güneş kolektörlerinin ısı veriminin, sıvılı kolektörlere oranla veriminin daha düşük olması sebebiyle yapılan çalışmalarda bu kolektörlerin ısı verimini arttırmaya yönelik olmuştur. Verim artırma teknikleri ise, kolektör içerisine yerleştirilen malzemenin farklı şekil, boyut ve dizilimleri ile yapılmıştır. Havalı güneş kolektörleri ile ilgili literatür çalışmaları aşağıda verildiği gibi iki ana grupta incelenebilir.

a. Deneysel ve teoriksel olarak yüzey artırma teknikleri:

Havalı güneş kolektörlerinden yeterli miktarda ısı enerjisi elde edilemediğinden kolektörlerde pasif yüzey artırma teknikleri uygulanmaktadır.

Alvarez vd. [21], alüminyum kutulardan emici yüzey oluşturarak havalı güneş kolektörlerinin ısı performansı üzerinde çalışmışlardır. Deneyler sonucunda alüminyum kutularla kanatçıklı yüzeye sahip olan kolektörün verimi düz kolektöre göre arttırılmıştır.

Değirmencioğlu [22], havalı güneş kolektörlerindeki emici yüzeyde açık hücreli % 85 gözenekliliğe sahip poliüretan köpük kullanmışlardır. Deneylerini 3 farklı hızla yapmıştır. Hava hızının arttırılmasıyla kolektör veriminin arttığı görülürken, sistemde basınç düşüşü ve enerji tüketimi olmuştur. Açık hücreli köpüğün emici yüzey olarak kullanılması ise kolektör verimini arttırmıştır.

Caner vd. [23], düz emici yüzeye sahip kolektör ile zikzaklı emici yüzeye sahip kolektörleri aralarında karşılaştırmışlardır. Aynı boyutlarda ve malzemelerden yapılan kolektörlerin deneylerin sonucunda zikzaklı emici yüzeye sahip kolektörün verimini daha iyi bulmuştur.

Esen [24], engelli ve engelsiz havalı güneş kolektörlerinin enerji ve ekserjileri üzerinde bir çalışma yapmıştır. Kollektör üzerindeki ısı transfer yüzeyini arttırmak için farklı diziliş ve şekiller kullanmış ve sonuç olarak engelsiz kolektörün verimini daha düşük bulmuştur.

Karim ve Hawlader [25], sayısal ve deneysel olarak çalışılan bu deneyde, geleneksel kollektörlerle v-oluklu kollektörlerin karşılaştırıldığı kurutma uygulaması yapmıştır. Sayısal ve deneysel veriler incelendiğinde v-oluklu kollektörün veriminin daha yüksek olduğu görülmüştür.

El-Sawi vd. [26], düz kollektör ile zikzaklı yüzeye sahip iki tip kollektörü karşılaştırmışlardır. Zikzaklı kollektör, düz kollektörle kıyaslandığında çıkış sıcaklığında % 10, ısı veriminde ise % 20 oranında arttırmışlardır.

Uçar ve İnallı [27], havalı güneş kollektörlerinin içerisine küçük plakalar ekleyerek emici yüzeyleri yeniden düzenlemişlerdir. Deneysel çalışmalarda elde edilen verilere göre geleneksel (düz) kollektörün verimini daha düşük, IV. tipin verimini daha yüksek bulmuşlardır.

Karslı [28], 75° ve 70° açılarındaki kollektörler ile tüplü bir kollektör ve düz bir kollektör olmak üzere dört tip havalı güneş kollektörlerinin performans analizlerini termodinamiğin I. ve II. kanunlarına göre yapmıştır. Sonuç olarak, en yüksek kollektör veriminin ve hava sıcaklık artışının 75° açılı kollektörlerde olduğunu görmüştür.

Koyuncu [29], ürün kurutmasında kullanılan havalı güneş kollektörlerinin emici yüzeylerinde değişiklik yaparak performanslarını incelemiştir. Diğer araştırmacılara göre koyuncu, kollektör örtüsü olarak plastik cam kullanmıştır. Havayı emici yüzeyin altından ve üstünden geçirerek kollektörleri iki sınıfa ayırmıştır. Deneyler sonucunda, altı kollektörün en yüksek verime sahip olan havanın emici yüzeyin üstünden geçirilenler olmuştur.

Akpınar ve Koçyiğit [30], emici yüzeyler üzerindeki farklı engellere sahip havalı güneş kollektörlerinin enerji ve ekserji analizlerini yapmışlardır. İlk üç tip engelli emici yüzey tasarımına sahip, IV. tip ise engelsiz (düz) emici yüzeye sahiptir. Deneylerinde iki farklı tip hava debisi kullanmışlardır. Termodinamiğin I. ve II. kanunlarından kollektörlerin verimlerini hesaplamışlardır. Hesaplamalar ve deneyler sonucunda, II. tipteki kolektör en yüksek verime sahip olurken IV. tipteki engelsiz kollektör en düşük verime sahip olmuştur.

Bulut ve Durmaz [21], havalı kollektörün yapımında tamamen düz yüzeyli sıvı kollektörlerde kullanılan malzemelerden yararlanmıştır. Yutucu levha olarak güneş enerjili sıcak su sistemlerindeki siyah mat boyalı alüminyum levha kullanmıştır. Yutucu levhada suyun geçtiği oval kesitleri keserek kanatçık görevi yapmasını sağlamıştır. Şanlıurfa iklim şartlarında deneysel olarak incelemiştir. Sekiz farklı günde yapılan

ölçümler sonucunda havalı güneş kollektörünün ortalama ısı verimini % 53 olarak bulmuşlardır.

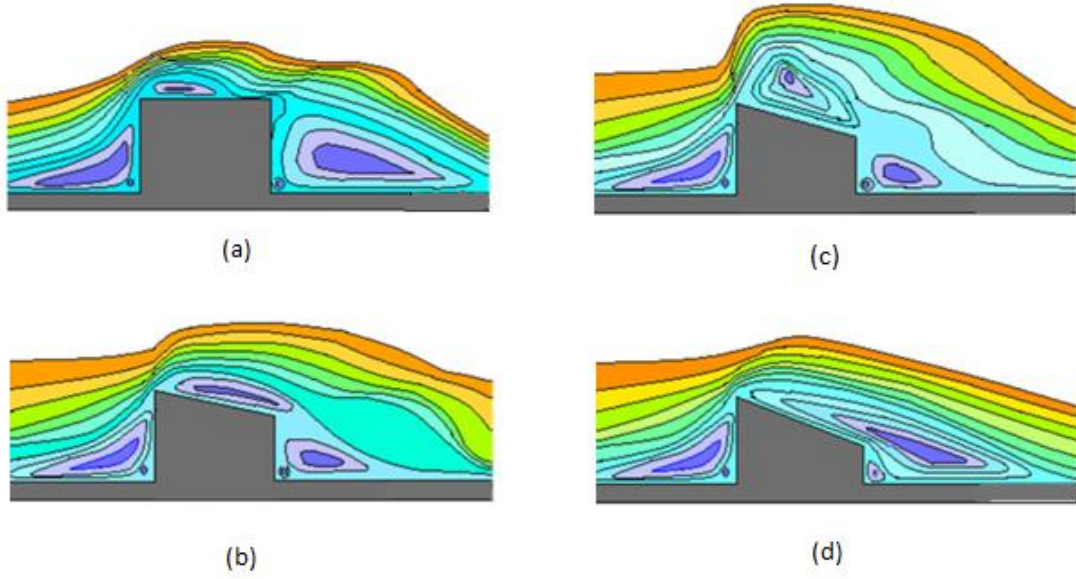
Ramani vd. [32], havalı güneş kollektörlerini gözenekli-gözeneksiz çift akışlı ve tek akışlı düz kollektör olmak üzere üç'e ayırmışlardır. Gözenekli emici yüzeye sahip kollektörün ısı verimi, gözeneksiz emici yüzeye sahip kollektörün veriminden % 20-25, tek akışlı düz kollektörün veriminden % 30-35 daha yüksek olduğu deneysel ve teorik çalışmalarında bulmuşlardır.

Sopian vd. [33], gözenekli ve gözeneksiz çift akışlı havalı güneş kollektörlerinin termal performansını değerlendirmişlerdir. İkinci kanala yerleştirilen gözenekli materyal kollektörün performansını arttırmıştır. Geleneksel tek akışlı kollektörlerle karşılaştırıldığında ısı performansının daha iyi olduğunu bulmuşlardır.

- b. Güneş enerjili havalı kollektörlerde hesaplamalı akışkanlar dinamiği üzerine yapılan çalışmalar:

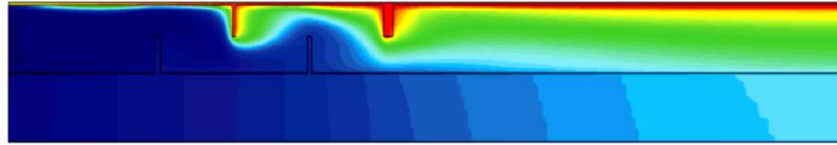
Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD), bir enerji sistemi içindeki sıcaklık dağılımı akış alanı ve ısı transferinin uygulanmasında etkin bir araçtır. Bu çalışmalar, deneysel ve teorik çalışmalara oranla daha az literatür bulunmasından dolayı şekillerle desteklenmiştir.

Layek vd. [34], oluklu engelli emici yüzeye sahip havalı güneş kollektörlerinin sürtünme katsayısı ve ısı transferi üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. İki çubuk engelin tam ortasına 60°'lik v-oluk açılmış ve çubukların üst kısmından 5°, 12°, 15°, 18°, 22° ve 30°'lik oluk açarak testlere devam etmişlerdir. Reynold sayısının yaklaşık olarak 8000 aşağısındaki değerlerde performans parametresindeki artma oranında artma olduğu ve Reynold sayısının artmasıyla performans parametresinin de arttığını bulmuşlardır. Şekil 1.8'de kollektör içerisindeki kanatçıklara açılan olukların farklı derecelerdeki akış durumları verilmiştir.



Şekil 1.8. Kanatçıklardaki oluk açıları (a) 0° , (b) 12° , (c) 18° , (d) 30° [34].

Saim vd. [35], dikdörtgen biçimli kanatçıklarla periyodik olarak alt ve üst kanal duvarlarına yerleştirilerek, havalı güneş kolektörleri içindeki ısı transferini ve türbülans akışının analizini çalışmışlardır. Hava ısıtmalı güneş kolektörü içerisindeki sıcaklık dağılımı Şekil 1.9’da verilmiştir.

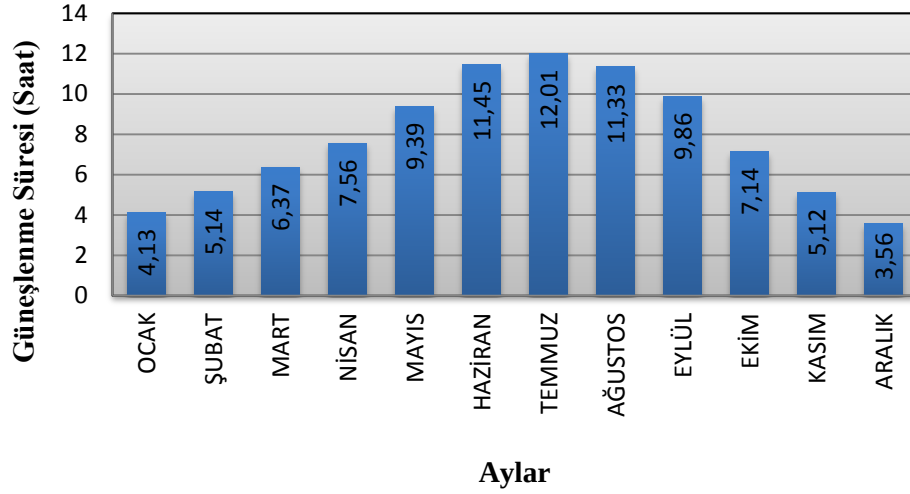


Şekil 1.9. Güneş kolektörü içerisindeki sıcaklık dağılımları [35].

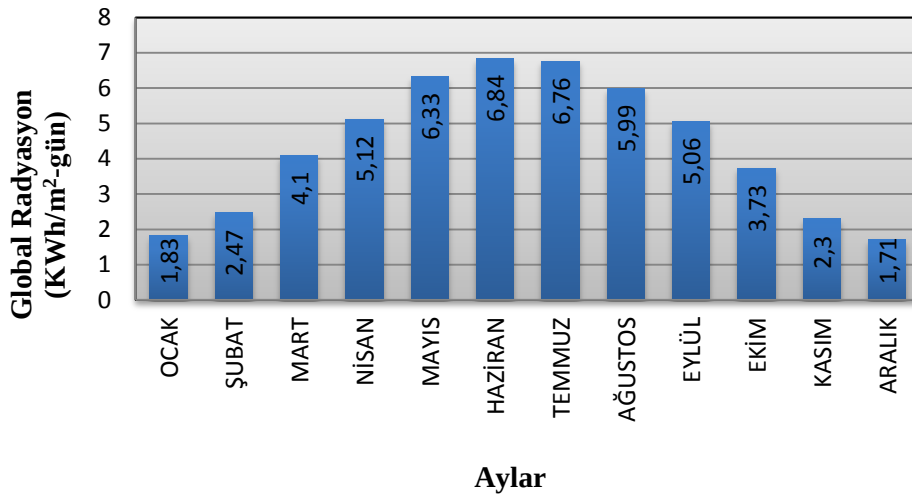
Ammari [36], tek akışlı havalı güneş kolektörlerinin termal performansının bir matematiksel modellemesini bilgisayarda geliştirmiştir. Modellemede kolektör içerisine metal çubuklar eklemiştir. Havalı güneş kolektörlerinin termal performansı üzerindeki; debi, kolektör boyu, emici yüzey ve alt plaka arasındaki boşluğun etkisini araştırmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Havalı güneş kolektörlerinin genel kullanım amacı; kurutulan ürünlerin dış etkenlerden bağımsızlaştırarak daha hijyenik ortamlarda kurutulması, binaların ısıtılması ve soğutulmasını sağlamaktır. Deneyler, 2011 yılının Haziran ve Temmuz ayları içerisinde, havanın açık olduğu günlerde yapılmıştır. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi Elazığ ilinin aylık güneşlenme süresi ve global radyasyon değerlerinin en yüksek olduğu iki ay Haziran ve Temmuz aylarıdır.



(a)



(b)

Şekil 2.1. Elazığ ilinin aylara göre (a) güneşlenme süresi değerleri, (b) global radyasyon değerleri [37].

Deney düzeneği; kollektör, radyal fan, kollektör çıkışı ile radyal fan arasındaki bağlantıyı sağlayan özel alüminyum boru, hız kontrol cihazı, anemometre, ısı çiftleri (thermocouples), dijital ölçü aleti (multimeter), veri derleyici (data logger), piranometre (pyranometre), gözenekli (porous) malzemeler, basınç fark göstergesinden oluşmaktadır.

Kollektörler içinde çok küçük basınç farkı olduğundan mevcut materyal ile basınç ölçümleri alınamamıştır. Havanın fiziksel özellikleri tablosundan yararlanılarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

2.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

2.1.1. Kollektör

Deneylerde özel olarak tasarlanmış iki adet kollektör kullanılmıştır. Bu kollektörler 1.2x0.7m yüzey alanına sahip olup, kollektör örtüsü olarak 4 mm'lik normal cam kullanılmıştır. Hava akışı; engelsiz kollektörde siyah düz emici yüzeyin üstünden, engelli kollektörlerde ise siyah emici yüzeyin üstünden, farklı kalınlıklarda (6-10 mm), sıralı ve şaşırtmalı olarak dizilen gözenekli malzemelerin üzerinden ve aralarından geçirilerek ısı transferini artırma yolu kullanılmıştır. Kollektörün giriş ve çıkışında 10 cm çapında difüzör kullanılmıştır. Kollektörler alt taraftan 4 cm, sağ ve sol yanlardan 2 cm cam yünü ile yalıtılmıştır. Kollektör içerisine yerleştirilen yalıtım malzemesinin (cam yünü) Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Kollektörün yalıtım aşaması

Şekil 2.3’de yanlardan ve alt taraftan yalıtılmış kollektörün, Şekil 2.4’de de kollektör difüzörlerinin imalatı görülmektedir.



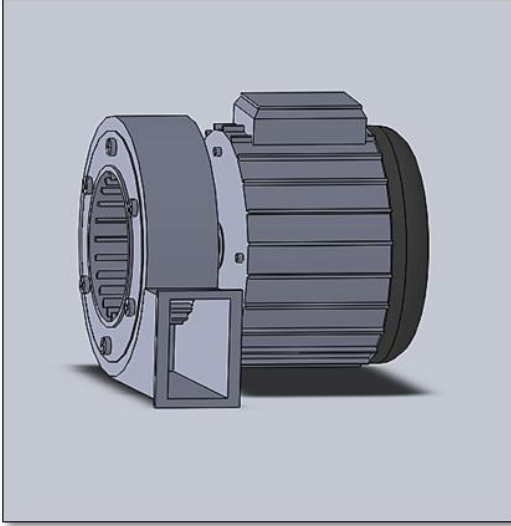
Şekil 2.3. Kollektörün yalıtım işleminden sonraki imalat aşaması



Şekil 2.4. Difüzörlerin imalat aşaması

2.1.2. Radyal Fan

Dışarıdan alınan havanın kollektör içerisinde emilimini sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Şekil 2.5 (b)'de görülen radyal fan, 570 W gücünde olup dakikada 2800 devir yapmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 2.5. Radyal fanın aynı açıdan (a) katı modellemesi, (b) fotoğrafı

2.1.3. Hız Kontrol Cihazı

Şekil 2.6'da görülen hız kontrol cihazı 5A akımında ve 1000W gücündedir. Radyal fanın hızını bu cihaz aracılığıyla kontrol edilmiştir. Radyal fanlar tek fazlı motorlar olduğundan dimmerlerde tek fazlı seçilmiştir.



Şekil 2.6. Hız kontrol cihazının üstten görünüşü [38].

2.1.4. Anemometre

Kollektörler, farklı emici yüzey geometrilerine sahip olduğundan basınç kayıpları oluşacaktır. Bu yüzden radyal fanın çıkışına anemometre bağlayarak kollektör çıkış hızı m/s cinsinden okunmuştur. Deneyler süresince kollektörler 0.016 ve 0.025 kg/s debilerinde çalıştırılmıştır. Şekil 2.7’de deneyde kullanılan anemometrenin önden görülüşü, Tablo 2.1’de de kullanılan cihazın teknik özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.1. Anemometrenin teknik özellikleri

Özellikler	DT- 619
Hava Hızı Ölçüm Aralığı	0.3 – 45 m/s
Hava Hızı Çözünürlüğü	0.1 m/s
Hava Hızı Kararlılığı	$\pm 3\%$ - ± 0.20 m/sn



Şekil 2.7. Deneyde kullanılan anemometrenin önden görünüşü [39].

2.1.5. Isıl Çiftler (thermocouples)

Isıl çiftler $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den $2320\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar çeşitli proseslerde yaygın olarak kullanılır. Isıl çiftler iki farklı metal alaşım uçlarının kaynak edilmesi ile elde edilen bir sıcaklık ölçü elemanıdır. Isıl çiftler sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkından oluşur. Sıcaklık farkına orantılı olarak soğuk nokta uçlarında mV değerlerinde gerilim üretilir. Sıcak nokta ile soğuk nokta sıcaklık dağılımı nasıl olursa olsun üretilen gerilim sıcak ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkına orantılıdır [40].

Deneyler; Şekil 2.8'de görülen OMEGA marka, 5TC-TT-T-24-72 kodunda, çapı 0.51 mm olan T-tipi Cu-Co, çift yalıtımlı teflon ısıl çiftlerle gerçekleştirilmiştir. Isıl çiftlerin hassasiyeti $\pm\% 0.5$, sıcaklık aralığı $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasındadır.



Şekil 2.8. Isıl çift (bakır ve kostantan) uçlarının lehimlenmiş görünümü

2.1.6. Dijital Ölçü Aleti

Şebeke elektriğindeki bir sinüslük dalga boyu gün içerisinde değişim gösterdiğinden sıcaklık ölçümlerinin yapıldığı saatlerde VC 97 modelinde bir dijital ölçü aleti kullanılarak sistemin alternatif akım ve gerilim değerleri ölçülmüştür. VC 97 dijital ölçü aletinin teknik özellikleri Tablo 2.2’de, önden görünüşü ise Şekil 2.9’da verilmiştir.

Tablo 2.2. Dijital ölçü aletinin teknik özellikleri [41].

Fonksiyonlar	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
DC Voltaj	400mV/4V/40V/400V/1000V	$\pm (1\%)$
AC voltaj	400mV/4V/40V/700V	$\pm (1\%)$
DC Akım	400 μ A/4000 μ A/40mA/400mA/10A	$\pm (1\%)$
AC akım	400 μ A/4000 μ A/40mA/400mA/10A	$\pm (1\%)$
Sıcaklık	-40°C ~ 1000°C	$\pm (0.75\%)$



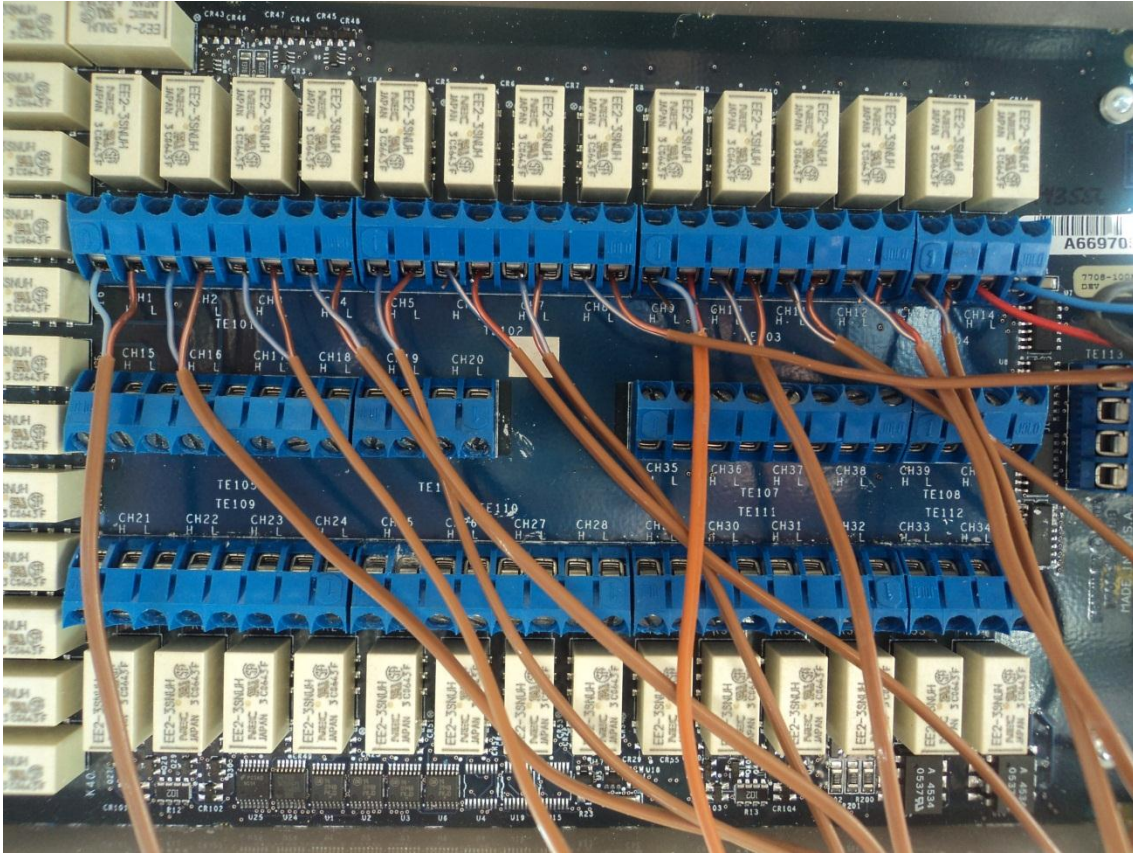
Şekil 2.9. VC 97 Dijital Multimetre (ölçü aleti) [41].

2.1.7. Veri Derleyici

Şekil 2.10’da önden görünüşü verilen veri derleyicisi; içerisinde 40 kanallı çoklayıcı (multiplexer module) bulunan KEITHLEY marka olup, modeli 2701’dir. Isıl çiftlerde oluşan gerilim farkını $^{\circ}\text{C}$ cinsinden ve piranometredeki ısıtım değerini, bilgisayara yüklenen EXCELINUX yazılımına sayısal olarak aktarır. Isıl çiftlerin (thermocouples) veri derleyicisine bağlantısı Şekil 2.11’de verilmiştir.



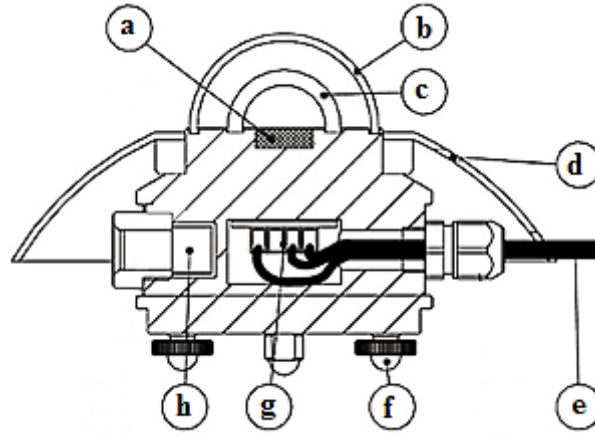
Şekil 2.10. Veri derleyicinin önden görünüşü [42].



Şekil 2.11. Isıl çiftlerin veri derleyici kartına bağlantısı

2.1.8. Piranometre (Piranometre)

Termodinamiğin I. ve II. kanun analizlerinin yapılabilmesi için güneş ışınımının W/m^2 cinsinden bilinmesi gerekmektedir. Bu deney setinde güneş ışınımı; KIPP&ZONEN marka CMP3 model piranometre ile ölçülmüştür. Piranometrenin teknik resmi ve malzemeleri Şekil 2.12’de gösterilmiştir. Piranometrenin hassasiyeti $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında % 5, $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ arası ise % 10’ dur. Piranometrelerin çalışması yatay alıcı yüzeylere gelen enerjitik ışıma ile orantılı olarak mili volt mertebesinde potansiyel fark oluştururlar. Koruyucu camların etrafındaki yatay konumda monte edilmiş olan beyaz plastik cam yerden saçılan ve yayılan ışımanın sensöre gelmesini engeller.



Şekil 2.12. Pyranometrenin tam kesit önden görünüşü (a) sensör, (b-c) koruyucu cam, (d) plastik muhafaza, (e) kablo, (f) dengeleyici sehpa, (g) bağlantı uçları, (h) nem sensörü

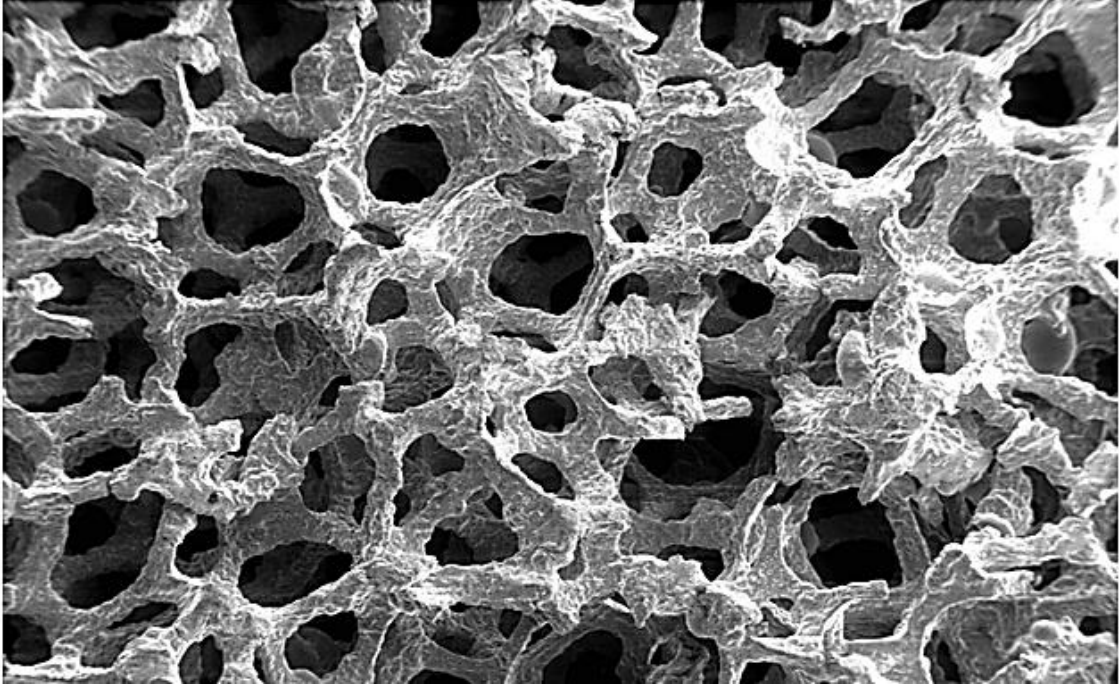
2.1.9. Gözenekli Malzeme

Metal bir köpük, genellikle alüminyum veya bir metalin hücresel yapısından oluşur. Metal köpüklerin karakteristikleri çok yüksek gözenekli yapılara sahiptirler. Gözeneklilik hacimleri tipik olarak % 75-95 arasında değişebilmektedir. Metalik köpükler dönüşümleri sırasında kendi temel malzemesinin bazı fiziksel özelliklerini korurlar. Örneğin, ısıl genleşme katsayısı benzer kalırken, ısı iletim katsayısı düşebilir. Metalik köpükler, açık hücreli ve kapalı hücreli olmak üzere ikiye ayrılır [43].

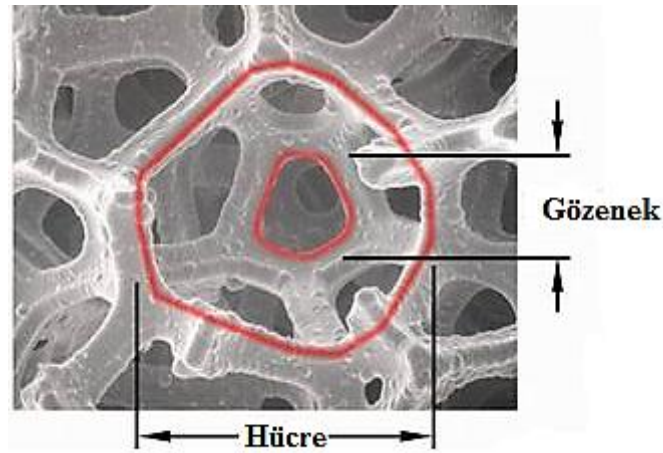
2.1.9.1. Açık Hücreli Metalik Köpükler

Kimya endüstrisinde filtre olarak kullanılırken, ısı değiştirgeçlerinde, elektronik soğutma sistemlerinde, enerji emiliminde, akış difüzyonunda ve çok daha geniş alanlarda uygulamaları vardır.

Şekil 2.13 ve 2.14'ü incelediğimizde açık hücreli köpüklerin gözenek ve hücrelerini çıplak gözle görebiliriz.



Şekil 2.13. Açık hücreli alüminyum köpük [43].

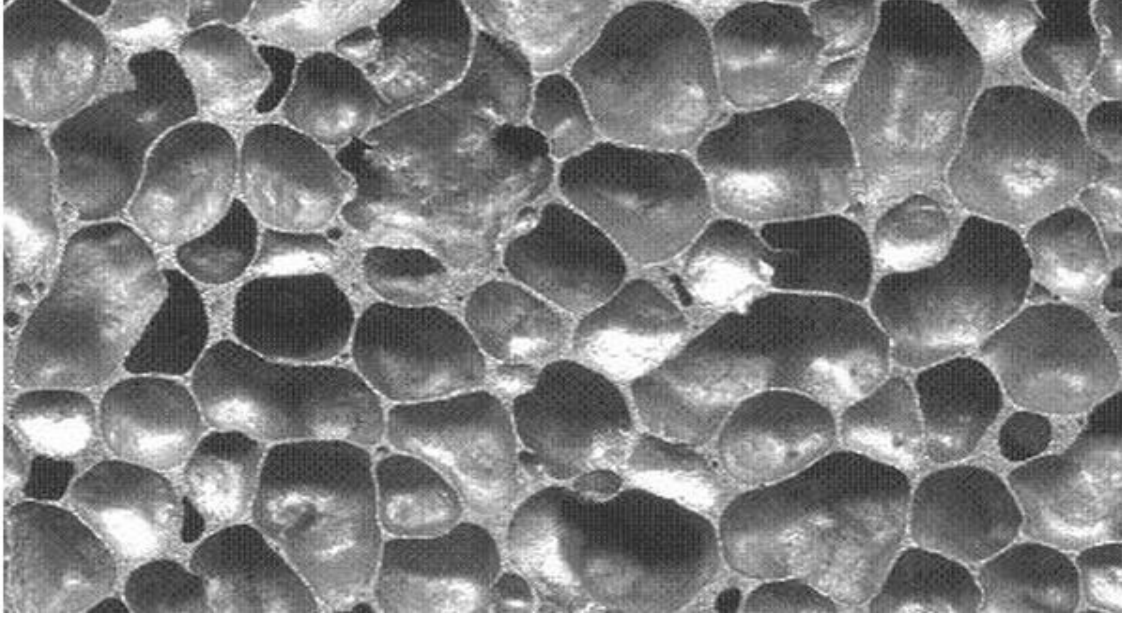


Şekil 2.14. Açık hücreli alüminyum köpüğün hücre ve gözenek yapıları

2.1.9.2. Kapalı Hücreli Metalik Köpükler

İlk defa 1926 yılında Fransız patentçi Meller tarafından bildirilmiştir. Daha sonra 1948 ve 1951 yıllarında Benjamin Sosnik süngerimsi köpükleri ele almıştır. 1956 yılında Bjorksten Araştırma Labratuvarında, John C. Elliott tarafından geliştirilmiştir. 50'li yıllarda ilk prototip geliştirilmesine rağmen ticari üretime Japon şirketi Shinko Wire tarafından 90'lı yıllarda başlanmıştır [43].

Kapalı hücreli köpüklerin, hücre veya gözenek boyutları 1-8 mm arındadır. Birçok polimer köpüklerin aksine, metal köpükler darbeden sonra deforme oldukları için bir kez kullanılabilirler. Şekil 2.15’de kapalı hücreli alüminyum bir köpük görülmektedir.



Şekil 2.15. Kapalı hücreli alüminyum köpük [43].

Tablo 2.3’de 10 mm kalınlığındaki alüminyum köpüğün çeşitli özelliklerinin test sonuçları verilmiştir.

Tablo 2.3. 10 mm kalınlığındaki alüminyum köpüğün test sonuçları [44].

Temel Özellikler	Kimyasal Birleşim	% 97 Al.
	Hücre Tipi	Kapalı Hücreli
	Yoğunluk	0.2 ~ 0.4 g/cm ³
Mekanik Özellikler	Gerilme Kuvveti	1.3 ~ 2.0 MPa
	Basınç Kuvveti	1.5 ~ 2.0 MPa
Isıl Özellikler	Isı İletkenliği	0.268 W/mK
	Erime Noktası	Yaklaşık 780 °C
Diğer Özellikler	Elektromanyetik Dalgaları Sönümlemesi	90 dB

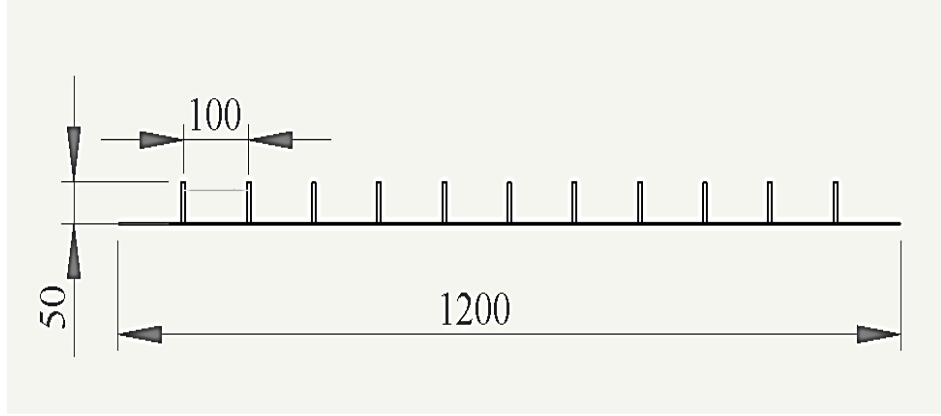
Tablo 2.4’de 200x25x15 mm boyutlarında % 85 gözenekliliğe sahip kapalı hücreli alüminyum köpük kullanılmış ve sıcaklığın artmasıyla ısı iletim katsayısının da arttığını bulmuşlardır.

Tablo 2.4. Çevre sıcaklığına göre ısı iletim katsayısının değişimi [44].

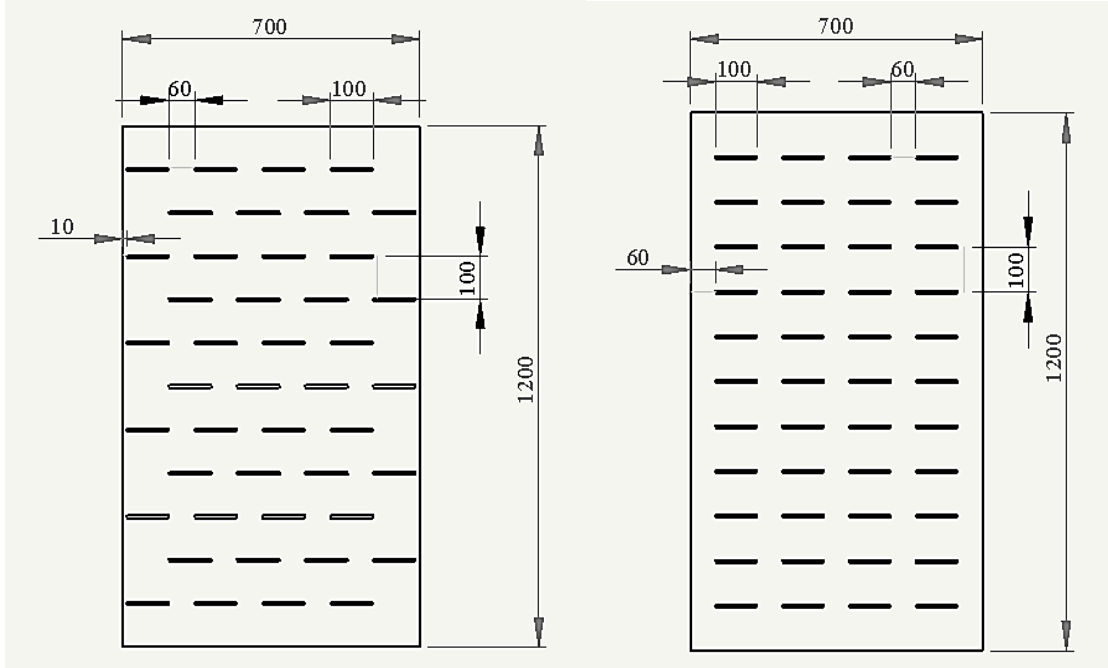
Çevre Sıcaklığı	Isı İletim Katsayısı
25 °C	0.329 W/mK
40 °C	0.352 W/mK
60 °C	0.392 W/mK

Deneylerimizde kapalı hücreli alüminyum köpük kullanılmıştır. Gözenekliliği yaklaşık % 85’tir. 6 mm ve 10 mm kalınlıklarındaki köpükler, sıralı ve şaşırtmalı olarak dizilmişlerdir. Literatüre bakıldığında, sıralı ve şaşırtmalı dizilimlerde kanatçıklar aynı yüzey alanına sahip değildir. Kanatçık sayısı verime etki eden bir parametre olduğu için emici yüzey üzerine kanatçık olarak ilave edilen alüminyum köpüklerin sayısı sıralı ve şaşırtmalı durumlar için aynı yüzey alanı kullanılmıştır.

Sıralı ve şaşırtmalı durumlarda kullanılan gözenekli alüminyum köpüklerin yandan ve üstten görünüşlerinin teknik resimleri Şekil 2.16’da verilmiştir. 6 ve 10 mm köpüklerin emici yüzey üzerine sıralı ve şaşırtmalı olarak dizilimleri Şekil 2.17’de verilmiştir.



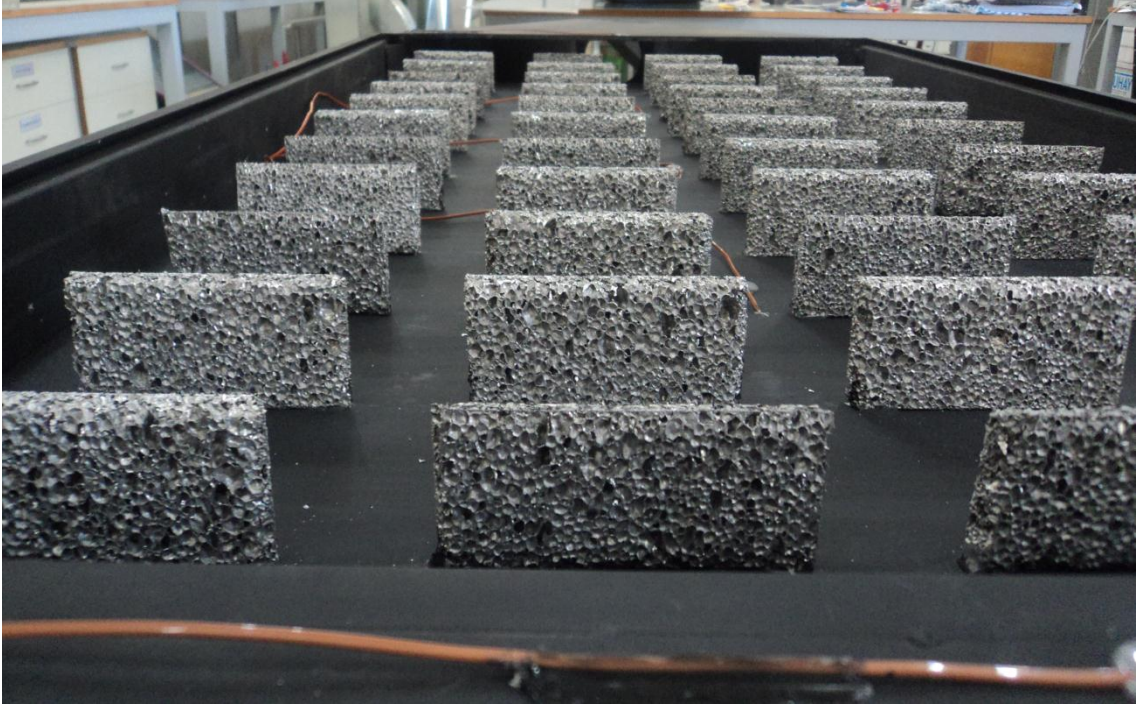
(a)



(b)

(c)

Şekil 2.16. Alüminyum köpüklerin emici yüzey üzerine sıralanışının teknik resim görüşleri (a) sıralı ve şaşırtmalı dizilimlerin yandan görüşü, (b) şaşırtmalı dizilimin üstten görüşü, (c) sıralı dizilimin üstten görüşü



(a)



(b)

Şekil 2.17. Gözenekli alüminyum köpüklerin emici yüzey üzerine (a) sıralı (b) şaşırtmalı dizilimleri

2.2. Deneyin Yapılışı

Şekil 2.1’de gösterildiği gibi Elazığ ilinin güneşlenme süresi ve global radyasyon değerlerinin en çok olduğu 2011 yılının Haziran ve Temmuz aylarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerdeki ölçümler, saat 09:00-16:30 arasında her yarım saatte bir periyodik olarak alınmıştır. Deneyler sırasında yutucu plaka üzerindeki üç noktadan, kollektör giriş ve çıkışından, çevre sıcaklığından değerler alınmıştır. Ayrıca anemometre yardımıyla kollektörlerin çıkış hızları ölçülmüştür. Deneyler sırasında denenen parametreler Tablo 2.5’da gösterilmiştir. Deneyler ile ilgili bulunan verilere ait grafikler bulgular kısmında verilmiştir.

Tablo 2.5. Deneylerde kullanılan parametreler

DİZİLİM ŞEKLİ	KANATÇIK YAPISI	1. DEBİ	2. DEBİ
		0.016 kg/s	0.025 kg/s
Sıralı	Kanatçıksız – 6 mm	✓	✓
	Kanatçıksız – 10 mm	✓	✓
Şaşırtmalı	Kanatçıksız – 6 mm	✓	✓
	Kanatçıksız – 10 mm	✓	✓
Sıralı	6 mm – 10 mm	✓	✓
Şaşırtmalı	6 mm – 10 mm	✓	✓
Sıralı ve Şaşırtmalı	6 mm	✓	✓
Sıralı ve Şaşırtmalı	10 mm	✓	✓

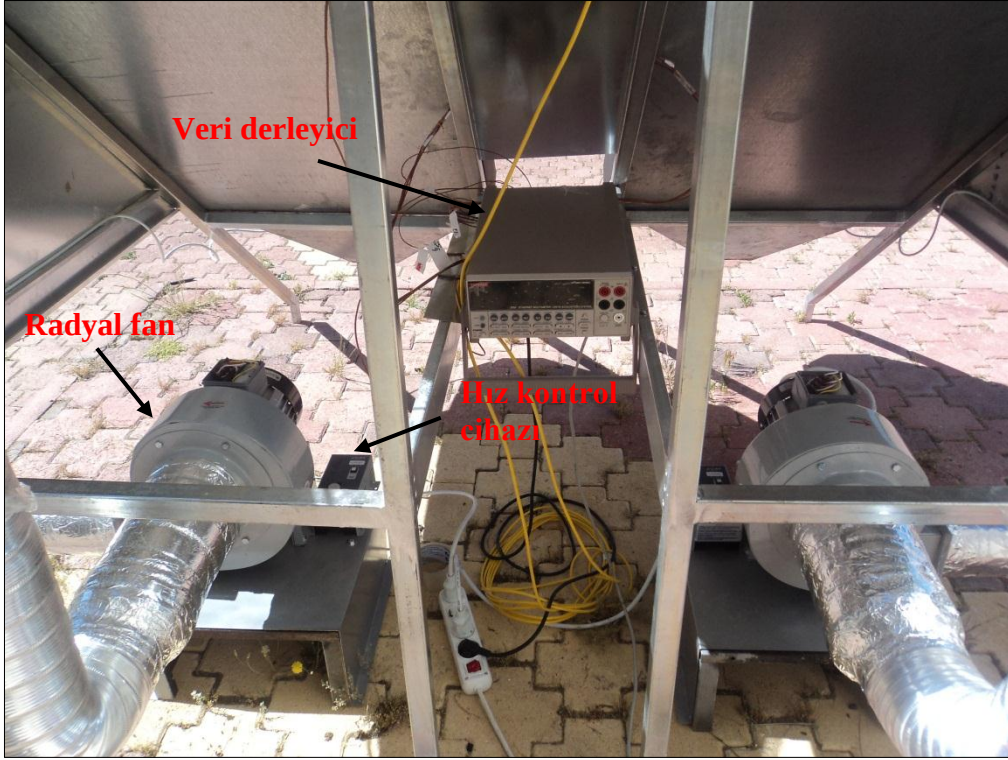
Sistemin son halinin önden, yandan ve arkadan görünüşleri Şekil 2.18-2.20’de verilmiştir.



Şekil 2.18. Sistemin önden görünüşü

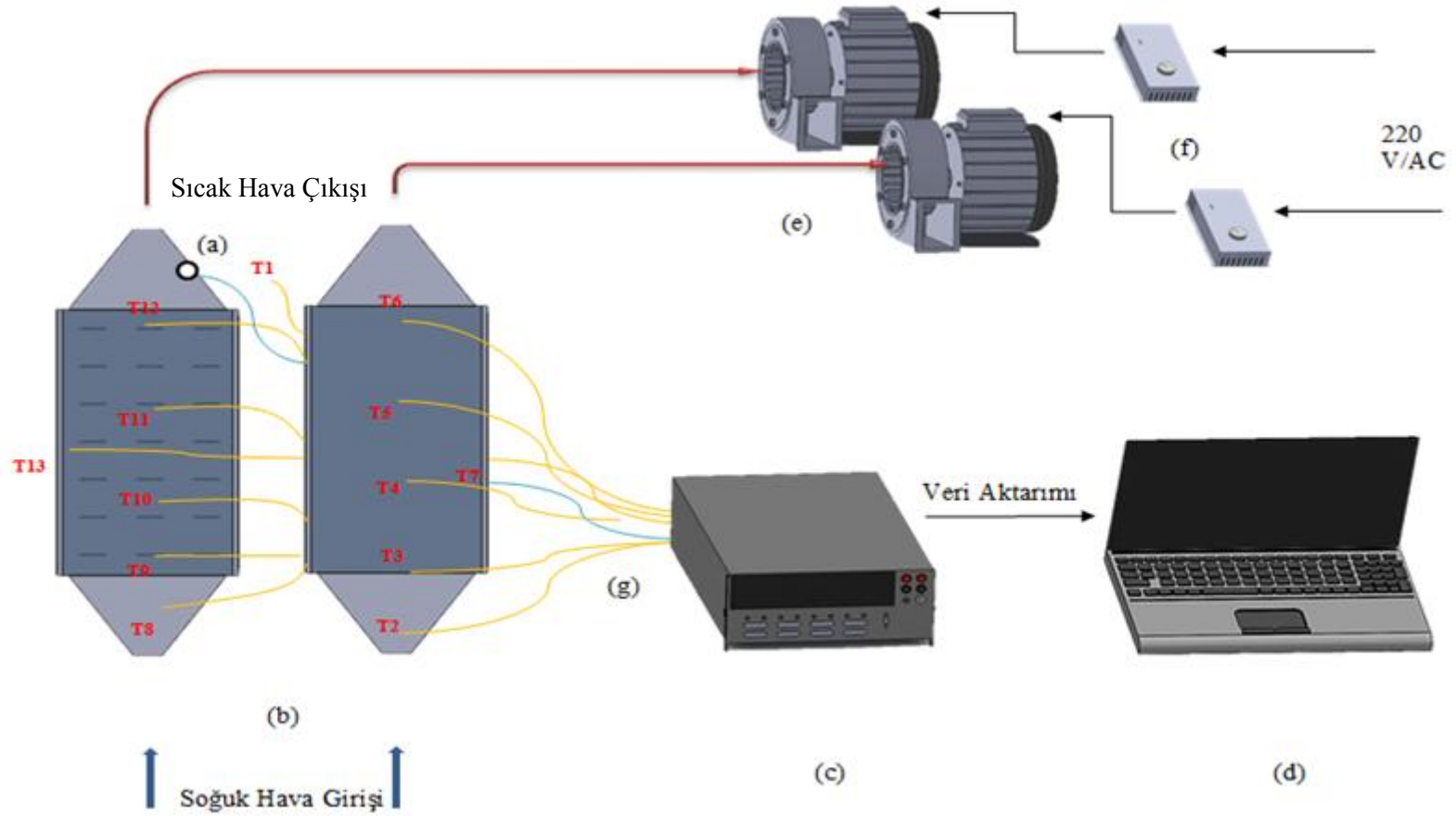


Şekil 2.19. Sistemin yandan görünüşü



Şekil 2.20 Sistemin arkadan görünüşü

Deney setinin daha anlaşılabilir olması için Şekil 2.21’de deneyde kullanılan malzemeler ile birlikte şematik olarak verilmiştir.



Şekil 2.21. Deney setinin şematik gösterimi ve kullanılan elemanlar. (a) ışıyım probu (pyranometer), (b) havalı kollektörler, (c) veri derleyici (data logger), (d) bilgisayar, (e) radyal fanlar, (f) hız kontrol cihazları, (g) ısıl çiftler (thermocouples)

2.3. Enerji ve Ekserji Analizi

Enerji, ekserji analizleri yapmak için, ilk önce sistemin tanımlanması çok önemlidir. Sistemin, kapalı ve açık olma durumuna göre sistemleri ikiye ayırabiliriz. Açık sistemlerde enerji, ekserji analizlerinin yapılacağı alan, kontrol hacmi olarak nitelendirilmektedir. Kontrol hacmi, sistemin belirli bir kısmını göz önüne alarak, bu hacme giren, enerji, kütle miktarlarının, sürekli ya da zamanla değişen durumları için analizleri yapılır. Kontrol hacminin analizleri yapılırken, kütlenin korunumu ve enerjinin korunumu ilkelerine dayanarak kontrol hacminin termodinamiğin 1. kanunu ifade edilerek enerji analizleri yapılabilir. Kontrol hacminin, kütlenin korunumu, enerjinin korunumu ve entropi artış ilkeleri göz önüne alarak termodinamiğin 2. kanunu ifade edilerek ekserji analizleri yapılabilir. Bu analizlerde, sistemin enerji ve ekserji analizleri, sistemin istatistiksel ya da klasik olarak incelenmesi durumuna göre, farklılık gösteren durumlar da söz konusudur. Klasik alanlarda kontrol hacminin büyük olmasından dolayı, bazı durumlar ihmal edilebilir.

Kontrol hacminin enerji, ekserji analizleri yapılırken, enerji ve ekserji kavramlarının çok iyi bir şekilde öğrenilmesi gerekmektedir. Oda sıcaklığındaki bir bardak suyun enerji ve ekserji durumu şöyle özetlenebilir. Oda sıcaklığında çevre ile denge durumunda olan bir bardak sudaki enerji durumu, çevre sıcaklığı ile orantılı olarak değişebilir. Yani enerjinin oda sıcaklığındaki bir bardak suyun enerji analizi yapıldığı takdirde sıfır olmaz. Enerji değerinin sıfır olması için çevre koşullarının ve suyun sıcaklığının -273°C 'de, sıfır entalpi durumunda olması gerekir. Oda sıcaklığındaki bir bardak suyun ekserji analizi bakımından incelendiği zaman, ekserjinin sıfır olduğu görülür. Ekserji çevre şartlarının ve kontrol hacminin arasındaki farkların göz önüne alınması ile sistemin iş yapabilme potansiyelini ifade eder. Kontrol hacminin enerji analizlerinde, göz önünde bulundurulmuş hacme giren ve çıkan enerji türlerinin belirlenmesi gerekir. Ekserji analizinde ise, kontrol hacmine giren ve çıkan enerji türlerinin ekserji ifadeleri şeklinde düzenlenerek ve entropi artış ilkesi ve sistemin bulunduğu çevre şartlarının göz önünde bulundurulması gerekir.

Ekserji analizi bir sistemdeki enerji kaynaklarının tanımlanması konusunda oldukça faydalı olmaktadır. Ekserji; belirli koşullardaki bir sistemin, tersinir hal değişimi sonucunda çevrenin bulunduğu hale getirilmesi sonucunda elde edilebilecek maksimum iş

miktardır [29, 30]. Ancak; gerçek hal değişimlerinde tersinmezliklerden dolayı toplam entropi artarken toplam ekserji azalmaktadır. Bu bakımdan, ekserji bilançosu, ekserji kayıplarının kaynağının tanımlanmasında faydalı olmaktadır. Ekserji bilançosu, yapılan bir enerji analizinin doğruluğunun kontrolü için de yararlı bir araçtır [30, 31].

2.3.1. Enerji Analizi

Deneylerde enerji ve ekserji analizleri yapmadan önce, hava ısıtılmalı kollektörlerinin, açık bir sistem olup, kontrol hacmi olarak, kollektörlerin emici yüzey hacimleri göz önüne alınmıştır. Aşağıda gösterilen kabuller yapılarak hesaplamalar yapılmıştır [30].

- Kararlı durum, kararlı akış şartları göz önüne alınmıştır.
- İhmal edilebilir potansiyel ve kinetik enerji etkileri ve kimyasal veya nükleer reaksiyonun olmamasıdır.
- Hava, ideal bir gazdır ve nem içeriği ihmal edilir.
- Sisteme ısı transferinin ve sistemden iş transferinin yönleri pozitifdir.

Bu kabuller ile kontrol hacminin, termodinamiğin 1 ve 2. yasa verimi analizleri yapılmaktadır.

Verim, hava ısıtılmalı güneş kolektörlerinin, ısı transfer akışkanına (hava), emici yüzey ve kanatçıklardan geçen ısının, kollektörlerin emici yüzeyine gelen güneş ışınımına bölünmesi ile elde edilir [19].

$$\eta = \frac{\dot{Q}_c}{IA_c} \quad (2.1)$$

Kollektörde elde edilen faydalı enerji ise [19];

$$\dot{Q}_c = \dot{m}C_p(T_c - T_g) \quad (2.2)$$

formülü ile hesaplanır.

Faydalı enerji formülündeki kütleli debi ise;

$$\dot{m} = \rho AV \quad (2.3)$$

denkleminde elde edilir. Kollektörlerde ρ ve C_p değerleri ortalama sıcaklık kullanılarak havanın fiziksel özellikleri tablosundan seçilmiştir. Kollektör çıkış sıcaklığı T_c , kollektör giriş sıcaklığı da T_g olarak tanımlanırsa [30];

$$T_{ort} = \frac{(T_c - T_g)}{2} \quad (2.4)$$

denklemini ile ortalama sıcaklık hesaplanır. Denklem (2.2)'de ki değeri (2.1)'de tekrar yazdığımızda [30];

$$\eta = \frac{\dot{m}C_p(T_c - T_g)}{IA_c} \quad (2.5)$$

Güneş kollektörünün ısı verimi; giren enerji ile kollektör düzlemi üzerine gelen güneş ışınımının birbirine oranı olarak tanımlanır.

2.3.2. Ekserji Analizi

Bir sistemin analizinde TD. 1 yasa verimi, tek başına bir ölçü değildir. Bu yüzden, TD.2 yasa analizinin yapılması, sistemin daha verimli değerlendirilmesi açısından önemlidir. Yapılan kabuller ışığı altında, kontrol hacminin ekserji verimi hesaplanmıştır. Kontrol hacminin sürekli akış ve kütlenin korunumu ilkesi göz önüne alınarak aşağıdaki denklem yazılabilir.

$$\sum \dot{m}_{giren} = \sum \dot{m}_{çıkan} \quad (2.6)$$

Kinetik ve potansiyel enerji değişimlerinden dolayı meydana gelen etkiler ihmal edilirse, genel enerji ve ekserji dengeleri hız cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilebilir [30].

$$\sum \dot{E}_{giriş} = \sum \dot{E}_{çıkış} \quad (2.7)$$

$$\sum \dot{E}x_{giris} - \sum \dot{E}x_{çıkış} = \sum \dot{E}x_{kayıp} \quad (2.8)$$

veya

$$\dot{E}x_{ısı} - \dot{E}x_{iş} + \dot{E}x_{kütle girişi} - \dot{E}x_{kütle çıkışı} = \dot{E}x_{kayıp} \quad (2.9)$$

Denklem (2.9) kullanılarak genel ekserji dengesinin hız formu aşağıdaki gibi yazılabilir [24]:

$$\sum \left(1 - \frac{T_e}{T_y}\right) \dot{Q}_y - \dot{W} + \sum \dot{m}_g \psi_g - \sum \dot{m}_ç \psi_ç = \dot{E}x_{kayıp} \quad (2.10)$$

burada,

$$\psi_g = (h_g - h_e) - T_e(s_g - s_e) \quad (2.11)$$

$$\psi_ç = (h_ç - h_e) - T_e(s_ç - s_e) \quad (2.12)$$

Denklem (2.11) ve (2.12), Denklem (2.10)'da yerine koyulursa, denklem aşağıdaki şekilde düzenlenir:

$$\left(1 - \frac{T_e}{T_y}\right) \dot{Q}_y - \dot{m}(h_ç - h_g) - T_e(s_ç - s_g) = \dot{E}x_{kayıp} \quad (2.13)$$

Burada; $\dot{Q}_y$ kolektör yüzeyi tarafından emilen güneş enerjisidir ve aşağıdaki ifadeyle değerlendirilir [28,45,24].

$$\dot{Q}_y = I(\tau\alpha)A_c \quad (2.14)$$

Kolektördeki havanın entalpi ve entropi değişimleri aşağıdaki gibi ifade edilmiştir [28, 45, 24, 46].

$$\Delta h = h_ç - h_g = C_p(T_{h,ç} - T_{h,g}) \quad (2.15)$$

$$\Delta s = s_{\zeta} - s_g = C_p \ln \frac{T_{h,\zeta}}{T_{h,g}} - R \ln \frac{P_{\zeta}}{P_g} \quad (2.16)$$

Denklem (2.15)-(2.16)'yı, denklem (2.13)'de yerine koyulmasıyla aşağıdaki denklem yazılabilir:

$$\left(1 - \frac{T_e}{T_y}\right) I(\tau\alpha) A_c - \dot{m} C_p (T_{h,\zeta} - T_{h,g}) + \dot{m} C_p T_e \ln \frac{T_{h,\zeta}}{T_{h,g}} - \dot{m} R T_e \ln \frac{P_{\zeta}}{P_g} = \dot{E}x_{kayıp} \quad (2.17)$$

Tersinmezlik olan $\dot{E}x_{kayıp}$, direkt olarak aşağıdaki denklemden hesaplanabilir:

$$\dot{E}x_{kayıp} = T_e \dot{S}_{\text{üretim}} \quad (2.18)$$

İkinci yasa verimi ise aşağıdaki gibi hesaplanır [30]:

$$\eta_{II} = \frac{\dot{E}x_{\zeta}}{\dot{E}x_g} = \frac{\dot{m} [h_{\zeta} - h_g - T_e (s_{\zeta} - s_g)]}{\left(1 - \frac{T_e}{T_y}\right) \dot{Q}_y} \quad (2.19)$$

Boyutsuz ekserji kaybı Eşitlik (2.19)'un Eşitlik (2.2)'deki yararlı ısı değerine bölünmesiyle elde edilmektedir [30].

$$Ex_D = \frac{\dot{E}x_{kayıp}}{\dot{Q}_c} \quad (2.20)$$

2.4. Hata Analizi

Uygulamada değerlendirmeler ya teorik yada deneysel olmaktadır. Teorik değerlendirmeler analitik veya nümerik olarak ele alınabilir. Her iki incelemenin geçerliliği deneysel çalışmalarla kanıtlanmalıdır. Yani, teorik çalışmalar için ne kadar uygun yaklaşımlar kullanılırsa kullanılsın çalışmanın geçerliliği ancak deneysel verilerle kanıtlanırsa sağlanabilir. Bu durum, deneysel verilerin istisnasız doğru olduğunu göstermez. Bir deneysel çalışmanın geçerliliği öncelikle yöntemin daha sonra ise ölçülen

sonuçların doğruluğuyla ilişkilidir. Deneysel yöntemin doğruluğu, deney düzeneğinin tasarlanması, deneylerin yapılması ve deneysel verilerin değerlendirmesi sırasında kişisel hataları içermektedir. Ölçümlerin doğruluğu ise deney setinin ve deneysel çalışmada kullanılan ölçü aletlerinin doğruluğunu kapsamaktadır [47].

Genel olarak deneysel hataları üç grupta toplamak mümkündür. Bunlardan birinci gruptakiler dikkatsizlik ve tecrübesizlikten olabilen hatalardır. Ölçme cihazlarının yanlış seçiminden ve ölçme sistemlerinin yanlış dizaynından ortaya çıkan hatalar bu grup içinde düşünülür. Bu hatalar genellikle ölçülen diğer bulgulardan farklı karakterde olduğundan, tecrübeli bir deneyci tarafından bunlar kolaylıkla tespit edilerek, değerlendirme dışı bırakılabilir. İkinci grup hatalar sabit ve sistematik olarak adlandırılan hatalardır. Bunlardan genel olarak tekrar edilen okumalarda görülen ve nedenleri çoğunlukla bilinmeyen hatalardır. Üçüncü grup hatalar ise rasgele hatalardır. Bunlar ise deneyi yapan elemanların değişmesinden, deneyi yapanların dikkatlerinin zamanla azalmasından, elektrik geriliminin değişmesinden, cihazların ısınmasından ortaya çıkan elektronik ölçme aletlerindeki salınımlardan veya ölçme aletlerindeki histerezis olaylarından kaynaklanabilir. Ölçü aletlerinin imalatının doğru yapıldığı kabul edilirse, hata analizi; sabit ve rasgele hataları belirleyerek bunların deneysel sonuçlar üzerindeki etkilerinin ortaya konulmasıdır [48].

Yukarıda da bahsedildiği gibi ölçüm aletlerine bağlı hatalar sıcaklık ölçümünde de ortaya çıkmaktadır. Ölçüm aletleri için Tablo 2.6.-2.9’da verilen hata değerleri, ölçüm aletlerinin katalog değerlerinden elde edilmektedir.

Deneysel çalışmada, farklı noktalardan yapılan sıcaklık ölçümlerinden kaynaklanan hatalar;

Tablo 2.6. Sıcaklık ölçümünden kaynaklanan hatalar

	Hata	Değer (°C)
a_1	Isıl çiftlerden kaynaklanan ortalama hata	± 0.5
b_1	Bağlantı elemanlarından ve noktalarından kaynaklanan ortalama hata	± 0.1
c_1	Kollektör girişinde sıcaklığın ölçülmesinden kaynaklanan ortalama hata	± 0.2
d_1	Kollektör yüzey sıcaklığının ölçülmesinden kaynaklanan ortalama hata	± 0.2
e_1	Kollektör çıkışında sıcaklığın ölçülmesinden kaynaklanan ortalama hata	± 0.2
f_1	Çevre sıcaklığının ölçülmesinden kaynaklanan ortalama hata	± 0.2

Tablo 2.7. Zaman ölçümünden kaynaklanan hatalar

	Hata	Değer (dakika)
a ₂	Zaman ölçerden kaynaklanan hata	±0.05
b ₂	Periyodik olarak sıcaklık değerlerinin okunmasında yapılabilecek hata	±0.0003

Tablo 2.8. Hız ölçümünden kaynaklanan hatalar

	Hata	Değer (m/sn)
a ₃	Anemometrenin hassasiyetinden kaynaklanan hata	±0.2
b ₃	Debi kaçaklarından kaynaklanan hata	±0.1
c ₃	Anemometre cihazında hız değerinin okunması sırasında ortaya çıkabilecek hata	±0.1

Tablo 2.9. Diğer hatalar

	Hata	Değer (%)
a ₄	Fiziksel özelliklerin okunmasından kaynaklanan hata	±0.1-0.2

Herhangi bir parametredeki toplam hatanın belirlenmesi için sabit hataların, imalat hatalarının ve rasgele hataların dikkate alınmasıyla toplam hata değeri [49],

$$W_{th} = [(x_1)^2 + (x_2)^2 + \dots (x_\infty)^2]^{1/2} \quad (2.21)$$

eşitliği ile hesaplanır. Bu eşitliğe göre yukarıda belirlenen hata miktarları kullanılarak Tablo 2.10’de görülen havalı güneş kollektörünün ısı performans analizi deneyleri sırasında meydana gelen toplam hata miktarları hesaplanmıştır.

Tablo 2.10. Deneyler sırasında meydana gelen toplam hata miktarları

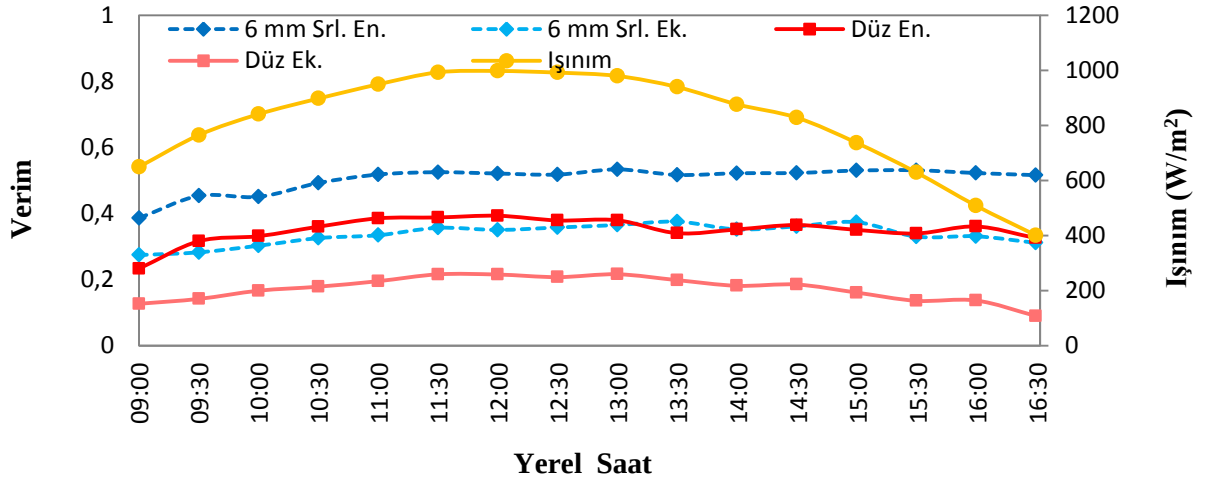
	Hata oluşturan parametreler	Kullanılan denklem	Toplam hata
Sıcaklık (°C)	Kolektör girişinde sıcaklığın ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata	$W_{th} = [(a_1)^2 + (b_1)^2 + (c_1)^2]^{1/2}$	±0.547
	Kolektör yüzey sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata	$W_{th} = [(a_1)^2 + (b_1)^2 + (d_1)^2]^{1/2}$	±0.547
	Kolektör çıkışında sıcaklığın ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata	$W_{th} = [(a_1)^2 + (b_1)^2 + (e_1)^2]^{1/2}$	±0.547
	Çevre ya da deney ortamı sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata	$W_{th} = [(a_1)^2 + (b_1)^2 + (f_1)^2]^{1/2}$	±0.547
Zaman (dakika)	Periyodik olarak sıcaklık değerlerinin okunmasından ortaya çıkabilecek toplam hata	$W_{th} = [(a_2)^2 + (b_2)^2]^{1/2}$	±0.05
Hız (m/sn)	Hız ölçümünden kaynaklanabilecek toplam hata	$W_{th} = [(a_3)^2 + (b_3)^2 + (c_3)^2]^{1/2}$	±0.244
Diğer (%)	Fiziksel özelliklerin okunmasından ortaya çıkabilecek hata	W_f	±0.1-0.2

Yapılan bu çalışmada, içerisine gözenekli engeller yerleştirilmiş havalı güneş kollektöründeki hata analizi ele alınmıştır. Bu sistem için hata oluşturan kriterler belirlenerek, bu kriterlerin katalog değerlerindeki hata dereceleri ve miktarları tespit edilmiştir. Hesaplamalar sonucunda en büyük hata değerleri sıcaklık ölçümünde elde edilmiştir. Bu değerlerin alınan ölçümler arasında çok küçük değerler olduğunu belirtmek gerekir.

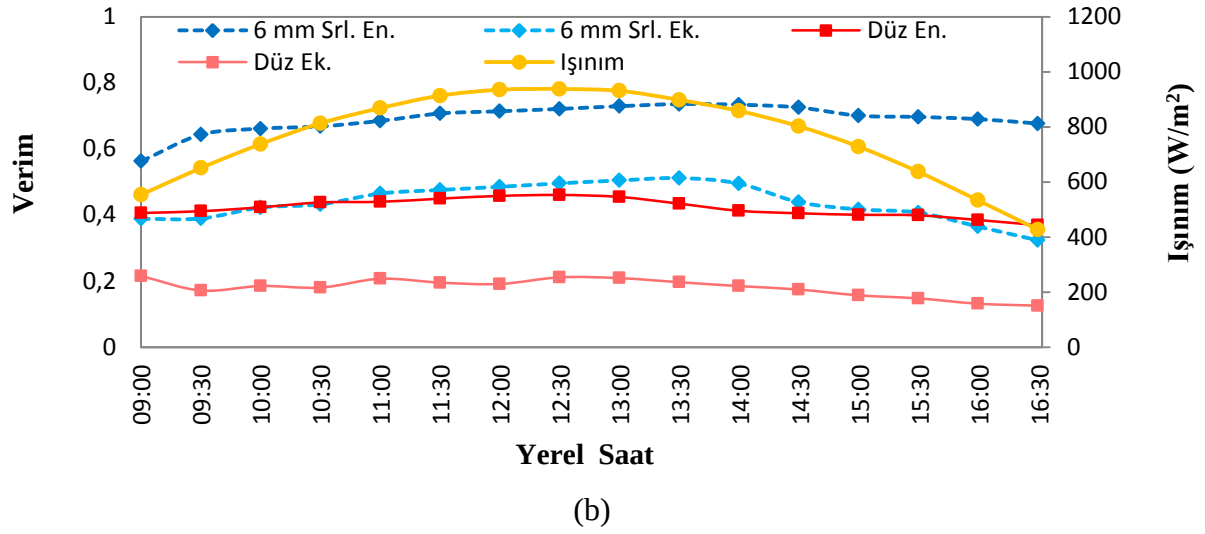
3. BULGULAR

Bu çalışmada, beş tip hava ısıtılmalı güneş kolektörlerinin performans analizi incelenmiştir. Bunlar; kanatçıksız kolektör, 6 ve 10 mm sıralı ve şaşırtmalı kolektörlerdir. Bu beş tip kolektörden iki tip seçilerek sekiz grup oluşturulmuştur. Grupların her biri 0.016 kg/s ve 0.025 kg/s 'lik hava debilerinde deneysel olarak incelenmiştir. Kanatçıksız kolektörler grafik içerisinde düz olarak nitelendirilmiştir. Bundan sonraki yorumlamalarda düz kolektör üzerinden yapılacaktır.

Şekil 3.1'de 6 mm sıralı kolektör ile düz kolektörün farklı debilerde ki enerji ve ekserji grafikleri verilmiştir. Şekil 3.1 (a) 9 Haziran 2011 tarihinde 0.016 kg/s, (b) 5 Temmuz 2011 tarihinde 0.025 kg/s debilerinde çalışılmıştır. 6 mm sıralı kolektör ile düz kolektörün verimleri her iki debi içinde karşılaştırıldığında 6 mm'li gözenekli engellere sahip kolektör veriminin daha yüksek olduğu görülmektedir.

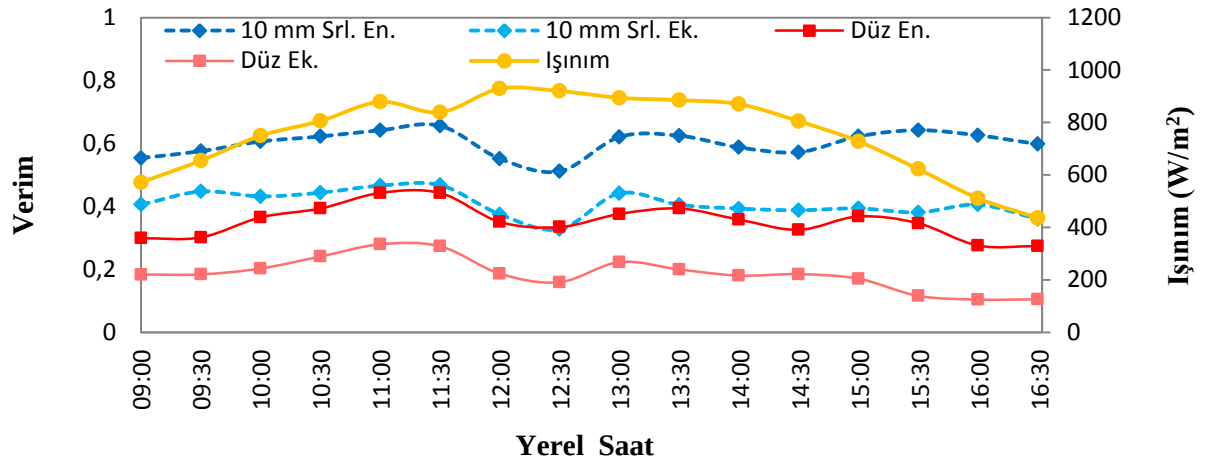


(a)

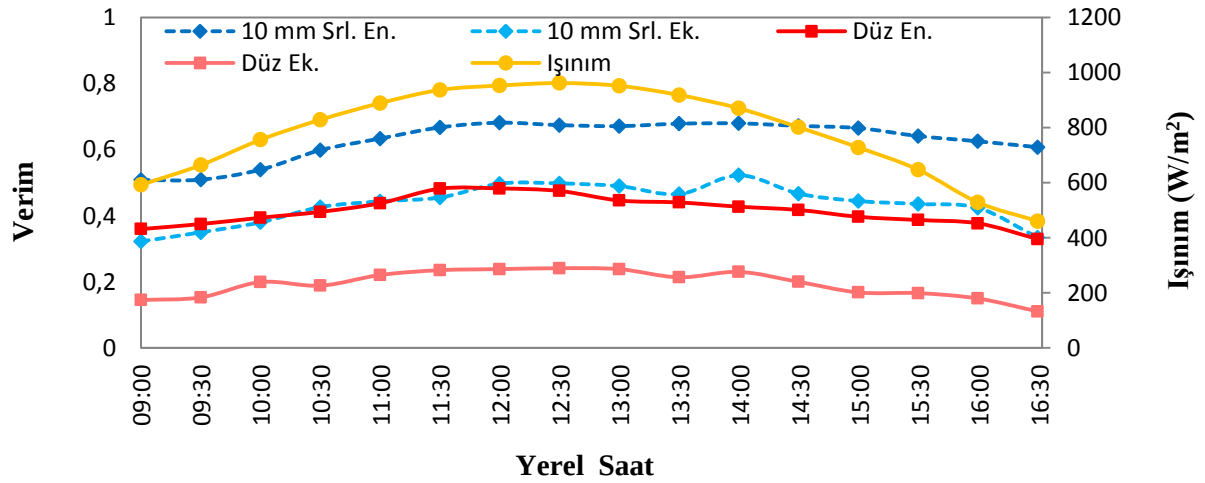


Şekil 3.1. 6 mm sıralı ile düz kollektörün farklı debilerdeki enerji ve ekserji grafikleri

Şekil 3.2’de 10 mm sıralı kollektör ile düz (kanatçıksız) kollektörün farklı debilerdeki enerji ve ekserji grafiği verilmiştir. Şekil 3.2 (a) 16 Haziran 2011 tarihinde 0.016 kg/s, (b) 4 Temmuz 2011 tarihin de 0.025 kg/s debilerinde çalışılmıştır. 16 Haziran’da yapılan deneylerde saat 11:00-12:30 arasında havanın parçalı bulutlu olmasından dolayı kollektöre çarpan ışınım azalarak kollektör içerisindeki sıcaklığı azaltmıştır. 4 Temmuz da yapılan deneyde güneş ışınımı saate göre istikrarlı bir seyir göstermiştir. 0.016 ve 0.025 kg/s debileri için sırasıyla 10 mm’li kollektörde en yüksek verim 0.65 ve 0.68, en düşük verim 0.51, 0.50 olur iken düz kollektör için sırasıyla 0.44, 0.48 en düşük verim 0.27 ve 0.32 olmuştur.



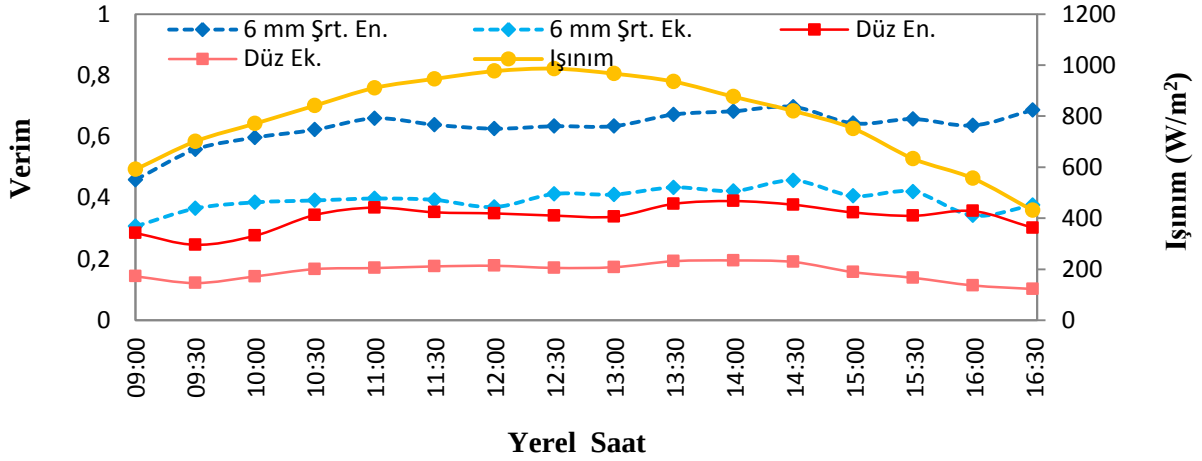
(a)



(b)

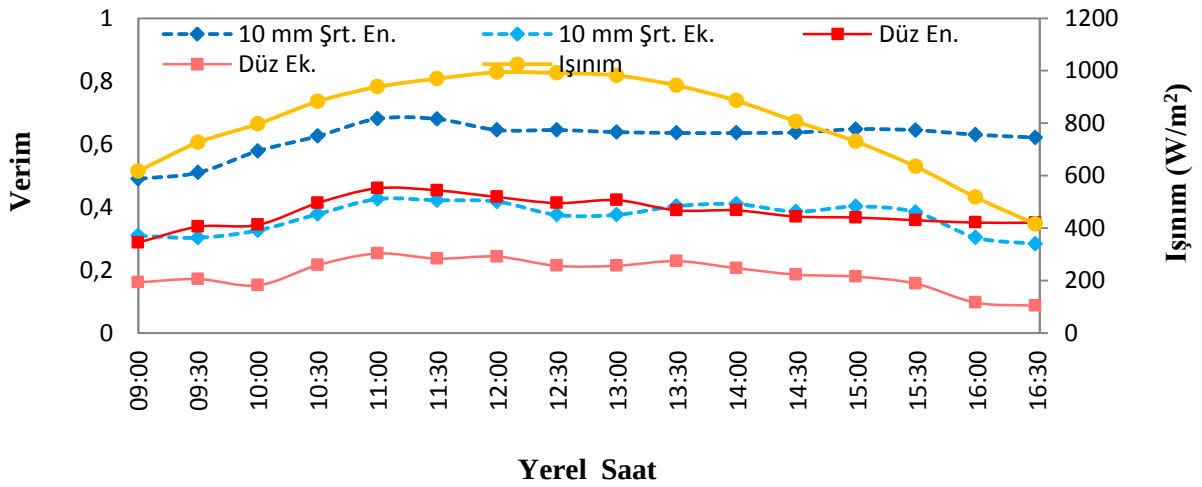
Şekil 3.2. 10 mm sıralı ile düz kollektörün farklı debilerdeki enerji ve ekserji grafikleri

Şekil 3.3’de 6 mm şaşırtmalı kollektör ile düz kollektör 21 Haziran 2011 tarihinde 0.016 kg/s debisinde çalışılmıştır. Yapılan deneyde düz kollektörler ile gözenekli kollektörün saat 9:30’daki değerlerine bakıldığında gözenekli kollektörün verimi yükselirken, düz kollektörün veriminde bir azalma gözlenmektedir. Bunun sebebi; fanın, ölçüm saatine çok yakın bir zamanda çalıştırılması, sonuçlarda yüksek değerden düşük değere inen bir grafik bölümü oluşturabilir. Fan, ölçüm saatinden yaklaşık 10-15 dakika önce çalıştırılmazsa, kollektör içerisinde o zamana kadar zorlanmış taşınım olmadığından ısı depolanması olacaktır. Fan çalıştırıldığında faydalı enerji ısı depolanmasından dolayı yüksek çıkacaktır. Bu durum da verimi artırır.



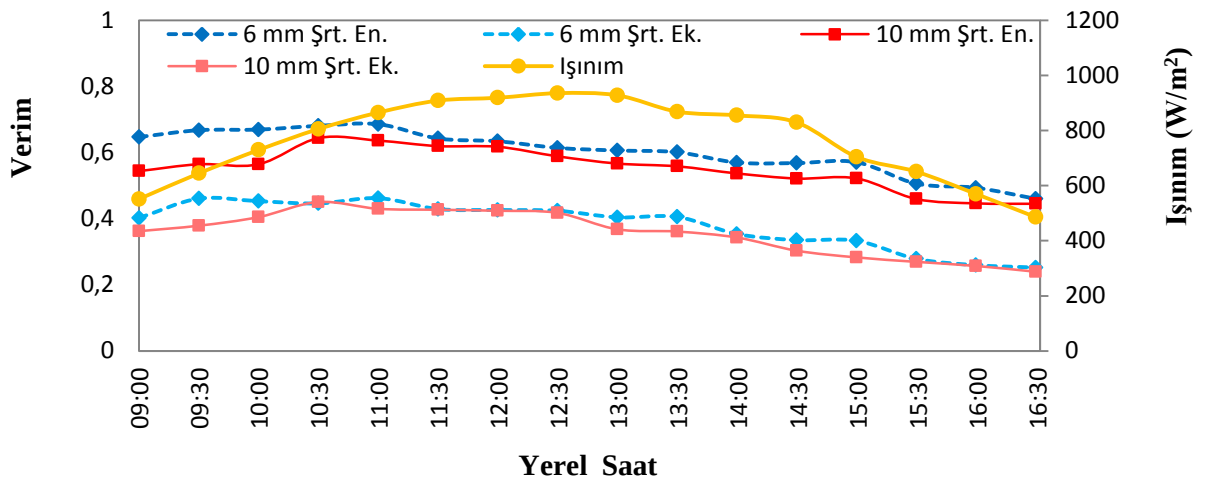
Şekil 3.3. 6 mm şaşırtmalı ile düz kolektörün enerji ve ekserji grafikleri

Şekil 3.4’de 10 mm şaşırtmalı kolektör ile düz kolektörün 23 Haziran 2011 tarihinde 0.016 kg/s debide enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Saat 9:00-11:00 arasında, faydalı enerji değerinin kolektör yüzey alanına düşen ışıınım değerinden yüksek olduğundan her iki kolektöründe verimini arttırmıştır. Saat 11:00-12:30 arasında verim değerleri azalırken, 12:30’dan sonra gözenekli kolektörün enerji verimi düzgünleşirken düz kolektörün enerji veriminde dalgalanmalar olmuştur. Ekserji çizgilerine bakıldığında, düz kolektör çevre sıcaklığından ve rüzgardan pek etkilenmez iken gözenekli kolektör saat 13:30-15:00 arasında bu parametrelerden etkilenmiştir.



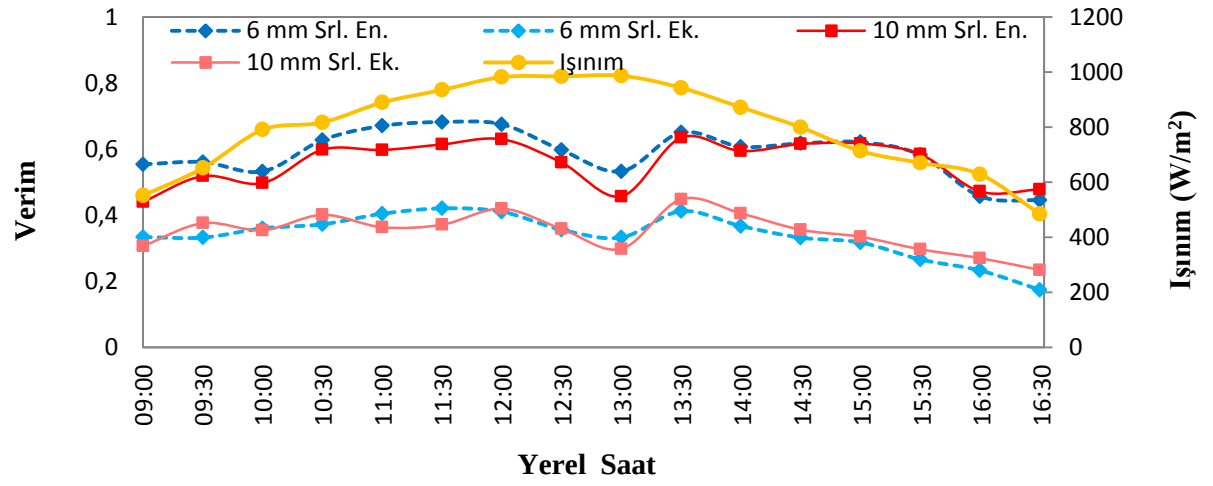
Şekil 3.4. 10 mm şaşırtmalı ile düz kolektörün enerji ve ekserji grafikleri

Şekil 3.5’de 6 ve 10 mm’li şaşırtmalı kollektörlerin 28 Haziran 2011 tarihinde 0.016 kg/s debide enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Havanın parçalı bulutlu olduğu 28 Haziran tarihinde 6 ve 10 mm şaşırtmalı kollektörlerin deneyleri yapılmıştır. Her iki kollektörde de saat 11:00’dan sonra gözle görülebilir bir düşüş olmuştur. Bunun sebebi, faydalı enerji değerinin düşmesi, ölçüm saatinde ışıının yükselmesidir. Her iki kollektörün verimleri karşılaştırıldığında 6 ve 10 mm’li kollektörlerin en yüksek verimleri sırasıyla % 68 ve % 63 olarak hesaplanmıştır.

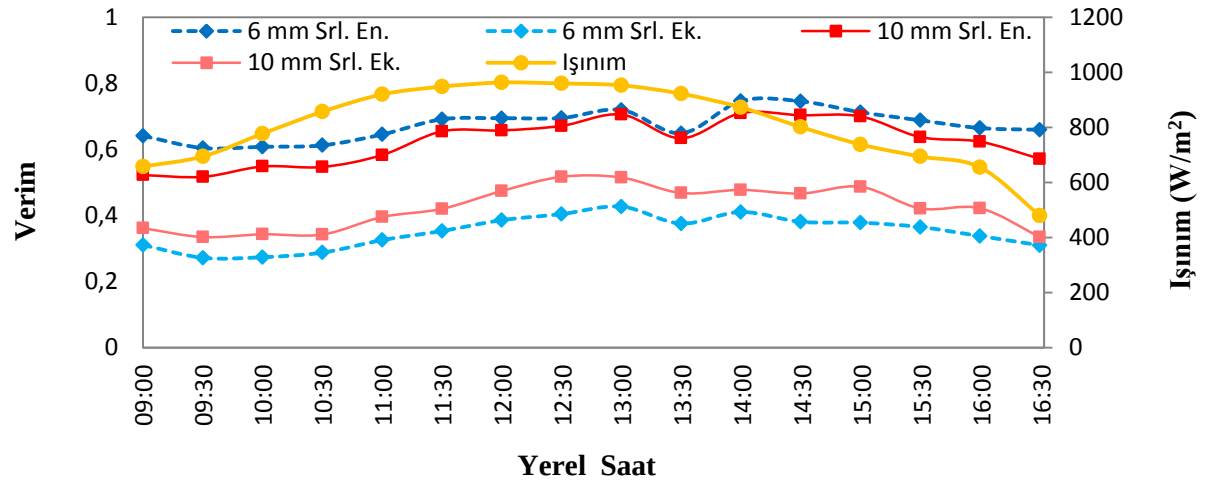


Şekil 3.5. 6 ve 10 mm şaşırtmalı kollektörlerin enerji ve ekserji grafikleri

Şekil 3.6’da 6 ve 10 mm’li sıralı ve şaşırtmalı kollektörlerin enerji ve ekserji grafikleri verilmiştir. Şekil 3.6 (a) 30 Haziran 2011 tarihinde 0.016 kg/s debide, (b) 2 Temmuz 2011 tarihinde 0.025 kg/s debide çalışılmıştır. 30 Haziran ve 2 Temmuz 2011 tarihlerinde yapılan deneylerde saat 13:30’da keskin düşüşler görülmektedir. Bunu sebebi bulutların araya girerek güneş ışıınımlarını düşürmesidir. Ölçümün alındığı saatte güneş ışıının tekrar artması, kollektör alanı içerisindeki düşük faydalı enerjiyi enerji ve ekserji grafiklerinde dalgalanma yaratmaktadır.



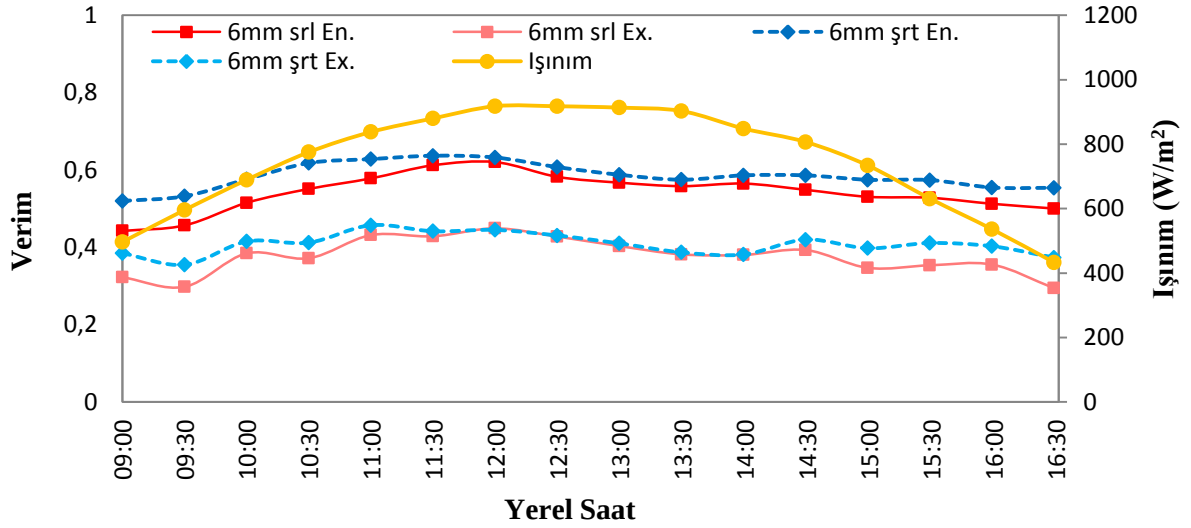
(a)



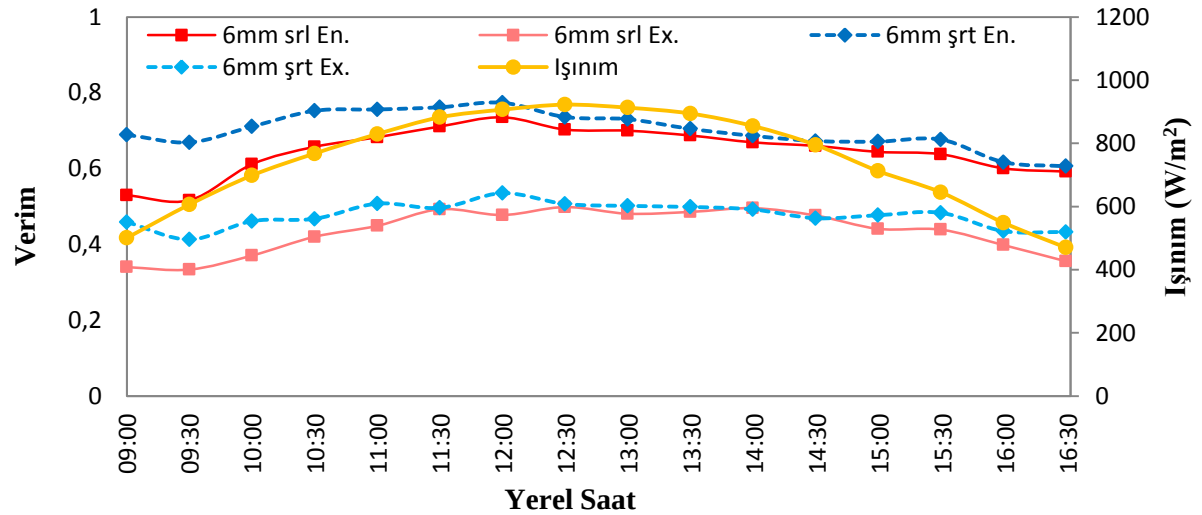
(b)

Şekil 3.6. 6 ve 10 mm sıralı kollektörlerin farklı debilerdeki enerji ve ekserji grafikleri

Şekil 3.7’de 6mm sıralı ve şaşırtmalı kollektörlerin farklı debilerde ki enerji ve ekserji grafikleri verilmiştir. Şekil 3.7 (a) 7 Temmuz 2011 tarihinde 0.016 kg/s, (b) 6 Temmuz 2011 tarihinde 0.025 kg/s debilerinde çalışılmıştır. Her iki günde deneyin çalışma saatine yakın bir zamanda diliminde radyal fanlar çalıştırıldığından ilk ölçüm değerinin yüksek ikinci ölçüm değerinin düşük çıkmasına sebep olmuştur.



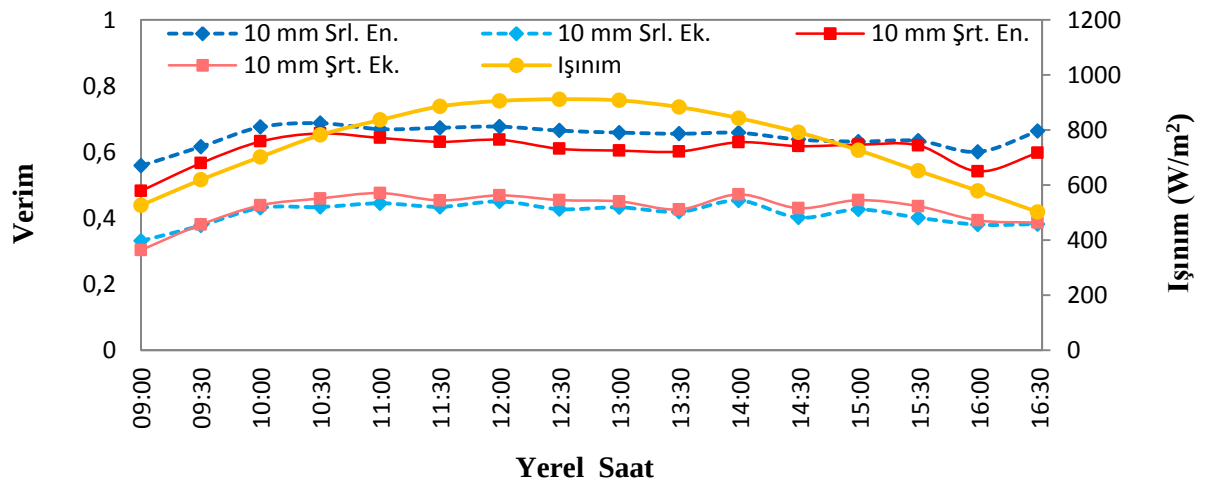
(a)



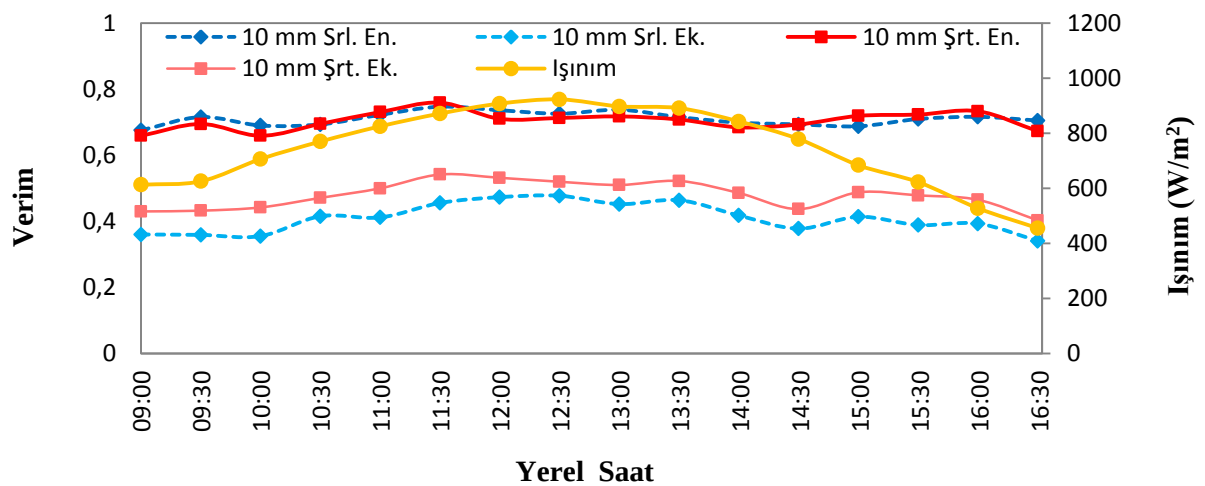
(b)

Şekil 3.7. 6 mm sıralı ve şaşırtmalı kollektörlerin farklı debilerdeki enerji ve ekserji grafikleri

Şekil 3.8 (a) ve (b) sırasıyla, 11 Temmuz 2011 tarihinde, 0.016 kg/s ve 10 Temmuz 2011 tarihinde 0.025 kg/s debilerinde 10 mm sıralı ve şaşırtmalı kollektörlerin enerji ve ekserji grafikleri verilmiştir. 11 Temmuz’da yapılan deneyde Saat 16:30’daki değerde bir düşüş olması gerekirken göz ile görülebilir bir artış olmuştur. Bu durum, faydalı enerji değerinin kollektör alanına düşen ışıınım miktarından fazla olmasından kaynaklanmaktadır. 10 Temmuz günü yapılan deneyde enerji ve ekserji grafiklerinde bir dalgalanma görülmektedir. Bu günün sıcaklık-ışıınım grafiği Şekil 3.16’ya bakıldığında çevre sıcaklığında dalgalanma olmuştur. Çevre sıcaklığındaki bu dalgalanma kollektörün giriş ve çıkış sıcaklıklarını etkileyerek enerji ve ekserji grafiklerini de etkilemiştir.



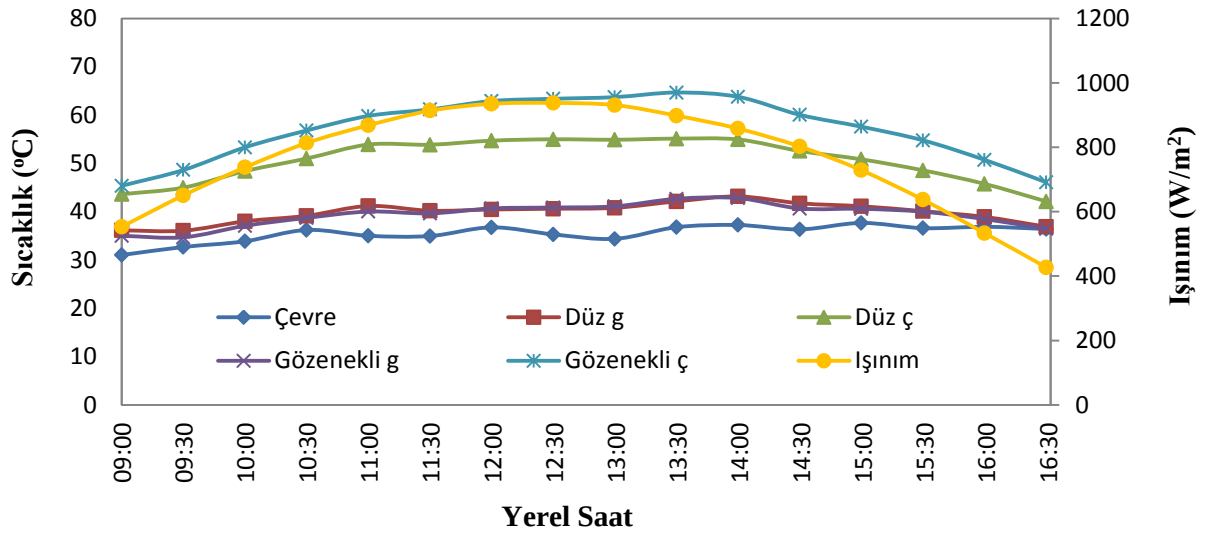
(a)



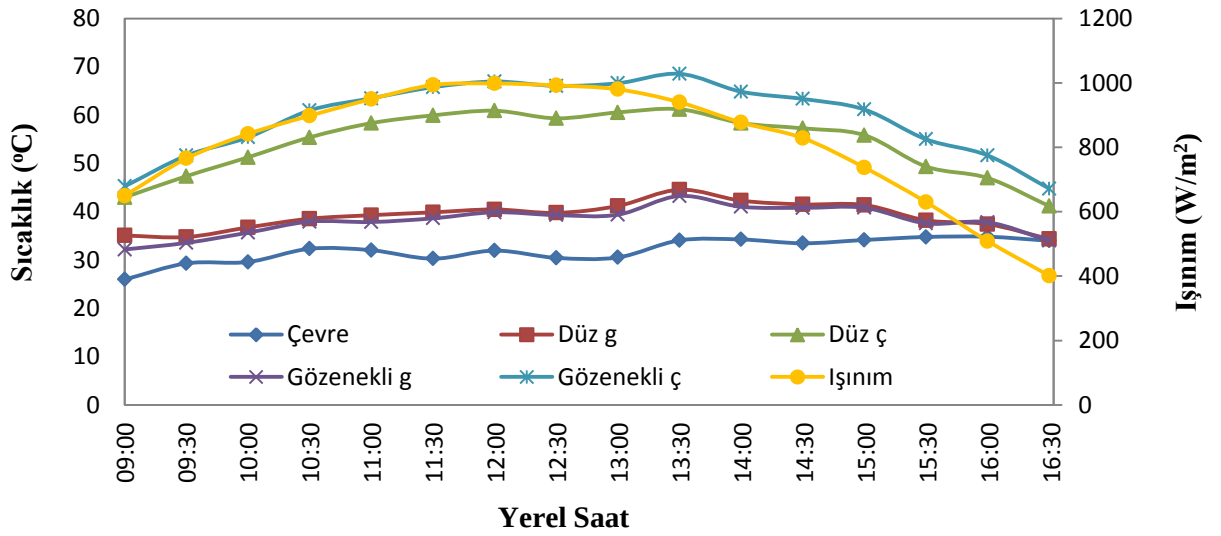
(b)

Şekil 3.8. 10 mm sıralı ve şaşırtmalı kollektörlerin farklı debilerdeki enerji ve ekserji grafikleri

Şekil 3.9'da 6 mm sıralı ile düz kollektörlerin sıcaklık grafikleri verilmiştir. Şekil 3.9 (a) 9 Haziran 2011 tarihinde 0.016 kg/s, (b) 5 Temmuz 2011 tarihinde 0.025 kg/s debilerinde çalışılmıştır. Çevre sıcaklığı ile kollektör giriş sıcaklıkları arasında debilerin durumuna göre değişimler olmuştur. Debinin artırılmasıyla hız artmış ve giriş-çıkış sıcaklıkları oranında azalma olmuştur. Şekil 3.9. (a)'da saat 13:30'da ışıınım değerinin düşmesine rağmen 6 mm sıralı ve düz kollektörün çıkış sıcaklıklarında yükselme görülmesinin sebebi çevre sıcaklığındaki yükselmedir. Daha sonraki yerel saatlerde ışıınımla beraber sıcaklık değerleri de azalma meydana gelmiştir.



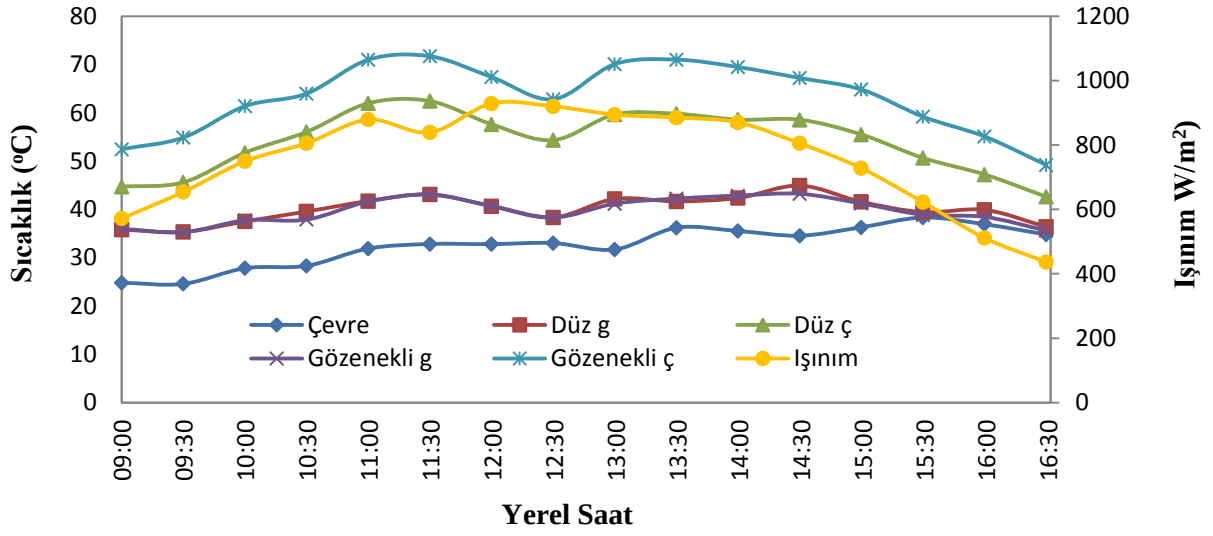
(a)



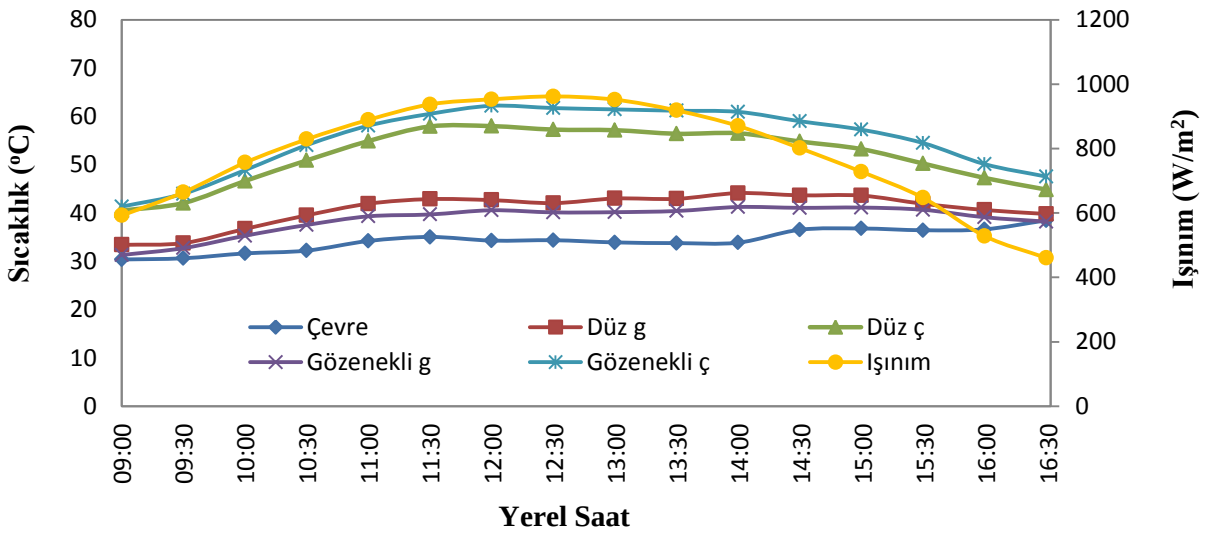
(b)

Şekil 3.9. 6 mm sıralı ile düz kolektörlerin yerel saate göre ışınlm-sıcaklık grafikleri

Şekil 3.10 (a) 16 Haziran 2011 tarihinde 0.016 kg/s, (b) 4 Temmuz 2011 tarihinde 0.025 kg/s debilerinde 10 mm sıralı kolektör ile düz kolektörün yerel saate göre ışınlm-sıcaklık grafikleri verilmiştir. Şekil 3.10. (a)'ya baktığımızda ışınlm değerlerinde bir dalgalanma söz konusudur. Bu durum'da havanın parçalı bulutlu olduğunu gösterir. Saat 12:00 ve 12:30'da ışınlm değeri yükselirken kolektör çıkış sıcaklıklarının düşük çıkması ve çevre sıcaklığındaki dalgalanma bu durumu açıklamaktadır.



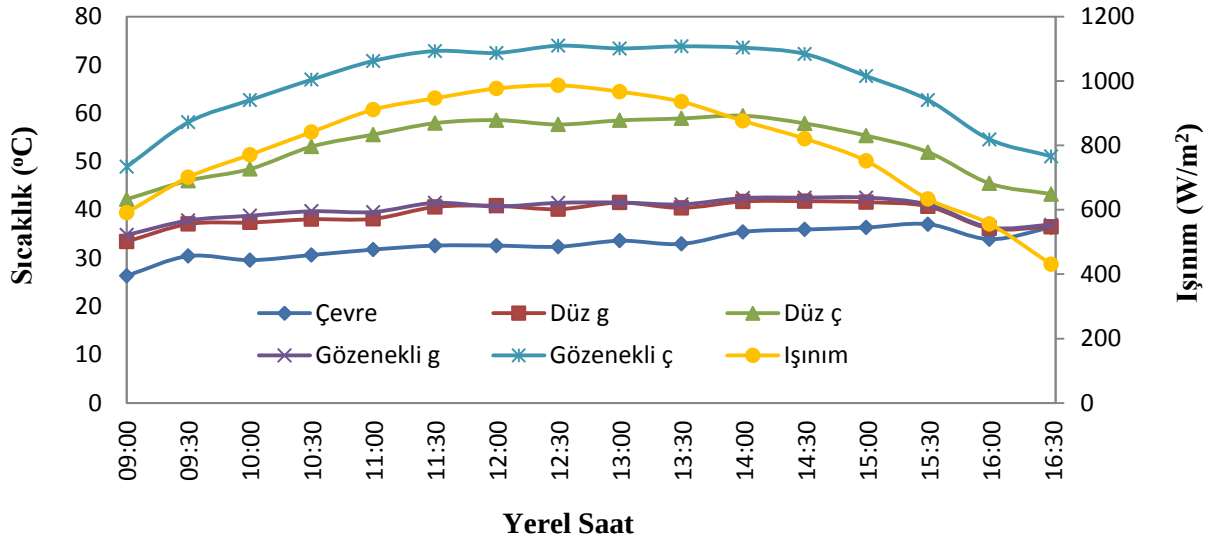
(a)



(b)

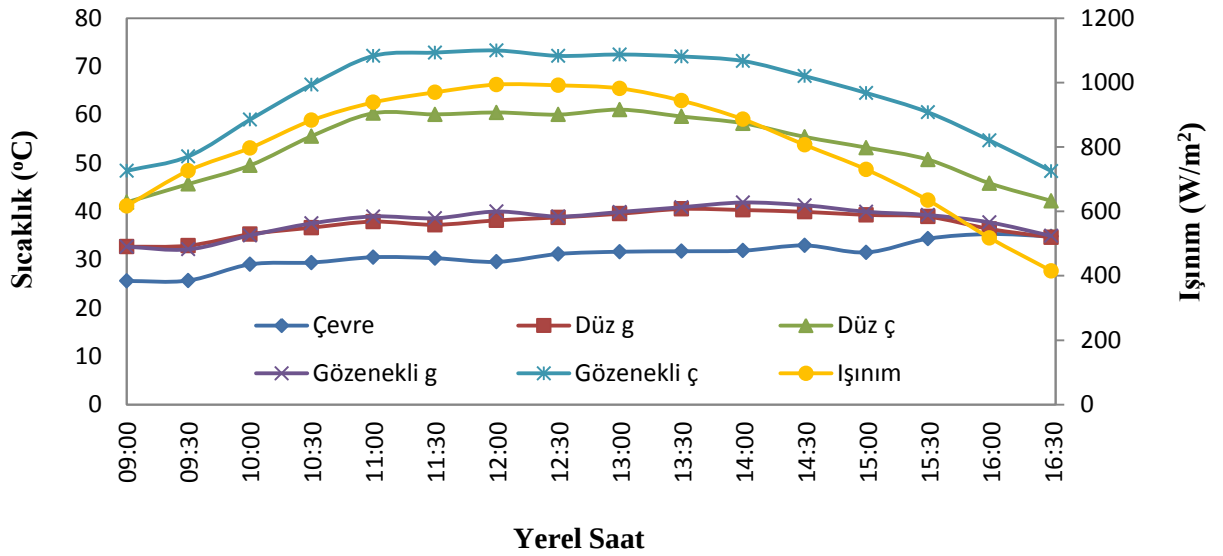
Şekil 3.10. 10 mm sıralı ile düz kolektörlerin yerel saate göre ışınlm-sıcaklık grafikleri

Şekil 3.11 21 Haziran 2011 tarihinde 0.016 kg/s hava debisinde 6 mm şaşırtmalı kollektör ile düz kollektörün sıcaklıkları verilmiştir. Düz kollektörün en yüksek ve en düşük çıkış sıcaklıkları sırasıyla 59.46 °C ve 42.17 °C'dir. 6 mm şaşırtmalı kollektörün en yüksek ve en düşük sıcaklıkları ise 73.94 °C ve 48.89 °C'dir.



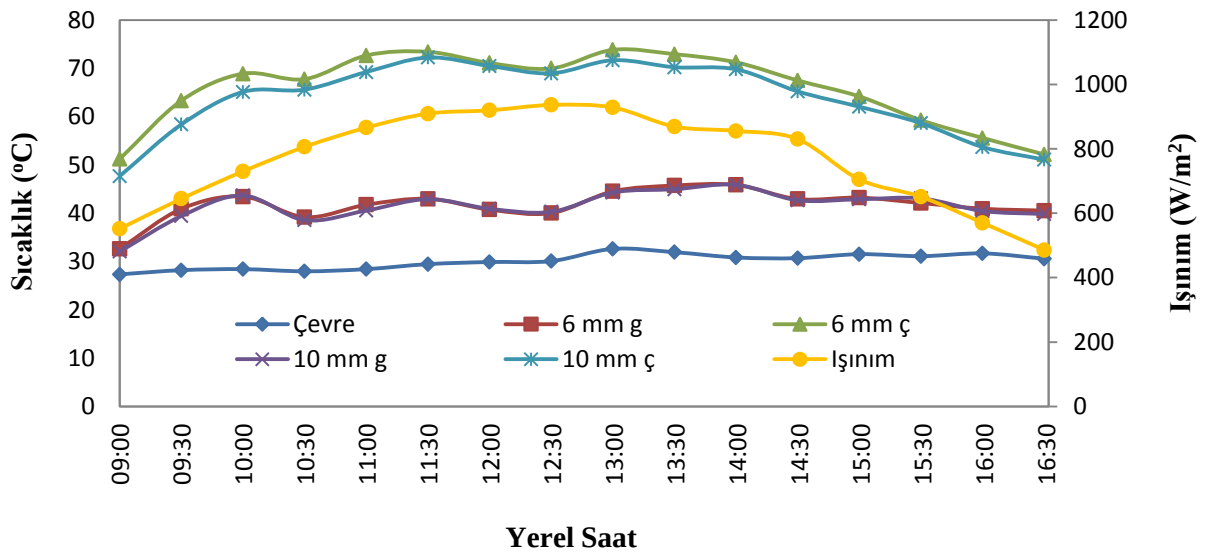
Şekil 3.11 6 mm şaşırtmalı ile düz kollektörlerin yerel saate göre ısıtım-sıcaklık grafikleri

Şekil 3.12'de 23 Haziran 2011 tarihinde 0.016 kg/s hava debisinde 10 mm şaşırtmalı kollektör ile düz kollektörün sıcaklıkları verilmektedir.



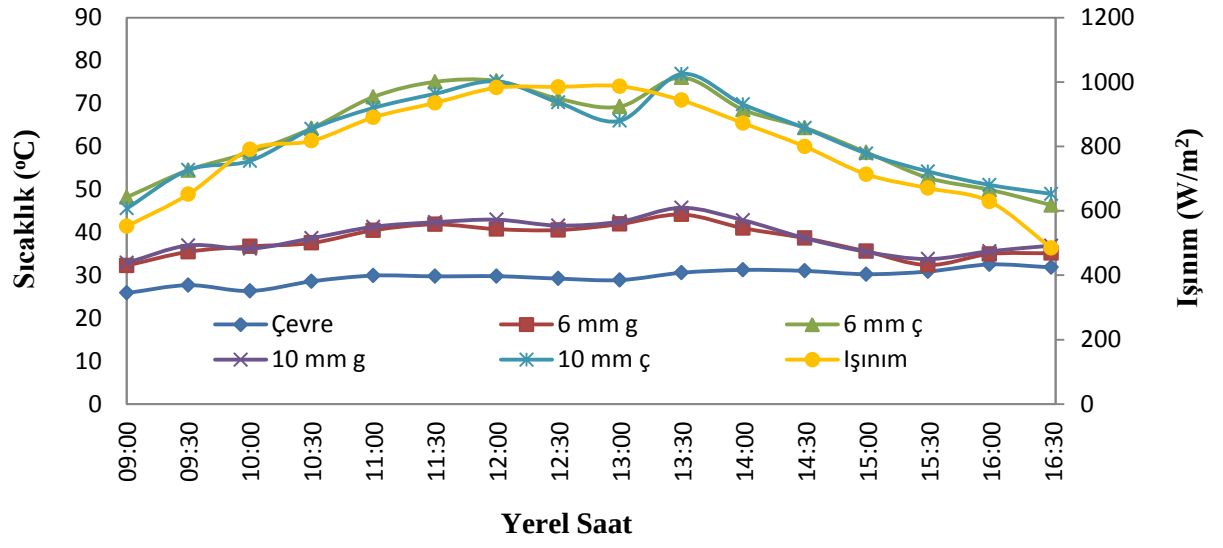
Şekil 3.12. 10 mm şaşırtmalı ile düz kollektörlerin yerel saate göre ısıtım-sıcaklık grafikleri

Şekil 3.13’de 6 ve 10 mm şaşırtmalı kollektörlerin sıcaklık grafikleri verilmiştir. Deney 28 Haziran 2011 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Elazığ ilinin 2011 yılı Haziran ayı sıcaklık değerleri normal değerlerin altında seyretmesinden dolayı bu ay içerisinde yapılan deneylerin bazılarında sıcaklık dalgalanmaları ve bulutlanma görülmektedir. Grafik incelediğinde bir önceki cümlede anlatılana örnek olarak, çevre sıcaklığındaki değerlerde sapmanın olmadığı saatler 10:30, 12:00 ve 12:30’da kollektör giriş-çıkış sıcaklıklarında düşüşler olmuştur.

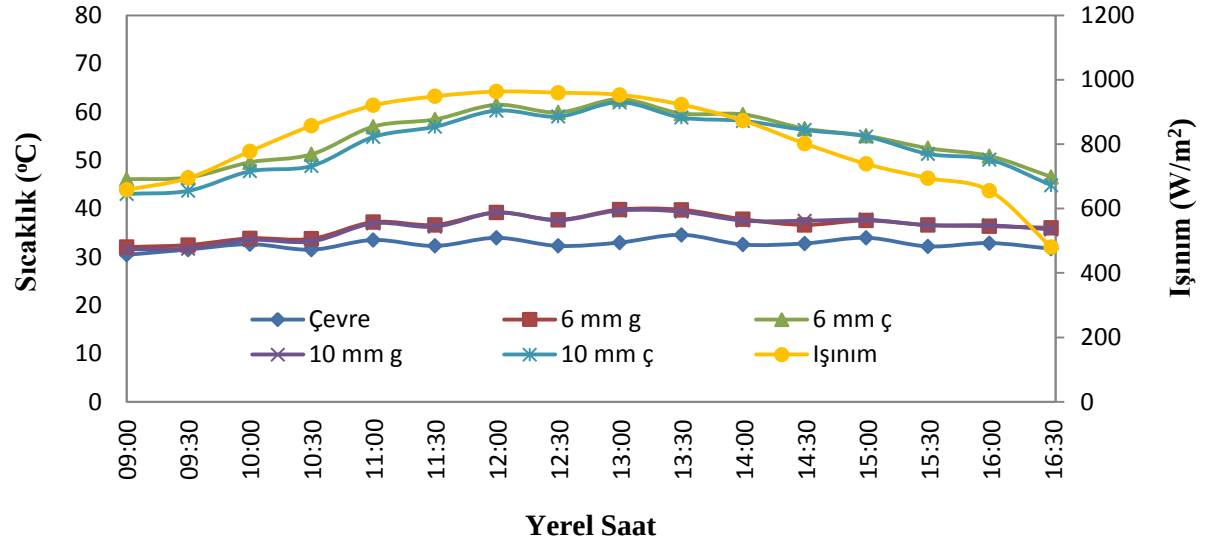


Şekil 3.13. 6 ve 10 mm şaşırtmalı kollektörlerin yerel saate göre ısıtım-sıcaklık grafikleri

Şekil 3.14’de 6 ve 10 mm sıralı kollektörlerin sıcaklık grafiklerini gösterir. Şekil 3.14 (a) 30 Haziran 2011 tarihinde 0.016 kg/s, (b) 2 Temmuz 2011 tarihinde 0.025 kg/s debilerinde 6 ve 10 mm’li kollektörler için çalışılmıştır. Şekil 3.14. (a)’da saat 12:00 ile 13:00 arasında bulutlanma olmuş, 13:30’da çevre sıcaklığı ile birlikte kollektörlerdeki giriş-çıkış sıcaklıkları artmıştır. 13:30’dan sonraki yerel saatlerde sıcaklıklar ısıtım ile beraber azalmıştır.



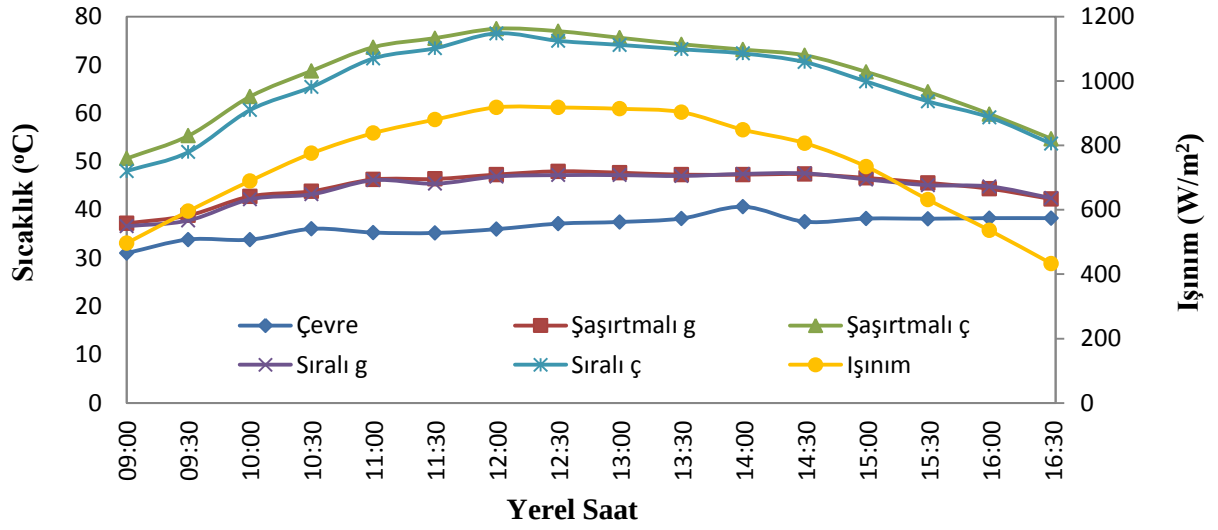
(a)



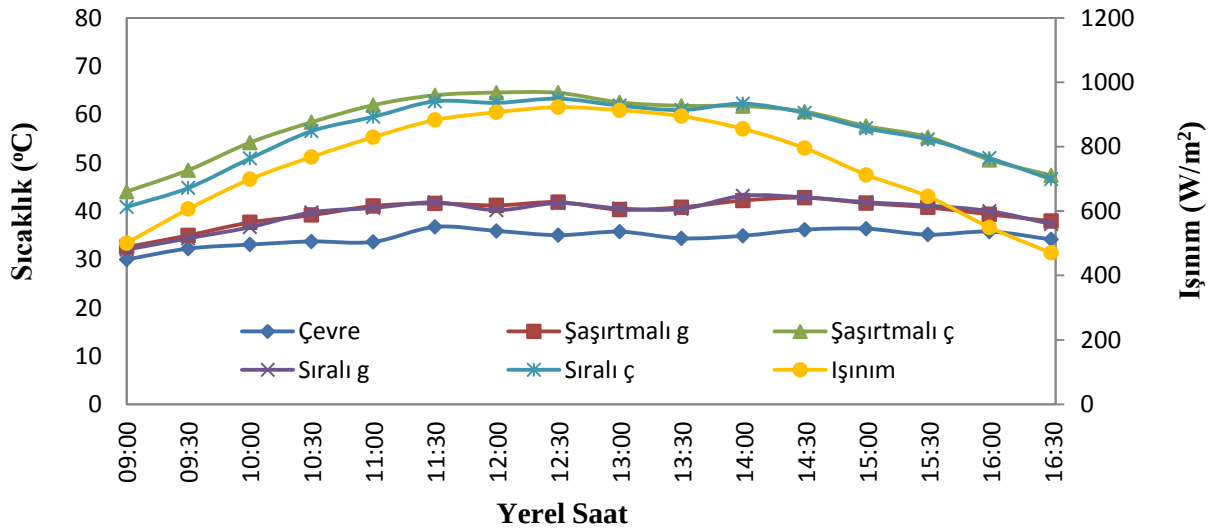
(b)

Şekil 3.14. 6 ve 10 mm sıralı kolektörlerin yerel saate göre ışınlm-sıcaklık grafikleri

Şekil 3.15 (a) 7 Temmuz 2011 tarihinde 0.016 kg/s, (b) 6 Temmuz 2011 tarihinde 0.025 kg/s debilerinde 6 mm sıralı ve şaşırtmalı kollektörler için çalışılmıştır. İki debi durumu içinde kollektörlerdeki giriş-çıkış sıcaklıkları çevre sıcaklığı ile orantılı devam etmiştir. Sadece Şekil 3.14. (a), saat 14:00'de çevre sıcaklığında artma olurken kollektörlerin giriş sıcaklığında değişme olmadığı için çıkış sıcaklığında da değişme olmamıştır.



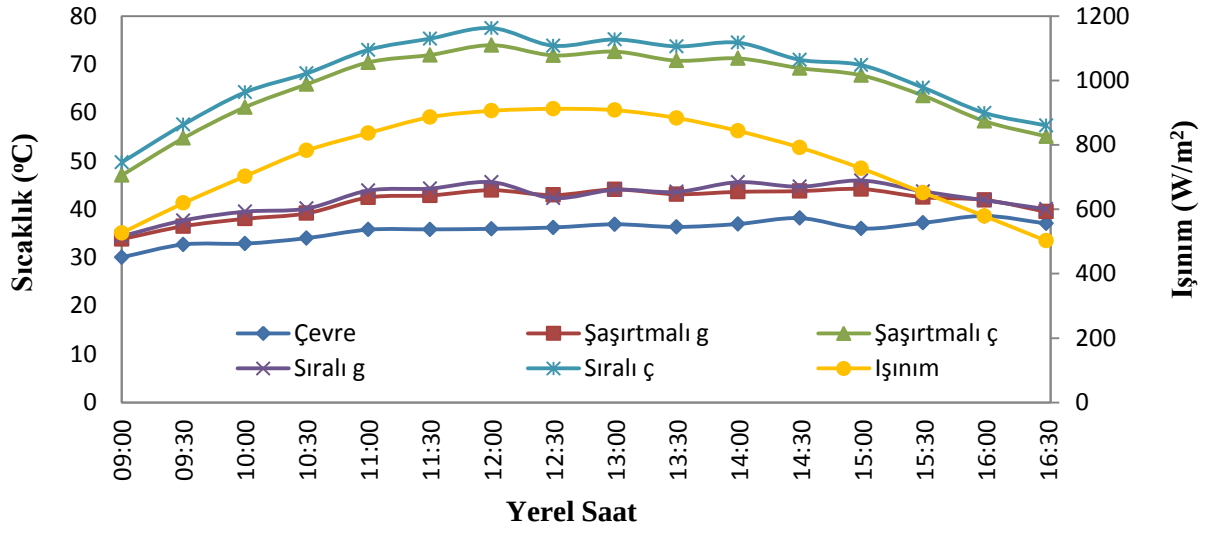
(a)



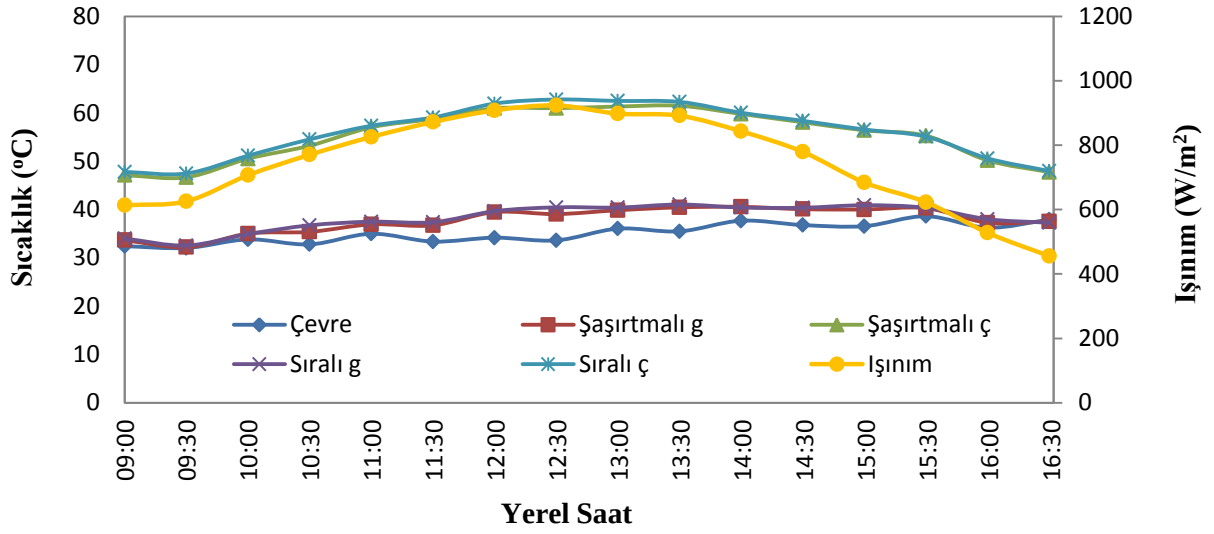
(b)

Şekil 3.15. 6 mm sıralı ve şaşırtmalı kollektörlerin yerel saate göre ısıtım-sıcaklık grafikleri

Şekil 3.16 (a) 11 Temmuz 2011 tarihinde 0.016 kg/s, (b) 10 Temmuz 2011 tarihinde 0.025 kg/s debilerinde 10 sıralı ve şaşırtmalı kollektörler için çalışılmıştır.



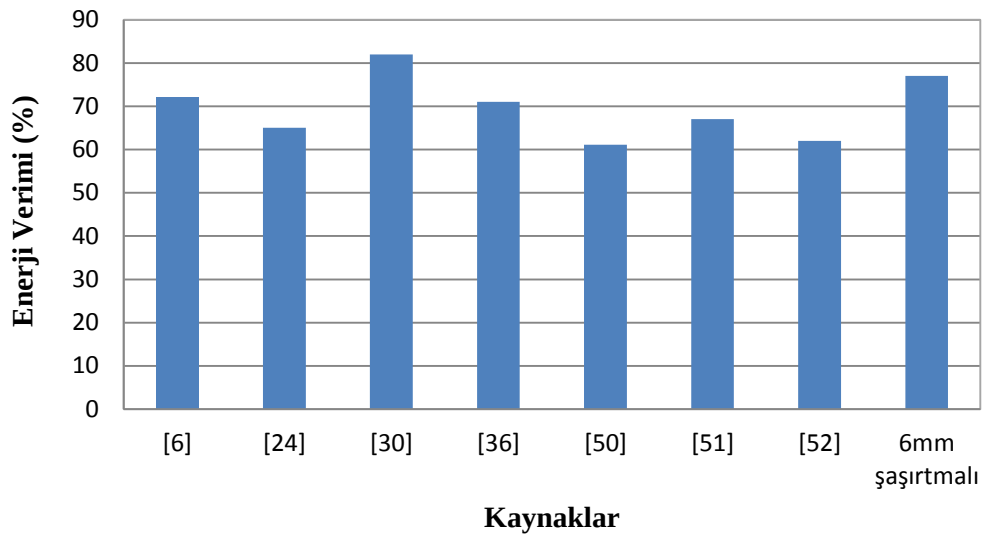
(a)



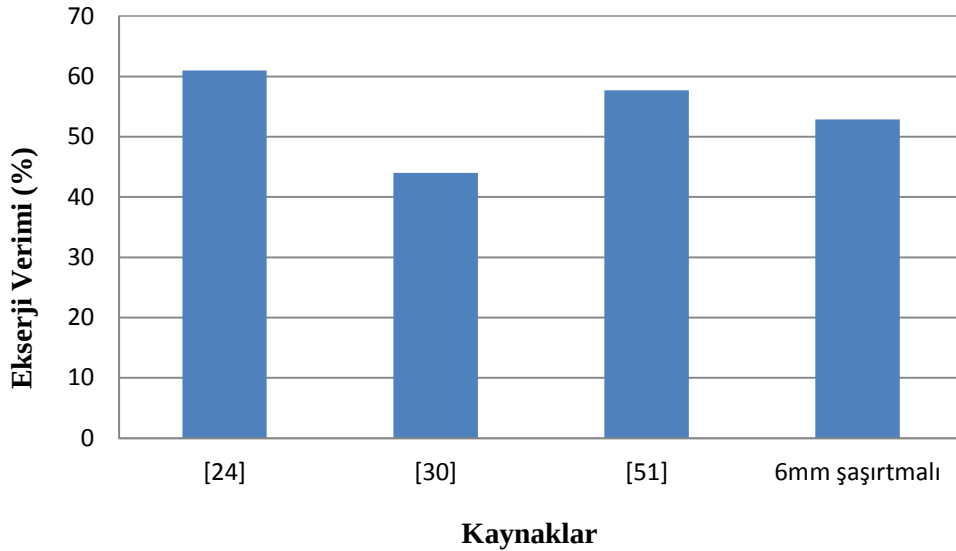
(b)

Şekil 3.16. 10 mm sıralı ve şaşırtmalı kollektörlerin yerel saate göre ışınlm-sıcaklık grafikleri

Literatürde hava ısıtmalı güneş kollektörleri üzerine yapılan bazı çalışmalar ile 6 mm şaşırtmalı kollektörün enerji ve ekserji değerlerinin karşılaştırılması Şekil 3.17’de yapılmıştır. Şekil 3.17 (a)’ya bakıldığında kaynak [30]’da yapılan çalışma hariç en yüksek enerji verimine mevcut çalışma (6mm şaşırtmalı kollektör) sahiptir. Şekil 3.17 (b)’ye baktığımızda mevcut çalışmanın % 52.44’le en düşük ikinci değere sahiptir.



(a)



(b)

Şekil 3.17. Literatürdeki bazı çalışmaların (a) enerji, (b) ekserji değerleri

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Hava ısıtılmalı güneş kolektörlerinin çıkış sıcaklığını ve verimini artırma işlemi, kolektör içerisine yerleştirilen farklı geometrideki pasif elemanların üstünden, altından ve etrafından geçirilerek yapılır. Bu farklı parametreler sayesinde kolektör içerisinde türbülans şiddeti artırılabilir.

Bu çalışmada da emici yüzey üzerine yerleştirilmiş kapalı hücreli alüminyum köpükler engel olarak kullanılmıştır. Alüminyum köpükler % 85 gözenekliliğe sahip olup 50x100 mm boyutlarında, 6 ve 10 mm kalınlıklarındadır. Kolektör boyutları ise, 1200x700x100 mm'dir.

Deneylerde beş tip hava ısıtılmalı güneş kolektörlerinin performans analizi incelenmiştir. Bunlar; kanatçıksız kolektör, 6 ve 10 mm sıralı ve şaşırtılmalı kolektörlerdir. Bu beş tip kolektörden iki tip seçilerek sekiz grup oluşturulmuştur. Grupların her biri 0.016 kg/s ve 0.025 kg/s 'lik hava debilerinde deneysel olarak incelenmiştir.

16 adet parametrenin ışıınım-sıcaklık, ışıınım-verim grafikleri çizdirilmiştir. Sıcaklık değişimi incelendiğinde; giriş sıcaklığının en düşük, çıkış sıcaklığının en yüksek olduğu görülmektedir. Her iki debi için sıcaklık kıyaslaması yapıldığında 6 mm şaşırtılmalı kolektörlerin en yüksek çıkış sıcaklığına sahip olduğu bulunmuştur. 6 mm şaşırtılmalı kolektörlerin en yüksek olduğu günde ışıınımda aynı olduğundan verimlerde de bu kolektörlerin en yüksek değere sahip olduğu bulunmuştur. 6 mm şaşırtılmalı kolektörlerin 0.016 kg/s'deki en yüksek verim değeri % 63, 0.025'deki en yüksek verim değeri % 77 olarak hesaplanmıştır.

6 mm'li kolektörlerin verimi 10 mm'li kolektörlerin verimine göre daha iyi sonuç vermesi kalınlığının az olmasıdır. Bir malzemede ki kalınlık arttıkça ısı iletimi de o oranda azalmaktadır. Bu deney sonuçlarına bakıldığında, hava ısıtılmalı güneş kolektörlerinin içerisine yerleştirilecek kanatçıkların en-boy oranı, dizilimi, yüzey alanı kadar kalınlığında önemli bir parametre olduğunu söyleyebiliriz.

5. ÖNERİLER

Hava ısıtılmal  güneş kollektörlerinin emici yüzeyine yerleştirilen kapalı hücreli alüminyum köpükler kollektörün verimini arttırmıştır. Deneylerde yapma olanaklarını bulamadığımız durumları, bu konu hakkında araştırma yapmak isteyen araştırmacılara aşağıda maddeler halinde sunuyorum.

- Kapalı hücreli köpükler yerine açık hücreli köpükler kullanılabilir.
- Kullanılan köpüklere farklı açı değerleri verilebilir.
- Aynı köpük malzemeye ve dizilime sahip kollektörlerin örtü malzemesi değiştirilerek performans analizi yapılabilir.
- Bu özelliklere sahip kollektörler bu debilerin haricinde daha fazla değerde uygulanabilir.
- Kollektörlerin giriş parametresi değiştirilerek yüksek debilerde çalışılarak, giriş parametresinin kollektör verimine olan etkisi incelenebilir.
- Hava ısıtılmal  güneş kollektörlerine yerleştirilen kanatçık kalınlıklarının verime etkisini incelemek için farklı değerler kullanarak optimum kalınlığının tespiti yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Kırbaş, İ.**, 2006. Havalı güneş kolektörünün performansının deneysel olarak incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [2] **Kılıç, A.,Öztürk, A.**, 1983. Güneş Enerjisi, İ.T.Ü Makine Mühendisliği Yayınları, İstanbul.
- [3] <http://www.gunessistemleri.com/tarihsel.php> 18 Haziran 2011.
- [4] <http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/gunes.html> Türkiye’de güneş enerjisi. 20 Haziran 2011.
- [5] **Özkaya, M.,G., Variyenli H.,İ. ve Özdemir, M., B.**, 2004. Endirekt güneş enerjili sıcak su hazırlama sistem verimlerinin bilgisayar programı kullanarak karşılaştırılması, *Teknoloji*, Gazi Üniversitesi, Ankara, s. 667- 671.
- [6] **Özgen, F.**, 2007. Yutucu plakası silindirik teneke kutulardan yapılmış bir havalı güneş kolektörünün ısı performansının deneysel olarak araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [7] **Kalogirou, S., Eleftheriou, P., Lloyd, S., Ward, J.**, 1994, Desing and performance characteristics of a parabolic-trough solar collector system, *Applied Energy*, **47**, 341- 354
- [8] **Öztürk, H., H.**, 2008. Isı depolama tekniği, Teknik yayınevi, Ankara.
- [9] **ASHRAE standartları 93-1986**, 1991. Methots of testing to determine the thermal performance of solar collectors
- [10] **Duffie, J. A. ve Beckman W. A.**, 1991. Solar engineering of thermal processes, John Wiley and Sons, New York.
- [11] **Değirmencioğlu, C., İlken, Z.**, 2003. Havalı güneş kolektörleri üzerine bir literatür araştırması ve temel ilkeleri, *TTMD*, 23, 28-34.
- [12] **Dağ, H.**, 2005. Güneş enerji sistemlerinde kullanılan dairesel borulu kolektörler ile oval borulu kolektörlerin deneysel incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [13] **Korkmaz, M.**, 2006. Düzlemsel güneş kolektörlerinde farklı profillerdeki emici plakaların deneysel incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- [14] **Tırıs, Ç. ve Tırıs, M.,** Düzlemsel güneş kolektörlerinin verimini arttıran parametreler, TÜBİTAK-MAM.
- [15] **Karakaya, H.,** 2005. Değişik yüzey geometrilerine sahip havalı kolektörlerin tasarlanması ve ısı performansının deneysel olarak araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [16] **Atıcı, M.,** 2006. Değişik yüzey profillerine sahip güneş kollektörlerinde ısı transferi ve basınç kayıplarının deneysel olarak hesaplanması, *Yüksek Lisans Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [17] **Abbas, A.,** 2000. Solchrome solar selective coating an effective way for solar water heaters globally, *Renewable Energy*, **19**, s. 145–154.
- [18] **Küçükgenç, Ö.,** 2008. Güneş ışığı kolektörlerinde kullanılan soğurucu filmlerin geliştirilmesi ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- [19] **Koçyiğit, F.,** 2008. Yutucu plaka üzerine farklı türde kanatçıkların yerleştirildiği bir havalı kolektörün enerji ve ekserji analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [20] **Öztop, F., H., Bayrak, F. ve Hepbaşlı A.,** 2011. Energetic ned exergetic aspects of solar air collectors, *Renewable and Sustainable Energy Rewiews*, Submitted.
- [21] **Alvarez, G., Arce, J., Lira, L., Heras, M., R.,** 2004. Thermal performance of an air solar collector with an absorber plate made of recyclable aluminum cans, *Solar Energy*, **77**, s. 107-113.
- [22] **Değirmencioglu, C.,** 2006. The use of open cell polyurethane foams in air type solar collectors as the heat absorbing element, *Yüksek Lisans Tezi*, İzmir Teknoloji Enstitüsü, İzmir.
- [23] **Caner, M., Gedik, E., Keçebaş, A.,** 2011. Investigation on thermal performance calculation of two type solar air collectors using artificial neural network, *Exp. Sys. Appl.*, **38**, s. 1668-1674.
- [24] **Esen, H.,** 2008. Experimental energy and exergy analysis of a double-flow solar air heater having different obstacles on absorber plates, *Building and Environment*, **43**, s. 1046-1054.

- [25] **Karim, M., A., Hawlader, M., N., A.,** 2006. Performance evaluation of a v-groove solar air collector for drying applications, *Applied Thermal Engineering*, **26**, s. 121-130.
- [26] **El-Sawi, A., M., Wifi, A., S., Younan, M., Y., Elsayed, E., A., Basily, B., B.,** 2010. Application of folded sheet metal in flat bed solar air collectors, *Applied Thermal Engineering*, **30**, s. 864-871.
- [27] **Uçar, A., İnallı M.,** 2006. Thermal and exergy analysis of solar air collectors with passive augmentation techniques, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, **33**, s. 1281-1290.
- [28] **Karlı, S.,** 2007. Performance analysis of new-design solar air collectors for drying applications, *Renewable Energy*, **32**, s. 1645-1660.
- [29] **Koyuncu, T.,** 2006. Performance of various design of solar air heaters for crop drying applications, *Renewable Energy*, **31**, 1073-1088.
- [30] **Akpınar, E., K., Koçyiğit, F.,** 2010. Energy and exergy analysis of a new flat-plate solar air heater having different obstacles on absorber plates, *Applied Energy*.
- [31] **Bulut, H. ve Durmaz, A., F.,** 2009. Bir havalı güneş kollektörünün tasarımı, imalatı ve deneysel analizi, I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Eskişehir, Türkiye, Haziran 21-23.
- [32] **Ramani, B., M., Gupta, A., Kumar, R.,** 2010. Performance of a double pass solar air collector, *Solar Energy*, **84**, s.1929-1937.
- [33] **Sopian, K., Alghoul, M., A., Alfegi, E., M.,** 2009. Evaluation of thermal efficiency of double-pass solar collector with porous–nonporous media, *Renewable Energy*, **34**, s. 640-645.
- [34] **Layek, A., Saini, J., S., Solanki, S., C.,** 2007. Second law optimization of a solar air heater having chamfered rib–groove roughness on absorber plate, *Renewable Energy*, **32**, 1967-1980.
- [35] **Saim, R., Abbouidi, S., Benyouucef, B.,** 2010. Computational analysis of transient turbulent flow and conjugate heat transfer characteristics in a solar collector panel with internal, rectangular fins and baffles, *Thermal Science*, **14**, s. 221-234.
- [36] **Ammari, H., D.,** 2003. A mathematical model of thermal performance of a solar air heater with slats, *Renewable Energy*, **28**, s. 1597-1615.

- [37] <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> 20 Haziran 2011.
- [38] <http://www.rtemelektronik.com.tr/panotipi-monofaze-dimmer.asp> 20 Haziran 2011.
- [39] <http://www.ramolcu.com/pinfo.asp?pid=143> 20 Haziran 2011.
- [40] www.emo.org.tr/ekler/c99dd0bbd9458bc_ek.pdf?tipi=34 22 Haziran 2011.
- [41] <http://www.olcummarket.com/elektriksel-olcum-cihazlari/multimetre/tt-technic-vc97-dijital-multimetre-tr.html> 22 Haziran 2011.
- [42] <http://www.keithley.com/products/data/datalogger/?path=2700/Documents#3> 23 Haziran 2011.
- [43] http://en.wikipedia.org/wiki/Metal_foam 2 Temmuz 2011.
- [44] <http://www.chinabeihai.net/ProductView.Asp?ID=54> 2 Temmuz 2011.
- [45] **Kurtbaş, İ., Durmuş A.**, 2004. Efficiency and exergy analysis of a new solar air heater, *Renewable Energy*, **29**, s. 1489–1501.
- [46] **Çengel, Y.,A., Boles, M.,A.**, 2006. Thermodynamics: an engineering approach. 5th ed., McGraw-Hill, New York.
- [47] **Gülçimen., F.**, 2008. Yeni tasarlanan havalı kollektörler yardımı ile reyhan ve nane kurutulması, *Doktora Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [48] **Akpınar, K., E.**, 2002. Tarımsal ürünler için siklon tip bir kurutucunun geliştirilmesi, *Doktora Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [49] **Akpınar, K., E.**, 2005. Deneysel çalışmalardaki hata analizine bir örnek: Kurutma deneylerindeki hata analizi, *Mühendis ve Makine*, **46**, s. 540
- [50] **Yeh, H., M., Ho, C., D.**, 2011. Downward-type solar air heaters with internal recycle, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, **42**, s. 286-291.
- [51] **El-Sebaai, A., A., Aboul-Enein, S., Ramadan, M., R., I., Shalaby, S., M., Moharram, B., M.**, 2011. Thermal performance investigation of double pass-finned plate solar air heater, *Applied Energy*, **88**, s. 1727-1739.
- [52] **Yeh, H., M., Ho, C., D.**, 2009. Solar air heaters with external recycle, *Applied Thermal Engineering*, **29**, s. 1694-701.

ÖZGEÇMİŞ

Fatih BAYRAK, 18 Temmuz 1985 yılında Kocaeli’nde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Kocaeli’nde tamamladıktan sonra 2005 yılında Elazığ Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Otomotiv Öğretmenliğini kazandı. Üniversite Eğitimi 2009 Yılında tamamladı. 2009-2010 Öğretim yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim dalında yüksek lisansa başladı. Ayrıca 2010-2011 öğretim yılında Fırat Üniversitesi Havacılık Kulübü başkanlığı yapmıştır.