

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEĞİŞİK YÜZEY PROFİLLERİNE SAHİP GÜNEŞ
KOLLEKTÖRLERİNDE ISI TRANSFERİ VE BASINÇ
KAYIPLARININ DENEYSEL OLARAK HESAPLANMASI**

Mehmet ATICI

Tez Yöneticisi
Yrd. Doç. Dr. Celal SARSILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI

ELAZIĞ, 2006

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEĞİŞİK YÜZEY PROFİLLERİNE SAHİP GÜNEŞ
KOLLEKTÖRLERİNDE ISI TRANSFERİ VE BASINÇ
KAYIPLARININ DENEYSEL OLARAK HESAPLANMASI**

Mehmet ATICI

Tez Yöneticisi
Yrd. Doç. Dr. Celal SARSILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI

ELAZIĞ, 2006

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEĞİŞİK YÜZEY PROFİLLERİNE SAHİP GÜNEŞ
KOLLEKTÖRLERİNDE ISI TRANSFERİ VE BASINÇ
KAYIPLARININ DENEYSEL OLARAK HESAPLANMASI**

Mehmet ATICI

Yüksek Lisans Tezi
Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı

Bu tez, tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile başarılı/başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Celal SARSILMAZ

Üye:

Üye:

Üye:

Üye:

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarihi ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

TEŞEKKÜR

İÇİNDEKİLER.....	I
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	III
TABLolar LİSTESİ.....	IV
SİMGELER LİSTESİ.....	V
ALT İNDİSLER.....	VI
ÖZET.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Enerji İhtiyacı İçin Güneş.....	2
1.2. Güneş'in Fiziksel ve Kimyasal Yapısı.....	2
1.3. Dünyanın Sahip Olduğu Güneş Enerjisi.....	3
1.4. Güneş Işınlamalarının Dünya'ya Ulaşması ve Doğal Denge.....	4
1.5. Güneş Enerjisi.....	5
1.6. Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları.....	6
1.7. Güneş Enerjisi Sistemleri.....	6
1.7.1. Fotovoltaik Üreteçler.....	7
1.7.2. Güneş Havuzları.....	7
1.7.3. Uydu Güç Sistemleri.....	7
1.7.4. Isı Borusu.....	7
1.8. Güneş Açıları.....	7
1.8.1. Esas Güneş Açıları.....	7
1.8.1.1. Enlem Açısı.....	8
1.8.1.2. Saat Açısı.....	8
1.8.1.3. Deklinasyon Açısı.....	8
1.8.2. Türetilen Güneş Açılan.....	8
1.8.2.1. Zenit Açısı.....	8
1.8.2.2 Güneş Yükseklik Açısı.....	8
1.8.2.3. Güneş Azimut Açısı.....	8
1.9. Güneş ve Dünya'nın Sahip Olduğu Bazı Değerler.....	8
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE TEZİN KAPSAMI.....	9
3. GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ.....	15
3.1. Kollektör Tipleri.....	17

3.1.1.Düzlemsel Kolektörler.....	17
3.1.1.1. Güneş Kolektörleri.....	19
3.1.1.2. Saydam Örtü.....	20
3.1.1.3. Yutucu Yüzey.....	22
3.1.1.4. Yalıtım.....	27
3.1.1.5. Kasa Malzemesi ve İzolasyonu.....	27
4. DENEY DÜZENİĞİNİN TANITILMASI ve DENEYLERİN YAPILMASI.....	30
4.1. Kollektörler.....	31
4.2. Radyal Fan.....	33
4.3. Ölçüm Elemanları.....	33
4.3.1. Manometre.....	33
4.3.2. Rüzgar Gülü(Akış ölçer).....	33
4.3.3. Termometre.....	33
4.3.4. Bağlantı Elemanları.....	34
4.3.5. Kollektör Sehpası.....	34
4.4. Deneylerin Yapılışı.....	34
5. KULLANILAN HESAPLAMA YÖNTEMİ.....	35
5.1. Havalı Güneş Kollektörlerin Verimlerinin Hesaplanması.....	35
6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	37
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	44
KAYNAKLAR.....	45

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No:

Şekil 1.1	Güneş ışınlarının dağılımı.....	4
Şekil 3.1	Kollektörlerde ısı analize giren temel parametreler.....	15
Şekil 3.2	Düzlemsel bir kollektörün kesiti.....	17
Şekil 3.3	Değişik havalı kollektör dizaynları.....	19
Şekil 3.4	Saydam örtü olarak tek bir cam kullanılan kollektörde enerji değişimleri.....	21
Şekil 3.5	Havalı kollektörlerde kullanılan yutucu yüzey geometrilerinden bazıları.....	23
Şekil 3.6	Havalı kollektörde kullanılan iki farklı yutucu plaka.....	23
Şekil 3.7	Zıt yönlü ve aynı yönlü iki akışlı hava kollektör.....	24
Şekil 3.8	Üst üste yutucu plakaları cam olan havalı kolektör.....	24
Şekil 3.9	Yutucu yüzeyi oluklu olan bir havalı kolektör.....	25
Şekil 3.10	Yutucu plaka altındaki kanatların görünüşü.....	26
Şekil 4.1	Deney setinin şematik görünüşü.....	30
Şekil 4.2	Deney setinin yüzeysiz ana kasası.....	30
Şekil 4.3	Trapez tip profilli yüzey	31
Şekil 4.4	Trapez tip yüzey profilli havalı kollektör.....	31
Şekil 4.5	Oluklu tip profilli yüzey.....	32
Şekil 4.6	Oluklu tip yüz profilli havalı kollektör.....	32
Şekil 4.7	Düz tip profilli yüzey.....	32
Şekil 4.8	Düz tip yüzey profilli havalı kollektör.....	33
Şekil 6.1	Gün ışınlamının günün saatlerine göre değişimi.....	37
Şekil 6.2	Düz kolektör giriş ve çıkış sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişimi	37
Şekil 6.3	Düz tip kolektör veriminin günün saatlerine göre değişimi.....	38
Şekil 6.4	Gün ışınlamının günün saatlerine göre değişimi.....	38
Şekil 6.5	Oluklu tip kolektör giriş ve çıkış sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişimi... 39	
Şekil 6.6	.Oluklu tip kolektör veriminin günün saatlerine göre değişimi.....	39
Şekil 6.7	Gün ışınlamının günün saatlerine göre değişimi.....	40
Şekil 6.8	Trapez tip kolektör giriş ve çıkış sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişimi... 40	
Şekil 6.9	Trapez tip kolektör veriminin günün saatlerine göre değişimi.....	41
Şekil 6.10	Basınç kaybının kütleli debiye göre değişimi.....	41
Şekil 6.11	Kolektör verimlerinin karşılaştırılması.....	42

TABLÖLAR (ÇİZELGELER) LİSTESİ

Sayfa No:

Tablo 3.1 Yutucu yüzey malzemelerinin soğurma ve yayma katsayıları.....	18
Tablo 3.2 Değişik malzeme yüzeylerinin Güneş ışınını yutma ve yansıtma oranları.....	26
Tablo 3.3 Kollektörlerde kullanılan değişik yalıtım malzemelerine ait bazı özellikler.....	27
Tablo 3.4 Değişik malzemelere ait boyca uzama yüzdeleri.....	29

SİMGELER LİSTESİ

A	Kolektör yüzey alanı (m^2)
A_b	Kesit alanı (m^2)
C	Akışkanın hızı (m / sn)
c_p	Sabit basınçtaki özgül ısı (J/kgK)
D_H	Hidrolik çap (m)
E	Ekserji
E_D	Boyutsuz Ekserji kaybı
f	Sürtünme Kayıp Katsayısı
h	Entalpi (J/kgK)
K_y	İzalasyon malzemesinin ısıl iletim katsayısı
L	Akışkanın akım yolu uzunluğu (m)
$\dot{m}$	Akışkanın Kütleli debisi (kg/sn)
Nu	Nusselt Sayısı
P	Basınç (N/m^2)
Re	Reynold Sayısı
h_d	Isıl taşınım katsayısı (W/m^2K)
ε	Yayma Katsayısı
T	Sıcaklık (K)
ρ	Akışkanın yoğunluğu (kg/m^3)
η	Verim
I	Güneş ışıma şiddeti (W/m^2)
W	İş (Joule)
ΔT	Sıcaklık farkı
U	Islak çevre
Q	Güneş ışıması
α	Yutma oranı
ΔP	Basınç farkı
λ	Isıl İletim Katsayısı (W/mK)
μ	Dinamik viskozite ($pa.sn$)

ALT İNDİSLER

i	Giriş
o	Çıkış
m	Ortalama
e	Çevre
log	Logaritmik

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DEĞİŞİK YÜZEY PROFİLLERİNE SAHİP GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNDE ISI TRANSFERİ VE BASINÇ KAYIPLARININ DENEYSEL OLARAK HESAPLANMASI

Mehmet ATICI

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı

2006, Sayfa : 46

Havalı kollektörler için yapılan çalışmalarda değişik yüzey profillerine sahip havalı kollektörler kullanılarak, kollektör ısı performansının artırılması amaçlanmaktadır. Bilindiği gibi ısıtılacak yüzey alanının artırılması, ısıtılacak akışkanın akım yolunun uzatılması sonucunda akışkanın taşınım katsayısının artırılmasıyla kollektörlerin ısı performansını artırmaktadır. Mevcut havalı güneş kollektörlerinde ısı performans, havanın fiziksel özelliklerinden dolayı düşük seviyededir.

Tasarlanan üç farklı tip yüzey profili olan düz, oluklu ve trapez yüzey kollektöre ayrı ayrı yerleştirildi. Havanın akım yolu artırılarak bunun kollektör verimi üzerindeki etkisi araştırıldı.

Deneyler 2006 yılının Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında havanın açık olduğu günlerde Elazığ ilinde yapıldı. Deneylerden elde edilen sonuçlarla verim ve basınç kaybı değerleri hesaplanarak literatürle mukayese edildi. Tasarlanan kollektörlerde düz bir havalı kollektöre göre %30-%40 arasında artış görüldü.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Havalı Güneş kollektöre, Verim ve Isıl performans.

ABSTRACT

HAVING DIFFERENT SURFACE PROFILE OF SUN COLECTORS MEAT TRANSFER AND PRESSURE LOSS İNVESTİGATE EXPERİMENTALLY

Mehmet ATICI

Fırat University

The Institute of Natural Sciences

Mechanical Education Main Scientific Branch

2006, Page : 46

In studies performed for air collectors, which have different surfaces, thermal performance of the collector is increased. As known, Increasing of flow path is the reason for increasing of thermal performance of solar collector. The thermal performance of extant solar collectors is found to be low level because of physical prooeries of the air.

In this study, three solar collector having three different types, which have smooth, grooved and trapezium designed separately. The effect of three parameters on the thermal performance of the solar collectors was investigated.

The experiments were performed on the days of June, July and August in Elazığ in 2006. During that day it was sunny and clear. Efficiency of solar collector, pressure loss, were obtained by being calculated from experimental data and compared with literature. It was seen that the efficincy of solar collector increased 30-40 % compared t oflat plate collector.

Key words: Solar energy, Solar Air Colletor, Efficiency, Thermal performance.

1. GİRİŞ

İnsanlar tarih boyunca çeşitli enerji kaynaklarını kullanmışlardır. İlk zamanlar enerji ihtiyacını karşılamak için yalnızca odun, kömür ve benzeri yakacaklar kullanılmış fakat daha sonra bunların yerini petrol ve doğal gaz almaya başlamıştır. Günümüzde ise halen kullanılmakta olan enerjinin büyük bir kısmı petrol doğal gaz gibi yakacaklardan, hidrolik ve nükleer enerjiden sağlanmaktadır. Ancak teknolojinin gelişmesiyle sanayi yatırımları ve Dünya nüfusunun artması sebebiyle, enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Dünya üzerinde çokça kullanılan petrol, doğal gaz gibi yer altı kaynaklarının yakın gelecekte tükenme ihtimalinin olması ve çevre kirliliğine sebep olmalarıyla yeni enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Şu an insanlar tarafından kullanılan enerjinin % 90'ı petrol, doğal gaz gibi yer altı kaynaklarından karşılanmaktadır. Fakat yer altı enerji kaynaklarının belirli bir rezerve sahip olmasından dolayı kısa bir zaman sürecinde tükenmeye başlayacağı bilinmektedir.

Varolan enerji kaynaklarından nükleer enerjinin çok ileri teknoloji gerektirmesi, yatırım giderlerinin yüksek oluşu, insan ve çevreye olan zararları bu enerjinin tercih edilmesini sınırlandırmıştır. Nükleer enerjiden elde edilen enerji maliyetinin ucuz olması bu enerjiye olan ilgiyi biraz artırmıştır. Fakat nükleer enerjide kullanılacak yakıt ve radyasyon tehlikesi ile ilgili problemler bu enerjinin kullanılmasında sorun yaratmıştır. Dünya enerjisi verimli ve tasarruflu bir şekilde kullanmayı amaçlamıştır. Diğer taraftan da alternatif enerji kaynakları bulabilmek için çaba göstermiştir. Enerji kaynaklarının her geçen gün azalması ve enerjiye olan ihtiyacın artması alternatif enerji kaynaklarından biri olan Güneş enerjisinin kullanımını artırmıştır.

Bundan dolayı kendini yenileyebilen, kolayca faydalanma imkanı sağlayan, çevreye karşı herhangi bir zarar teşkil etmeyen, teknolojik bakımdan yüksek maliyet gerektirmeyen en ideal enerji kaynaklarından biri olan Güneş enerjisine olan rağbet artmıştır. Her geçen gün enerji gereksinimi artış göstermektedir [1].

Dünya üzerinde petrol, doğal gaz, kömür gibi yakacakların son zamanlardaki fiyat artışı, gerek ucuz olması ve gerekse çevre kirliliğine sebep olmaması sebebiyle ideal bir enerji kaynağı olan Güneş insanların ilgisini çekmiştir.

Ülkemiz coğrafi konum itibarıyla yenilenebilen enerji kaynakları içerisinde Güneş enerjisi bakımından oldukça avantajlıdır. Ülkemizin bir yıl içerisinde Güneş enerjisinden faydalanma miktarı yaklaşık olarak 37000 ton taşkömüründen sağlanan enerji miktarı aynıdır, buna ek olarak ülkemiz bir yılda ortalama 2500 saat Güneş'ten faydalanır. Bu faydalanma her bir metrekare alan için yaklaşık 100 kaloringin üzerinde bir enerji sağlamaktadır [2].

1.1. Enerji İhtiyacı İçin Güneş

Dünya için vazgeçilmez enerji kaynaklarından biri olan Güneş, samanyolu sisteminde yer alan önemli bir gezegendir. Dünyanın nasıl aydınlandığı, yağışlar ile su döngüsünün nasıl olduğu ve fotosentezin nasıl gerçekleştiği düşünülürse güneş'in dünya için neden vazgeçilmez olduğu anlaşılır.

1.2. Güneş'in Fiziksel ve Kimyasal Yapısı

Güneş samanyolu olarak adlandırılan galaksinin yaklaşık yüz milyar yıldızının içerisinde yer alan, en önemli yıldızlardan biridir. Güneş de diğer yıldızlar gibi yapısında bulunan maddelerin birbirlerini çekmeleri ile meydana gelmiştir. Toz bulutu parçacıklarının birbirlerini kütle çekimi ile çekmesinden dolayı meydana gelen yoğunlaşma ve birbirine yaklaşma ve bu yaklaşımla hızlanan parçacıkların enerjisi sonucu güneş'in iç kısmının sıcaklığı 15-16 milyon dereceye kadar çıkmıştır. Bu sıcaklık ortamında meydana gelen çekirdeksel tepkimelerin neticesinde oluşan ışınlamaların yaptığı basınç güneş'in yoğunlaşarak çökmesini engellemiştir. Güneş bu şekilde bugünkü boyutlarına ulaşmıştır.

Güneş 1 400 000 km'lik çapı ile Dünya çapının yaklaşık 110 katı büyüklüğündedir. Ayrıca Güneş sahip olduğu 2×10^{30} kg'lık kütle ile Dünya'nın hemen hemen 330 katıdır. Güneş de çoğu gezegen gibi kendi eksenini etrafında döner.

Güneş'in iç kısmında özellikle merkezinde (korun) meydana gelen reaksiyonların çoğu hidrojen çekirdeklerindeki kaynaşma olayıdır. Güneş'in büyük bir kısmını (yaklaşık %90'nını) hidrojen oluşturur. Hidrojen Güneş merkezinde tepkimeler sonucu kaynaşarak helyumu oluşturur ve bunun neticesinde büyük bir enerji açığa çıkar. Oluşan bu reaksiyonlarda dört hidrojen atomu bir helyum oluşturur. Bu reaksiyona fizikte proton-proton döngüsü adı verilir. Bu döngü sonucu açığa çıkan enerji dört proton (hidrojen atomunun çekirdeği) ile helyum atomunun çekirdeği arasındaki kütle farkından meydana gelir. Tepkimeye giren her bir hidrojen atomunun çekirdeği ortalama 10^{12} Joule'lük bir enerji açığa çıkartır. Güneş'te saniyede $3,8 \times 10^{26}$ Joule'lük bir toplam enerji kapasitesi mevcuttur. Bu da her bir saniyede 600 milyon hidrojenin güneş içerisinde tepkimeye girdiğini gösterir. Bu rakam çok yüksek gibi gözükse de güneş'in %90'lık bir kısmının hidrojen olduğu ve bu hidrojenin tamamının tükenmesinin tahminlere göre 5 milyar yıl zaman alacağı düşünülürse güneş'in dünya için ne kadar önemli bir enerji kaynağı olduğu görülmektedir.

Daha önce bahsettiğimiz proton-proton döngüsü olan kısım güneş'in merkezinde, güneş yarıçapının %25'ini ve hacimsel olarak da %1'ini kapsar. Bu bölge kütle olarak düşünülürse Güneş'in toplam kütlelerinin %40'ını, enerji olarak düşünülürse yaklaşık %90'nını oluşturur. Bu bilgiler ışığında enerji üretiminin merkezden yüzeye doğru yayıldığı düşünülür.

Güneşi katman katman olarak düşünürsek merkezden (kordan) sonra 150 000 km'lik kalınlığa sahip olan taşınım bölgesi yer alır. Bilim adamlarına göre ısı enerjisinin büyük gaz akımları sayesinde sıcaklığın 2 milyon Kelvin olan iç kısımdan sıcaklığın 20 000 Kelvin olan dış kısma aktarıldığı bölgedir. Bundan dolayı bu bölge taşınım bölgesi olarak adlandırılır.

Güneş enerjisinin dünya'ya ulaşan kısmının yaklaşık 6 000 Kelvin ve birkaç yüz kilometre kalınlığa sahip olan güneş'in dış yüzeyine yakın ışık küre adlı katmandan geldiği sanılmaktadır. Düşük

yoğunluktaki iyonlaşmış gazlardan oluşan bu bölge ışığı çok fazla geçirmez. Bu katmanda yer alan atomlar sıcaklıkları sayesinde ışıma yaparlar ve bu bölgenin ısınımasını sağlarlar.

Güneş'in en iç kısmı olan merkezinden en dışına enerjinin ulaşması yaklaşık 1 yıllık bir zaman gerektirir. Güneş'in ışık küre katmanından sonra 3 saydam katmana daha sahiptir. Bunların birincisi yaklaşık birkaç yüz kilometre kalınlığında olan tersleyici katmandır. Bu katman iç katmanlara göre daha düşük sıcaklıklara sahip gazlardan oluşur. Daha sonra tersleyici katmana göre biraz daha kalın olan renkküre katmanı yer alır. Renkküre katmanından sonra ise Güneş tacı olarak adlandırılan bölge gelir. Güneş tacı bölgesinde sıcaklığı çok yüksek fakat yoğunluğu çok düşük gazlar bulunur.

Bu bilgilere rağmen güneş hakkında çok fazla bilgiye sahip olduğumuz söylenemez. Bilim adamları Güneş'te meydana gelen manyetik alanların sebebini ve manyetik etkinliğin neden 1 yıllık periyotlarda değiştiğini, güneş yüzeyinde meydana gelen lekelerde manyetik alanın neden yoğunlaştığını sorgulamaktadırlar. Tabi ki teknolojik gelişmeler ışığında Güneş hakkındaki bilgiler gün geçtikçe artacaktır. Artık güneş hakkında daha fazla bilgi edinmek için çeşitli uydular imal edilmekte ve uzaya fırlatılmaktadır. Bunlardan bazıları 1994 Haziran ayında uzaya gönderilen ABD'nin uydusu Ulyses, 1994 Kasımında uzaya fırlatılan yine ABD uydusu Wind ve 1976 yılında uzaya fırlatılan Helios2 ve 1995 yılı Aralık ayında gönderilen Soho (SOHO=Solar and Heliospheric Observatory) uydusu bunlardan bazılarıdır.

1.3. Dünyanın Sahip Olduğu Güneş Enerjisi

Güneş ile Dünya arasındaki mesafe yaklaşık 150 milyon kilometredir. Dünya yörünge olarak hem Güneş etrafında hemde kendi eksenini etrafında sistematik bir şekilde dönmektedir. Bu dönüş sebebiyle Güneş'ten Dünya'ya ulaşan enerji miktarı, günlük ve yıllık olarak değişim göstermektedir.

Dünya'nın kendi eksenini etrafında dönüşü bilindiği gibi gece ve gündüzü oluşturur. Gerçekte gündüz ve gecenin var oluşu Güneş enerjisinin değişimindendir. Aynı şekilde Dünya'nın Güneş etrafında dönmesiyle mevsimler oluşur. Güneş'ten ışınlamalar sayesinde herbir saniye için 4×10^{26} joullük bir enerji Dünya'ya ulaşır. Bu miktar Güneş'in toplam enerjisi gözönüne alındığında çok küçük bir miktardır. Fakat bu küçük miktar bile şu an insanların kullandığı toplam enerjinin yaklaşık 15000 katıdır. Güneş ışınları ortalama 300000 km/sn hızla 8 sn de dünya'ya ulaşır. Güneş değişmez Güneş ışınlarının atmosfere dik olarak geldiği 1 m^2 'lik alan olarak adlandırılır. Güneş değişmez 1373 W/m^2 olur. Bu değer her zaman değişmez olarak düşünülebilir. Çünkü Güneş ışınlarının devamlı Dünya atmosferine dik olduğu gözönüne alınır. Yıllık değişim ortalama %3,3'lük küçük bir değerdir.

Güneş ışınları Dünya atmosferi üzerine çeşitli dalga boyları halinde gelir. Bu dalga boyu miktarları $0,1-3 \mu\text{m}$ arasında değişir. Bu ışınlar morötesinden kırmızı altına kadar uzanır. Güneş'ten gelen ışınların miktarları hesaplandığında bu ışınların %49'unun görünür bölgede, %42'sinin kırmızı altı bölgede ve %9'ununda morüstü bölgede olduğu görülür.



Şekil 1.1 Güneş ışınlarının dağılımı

Atmosfere gelen Güneş ışınımının bir kısmı atmosferde bulunan gaz ve toz parçacıkları tarafından engellenir.

Yerküreden yaklaşık 25 km yukarıda morötesi ışınları engelleyen bir tabaka bulunur. Bu tabakadaki oksijen molekülleri $0,18 \mu\text{m}$ 'den küçük ışınlar oluştursa da, bu bölgedeki oksijen molekülleri reaksiyona girerek (O_3) ozon oluşturur. Bu tabaka Dünya üzerinde yaşayan canlılar için zararlı olabilecek Güneş'ten gelen morötesi ışınların Dünya yüzeyine ulaşmasını engeller. Bundan dolayı ozon tabakası Dünya için önemli bir yer tutar. Güneş'ten gelen diğer ışınların bir kısmı atmosferde bulunan toz ve gaz kütlelerine çarparak Dünya yüzeyine saçılır, bir kısmı ise Dünya yüzeyine ulaşmadan geri döner. Gaz ve toz kütlelerine çarparak saçılan ışınlar gökyüzünün mavi olmasını sağlarlar. Çünkü mavi renkte saçılan ışınların dalga boyları kırmızı renkte saçılana göre daha uzundur.

Su zerrecikleri Güneş ışınlarının tamamının Dünya üzerine ulaşmasını engelleyen bir diğer faktördür. Gökyüzünde bulunan yoğun şekildeki bulutlar gelen ışınların %80'inin geri dönmesini sağlar. Bulut parçalarının Dünya etrafının yaklaşık %50'sini sardığı düşünülürse Güneş enerjisinin önemli bir kısmının bu sebepten dolayı Dünya'ya ulaşmadığı görülür.

Güneş'ten gelen ışınlar saydam bir özellik gösteren atmosfer tarafından Dünya'ya iletilir. Ancak bu ışınların bir kısmı atmosferde bulunan gaz ve toz kütleleri tarafından engellenir. Güneş ışınımının şiddeti Dünya'ya geliş açısına göre değişir. Atmosfere (havaküreye) dik gelen ışınların şiddeti daha fazla olurken belli bir açıyla atmosfere gelen ışınların şiddeti daha az olur. Çünkü eğimli bir şekilde gelen ışınların izlediği yol arttığından şiddeti de azalır.

Güneş ışınlarının bazıları Dünya'ya doğrudan çarpar. Bu ışınlar "*doğrudan ışınlar*" denir. Güneş ışınlarının bazıları ise toz ve bulutlara çarparak Dünya'ya saçılmış bir şekilde ulaşır. Bu ışınlar ise "*yayınık ışınlar*" adı verilir.

1.4. Güneş Işınımının Dünya'ya Ulaşması ve Doğal Denge

Güneş'ten gelen ışınların ancak %50'sinin yeryüzüne ulaştığı düşünülür. Yeryüzüne gelen Güneş ışınımının doğal denge açısından önemi büyüktür. Doğal denge açısından önemli olaylardan biri su

döngüsünün sağlanmasıdır. Eğer Güneş ışınlamalarının sayesinde buharlaşma gerçekleşmezse yer altı suları kurumaz, kar ve yağmur yağışlarının tümü Dünya üzerinde kalır. Türkiye'nin ortalama yıllık 500 milyar ton miktar su aldığı düşünülürse bu döngünün ne kadar önemli olduğu görülür.

Doğal denge için ikinci önemli husus ise fotosentezin gerçekleşmesidir. Fotosentez dünya'daki canlıların özellikle bitkilerin yaşaması için çok önemlidir. Aynı zamanda doğal denge düşünülürse bitkilerin olmadığı bir ortamda, bitkilerden beslenen hayvanlar ve insanlar yaşamını sürdüremez. Fotosentez olayının gerçekleşmesi için Güneş enerjisinden 40×10^{12} j/sn'lik bir enerji harcanır.

Doğal denge için üçüncü önemli husus ise rüzgarların oluşması, deniz dalgaları ve okyanus akıntılarıdır. Güneş enerjisinin sayesinde havanın bazı bölgeleri diğer bölgelere nazaran daha sıcak ve daha Soğuk olur. Bu bölgelerde oluşan basınç farklılıkları rüzgârların oluşumunu sağlar. Böylece deniz dalgaları ve akıntılar meydana gelir.

1.5. Güneş Enerjisi

Güneş yukarıda da anlattığımız gibi Dünya için son derece önemli, vazgeçilmez ve sonsuz bir enerji kaynağıdır. Ayrıca bununla beraber Güneş enerjisi çevreyi kirletmeyen tamamıyla ücretsiz ve tükenmeyen bir enerji kaynağıdır. Türkiye de Güneş enerjisinden faydalanma yönünden oldukça avantajlı konumdadır.

Güneş Enerjisinin Diğer Enerji Kaynaklarına Göre Avantajları:

1. Güneş enerjisi sonsuz düzeyde tükenmeyen bir enerji kaynağıdır.
2. Güneş enerjisi saf bir enerji kaynağıdır. Bünyesinde gaz, duman, toz, karbon, kükürt veya herhangi bir zararlı madde içermez.
3. Dünya üzerindeki bütün ülkeler Güneş enerjisinden yararlanma imkânına sahiptir.
4. Güneş enerjisi hiçbir ulaştırma masrafı olmaksızın her yerde mevcuttur.
5. Güneş enerjisi yüksek ve kompleks bir teknoloji gerektirmediğinden bütün ülkelerde kolaylıkla sanayi kuruluşlarında ve evlerde yararlanılır.
6. Güneş enerjisi sistemlerinde meydana oluşacak arıza enerjinin tümünü etkilemez.
7. Güneş enerjisinden faydalanma miktarı farklı yerlerde değişim gösterse de her yerde Güneş enerjisinden yararlanmak mümkündür.
8. İşletme giderleri düşüktür.

Güneş Enerjisinin Diğer Enerji Kaynaklarına Göre Dezavantajlı Yönleri:

1. Güneş enerjisinin yoğunluğu düşüktür ve sürekli değildir.
2. Güneş enerjisinin ilk yatırım giderleri biraz yüksektir.
3. Güneş enerjisinden gelen enerji miktarı bizim kontrolümüz altında değildir.
4. Enerji kullanımının değişik zamanlarda olması enerji kaynaklarının depolanmasını gerektirir. Fakat Güneş enerjisinin depolanmasında birçok problemle karşılaşmaktadır.
5. Özellikle enerji ihtiyacının yüksek olduğu kış aylarında güneş enerjisinden faydalanma imkânı düşük seviyededir .

1.6. Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları

Güneş enerjisi genelde ısı enerjisine ve elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanılır. Isı enerjisine dönüştürülerek Güneş enerjisi kullanımını sıcaklık derecelerine göre 3 bölüme ayırabiliriz .

A) Sıcaklığın 150°C 'den az olduğu durumlar (düşük sıcaklıklar)

- Binaların ısıtılması ve havalandırılmasında
- Tarım sektöründe kurutma işlemi ve seraların ısıtılmasında
- Evlerde kullanılan suyun ısıtılmasında

B) Sıcaklığın 150°C ile 600°C arasında olduğu durumlarda (orta sıcaklıklar)

- Sulama işlemlerinde kullanılan su pompalarında
- Güneş tencereleri ve küçük motorlarda
- Buhar gücüyle elektrik üretimi için jeneratörlerde

C) Sıcaklığın 600°C olduğu durumlarda (yüksek sıcaklıklar)

- Güneş fırınlarında
- Maddelerin ayrıştırılmasında
- Elektrik üretiminde
- Seramik yapımında ve cam sanayinde

1.7 Güneş Enerjisi Sistemleri

Güneş enerjisinden faydalanmak için kurulan sistemler genel olarak aktif sistemler ve pasif sistemler olmak üzere iki kısma ayrılır.

Pasif sistemler sistem kurulduktan sonra Güneş enerjisinin kullanımı için ek bir enerji gerektirmeyen sistemlerdir. Isıyı toplayan duvar sistemleri, seraların ısıtılması için geliştirilen enerji sistemleri örnek olarak verilebilir. Pasif sistemler Güneş enerjisinden yararlanmanın en kolay ve en ucuz yoludur.

Aktif sistemlerinde ise sistem kurulduktan sonra Güneş enerjisini kullanmak için ek bir enerji gerektiren sistemlerdir.

Farklı sistemlerde kullanılan kollektörler sıcaklık derecelerine göre sınıflandırılabilir.

- a) Düşük seviyedeki sıcaklık uygulamaları (20-150°C)
- b) Orta seviyedeki sıcaklık uygulamaları (150-600°C)
- c) Yüksek seviyedeki sıcaklık uygulamaları (600°C-)

Düşük seviyedeki sıcaklık uygulamalarında genel düzlemsel kollektörleri kullanılır. Orta seviyedeki sıcaklık uygulamalarında gelen Güneş ışınının yansıtma veya kırma yoluyla bir nokta üzerine toplandığı odaklı toplayıcılar sıkça kullanılır. Bu uygulamalar sanayide kullanılan sıcak su ve buhar temini, soğutma ve ısıtma sistemlerinde tercih edilir. Bu sistemler için Güneş'in devamlı olarak takip edilmesi gerekmektedir. Yüksek seviyeli sıcaklık uygulamalarında ise heliostat olarak adlandırılan devamlı Güneş'i izleyen ve Güneş ışınlarını bir nokta üzerinde toplayan bir sistem kullanılır. Yüksek seviyeli sıcaklık uygulamaları elektrik üretiminde ve sıcak buhar üretiminde kullanılır. Yoğunlaştırma sistemleri ve parabolik kollektörlerde bu grup içerisine alınabilir.

Bu uygulamalar haricinde fotovoltaik üreteçler, Güneş havuzları, uydu güç sistemleri ısı borusu teknolojileri de aktif sistemler arasında bulunur.

1.7.1. Fotovoltaik Üreteçler

Fotovoltaik kollektörler Güneş enerjisini elektrik enerjisi ve ısı enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Bu sistemlerin çalışma prensibi şöyledir. Çok elektron bulunan (n tipi) yarı iletken ile çok boşluk bulunan (p tipi) yarı iletken yan yana geldiği zaman bir kristal oluşur ve elektronların boşluklara girmesiyle doğru akım meydana gelir.

1.7.2. Güneş Havuzları

Bu sistemler iki metre ve daha fazla derinliğe sahip olan sulu kollektörlerdir. Havuzda bulunan tuz yoğunluğu ile gelen Güneş ışınımı ısıya dönüştürülür ve havuzun derin kısmında yaklaşık 90°C 'lik bir sıcaklığa ulaşır.

1.7.3. Uydu Güç Sistemleri

Güneş enerjisinin kullanımını azaltan gece gündüz süreci ve meteorolojik koşullardan kaçmak ve Güneş enerjisinden sürekli faydalanabilmek için geliştirilmiş sistemlerdir. Bu sistemler Dünya yörüngesine yerleştirilen Güneş uyduları ile sağlanır.

1.7.4. Isı Borusu

Bu sistemde tüp içerisinde bulunan akışkan tüpün bir ucundan ısıtılarak buharlaştırılır ve öteki ucundan soğutularak yoğunlaştırılması sağlanır. Yoğuşan akışkanın tekrar buharlaştırıcıya gelmesi prensibine göre çalışır.

Bu sistemden başka emici 2 yüzeye sahip düzlemsel Güneş kollektörleride kullanılır. Bu metotta düzlemsel Güneş kollektörü ve yoğunlaştırma birlikte kullanılır. Bu sistemdeki verim oldukça yüksektir. Bu sistem Güneş evlerinin yapılmasında, evlerde sıcak su ihtiyacının karşılanmasında sıkça kullanılır. Genel olarak güneş kollektörü performansına etki eden faktörler kollektör yapısı ve dizaynı, iklim şartlarına göre kollektör konumu, kollektör çalışma stili olarak bilinir.

1.8. Güneş Açıları

Dünya üzerindeki herhangi bir yere göre Güneş'in konumu belirlemek için ekvator çizgisi referans olarak alınır ve bu referansa göre çeşitli açılar belirlenir.

1.8.1. Esas Güneş Açıları

Dünya üzerindeki herhangi bir noktanın Güneş'e göre konumu o noktanın enlemine, saat açısına ve Güneş deklinasyon açısına bağlıdır. Bu açılar bilinirse o noktanın Dünya üzerindeki yeri tayin edilebilir.

1.8.1.1. Enlem Açısı

Belirlenen noktayı Dünya merkezi ile birleştiren doğrunun ekvator çizgisine yaptığı açıdır. Ekvatorun kuzeyine (+) simgesi ile güneye ise (-) simgesi ile ölçülür. Bu ölçüm kuzey kutbu için ($+90^0$), güney kutbu için (-90^0) olur.

1.8.1.2. Saat Açısı

Belirlenen noktanın boylamı ile Güneş'le Dünya merkezi arasındaki doğrunun açısal olarak ölçümüdür.

1.8.1.3. Deklinasyon Açısı

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.

1.8.2. Türetilen Güneş Açılan

1.8.2.1. Zenit Açısı

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

1.8.2.2 Güneş Yükseklik Açısı

Güneş ışınları ile yatay düzlem arasındaki açıdır.

1.8.2.3. Güneş Azimut Açısı

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

1.9. Güneş ve Dünya'nın Sahip Olduğu Bazı Değerler

- Güneş'in çapı	$1,39196 \times 10^6$ km
- Güneş'in kütlesi	$1,989 \times 10^{30}$ kg
- Güneş'in hacmi	$1,421 \times 10^{27}$
- Güneş'in ortalama yoğunluğu	1409 kg/m^3
-Güneş kütlesinin Dünya kütlesine oranı	332488
- Güneş'in efektif siyah cisim kalınlığı	5762°K
- Güneş'in yaklaşık kütleli birleşimi	%75 H ₂ , %24,25 He
- Dünya'nın yaklaşık kütleli bileşimi	%0,75 AğırElem.
- Dünya'nın Güneş'e olan uzaklığı	$1,49585 \times 10^8$ km
- Dünya'nın ekvatorial çapı	6378,17 km
- Dünya'nın kutupsal yarıçapı	6356,79 km
- Dünyanın kütlesi	$5,977 \times 10^{24}$ kg
- Dünya'nın hacmi	$1,08322 \times 10^{21}$ m ³
- Dünyanın ortalama yoğunluğu	5517 kg/m^3

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE TEZİN KAPSAMI

Havalı güneş ısıtıcıları ile ilgili olarak yapılan literatür araştırmasında yurtiçi ve yurtdışında yapılmış çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan birkaçını aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür.

Güneşli hava ısıtıcıları ile ilgili ilk önemli araştırmayı Hotte ve Woertz (1942) yapmışlardır. Daha sonraları bu konu üzerinde araştırma yapan bir çok bilim adamı olmuştur. Whiller, Liu, Jordan ve Close (1963); levha tipi hava ısıtıcıları üzerinde detaylı bir araştırma yapmışlardır. Bu çalışmalardan yararlanan Chiov ve El-Wakil (1966) modern hava ısıtıcılarının düzenlenmesinde bir çığır açmışlardır.

D.J. Close 1963 yılında yaptığı çalışmada üç farklı tipte Güneşli hava ısıtıcısı için deneyler yapmıştır. Yapılan deneyler sonucunda havalı ısıtıcıların verimleri yaklaşık %50 olarak, kolektörde kullanılan akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark ise yaklaşık 30 °C bulunmuştur [3].

Gupta ve Grag 1967 yılında yaptıkları çalışmalarda dört güneşli hava ısıtıcısı için deneyler yapmışlardır. İki güneşli hava ısıtıcısı oluklu, diğer iki güneşli hava ısıtıcısı için ise ağ tipi yutucu yüzeyler oluşturmuşlardır. Kullanılan yutucu yüzeylerin üst kısımları siyah boya ile boyanmıştır. Bu çalışmadaki amaç eşit akım hızlarındaki verim değerlerinin karşılaştırılması yerine eşit pompalama güçlerindeki verim değerlerinin tespit edilmesidir. Böylece meydana gelebilecek farklı sürtünme kayıpları sistemde ölçülen ısı verimlerinin mukayesesinde göz önünde bulundurulmuştur. Deneyler kış aylarında yapılmıştır. Oluklu yutucu yüzeyin kullanıldığı güneşli hava ısıtıcıları için akışkanın giriş ve çıkış sıcaklığı arasındaki fark yaklaşık 30 °C, verim ise %60 olarak bulunmuştur. Ağ tipi yutucu yüzeyin kullanıldığı güneşli hava ısıtıcıları için akışkan sıcaklığının giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark 20 °C ve verimde %50 olarak tespit edilmiştir [4].

K. Selçuk 1971 yılında yaptığı çalışmada yutucu yüzey olarak cam seçilmesi durumunda güneşli hava ısıtıcısı teorik ve deneysel olarak araştırmıştır. Büyük hava hızları için (yaklaşık 3000 m/h) verim yüzde 75, kullanılan akışkan sıcaklığındaki artış ise 20 °C elde edilmiştir. Küçük hızlarda (yaklaşık 1200 m/h) ise verim %60, sıcaklık artışı da 35 °C olarak bulunmuştur. Küçük hızlarda kullanılan akışkan sıcaklığında artışların verimde azalmaya sebep olduğu görülmektedir. Yutucu yüzey olarak cam seçilmesi durumunda ısı gerilimler artacağından pek uygun değildir. Ayrıca yutucu yüzey sayısı ve yutucu yüzeyler arasındaki mesafede verim üzerinde etkili olmaktadır. Yutucu yüzeyler arası mesafe cam kalınlığına göre seçilmelidir. örneğin 3 mm kalınlığındaki cam levhalar için 5-7 mm olarak önerilmektedir [5].

Macedo ve Altemani 1978 yılında yaptıkları çalışmalarda, değişik geometrilere sahip yüzeylerde doğal taşınım ilkesine göre çalışan dört farklı güneşli hava ısıtıcısını incelemişlerdir. Oluşturulan sistemlerde yutucu yüzey malzemesi olarak siyaha boyalı galvaniz levha, demir yongalarından gözenekli matriks, V şeklindeki siyaha boyalı alüminyum ve siyah poliüretan film kullanılmıştır. Tarım endüstrisinde, ürünlerin kurutulması işleminde ve hacim ısıtılmasında kullanılması uygun olan bu sistemlerde, çalışma akışkanı olarak kullanılan havanın akış hızları, sıcaklık değişimleri ve verim değerleri tespit edilmiştir.

P.W. Niles ve arkadaşları 1978 yılında yaptıkları çalışmada, güneşli hava ısıtıcısını kurutma sisteminin bir elemanı olarak tasarlamıştır. Sistemde kullanılan çalışma akışkanı sıcaklıkları, çıkış için 40

$^{\circ}\text{C}$ ile 90°C arasında ayarlanmıştır. Basınç kaybı ve taşınım ile ısı transfer hızlarının akışkan sıcaklığından bağımsız olarak değişimini tespit etmek için, değişik uzunluklardaki güneşli hava ısıtıcılarını deneye tabi tutmuşlardır [6].

Özil ve Birkebak 1982 yılında yaptıkları çalışmada, yapay kürkün yutucu yüzey olarak kullanıldığı gözenekli güneşli hava ısıtıcısını deneysel olarak incelemişlerdir. Farklı akış hızları, akışkan sıcaklıkları, yutucu yüzey sıcaklıkları, ısı verimi ve kollektörde meydana gelen basınç kayıplarının değişimini araştırmışlardır. Kollektördeki ısı veriminin yaklaşık %40-80 arasında olduğunu bulmuşlardır [7].

Çukurova Üniversitesi'nde 1984 yılında yapılan çalışmada, güneşli hava ısıtıcısında yutucu yüzeyden akışkan olarak kullanılan havaya olan ısı transferinin artırılması için bir model geliştirilmiştir. İncelemede alüminyum halkaların dolgu olarak kullanıldığı model ile, dolgusuz olarak kullanıldığı model, verim yönünden kıyaslanmıştır. Dolgulu sistem modeli için verimin %30 arttığı tespit edilmiştir. Ek olarak taş ve su ile doldurulmuş dolgulu yatak ile ısı depolama sistemi oluşturulmuş, böylece faydalı enerjinin gerektiğinde kullanılması sağlanmıştır [8].

Bansal ve Uhleman 1984 yılında yaptıkları çalışmalarda, emici plaka malzemesi olarak %100 polyesterden imal edilmiş gözenekli siyah tekstil ürünü, geçirgen örtü olarak da PVC kullanmışlardır. Ayrıca farklı olarak 0,6 mm kalınlıktaki siyah PVC levhanın kullanıldığı başka bir güneşli hava ısıtıcısını da incelemişlerdir. İlk olarak gözenekli güneşli hava kollektörünün verimini incelemişler ve maksimum %60, ikinci sistemin verimini ise, aynı şartlarda %45 olarak elde etmişlerdir. Sistemde kullanılan çalışma akışkanının giriş ve çıkış sıcaklıkları sırasıyla 12°C ile 25°C olarak bulunmuştur.

Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde 1987 yılında yapılan araştırmalarda, doğal canlı kürkünün emici plaka olarak kullanıldığı güneşli hava ısıtıcısı değişik akım hızları ve giriş sıcaklıklarında incelenmiştir [9].

A. Esper ve arkadaşları 1989 yılında tarım endüstrisinde kurutma amaçlı düşük maliyetli bir güneşli hava ısıtıcısı tasarlamışlardır. Farklı akışkan hızlarının etkisi yanında, çeşitli örtü ve emici plaka malzemelerinin sistemin verimi üzerindeki etkisini de incelemişlerdir. Deneyler sonucunda çalışma akışkanı olarak kullanılan havanın giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki farkın 50°C 'a kadar çıktığı tespit edilmiştir. Tünel ve raflı kurutucularla kolayca beraber kullanılacak şekilde tasarlanan güneşli hava ısıtıcısında hava akışına direnç oldukça düşük seviyededir [10].

Hottel ve Woertz 1942 yılında hava ısıtmalı düzlemsel kollektörlerin performansı hakkındaki ilk kapsamlı çalışmaları gerçekleştirdiler. Bu çalışmalar, konutların ısıtılması ve kollektördeki enerji dengesinin belirlenmesi üzerine olmuştur [11].

Yeh ve Ting 1990 hava ısıtmalı güneş kollektörlerine kanat ekleyerek verimin artacağını bulmuşlardır. Kanat sayısının artmasıyla kollektör veriminde %12'lik bir artış gözlemişlerdir [12].

Yeh ve Ting 1990 yılında yaptıkları çalışmalarda cam ile yutucu plaka arasına demir talaşı doldurmak sureti ile yutucu yüzeyin ortasında olduğu normal kollektöre göre kollektör veriminin %38 artış gösterdiğini tespit etmişlerdir [13].

Garg ve Datta, kanatlı tip bir hava ısıtmalı güneş kollektörünü deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Üstteki plakanın sıcaklığı alttaki plakanın sıcaklığından yüksek olacağından, üstteki

plakaya eklenen kanatlarla daha yüksek verim sağlandığı görülmüştür. Sıcaklığın, üstte ve alttaki plakaların her ikisine kanatlar eklendiğinde en yüksek ve yalnız alttaki plakaya ilave edildiğinde ise en düşük olduğu sonucuna varılmıştır [14].

Binark ve Deliçay 1993 yılında yaptıkları çalışmalarda havanın dolaştığı kanalın boş olduğu diğerlerinde ise değişik şekillerde tasarlanmış kanallara sahip üç farklı kollektörle deneyler yapmışlardır. Kollektörler için sıcaklık farkı-zaman ve verim-zaman grafikleri çizilmiştir. Düşük hızlarda çift geçişli ve çift camlı labirentli kollektörün diğerlerine göre veriminin ve sıcaklık farkının daha yüksek olduğu gözlenmiştir [15].

Yeh ve Lin 1995 yılında yaptıkları çalışmalarda hava ısıtmalı güneş kollektörlerinde birbirine paralel şekilde yerleştirilmiş engellerin kollektör verimi üzerindeki etkisini deneysel ve teorik olarak araştırmışlardır. Engellerin farklı yerlere bırakılmasıyla yapılan deneylerde kollektör merkezine engel bırakıldığında en yüksek verimin elde edildiğini ve engel sayısının artmasıyla verimin arttığını bulmuşlardır [16].

Yeh ve Lin 1996 yılında yaptıkları çalışmalarda hava akışının siyah yüzeyin üstünde olduğu kollektör için kollektör boyutuyla kollektör verimi arasındaki değişimi deneysel ve teorik olarak incelenmişlerdir. Yapılan çalışmalarda kollektör boyutunun artmasıyla ortalama %10, hava akışının siyah yüzey üzerinden olduğu kollektörde hava akışının siyah yüzeyin altından olduğu kollektöre göre %18'lik bir verim artışı gözlenmiştir [17].

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

Altuntop ve arkadaşları 1997 yılında yaptıkları çalışmalarda, alt kısımdaki bakır levha üzerine siyah mat boyalı emici yüzey ve üzerine değmeyecek şekilde çapraz biçimde iki katlı yerleştirilmiş, yatayla 60° lik açıya sahip V biçiminde bükülerek oluşturulan siyah mat boyalı sinek telinden ikinci bir emici yüzeyi bulunan matris tip havalı güneş kolektörünü analitik olarak incelenmişlerdir [19].

H-M.Yeh ve arkadaşları 2002 yılında yaptıkları çalışmalarda kollektörde absorberın altında ve üstünde kanatçıkların olduğu ve absorberın hem altından hem üstünden hava akışının olduğu 3 farklı debi ve 5 farklı kanatçık büyüklüğü için deneyler yaptılar. Yaptıkları deneyler sonucunda en yüksek verimi %70 olarak buldular [20].

Paisorn Naphon ve Bancho Kontragool 2003 yılında yaptıkları çalışmalarda, 5 farklı düzlemsel kollektörün deneysel olarak ısı transferi karakteristiklerini ve ısı performanslarını incelediler. Bu kollektörlerin birincisinde normal bir havalı kolektörü, ikincisinde iki saydam örtülü (iki camlı) bir havalı kollektör, üçüncüsünde yine iki camlı ve alttaki camın üstünden hava girişi altından ise hava çıkışı olan bir kollektör, dördüncüsünde absorberın (yutucu yüzeyin) hem altından hem üstünden hava akışı olan bir havalı kollektör, beşincisinde ise absorberın üstünden hava girişi altından ise hava çıkışı olan bir kollektör

için deneyler yaptılar. Deneysel sonuçlarda normal kollektör için en düşük, absorberın üstünden hava girişinin altından ise hava çıkışının olduğu beşinci model için ise en yüksek verim bulunmuştur [21].

H.D. Ammari 2003 yılında yaptığı çalışmada, hava akışının kollektörün yan yüzeyinden olduğu bir kollektör için ısı performans üzerine deneyler yapmıştır. Dört farklı debi için yapılan deneyler sonucunda 50 lt/sn için ısı verim %72 olarak bulunmuştur [22].

Momin ve arkadaşları (2002), plaka şeklindeki emici yüzeylerinde V şekilli kanatçıklar bulunan bir havalı güneş kollektörünün, dikdörtgen kanallarındaki akışkanın akış karakteristiklerini ve V şekilli kanatçıkların geometrik parametrelerinin ısı transferi üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyleri, Reynolds sayısının 2500 ile 18000, e/D_h oranının 0.02-0.034 değerleri ve eğim açısının 30-90 ° değerleri için sabit 10 adımda gerçekleştirmişlerdir. Sonuçları, ısı transfer katsayısı ve sürtünme faktörlerindeki artışları belirleyebilmek için aynı akış şartları altındaki pürüzsüz kanallarla kıyaslamışlar ve pürüzlü kanallardaki sürtünme faktörü ve ısı transferini belirleyebilmek için bağıntılar geliştirmişlerdir.

Paissorn ve arkadaşları (2003), tek geçişli, çift boşluklu bir havalı güneş ısıtıcısının matematiksel modelini tanımlamışlardır. Güneş ışınlamı, ısı transfer katsayısı, ortalama hava akış oranı, ortalama sıcaklık ve çıkıştaki bağıl nemin dizayn edilen modelde başarılı sonuçlar verdiğine değinmişlerdir. Simülasyon ile elde ettikleri sonuçları tam ölçekli ve küçük ölçekli hava ısıtıcıları için laboratuardan elde ettikleri deneysel sonuçlar ile karşılaştırmışlar ve sonuçları sunmuşlardır. Tahmin edilen ve deneysel olarak ölçülen değerler arasındaki uygunluğu belirlemişlerdir. Tek geçişli çift boşluklu havalı güneş ısıtıcılarında kayda değer performans gelişmesinin, kollektör parametrelerinin uygun seçimi ve üstten alta iki hava boşluklu kanal derinliği ile elde edilebileceğini göstermişlerdir. Havanın kütleli debisinde ısıtıcının etkinliğini belirlemede en etkili faktör olduğunu göstermişlerdir [23].

Naphon ve Kongtragool (2003), yaptıkları çalışmada havalı güneş ısıtıcılarının performans ve ısı transfer karakteristiklerini nümerik olarak araştırmışlardır. Matematiksel modeli sonlu farklar metoduyla explicit çözmüşlerdir. Havalı güneş ısıtıcılarının beş farklı karakteristiklerini göz önünde tutmuşlardır. Modelden elde ettikleri sonuçları daha önceki çalışmadan elde ettikleri deneysel sonuç ile karşılaştırmışlardır. Havalı güneş ısıtıcılarının performansı için teorik sonuçların deneysel sonuçlar ile mantıklı bir uyum gösterdiğini belirtmişlerdir.

Torres-Reyes ve arkadaşları (2003), termodinamiğin I. ve II. kanununu temel alarak optimum performans parametrelerini belirlemişler ve güneş enerjisini ısı enerjisiye dönüştüren sistemi dizayn etmişlerdir. Ekserji analizini, çalışan akışkanın optimum çıkış sıcaklığını belirlemek için ve değişik şekillerdeki güneş kollektörlerinin optimum akış yolu uzunluğunu belirlemek için sunmuşlardır. Güneş enerjisinin ısı enerjisiye dönüşümü boyunca hava akışına ısı veren kollektörlerin, ısı transferi elemanları ve emici yüzeylerine göre farklı şekillerdeki dizaynlarını araştırmışlardır. Ekserji dengesi ve boyutsuz ekserji eşitliklerini, kollektör boyunca aracı akışkanın basınç düşümüyle üretilen tersinmezlikleri dikkate alarak elde etmişlerdir. Farklı hava kanalı ve emici yüzey düzenlemeleri için deneysel bağıntılar elde etmişlerdir.

Abu-Hamdeh (2003), sürekli şartlarda ince plaka kaplı bir güneş kollektörünün, hava çıkış sıcaklığını ve ısı kazancını, ısı etkinliğini tahmin etmek için bir matematiksel model geliştirmiştir. Bu

çalışmada sunduğu modelin ısı transferi ilişkilerini, havalı güneş ısıtıcılarının temel prensiplerini ve farklı şartlardaki davranışlarını simüle etmek için kullanmıştır. Modeli ince plaka kaplı güneş kolektörünün kurutma işlemi boyunca ölçümlere göre kolektör etkinliği ve tahmin edilen hava çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılmasıyla onaylamıştır. Kolektör içindeki havanın hızı ve kolektörün üstündeki rüzgar hızının kolektör etkinliğine etkisini matematiksel model kullanarak araştırmıştır.

Yıldız ve arkadaşları (2002), emici plakanın üstünde ortada ön emici olarak hizmet eden, havanın geçtiği yere diyagonal yerleştirilmiş, plakanın üzerine alüminyum yün kaplatılarak değişiklik yapılmış havalı bir güneş ısıtıcısı dizayn ve test etmişlerdir. Etkinliği aynı ölçülere sahip düzlemsel güneş kolektörü ile karşılaştırmışlardır. Bu iki kolektörün etkinlikleri sabit sıcaklık ve aynı hava hızlarında hesaplamışlardır. Havaya transfer edilen ısıнын, ön emici yüzeyin kullanıldığı havalı güneş ısıtıcısında oldukça arttığını bulmuşlardır [24].

Flores-Irigolen ve arkadaşları (2004), düzlemsel olmayan tünel şeklinde havalı bir güneş ısıtıcısının ısı transferi dinamiğinin matematiksel modellemesini yapmışlardır. Modeli bir boyutlu ve kararsız durumda incelemişlerdir. Modelde emici yüzey olarak çakıl yatağının ısı ataletini kullanmışlar ve polyetilen kaplama, transfer edilen akışkan (hava) ve emici yüzeyden oluşan üç bileşenin sıcaklık dağılımlarını tanımlayan üç eşitlikten yararlanmışlardır. Geliştirilen eşitlikleri çözmek için ayrıklaştırılmış standart denklem formunda türetimi sonlu farklar metodundan farklı yeni bir şema önererek bu şemada ilk olarak eşitliklerin boyutsuz versiyonları kabul edilmiş lineer forma indirgemişlerdir. Daha sonra explicit formda meydana getirilen ayrıklaştırılmış eşitliklerle uzaysal alanda çözmüşlerdir. Sunulan modelin geçerliliğini ispatlamak için, 50 m uzunlukta düzlemsel olmayan tünel tipi güneş kolektörünün bazı deneylerini yapmışlar ve model sonuçlarını deney sonuçları ile karşılaştırmışlardır.

Hegazy (2000), gelen güneş ışınımının toplandığı alışılmış dikdörtgen plakanın yerine değişken genişlikte emici yüzeylerden yararlanarak genel ve temel durumları araştırmıştır. Aynı yüzey alanına sahip üçgen ve konkav geometrileri göz önüne almıştır. Toplayıcı şeklinin, toplayıcı plakanın altından ya da üstünden veya her iki tarafından hava çıkışına sahip üç genel model için kolektörün termohidrolik performansı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Isı akısı ve kütesel debinin geniş bir aralığında, dikdörtgen emici modeller ile sonuçları karşılaştırmıştır. Aynı çalışma şartları altında sabit genişliğe sahip model ile değişken genişliğe sahip kolektör modellerin performans davranışlarının benzer oldukları ancak hava sıcaklığında çok az bir azalma ve fanın güç tüketiminde önemsiz bir artış olduğunu gözlemlemiştir. Karşılaştırmalar sonucunda havalı güneş kolektörleri uygulamalarında özellikle maliyet ve optimum boşluk üzerine dizayn edilen konstrüksiyonlara sahip değişken genişlikteki kolektörlerin uygulanabilirliğini desteklemiştir. Bu tür uygulamalar için üçgen şekilli geometriye sahip kolektörleri yüksek derecede tavsiye etmiştir.

Bari (2000), Malezya’da herhangi bir pozisyonda farklı işlem periyotları için güneş kolektörlerinin çevre şartlarına uyumunu ve en iyi eğim açısını belirlemek için bir metot tanımlamıştır. Bu metot ile güneş ışıını bileşenlerini hem direk hem de yaygın kullanmıştır. Tahıl kurutma gibi güneş enerjisinin belirli uygulamaları için, kullanılan metotla çevre şartlarına en uygun eğim açısının bulunabileceğini belirtmiştir.

Ammari (2003), tek geçişli düzlemsel havalı güneş kolektörünün ısı performansını hesaplamak için matematiksel bir model sunmuştur. Hava kanallarını, havalı güneş kolektörünün ısı etkinliğini artırmak için sirküle edilen havanın getiğı yüzey boyunca yerleştirilen metal latalardan sağlayarak, metal lataların eklenmesiyle güneş kolektörünün etkinliğinin arttığını belirtmiş ve sistemin matematiksel modelini çalışmıştır. Tekrarlamalı çözüm işlemini kullanan bir bilgisayar programını, kolektördeki ortalama sıcaklığı hesaplamak ve geliştirilmiş enerji eşitliklerini çözmek için kullanmıştır. Hava akışının hacimsel oranının kolektör uzunluğu ve havalı güneş ısıtıcısının ısı performansı üzerindeki etkisini, emici yüzey ve alt tabaka arasındaki boşluk için araştırmıştır. Ayrıca, en genel şekli ile sunduğı havalı güneş ısıtıcılarının bu dizaynının nümerik karşılaştırmasını yapmıştır. Karşılaştırma sonucunda, en iyi ısı performansın değışiklik yapılmış olan sistemden elde edildiğini belirtmiştir.

Abene ve arkadaşları (2003), düzlemsel havalı güneş kolektöründe, akışkan ve emici yüzey arasındaki ısıl değışimin yetersizliğinden dolayı optimizasyonu artırmanın gereğine değinmişlerdir. ısıl değışimin düşük olması neticesinde, bu sistemlerin iyi ısıl etkinlik veya iyi performans sağlayacağını belirtmişlerdir. Güneş enerjisi simülasyonu içeren bu deneysel çalışmada, düzlemsel kolektörün hava akış kanalına yerleştirilen engellerin etkilerini araştırmışlardır. Böylece tarımsal bir ürün olan üzümün kurutulması için (WDL1) ve (TL) gibi iki sistemden en iyisi araştırılmıştır. Engelsiz kolektör (WO) ile karşılaştırmada, ısı transferini çıkış sıcaklığını (T_{oc}) ve kolektör etkinliğini geliştirmişlerdir. WDL1 kullanıldığında elde edilen ısı miktarının WO kolektörü kullanıldığında elde edilen ısı miktarının karşılaştırılmasının önemine değinmişlerdir. Bununla birlikte, öğlen vakitlerinde kurutucu dolaba giren kurutma havası sıcaklığının, göz önüne alınan ürünün ihtiyaç duyacağı maksimum değere sınırlandırılması gereğine değinmişlerdir.

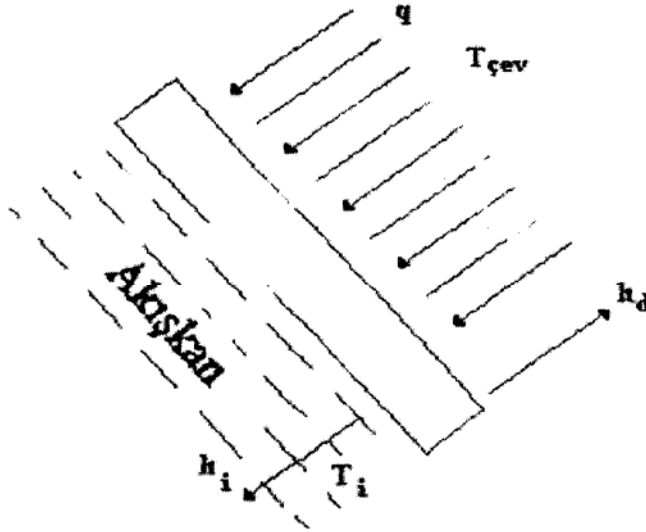
Yeh ve arkadaşları (2002), emici yüzeyin alt ve üstüne kanatçıkların eklendiğı , hava kanalını iki kanala bölerek çift akışlı işlemin sağlandığı bir havalı güneş ısıtıcısı dizayn etmişler ve hem deneysel hem de analitik olarak çalışmışlardır. Kanatçıklı havalı güneş ısıtıcılarının kolektör etkinliğinde kayda değer bir iyileşmenin, aynı akış şartlarında tek hava kanalı yerine çift akışlı hava kanalının kullanılmasıyla elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Hem teorik hem de deneysel sonuçlardan, üst ve alt kanallar arasındaki hava akış oranı değerin 0,5 olması durumunda optimum etkinliği elde ettiklerini belirtmişlerdir. Ayrıca emici yüzeyin üst ve altında akan iki hava akımının kolektör etkinliğini artırma etkisini araştırmışlardır.

Çalışmamızda değışik yüzey profillerine sahip havalı kolektörlerin etkinlik ve basınç kaybı analizleri yapılmış ve deneysel olarak incelenmiştir.

3. GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ

Güneş enerjisini kullanarak akışkan sıcaklığının artmasını amaçlayan sistemlere Güneş kolektörü (toplayıcıları) adı verilir. Bu sistem basit bir şekilde düşünülürse bir yüzeye düşen Güneş ışınlarının bir kısmı yüzey tarafından yutulur. Bu yutulan enerji ile akışkana iletim ve taşınım yoluyla ısı geçişi sağlanır. Aynı zamanda dış yüzeyden çevreye yüzeydeki sıcaklık ve ısıl taşınım katsayısına bağlı olarak ısı transferi olur. İşte bu yutulan ısı ile çevreye bırakılan ısı kaybı arasındaki fark yararlı Güneş enerjisidir ve bu enerji akışkanın ısıtılması için kullanılır.

Herhangi bir kap içerisine konulan su Güneş ortamına bırakılırsa Şekil 3.1’de belirtilen değişkenlere bağlı olarak sıcaklığı artar. Belirli bir süre zarfında kaba gelen Güneş ışınlamı (q), yutma oranı (α) olursa; kap yüzeyi ($\alpha \times q$) miktarı kadar ışınlamı yutar. Daha sonra kaptaki yüzey sıcaklığı (T_y), kabın ortam ile arasındaki ısıl taşınım katsayısı (h_d) ve ışınlamaya bağlı olarak ısı transferi olur. Bu ısı transferi miktarı kayıp olarak bilinir. Güneş ışınlamının yutulan kısmından kayıp olarak ortama bırakılan ısı çıkartıldıktan sonra geri kalan kısmı; kap yüzeyinin ısıl iletim katsayısına (k), kap kalınlığına (δ), kabın iç yüzey sıcaklığına, suyun ilk sıcaklığına ve su ile kabın iç yüzeyi arasındaki ısıl taşınım katsayısına bağlı olarak suyun ısınmasını sağlayan, faydalı enerji elde edilir. Kollektör için verim ise kollektörün elde ettiği kullanılabilir enerjinin toplam kollektör üzerine gelen Güneş enerjisine oranı olarak bilinir.



Şekil 3.1 Kollektörlerde ısı analize giren temel parametreler

Güneş enerjisinden daha fazla yararlı enerji elde edebilmek için toplayıcının yutuculuğunun artırılması, ısıl kayıpların azaltılması, akışkana olan ısı transferinin artması gerekmektedir. Yararlı enerjinin artırılması için yutucu yüzey malzemesinin iyi seçilmesi gerekir. İç yüzey sıcaklığı ile akışkan sıcaklığı arasındaki fark artırılarak ısı geçişinin iyileştirilmesi sağlanır.

Dış yüzeyden kaynaklanan kayıplar yüzey ve ortam arasındaki sıcaklık farkı ile ısıl taşınım katsayısına (h_d) bağlıdır. Isıl taşınım katsayısının artması ortamdaki havanın rüzgarlı olması veya yüzey

sıcaklığının artması ile artış gösterir. Bu sebepten dolayı dış yüzeyde olan hava hareketinin azaltılması amacıyla Güneş ışınlarını geçiren saydam bir örtü kullanılması gerekir. Bu işlem ısı kaybını azaltması için önemlidir. Ayrıca ısıtılacak olan akışkanın Güneş ışınımını almayan kısmından kayıpların olmaması için yalıtım yapılır ve bütün kısımların dış etkilerden korunması için bir kılıf içerisine alınır [25].

Güneş ışınımının yoğunlaştırılması için odaklı toplayıcılar kullanılabilir. Bu toplayıcılarda sıcaklık artacağından ısı kayıpları azaltmak için tedbir alınmalıdır. İstenilen akışkan sıcaklığına göre düz toplayıcılar ya da odaklı toplayıcılar kullanılır. Genel olarak akışkan sıcaklığının 100 °C'nin altında olması isteniyorsa düz toplayıcılar, 100 °C'nin üstünde olması gerekiyorsa odaklı toplayıcılar kullanılır. Odaklı toplayıcılarda daha yüksek sıcaklıklara ulaşılabilmesine rağmen düz toplayıcıların avantajları daha fazladır.

- Yayılı ışımdan da yararlanılır.
- Tesisatın kurulacağı zeminin oluşturulması daha basittir.
- Tesisat elemanları azdır ve hareketli kısımları yoktur.
- Daha dayanıklı ve uzun ömürlüdür.
- Taşınmaları kolaydır.
- İşletim giderleri daha düşüktür.

gibi özellikler düz toplayıcıların bazı avantajlı yönleridir. Kollektör (toplayıcılar) kullanılan akışkanın türüne göre sıvılı ve gazlı toplayıcılar olmak üzere 2'ye ayrılabilir. Sıvılı kollektörlerde akışkan olarak genelde su (veya antifrizli su), gazlı kollektörlerde ise genelde hava kullanılır. Kollektör verimi olarak kıyaslandığında sulu kollektörlerin havalı kollektörlere göre daha verimli oldukları görülür.

Ayrıca sulu kollektörlerin imal edilmesi ve maliyeti havalı kollektörlere göre daha elverişlidir. Buna karşılık sıvıdaki donma riski, korozyon ve sızdırmazlık tehlikesi gibi problemler sıvılı kollektörlerin dezavantajlarıdır. Havalı kollektörler ise sıvılı kollektörlere göre daha uzun ömürlü, ağırlık olarak daha hafif, verimi daha düzenli ve hacim ısıtmasına elverişlidir. Ayrıca havalı kollektörlerde donma, korozyon gibi problemler olmamaktadır. Fakat havalı kollektörlerin imal edilmesi daha zordur. Ayrıca sızdırmazlık ve tozlanma problemleri mevcuttur [25].

Kısacası verimli bir kollektörün aşağıdaki özelliklere sahip olması gerekir;

- 1) Güneşten gelen ışıma miktarının çoğunu absorbe etmelidir.
- 2) Kollektörden ortama olan ısı kayıpları düşük seviyede olmalıdır.
- 3) Absorbe ettiği enerjiyi içerdeki akışkana iyi bir şekilde aktarmalıdır.
- 4) Güneş ışınlarına dik olmalıdır.
- 5)Yutucu yüzey alanı artırılmalıdır.
- 6) Yutucu yüzey pürüzlülüğü fazla olmalıdır.

Kollektörlerin uzun ömürlü olmaları için;

- 1) Aşırı soğuk iklim şartlarına karşı dayanıklı olmaları,
- 2) Gün içinde oluşabilecek sıcaklık farklarından dolayı oluşacak iç gerilmelerden etkilenmemeleri,
- 3) Güneş ışınlarındaki devamlı mor ötesi ışınlardan etkilenmemeleri,
- 4) Korozyon ve sızdırmazlık problemlerini içermemeleri,

Maliyetinin düşük, kurulumlarının basit olmaları için;

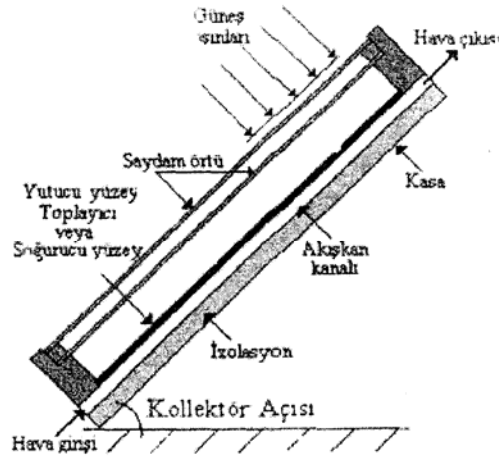
- 1) Kompleks bir teknoloji ihtiva etmemeli ve yerli kolay bulunabilen malzemelerden oluşması,
- 2) Hafif ve mukavemeti yüksek olmalı,
- 3) Bağlantılarının kolayca yapılması,
- 4) Çabuk bozulmamalı,
- 5) Güvenli olmaları (Akışkanın donma veya kaynama riskinin bulunmaması, gerekmektedir [26].

3.1. Kollektör Tipleri

İçerisinde kullanılan akışkana göre hayali ve sivil kollektör olmak üzere ikiye ayırdığımız kollektörleri tiplerine göre de düzlemsel, odaklamalı, hem odaklamalı hem düzlemsel olmak üzere üç gruba ayırabiliriz. Fakat biz sadece konumuzla ilgili olarak düzlemsel kollektörleri inceleyeceğiz [27].

3.1.1.Düzlemsel Kollektörler

Genel olarak Güneş ışınımının düştüğü alan ile kollektör yutucu yüzeyinin alanı birbirine eşit olduğu kollektör tiplerine düzlemsel kollektörler denir. Bu kollektörler düşük sıcaklıklarda çalışırlar. Düzlemsel toplayıcılar genel olarak yutucu yüzey, kullanılacak olan akışkanın geçeceği boru ve kanallar, saydam bir örtü (genellikle cam kullanılır) ve yalıtkan malzemeden oluşurlar.



Şekil 3.2 Düzlemsel bir kollektörün kesiti

Düzlemsel kollektörler Güneş enerjisini faydalı bir enerjiye dönüştüren ısı eşanjörleri olarak düşünülebilir. Isı eşanjöründen tek farkı Güneş enerjisinin sürekli bir enerji kaynağı olmaması ve ısı transferi miktarının daha fazla olmasıdır.

Düzlemsel bir kolektör için en önemli kısımlardan biri yutucu yüzeyde kullanılan malzemedir. Çünkü kolektör üzerine gelen Güneş ışınımını yutucu yüzey ısı enerjisine çevirerek boru ve kanallar içindeki akışkana iletir. Bu yüzden kullanılacak olan yutucu yüzey malzemesinin Güneş ışınımını çok iyi absorbe etmesi istenir. Gerçekte gelen Güneş ışınımının hepsini absorbe edebilen bir yutucu yüzey malzemesi yoktur. Gelen Güneş ışınımının bir kısmı malzeme tarafından absorbe edilirken bir kısmı geri yansıtılır. Teoride siyah mat yüzey absorbe etme özelliği en yüksek olarak bilinir. Düzlemsel kolektörlerde absorbe (yutma) katsayısı $\alpha = 0,9$ olmaktadır. Kolektöre gelen enerjinin bir kısmı kayıp enerjidir, bir kısmı faydalı enerjidir, diğer bir kısmı kolektörde bulunan depolama sistemiyle depolanan enerjidir [28].

Düzlemsel kolektörler için kayıp enerjinin en az miktarda tutulması gerekir. İletim yoluyla kaybolan enerjiyi önlemek için yutucu yüzeyin arkası yalıtkan bir malzeme ile kaplanır. Taşınımından doğan kayıp enerjiyi önlemek için yutucu yüzey ile saydam örtü arasında birkaç cm'lik mesafe bırakılarak hava boşluğu oluşturulur. Radyasyondan (ışımadan) oluşan kayıp enerjinin engellenmesi için yutucu yüzeyde seçici bir yüzey oluşturulur. Böylece gelen Güneş ışınlarının bir kısmı yutulurken kızıl ötesi ışınların yutulması engellenir. Seçici yüzey normal bir siyah yüzeyden daha çok ısınır. Isınan yüzey daha fazla ısı yayar. Fakat saydam örtü olarak kullanılan cam, kızıl ötesi ışınlar karşı geçirimsiz olduğundan, yutucu yüzeyin ısınmasından dolayı oluşacak olan radyasyonun (ışınımın) dışarı çıkmasını engelleyerek, ısı kaybının azalmasını sağlar.

Tablo 3.1 Yutucu yüzey malzemelerinin soğurma ve yayma katsayıları

Yüzey Tipi	Güneş Radyasyonu için Soğurma Katsayısı (α)	80 °C deki Yayma Katsayısı (ε)
Bakır Üzerinde Bakır Oksit	0,76	0,20
Bakır Üzerinde Nikel Oksit	0,70	0,15
Alüminyum Üzerinde Bakır Oksit	0,93	0,11

Oluşturulan seçici yüzey için yutma (soğurma) katsayısının $\alpha = 0,9$ ve yayma katsayısının $\varepsilon = 0,1$ olduğu durum en avantajlı durumdur.

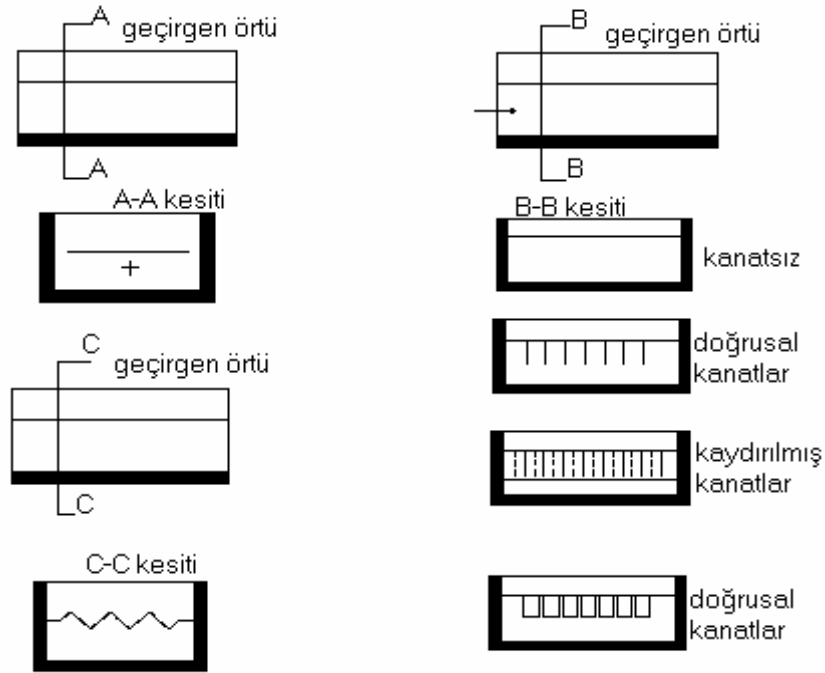
Kolektörün verimini artırmak için yutucu yüzey ile saydam örtü arasındaki hava alınarak iletim ve taşınım yoluyla oluşan kayıplar engellenir.

Kolektör için diğer önemli bir durum yutucu yüzey tarafından yutulan enerjinin mümkün olduğunca tamamının kolektörde kullanılacak akışkana aktarılmasıdır. Kolektörün Güneş'e karşı konumu da önemlidir. Kolektörün yutucu yüzeyine gelen Güneş ışınlarının daima dik bir açıda gelmesi istenir. Güneş ışınlarının yeryüzüne geliş açıları yıl içinde değişiklik gösterdiğinden kolektörün kullanıldığı mevsim ve kolektörün Güneş'e çevrilmesi düşünülebilir. Fakat kolektörün Güneş'e göre çevrilmesi ek bir masraf olacağından düşünülmez. Bunun için tüm yıl boyunca kullanılan kolektörler enlem açısıyla eşit bir eğimle, kolektör sadece yaz mevsiminde kullanılacaksa enlem açısından 10° daha az bir eğimle, kolektör sadece kış aylarında kullanılacaksa enlem açısından 10° fazla bir eğimle düşünülmelidir [26].

3.1.1.1. Güneş Kolektörleri

Havalı Güneş kolektörleri akışkan olarak kullanılan hava ile Güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştüren sistemler olarak bilinir. Kollektöre gelen Güneş enerjisinin bir kısmı yutucu yüzey tarafından yutularak akışkan olan havaya aktarılırken bir kısım enerjide kayıp olarak dış ortama transfer olur. Kollektör üzerine gelen Güneş enerjisinin bir kısmı da kolektörün ısıl kapasitesi için harcanır. Kollektörden elde edilen faydalı ısı enerjisi kolektörde kullanılan akışkanın giriş ve çıkış entalpi değerleri arasındaki fark olarak hesaplanabilir. Havalı Güneş kolektörleri daha çok tarım ve orman endüstrisinde kurutma amaçlı, bina ısıtılmasında ve hacim ısıtılmasında kullanılır.

Havalı Güneş kolektörleri farklı şekillerde imal edilmektedir. Yutucu yüzey kanatçıklı metal levhalar, V şeklindeki metallere, düz metallere, sentetik ve doğal kürkler şeklinde tasarlanabilir (Şekil 3.3). Havalı kolektörde bir tane yutucu yüzey kullanılabileceği gibi birden fazlada yutucu yüzey kullanmak mümkündür. Kollektör üzerine metal ve plastik elek şeklinde ikinci bir yüzey yerleştirilmesi yöntemi de kullanılmaktadır.



Şekil 3.3 Değişik havalı kolektör dizaynları

Havalı Güneş kolektörlerinde saydam örtü olarak kullanılan malzemenin kolektör üzerine gelen Güneş ışınımını yüksek oranda geçirmesi, kızıl ötesi ışınları geçirmemesi istenir.

Havalı Güneş kolektörlerinde yutucu yüzeyden akışkana olan ısı transferinin artması için yutucu yüzey alanının artırılması gerekmektedir. Ayrıca yutucu yüzey pürüzlülüğü de ısı transferinin artmasına neden olur. Fakat pürüzlülük basınç kayıpları ve fan gücünü artırır. Bu da istenmeyen bir durumdur.

Genel olarak havalı kollektörler dört ana kısımdan oluşur.

- 1) Saydam örtü
- 2) Yutucu yüzey
- 3) Yalıtım
- 4) Kasa

3.1.1.2. Saydam Örtü

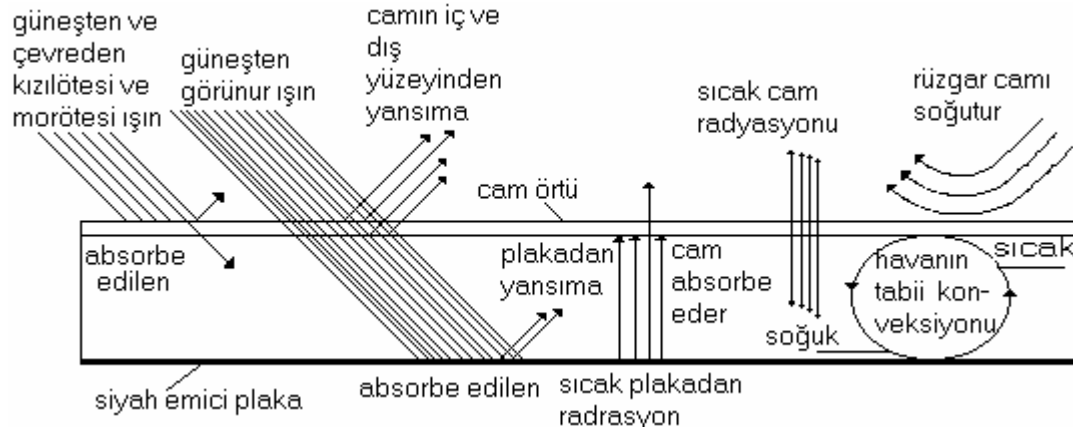
Kollektörde taşınım ile oluşan ısı kaybının engellenmesini ve ayrıca yutucu yüzeyin yağmur, dolu, toz gibi dış etkenlerden korunmasını sağlayan elemandır. Saydam örtünün gelen Güneş ışınlarını iyi geçirmesi, kızıl ötesi ışınları az geçirmesi istenir. Saydam örtü malzemesinin geçirgenlik oranının yüksek olduğu, yutma ve yansıtma oranlarının minimum olduğu bir malzemeden seçilmelidir. Kollektör örtüsü olarak genellikle cam veya plastik şeffaf malzemeler kullanılır. Cam, optik ve mekanik kararlılık olarak diğer malzemelere göre daha uygundur. Örtü olarak kullanılan malzemeler dayanıklı ve elastik olmalarına karşın çizilmeye ve dış ortama karşı dirençleri azdır.

Kollektördeki saydam örtü olarak kullanılan malzemenin üzerine gelen yük dayanımına göre de seçilmesi istenir. Özellikle kışın çok fazla kar yağan bölgelerde üzerinde biriken kar taşıyabilmesi veya dolu yağışına karşın dayanıklı olması hesaba katılmalıdır. Kar birikmesine karşın kollektör eğim açısı normale göre biraz daha artırılmalıdır.

Örtü malzemesinin kalınlığı, kırılma indisi ve azaltma katsayısı, yansıma, yutma, geçirgenlik değerlerini etkiler. Kollektör üzerine gelen Güneş ışınımının bir kısmı yansır, bir kısmı yutulur, büyük bir kısmı da geçirilir.

Güneş kollektöründeki saydam örtü zaman zaman kullanılmayabilir. Dış ortamdaki sıcaklığın yüksek olduğu yaz aylarında saydam örtünün kullanılmadığı görülür. Buna örnek olarak yüzme havuzu kollektörü gösterilebilir. Dış ortamının sıcaklığı düştüğünde ise ısı enerjisinin artırılması için örtü malzemesi kullanılmalıdır. Saydam örtü ısı kayıpları için önemlidir. Saydam örtü görünür ışınları geçirmeli, infraruj (kızıl ötesi) ışınları geçirmeme özelliğine sahip olmalıdır. İyi bir geçirgenliğe sahip olarak gelen Güneş ışınlarını yutucu yüzeye geçiren saydam örtü, emici plakadan gelen kızıl ötesi ışınları geri yansıtarak kayıpların azalmasını sağlarlar. Aynı zamanda saydam örtü emici plakanın dış ortamdaki yağmur veya rüzgara bağlı olarak soğumasını önlerler [1].

Şu an saydam örtü olarak en fazla cam kullanılmaktadır. Kolay ve ucuz bir şekilde temin edilebilmesi, görünür ışınları geçirmesi, yutucu yüzeyden olan ısımada gelen ışınları dışarı bırakmaması, dış ortamdan etkilenmemesi ve uzun süre kullanıma açık olması camın avantajlı yönleridir.



Şekil 3.4 Saydam örtü olarak tek bir cam kullanılan kollektörde enerji değişimleri

Örnek olarak 3 mm kalınlığındaki cam saydam örtü olarak kullanılırsa üzerine gelen görünen Güneş ışınlarının % 82-90'ını geçirdiği, %8-10'unu ise geriye yansıttığı görülür. Camın ışığı yansıtmasının sebebi içerisinde bulunan (Fe_2O_3) demir oksit'in bir miktar Güneş ışığını absorbe etmesindendir. Bu yüzden camda bulunan demir oranının artması absorbe edilen Güneş ışığının artmasına sebep olur. Fazla demir ihtiva eden camın rengi yeşil olur. Camın kalitesi ve içerdiği demir miktarının az olması kollektörün verimini artırır. 3mm kalınlığındaki kaliteli düşük oranda demir içeren bir cam Güneş ışığının yalnızca %4-5'ini yansıtır. Bünyesinde hiç demir bulunmayan su rengindeki cam ise %1-2 oranında ışığı yansıtır.

Örtü malzemesinin geçirgenlik durumu Güneş ışınlarının kollektöre geliş açısı ile de değişir. Kollektöre gelen Güneş ışınlarının eğik olması camdan geçen ışın miktarını azaltırken absorbe edilen ışın miktarını artırır. Bu nedenle en ideal durum camın Güneş ışınlarına dik konumda olmasıdır.

Geçirgenlik özelliğini etkileyen özelliklerden biriside kullanılan saydam örtünün sayısıdır. Kollektörde kullanılan örtü malzemesinin sayısının artması ısı kayıpları azaltırken kollektörün içine alabileceği Güneş ışığını azaltır. Hangi sıcaklık olursa olsun, örtü malzemesinin gelen ışın miktarını azaltması kollektör verimini düşürür. Soğuk ülkelerde ve yüksek sıcaklık elde edilmesi gereken durumlarda üç adet saydam örtü malzemesi kullanılabilir. Yüzey işlemlerinden en faydalı olanı camın asit banyosundan geçirilmesidir. Bu işlemle normal bir cama göre %6-7 geçirgenlik, %10-15 verim artışı görülür.

Saydam örtü olarak kullanılan normal cam yutucu yüzeyin yaydığı kızıl ötesi ışınların hepsini geriye göndermez. Bu ışınların bir kısmını absorbe eder. Bunu engellemek için camın her iki yüzeyi yansıtmayı önleyici malzemelerle kaplanabilir. Ayrıca camın mukavemetini artırmak, kırılabilirliğini azaltmak için temperleme işlemi yapılır. Ancak temperlenmiş olan cam genleşme ve büzülmele karşı dayanıklı olmayacağından kırılabilir. Temperlenmiş camın kesilmesi çok zordur. Bu yüzden cam tam ölçülerine göre sipariş verilmelidir [1].

Saydam örtü olarak kullanılan malzeme kollektöre iyi bir şekilde bağlanmalı, ayrıca sızdırmaz olmalıdır. Sızdırmazlığı sağlamak için kullanılan malzemelerin dış ortamın özelliklerine karşı (yağmur,

sıcaklık, vb.) dayanıklı olması gerekir. Eğer sızdırmazlık sağlanamazsa hem ısı kaybı olur hem de cam altında buharlaşmalar oluşur.

Eğer birden fazla saydam örtü malzemesi kullanılırsa iki örtü arasındaki mesafe 1-2,5 cm olmalıdır. Eğer bu mesafe yakın olursa aradaki hava iletimle, uzak olursa taşınım ile ısı kaybı meydana gelir.

3.1.1.3. Yutucu Yüzey

Bir Güneş kollektörü için en önemli kısımlarından biridir. Kollektörün verimi yutucu yüzey malzemesinde kullanılan malzemenin çeşidine ve geometrisine direkt bağlıdır. Yutucu yüzey sıvılı Güneş kollektörleri için bakır, alüminyum, paslanmaz çelik vb. malzemelerle imal edilebilir. Akışkan kanalları roll band, ekstrüzyon, presleme vb. işlemler ile yutucu yüzeyin içine, üstüne veya altına yerleştirilebilir.

Yutucu yüzey için uygulanan yüzey kaplaması ile kollektör verimi doğrudan ilişkilidir. Yutucu yüzeyin kaplamasının amacı üzerine gelen Güneş enerjisinin mümkün olduğu kadar fazla miktarını yutması ve ısı enerjisine dönüştürmesidir. Yutucu yüzey için en ideali siyah mat boyanın kullanılmasıdır. Ayrıca seçici yüzey kaplamaları da kullanılabilir. Yutucu yüzey için kullanılan siyah mat boya Güneş ışınımını soğurma (emme) miktarı civarındadır. Ancak yayıcılık oranı da yaklaşık %85-92'dir. Siyah boya olarak genellikle akrilik, epoksi, polyester gibi boya malzemeleri kullanılır [29].

Yutucu yüzeyin kaplanması için alternatif olarak seçici yüzeylerde kullanılabilir. Bu yüzeyler kısa dalga boylu ışınları hemen hemen hepsini yutar; fakat uzun dalga boylu ışınlarının yayıcılığını minimum seviyeye düşürülür. Bu şekilde yutucu yüzey sıcaklığı artar ve kollektörde kullanılan akışkana daha fazla ısı iletilmesi sağlanır. Seçici yüzeyler için sıcaklığın yükselmesi durumunda daha az ısı yaydıklarından kollektör verimi yüksektir. Seçici yüzeylerin oluşturulması için sputtering, kimyasal buhar depozisyonu, metal spreyi, kimyasal oksidasyon ve elektroliz gibi çeşitli yöntemler kullanılır. Bu yöntemler içinde elektroliz kolay uygulanması ucuz olmasından dolayı diğerlerine göre daha fazla kullanılır [30].

İdeal bir yutucu yüzeyin şu özelliklere sahip olması beklenir.

1) Yutucu yüzeye gelen görünür ışınlar (kısa dalga boyundaki ışınlar) yutma oranı büyük, fakat yansıtma oranı çok küçük olmalıdır.

2) Sıcaklığa karşı dayanıklı olmalıdır.

3) Dış ortama karşı uzun zaman sonra bile rengini korumalı veya soyulmamalı

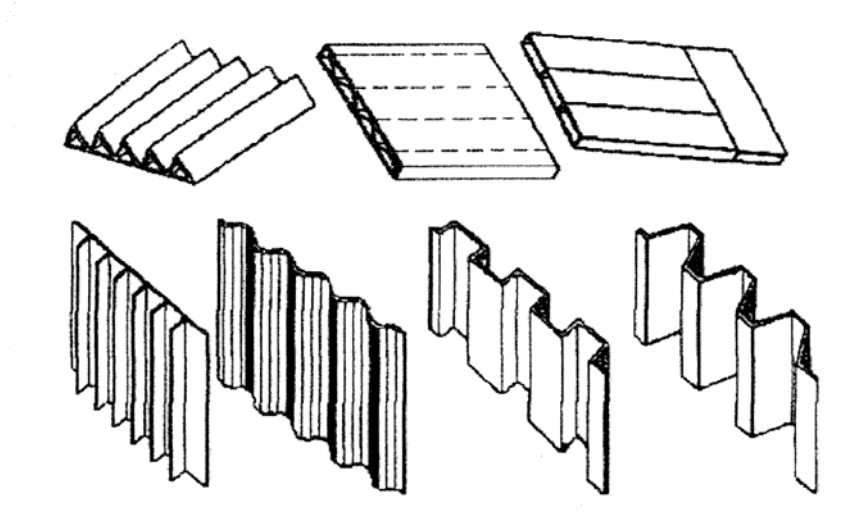
4) İstenildiğinde kolay bir şekilde temizlenmelidir.

Havali 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.

Yutucu yüzey için bakır, alüminyum, paslanmaz çelik siyah boya ile boyanarak veya kaplama işlemi uygulanarak kullanılmaktadır. Çeşitli yutucu yüzey geometrileri Şekil 3.5'de görülmektedir.

Yutucu yüzey için kullanılacak boya pLirüzstiz ve ısıya karşı dayanıklı olması gerekir. Boyalar genelde silikon içerdiklerinden dolayı en fazla 40°C 'lik ısıya dayanıklıdır.

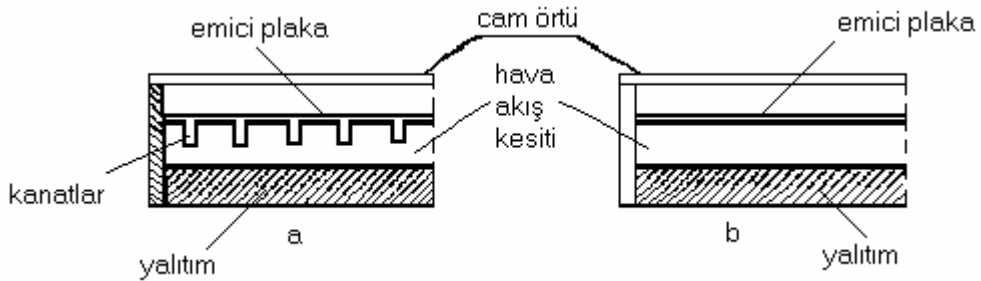
Güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştüren, ısı enerjisini kullanılacak olan akışkana ileten yutucu yüzeyin tasarlanmasında birçok etken rol oynar. Kollektör için seçilen akışkan ile yutucu yüzey arasında doğrudan bir ilişki vardır.



Şekil 3.5 Havalı kollektörlerde kullanılan yutucu yüzey geometrilerinden bazıları

Akışkan olarak hava seçilirse havanın yutucu yüzey için korozyon etkisi yoktur. Fakat akışkan olarak su kullanılırsa böyle bir durum söz konusu olur. Ayrıca akışkan olarak hava kullanılması durumunda sızıntının pek fazla zararı olmaz. Yalnız su için böyle değildir. Fakat akışkan olarak hava suya nazaran pek iyi bir taşıyıcı değildir. Bu yüzden havalı kollektörde kullanılan yutucu yüzeyde ısı transferini artırmak için kanatlar kullanılır. Aynı zamanda havanın debi olarak miktarı artırılırsa ısı transferide artırılmış olur. Yalnız havalı kollektörlerin performansı sıvılı kollektöre göre düşüktür.

Yutucu yüzeyin kanatlı ve kanatsız durumları Şekil 3.6'de gösterilmiştir. Yutucu yüzey in kanatlı olması kanatsız olana göre daha verimlidir. Kanatın üstte olması radyasyonu artırır. Yutucu yüzeyin altında kanatlar ve kanatların altında akışkan kanalları ve onun altında da yalıtım bulunur.

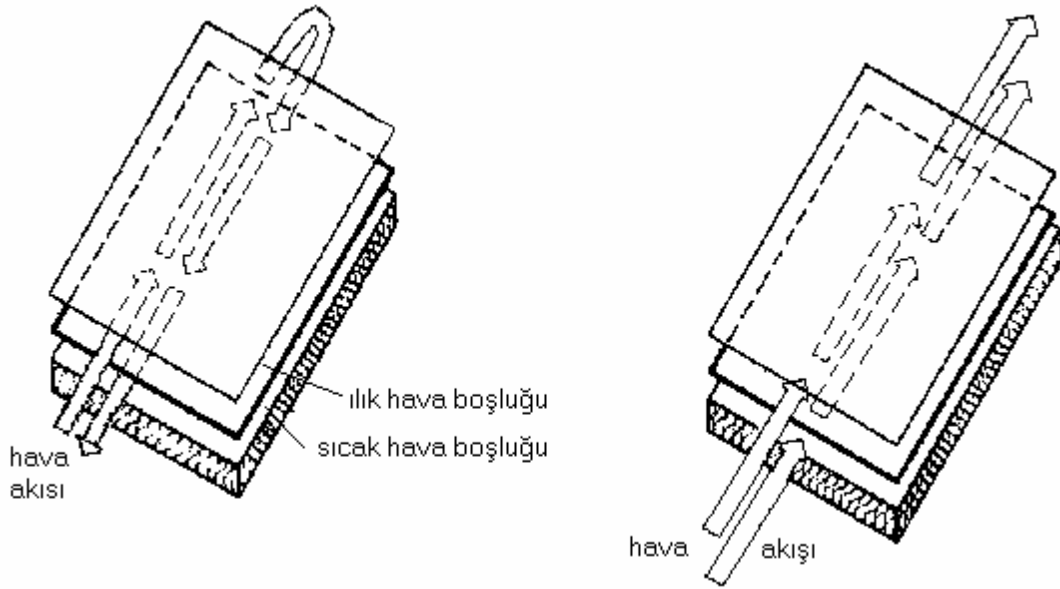


Şekil 3.6 Havalı kollektörde kullanılan iki farklı yutucu plaka

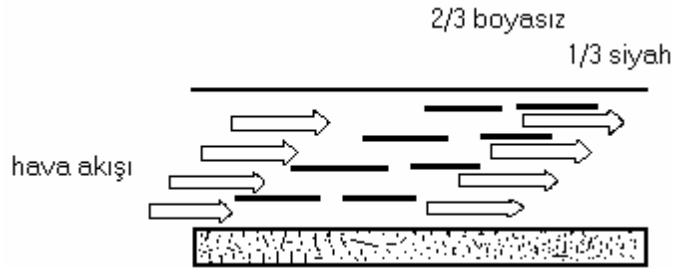
Havalı kolektör için akışkan geçişi yutucu yüzey ile cam arasından olmamalıdır. Bu durumda ısı kayıpların artması söz konusudur. Ayrıca yutucu yüzey üzerinde bulunan toz parçacıkları da yutucu yüzeyin veriminin düşmesine sebep olur.

Saydam örtü olarak birden fazla cam kullanılması durumunda ise hava akışı camın altından ve üstünden olur. Bu kolektörün tasarımı aynı yönlü hava akışına sahip kolektörlere benzer. Fakat bu tip kolektörlerde verim yüksek olmasına rağmen imal edilmesi zor, maliyeti yüksek ve hacimlidir. Birden fazla camın kullanıldığı kolektör Şekil 3.7’de gösterilmektedir.

Kanatlı yutucu yüzeyler olduğu gibi V oluklu yutucu yüzeylerde havalı kolektörlerde kullanılır. V oluklu yutucu yüzeylerin (emici plakaların) yapımı kanatlı emici plakalara göre daha kolaydır. Fakat V oluklu emici plakalarda yüzey alanının artmasından dolayı inraruj (radyasyon) ışınlar (kızıl ötesi) artar. Bu da kayıpları artırdığından dolayı verimi düşürür.



Şekil 3.7 Zıt yönlü ve aynı yönlü iki akışlı hava kolektör



Şekil 3.8 Üst üste yutucu plakaları cam olan havalı kolektör

Hava akışının daha fazla yüzeyde olması ısı transfer yüzey alanını artıracığından havaya geçen ısı transferini artırır. Kanatlı plakalar düz plakalara göre daha fazla yüzey alanına sahip olduğundan daha

verimlidir. Oluklu plakalarda ise ısı transfer yüzeyi artar fakat üst yüzeyin kızıl ötesi ışınlar yaymasından dolayı ısı kayıpları oluşur.

Kollektördeki hava akışının türbülanslı olması yutucu plakadan ısıya daha verimli bir şekilde alınmasını sağlar. Fakat türbülanslı hava akışını zorlaştıracığından sistemde hava sirkülasyonu için fan kullanılmasını gerektirir.

Hava akışının yutucu yüzeyin altından olması ve yutucu yüzeyin üstünde ölü hava hacmi oluşturulması kollektörün bakımını kolaylaştırır. Oluşturulan ölü hava hacmi yalıtım görevi yaparak yutucu yüzeyin cam tarafından soğutulması önlenir.

Verimin artırılması için yutucu yüzey malzemesinin seçimi de önemlidir. Bu malzemenin metallere seçilmesi ısı iletiminin daha kolay olması, havanın metallere korozyon etkisinin bulunmaması, emici plakada sıcaklık farkı oluşturmaması bakımından daha avantajlıdır.

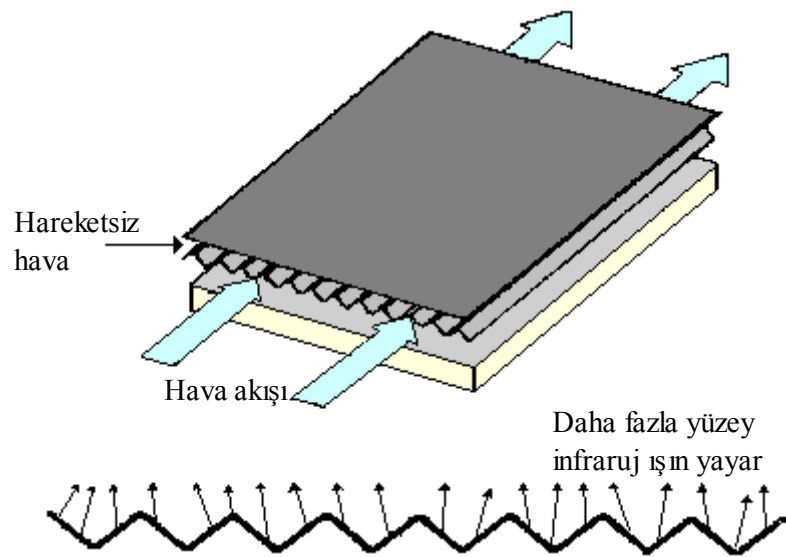
Havali kollektörlerde verimin artırılması için aşağıdaki özelliklere dikkat edilmesi gerekir.

- Havali kollektörlerde, yutucu yüzey ve saydam örtü gibi malzemeler pürüzsüz olmalıdır.
- Kollektörlerde kullanılan havanın geniş yüzeylere temas etmesi sağlanmalıdır.
- Hava; yutucu yüzeyin altından geçmeli, ölü hava hacmi ise üst kısmında olmalıdır.
- Yutucu yüzey malzemesinin Alüminyum yada galvanizli sac olması tercih edilir.

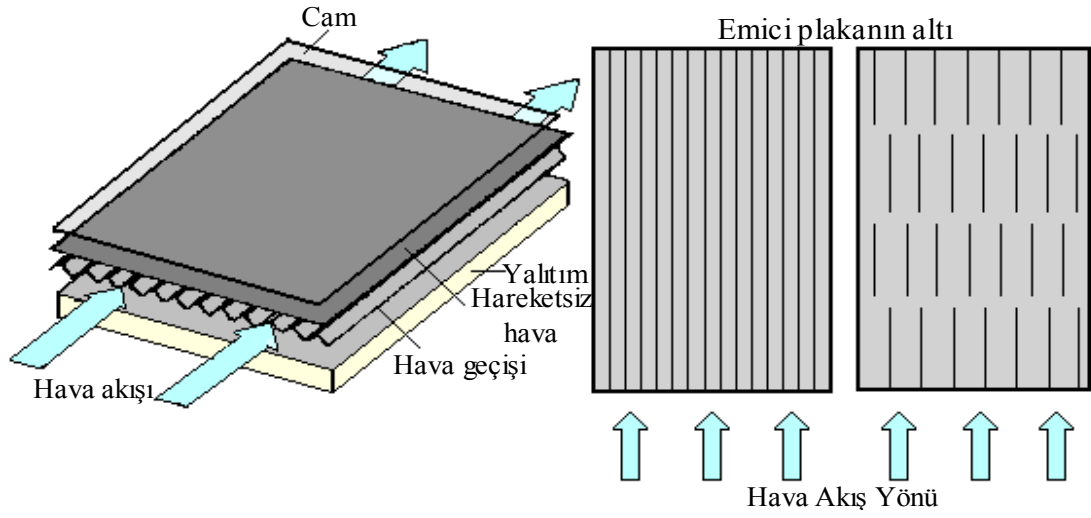
Yukarıda saydığımız hususları açıklarsak;

Yutucu yüzey ve saydam örtü gibi Güneş'i gören kısımların pürüzsüz olması havaya olan ısı aktarımını artırdığından önemlidir.

Kullanılan kanatların doğrultusunun hava akışına paralel olması gerekir. Böylece hava akışına karşı direnç göstermezler. Havanın yutucu yüzeyin altından akması yutucu yüzeyin üstünde ve camdaki tozlanmayı önlemiş olur. Saydam örtü ile yutucu plaka arasında oluşan ölü hava yalıtım görevi yapar. Ayrıca kullanılan kanatlar arasındaki mesafe en az 2,5cm olmalıdır. Emici plakanın altındaki kanatların durumu Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Yutucu yüzeyi oluklu olan bir havali kollektör



Şekil 3.10 Yutucu plaka altındaki kanatların görünüşü

Tablo 3.2 Değişik malzeme yüzeylerinin Güneş ışınına yutma ve yansıtma oranları

Yutucu Yüzey	α	ε	α / ε
Magnezyum Karbonat	0,025-0,04	0,73	0,03-0,05
Beyaz Sıva	0,07	0,91	0,08
Kar (taze yağmış)	0,13	0,82	0,16
Beyaz Boya	0,20	0,91	0,2
Beyaz Kağıt	0,25-0,28	0,95	0,26-0,29
Buz	0,31	0,96	0,32
Yeşil Yağlı Boya	0,50	0,90	0,56
Kırmızı Tuğla	0,55	0,92	0,60
Parlatılmış Mermer	0,50-0,60	0,90	0,61
Pürüzlü Beton	0,60	0,97	0,62
Yeşil Çim	0,67	0,88	0,68
Kuru Çim	0,68	0,90	0,76
Meyve Bahçeleri	0,70	0,90	0,78
Çöl	0,75	0,90	0,83
Sürülmüş Tarla	0,75-0,80	0,90	0,83-0,89
Meşe Ormanı	0,82	0,90	0,96
Çamlık Arazi	0,86	0,90	0,96
Gri Boya	0,75	0,95	0,79
Kırmızı Yağlı Boya	0,74	0,90	0,82
Amyant	0,81	0,96	0,84
Kuru Tuz	0,82	0,90	0,95
Su	0,94	0,95-0,96	0,98
Siyah Boya, Cilalı	0,90	0,90	1,00
İs	0,98	0,95	1,03
Siyah Bota Mat	0,94-0,98	0,88	1,07-1,11
Grafit	0,78	0,41	1,90
Alüminyum	0,15	0,05	3,00
Krom	0,49	0,08	6,13
Parlatılmış Çinko	0,46	0,02	23,0
Galvanizli Çelik, Temiz	0,65	0,13	5,00
Galvanizli Oksitlenmiş	0,80	0,28	1,86

3.1.1.4. Yalıtım

Kolektörlerde cam yünü, taş yünü, poliüretan köpük veya levha sıkça kullanılan yalıtım malzemeleridir. Yalnız cam ve taş yününün içerdiği mineral bağlayıcı yünlerden çıkan gaz akımlarının saydam örtüye birikebileceği göz önüne alınmalıdır. Yalıtım kalınlığı cam yünü için kasa yan yüzeylerinde 20-50 mm aradaki yüzeylerde 50-100 mm olmalıdır. Poliüretan köpük için kalınlık minimum 9,5 cm olmalıdır. Emici plaka ile altındaki yalıtım arasında 1-2 cm boşluk bırakılarak yalıtım üzerine alüminyum folyo sarılması kızıl ötesi ışınların plakaya dönüşü ve sızdırmazlık açısından önemlidir. Kolektörlerde yalıtım için kullanılan yalıtım malzemelerinin değerleri Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.3 Kolektörlerde kullanılan değişik yalıtım malzemelerine ait bazı özellikler

Yalıtım Malzemesi	Yutucu Yüzey Malzemesi	Yutucu Yüzey	η_0	U_{eff}
Cam yünü	Alüminyum	Seçici Yüzey ($\alpha = 96, \varepsilon = 10$)	0,726	4,04
Styopor Kaya yünü	Alüminyum	Seçici Yüzey ($\alpha = 90, \varepsilon = 13$)	0,758	4,62
Cam Yünü	Alüminyum	Seçici Yüzey ($\alpha = 93, \varepsilon = 13$)	0,727	4,78
Cam Yünü Poliüretan	Bakır	Seçici Yüzey ($\alpha = 95, \varepsilon = 10$)	0,758	5,02
Poliüretan	Bakır	Seçici Yüzey ($\alpha = 96, \varepsilon = 12$)	0,780	6,12
Cam Yünü	Alüminyum Bakır	Seçici Yüzey ($\alpha = 95, \varepsilon = 35$)	0,781	6,25
Cam Yünü	Alüminyum Bakır	Seçici Yüzey ($\alpha = 96, \varepsilon = 93$)	0,718	5,86
Cam Yünü	Alüminyum	Seçici Yüzey ($\alpha = 96, \varepsilon = 93$)	0,809	6,68
Cam Yünü	Bakır	Seçici Yüzey ($\alpha = 96, \varepsilon = 95$)	0,757	6,85
Cam Yünü	Alüminyum	Seçici Yüzey ($\alpha = 96, \varepsilon = 95$)	0,828	9,01
Cam Yünü	Bakır	Seçici Yüzey ($\alpha = 96, \varepsilon = 93$)	0,704	9,14

3.1.1.5. Kasa Malzemesi ve İzolasyonu

Kollektörlerde alt ve yan kısımlar olmak üzere ısı kayıpları mevcuttur. Isıl kayıpları önlemek için bu kısımlara ısı iletim katsayısı küçük olan malzemeler yerleştirilerek yalıtım sağlanır. Ancak yalıtım için kullanılan malzemelerin zamanla bozulmaması, yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklılık göstermesi, içerdiği maddelerin sıcaklıkla buharlaşmaması istenir. Genelde yalıtım malzemesi olarak cam yünü ve strafor malzemeleri kullanılır. Diğer yandan asbest, cam yünü gibi kullanılan izolasyon malzemeleri havaya zararlı gazlar yaydığından dolayı insan sağlığı için sakıncalıdır.

Yalıtım malzemesi ile yutucu levha arasında hava boşluğu bırakılması ya da yalıtım malzemesi üzerine alüminyum folyo kaplanması ısı kayıpları azaltır ve yalıtım malzemesinin yüksek sıcaklıklara çıkmasını engeller. Yalıtım malzemesi seçerken malzemenin yanma ve genleşme özellikleri de hesaba katılmalıdır. Yalıtım malzemesinin kalınlığı emici plakanın sıcaklığı ile ortam sıcaklık farkına bağlı olarak seçilir. Eğer emici plaka sıcaklığı çok yüksek olursa izolasyon kalınlığı da artırılmalı ve izolasyon malzemesinin ısı iletim katsayısı $0,5 \text{ W/mK}$ 'den küçük olmalıdır. İzolasyon malzemesinin ısı iletim katsayısına K_y (W/mK), kalınlığına ise L_y (m) dersek $K_y/L_y < 0,5$ olmalıdır. Ayrıca cam yünü ve strafor için $L_y > 7\text{cm}$ olmalıdır. İzolasyon kalınlığının artması ısı iletimini düşürür. Ancak yutucu yüzey kalınlığı, ağırlığı ve maliyeti artar [1].

Kollektörlerde genellikle 1 mm kalınlığında sac veya galvanizli sac kasa malzemesi olarak kullanılır. Bunların haricinde alüminyum, plastik, polyester, ve keresteden imal edilen kasalarda mevcuttur. Kasanın kollektörde istenen özelliklerinden biri mukavemetli olmasıdır ve buna göre de boyutlandırılması gerekir. Taşıyıcılık, koruyuculuk, ısı yalıtımı, güzel görünüm kasaların görevleri arasında sayılabilir.

Kollektör kasalarında ağaç malzemede çok kullanılmaktadır. Ağaç malzemenin yapımı ve montajı kolaydır. Fakat ağaç malzeme aşırı sıcaklıklara karşı dayanıklı değildir. Ayrıca ağaç tam kurumamış ise sıcaklığa maruz kaldıktan sonra şekil değişikliğine uğrar ve çatlaklar oluşur. Aynı zamanda ağaç ile kollektörün en sıcak elemanı olan yutucu plaka doğrudan temas halinde olmamalıdır.

Metal kasa ağaca göre daha sağlam ve ısıya dayanıklıdır. Ancak metallerin iyi bir iletken olması, ağır olmaları ve maliyetlerinin yüksek oluşu dezavantajları olarak sayılabilir. Ancak metal kasalar ağaç kasalardan daha fazla tercih edilirler. Metallerde yalıtım sağlanırsa ısı kayıplar önlenir ve alüminyum kullanılarak ağırlık sorunu da giderilmiş olur.

Kollektördeki en sıcak bölge olan emici plakanın Soğuk olan dış ortam ile bağlantısının kesilmesi için araya yalıtım malzemesi yerleştirilmelidir. Fakat yalıtım malzemesi yüksek sıcaklıklardan zarar görmeyen bir malzemeden seçilmelidir. Poliüretan köpükler ve cam yünü gibi malzemeler yalıtkan malzeme olarak kullanılabilir.

Kollektörde kullanılan malzemeler için dikkat edilmesi gereken hususlardan biride ısı genleşmedir. Özellikle saydam örtü olarak kullanılan camın ısı genleşmesi dikkate alınmazsa ısı genleşmeden dolayı kenarlarının kendi kendine kırıldığı görülür. Malzemelerin ısı genleşme değerleri Tablo 3.3'de verilmiştir. Bu tabloya dikkatli bakılırsa ağacın camdan daha az genleştiği, plastiğin ise camdan on kat daha fazla genleştiği görülür.

Düzlemsel kollektörlerde kasaların yapımı çok zor değildir. Ancak değişik konstrüksiyonlarda yapılabilir. Kol lektörde kasa (kaset) yapımında dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Kasetin kollektörü güvenli bir şekilde taşınması sağlanmalı, emici plaka ile kaset arasında yalıtım yapılmalıdır.
- Isıl genleşmelerin olabileceği yerlerde sızdırmazlığı sağlamak amacıyla contalar kullanılmalıdır.(Özellikle camın altına ve üstüne conta konulmalı).
- Yutucu plakanın temizlenmesi için camın kolayca çıkarılması sağlanmalıdır.

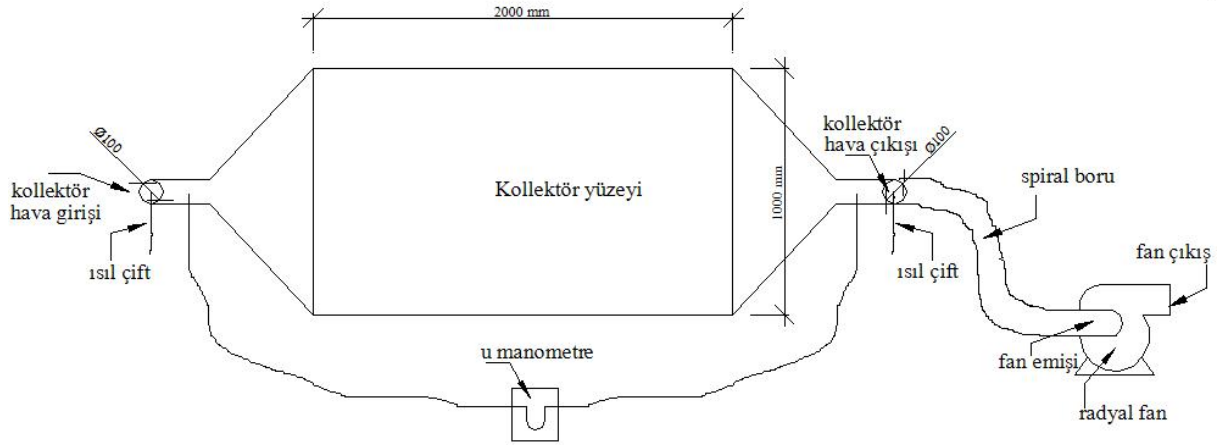
- Su ve havanın sızdırmazlığının sağlanması için bağlantı noktalarında macun kullanılmalıdır.

Tablo 3.4 Değişik malzemelere ait boyca uzama yüzdeleri

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

4. DENEY DÜZENEĞİNİN TANITILMASI ve DENEYLERİN YAPILMASI

Deney düzeneği özel olarak tasarlanmış kollektör, radyal fan, kolektör sehpası, sızdırmaz spiral boru, manometre, rüzgar gülü, sıcaklık ölçmek için termo-couple (ısıl çift) ile kullanılabilen termometre, T tipi ısıl çift, ısıl çiftlerin bağlandığı komitatörden oluşmaktadır. Deney setinin şematik görünüşü şekil 4.1 de verilmektedir.



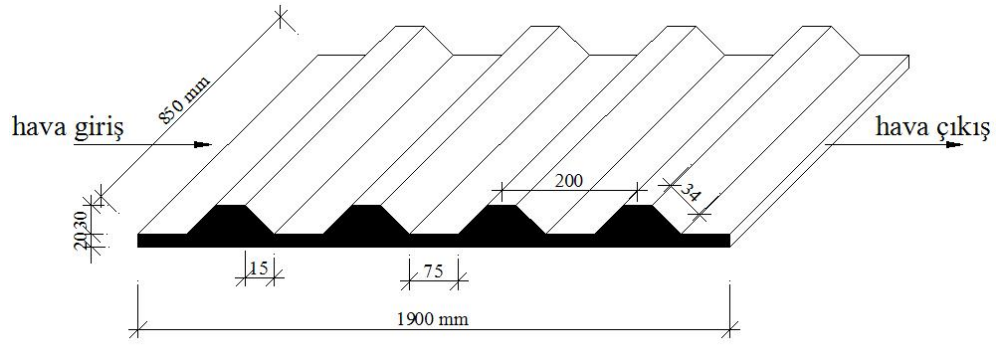
Şekil 4.1 Deney setinin şematik görünüşü



Şekil 4.2 Deney setinin yüzeysiz ana kasası

4.1. Kollektörler

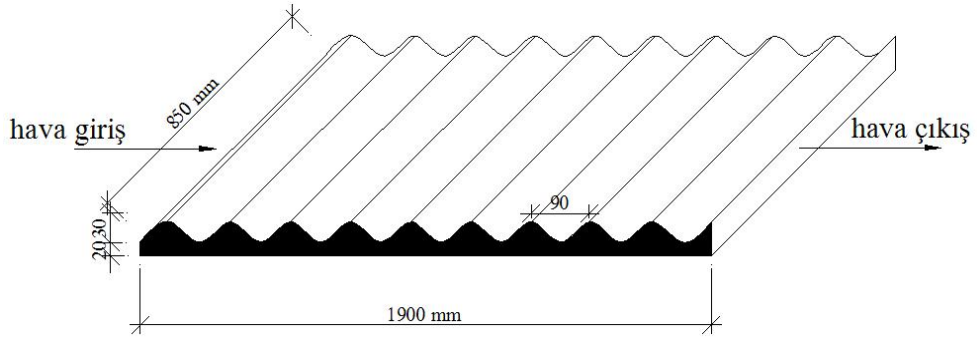
Deneylerde özel olarak tasarlanmış trapez, oluklu ve düz olmak üzere 3 adet kollektör kullanılmıştır. Bu kollektörler 1x2 m yüzey alanına sahip olup, saydam örtü olarak 5 mm'lik cam kullanılmıştır. Kollektörde hava akışı siyah yüzeyin altından olmaktadır. Kollektöre hava girişi bir ucundan girip diğer ucundan çıkmaktadır. Giriş ve çıkış ağzı 100 mm olarak yapılmıştır. Hava akış yolu oluklu, trapez ve düz olarak tasarlanmıştır. Deney düzeneğinin kolektör yüzey şekilleri ve boyutları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Trapez tip profilli yüzey



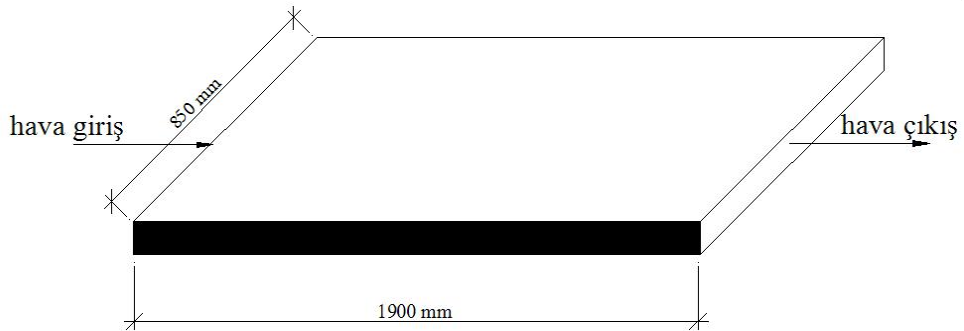
Şekil 4.4 Trapez tip yüzey profilli havalı kollektör



Şekil 4.5 Oluklu tip profilli yüzey



Şekil 4.6 Oluklu tip yüz profilli havalı kollektör



Şekil 4.7 Düz tip profilli yüzey



Şekil 4.8 Düz tip yüzey profilili havalı kollektör

4.2. Radyal Fan

Radyal fan $1700 \text{ m}^3/\text{h}$ ve $0,5 \text{ kW}$ özellikleri sahiptir. Radyal fan dışarıdan sipariş edilerek hazır olarak alınmıştır.

4.3. Ölçüm Elemanları

4.3.1. Manometre

Manometre kollektör giriş ve çıkışı arasındaki basınç farkının ölçülmesi için kullanılmıştır. U şeklindeki şeffaf boru, kollektör giriş ve çıkışı ile U borusu arasındaki bağlantıyı sağlayan ince, şeffaf plastik borular ve kollektör giriş ve çıkışına sabitlenmiş basınç prizlerinden oluşmaktadır. Lastik borunun U borusuna ve basınç prizine bağlandığı yerlerde sızdırmazlık contası kullanılarak sızdırmaz olması sağlanmıştır. U borusunda akışkan olarak su kullanılmıştır.

4.3.2. Rüzgar Gülü (Akış ölçer)

Rüzgar gülü kollektöre giren ve çıkan havanın hızını ölçmek için kullanılmıştır. Kollektördeki havanın giriş ve çıkış hızı debinin hesaplanmasında kullanılmıştır Rüzgar gülü ft/dak cinsinden ölçüm yapmaktadır. Rüzgar gülünün kollektör giriş ve çıkışına tutulmasıyla ölçüm yapılmıştır.

4.3.3. Termometre

Isıl çiftlerle uyumlu olarak ölçüm yapabilen özel bir termometre kullanıldı.

4.3.4. Bağlantı Elemanları

Kollektör ile fan 100 mm'lik spiral boru ile birbirlerine bağlanmıştır.

4.3.5. Kollektör Sehpa

Kollektör sehpa olarak yatayla 37^0 lik bir açıya sahip olan metal bir sehpa kullanıldı. Literatürden kollektör için optimum açının 37^0 olduğu saptandığından kollektör sehpa bu açıda yapılmıştır.

4.4. Deneylerin Yapılışı

Deneyler Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Atelyelerinin arasındaki boş alanda yapılmıştır. Deneyler Temmuz ve Ağustos tarihleri aylarında havanın yeteri kadar açık olduğu günlerde yapılmış, saat 9-18.30 saatleri arasında her yarım saatte bir periyodik olarak ölçüm alınmıştır. Deneyler sırasında yutucu plaka üzerindeki 3 noktadan, kollektör girişinden, kollektör çıkışından, cam yüzeyinden, dış ortamdan sıcaklık değerleri alınmıştır. Ayrıca rüzgar gülü yardımıyla kollektör giriş-çıkış hızları, manometre yardımıyla giriş-çıkış arasındaki basınç farkı tespit edilmiştir. Her bir kollektör için farklı günlerde her gün farklı debide olmak üzere dörder gün deney yapılmıştır.

Deneylerle ilgili bulunan sonuçlarla ilgili grafikler, bulgular ve irdeleme kısmında çizilmiştir.

5. KULLANILAN HESAPLAMA YÖNTEMİ

Güneş ışınlamını faydalı enerjiye dönüştüren gereçlere güneş kolektörleri (toplayıcıları) denilmektedir. Kolektörlerde güneş ışınlamını önce yatay düzlem tarafından yutulmakta sonrada aracı akışkana aktarılarak iç enerjisi artırılmaktadır. Kolektörlerle ilgili yapılan çalışmaların amacı daha verimli bir kolektör geliştirmek, elde edilen enerji miktarını artırmak, güneş enerjisinden sağlanan enerjinin maliyetini düşürmek olarak sıralanabilir.

Güneş Kolektörlerinde toplayıcı yüzey alanını artırmak, akışkanın akış ortamına türbülans etkisi verecek kanatçıklar yerleştirmek, ısıtılacak akışkanın akım yolunu uzatmak ısı transferini artırıcı yöntemlerden bazılarıdır.

5.1. Havalı Güneş Kolektörlerin Verimlerinin Hesaplanması

Bu tez kapsamında düz, oluklu ve trapez yüzeyli olarak imal edilen havalı güneş kolektörlerinin verim hesaplamaları yapılarak kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Havalı güneş kolektörlerinin verimlerini ve basınç kayıplarını belirlemek için yapılan bu çalışmada 0.02 kg/s, 0.025 kg/s, 0.030 kg/s, 0.035 kg/s ve 0.04 kg/s olmak üzere beş farklı hava debisinde her bir kolektör için verim ve basınç kaybı bulunmuştur.. Bu analizleri yapmadan önce her bir kolektörün farklı debilerdeki deneyleri süresince kolektörlerin giriş, çıkış ve yüzey sıcaklıkları ile ışınlam değerleri düzenli olarak ölçülmüştür.

Sonuç olarak kolektör giriş, çıkış ve yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimini gösteren grafikler incelendiğinde kolektörde kullanılan aracı akışkan havanın debisi arttığı zaman sıcaklık değerlerindeki yükselme daha yavaş gerçekleşmektedir.

Toplayıcılarda toplam enerjinin, toplayıcı üzerine gelen ışınlama oranı “toplayıcı verimi” olarak tanımlanır [29].

$$\eta = \frac{Q_u}{I \cdot A_k} \quad (5.1)$$

Burada;

η = Kolektörün etkinliği

Q_u = Alınan Enerji (W)

I = Eğik düzlem üzerine gelen toplam ışınlam (W/m^2)

A_k = Kolektör yüzey alanı (m^2)

Kolektör etkinliğini belirlemede kullanılan (Alınan Enerji) faydalı enerji Q_u aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilmektedir [10].

$$Q_u = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{\zeta} - T_g) \quad (5.2)$$

Burada;

$\dot{m}$ = Havanın kütleli debisi (kg/s)

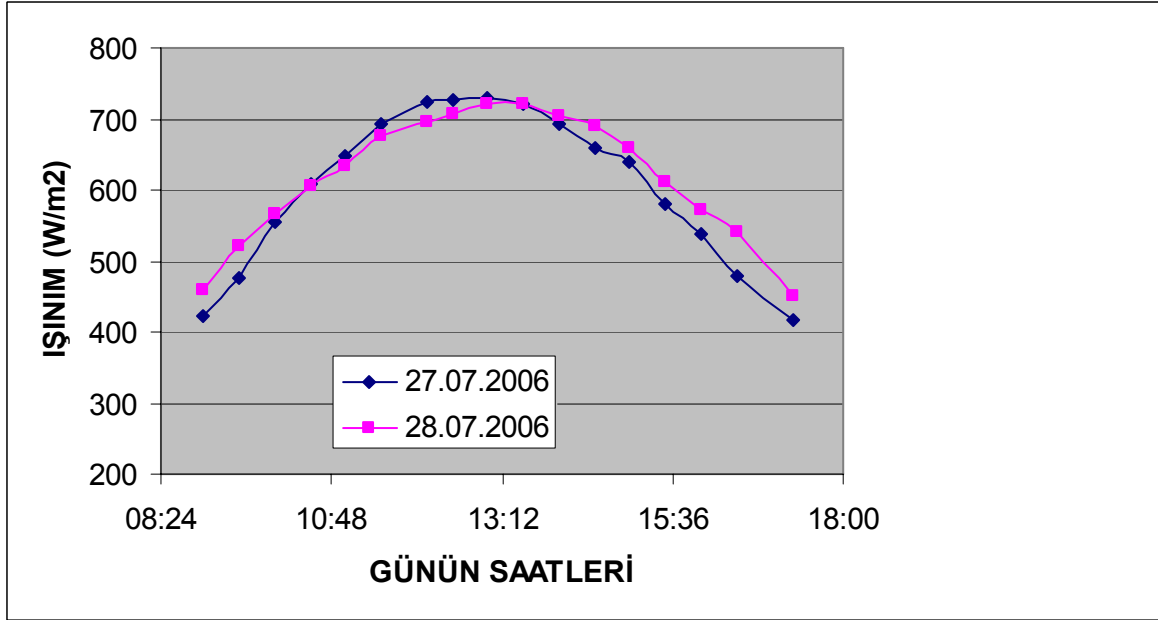
C_p = Sabit basınçta havanın özgül iç enerjisi (J/kgK)

$T_{\text{ç}}$ = Havanın kollektörden çıkış sıcaklığı (K)

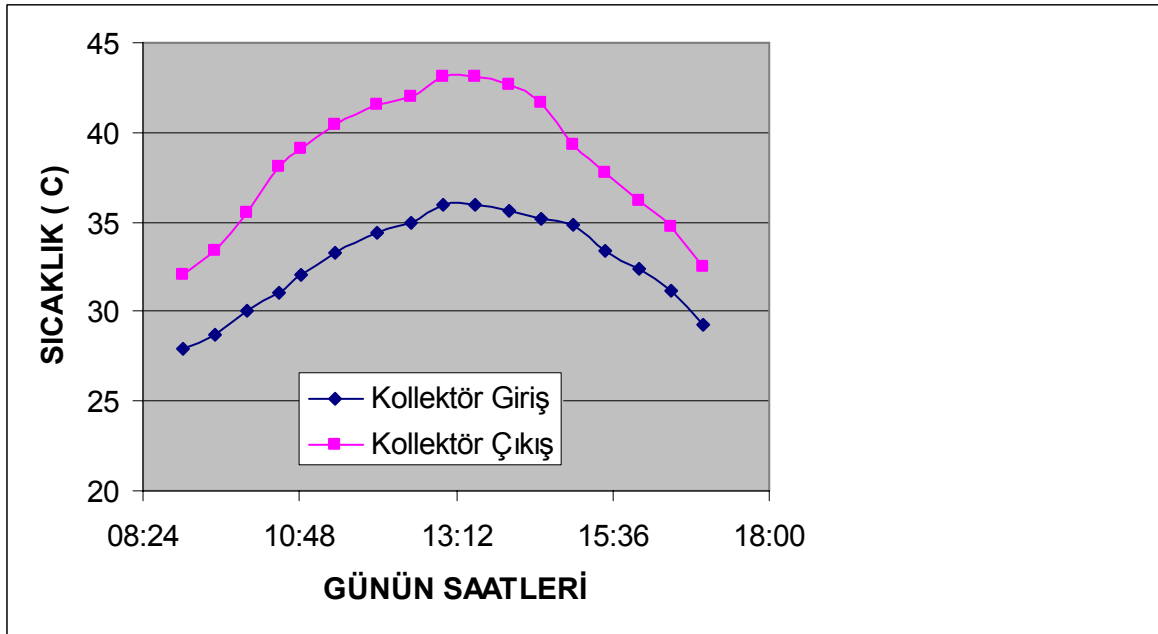
T_g = Havanın kollektöre giriş sıcaklığı (K)

6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

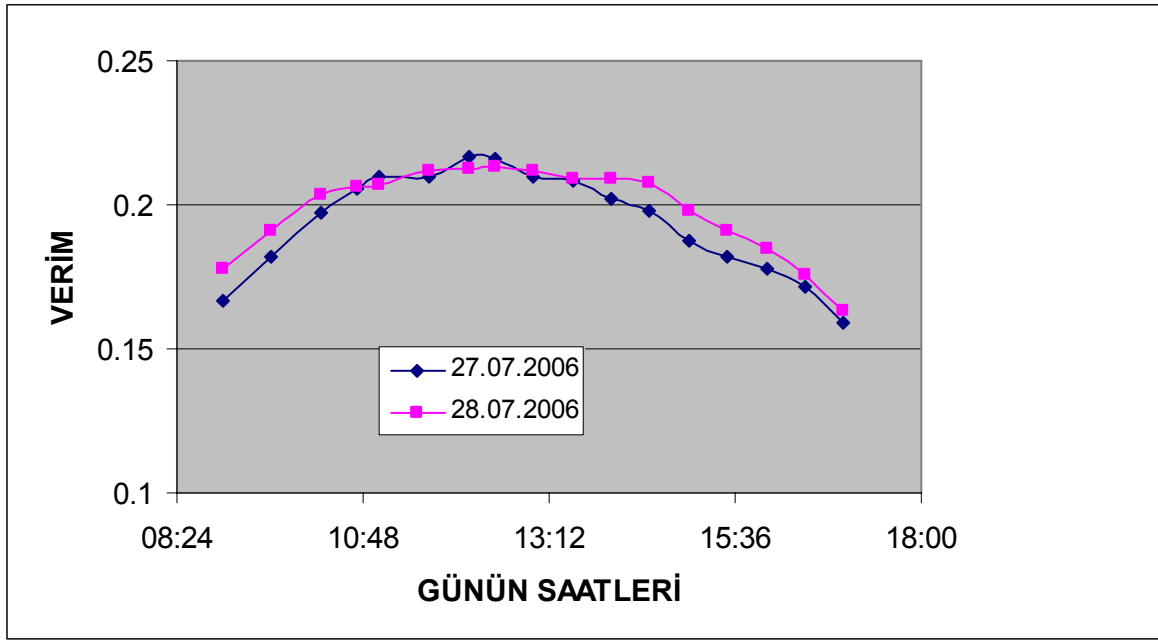
Düzlemsel, oluklu ve trapez olmak üzere üç farklı geometride imal edilen ve üç farklı hava debisinde gerçekleştirilen kolektör deneyleri 2006 temmuz ve ağustos aylarında yapılmıştır. Her bir kolektör deneyi sabah saat 09.00'dan akşam saat 18.30'a kadar devam etmiştir.



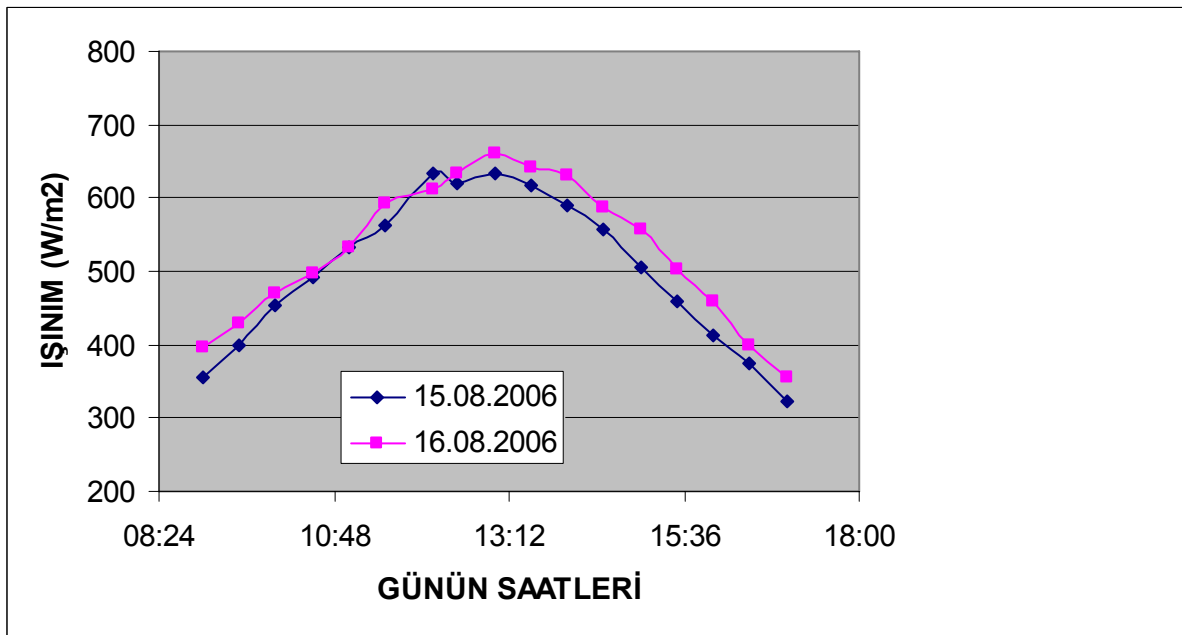
Şekil 6.1. Gün Işınımının Günün Saatlerine Göre Değişimi



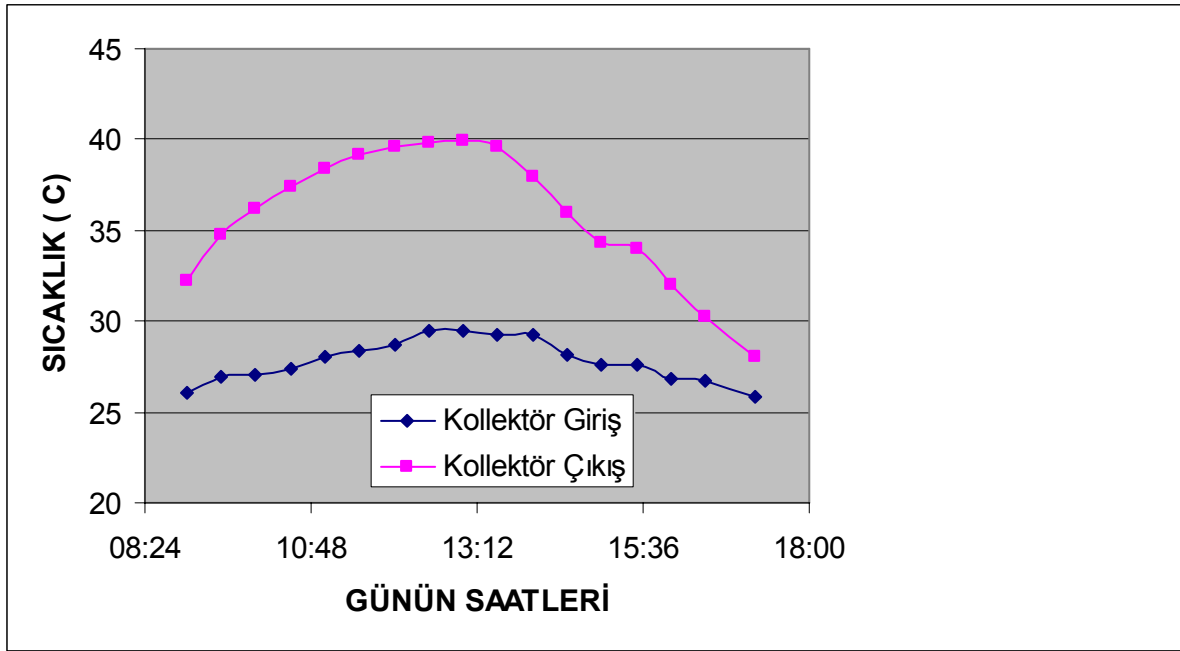
Şekil 6.2. Düz Kolektör Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarının Günün Saatlerine Göre Değişimi (27.07.2006, $m=0.04$ kg/s)



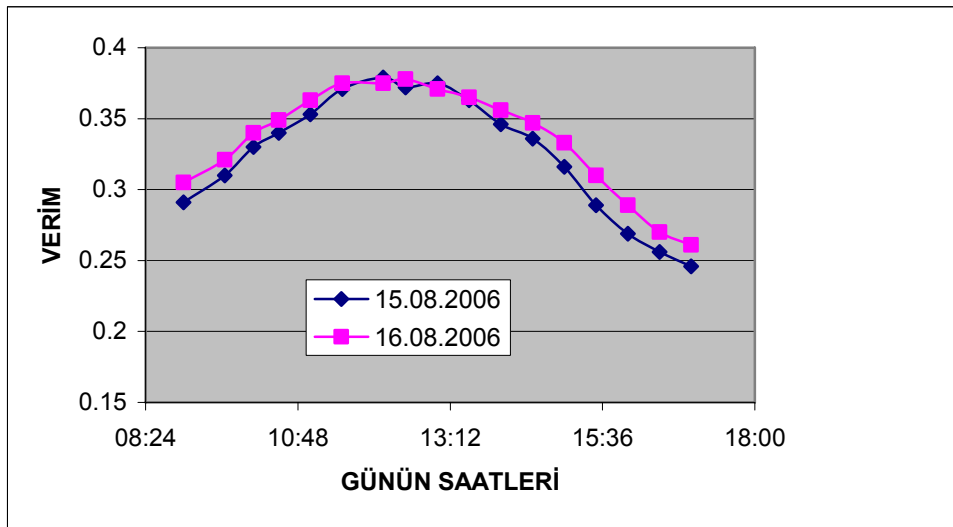
Şekil 6.3. Düz Tip Kolektör Veriminin Günün Saatlerine Göre Değişimi



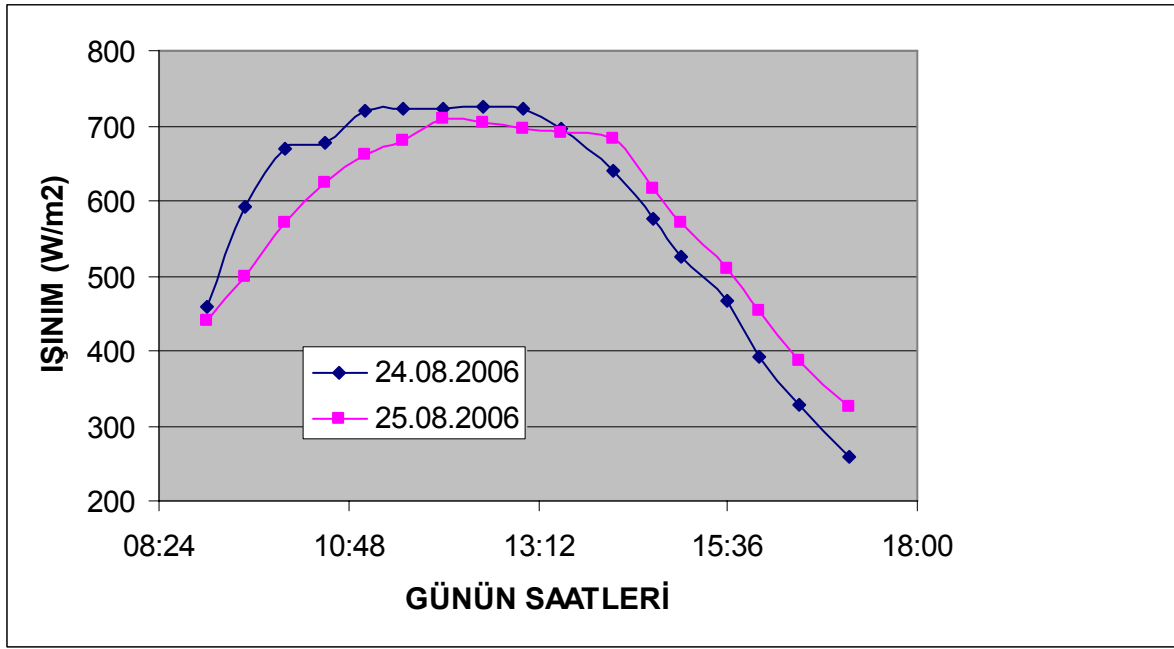
Şekil 6.4. Gün Işınımının Günün Saatlerine Göre Değişimi



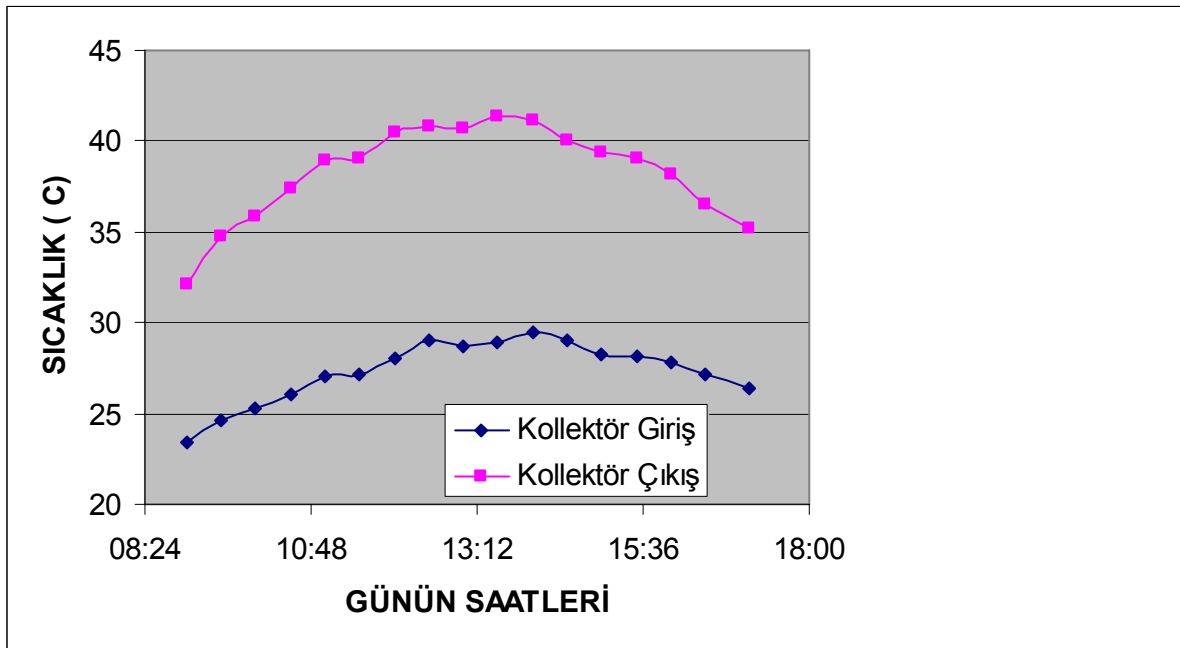
Şekil 6.5. Oluklu Tip Kolektör Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarının Günün Saatlerine Göre Değişimi (15.08.2006, $m=0.04$ kg/s)



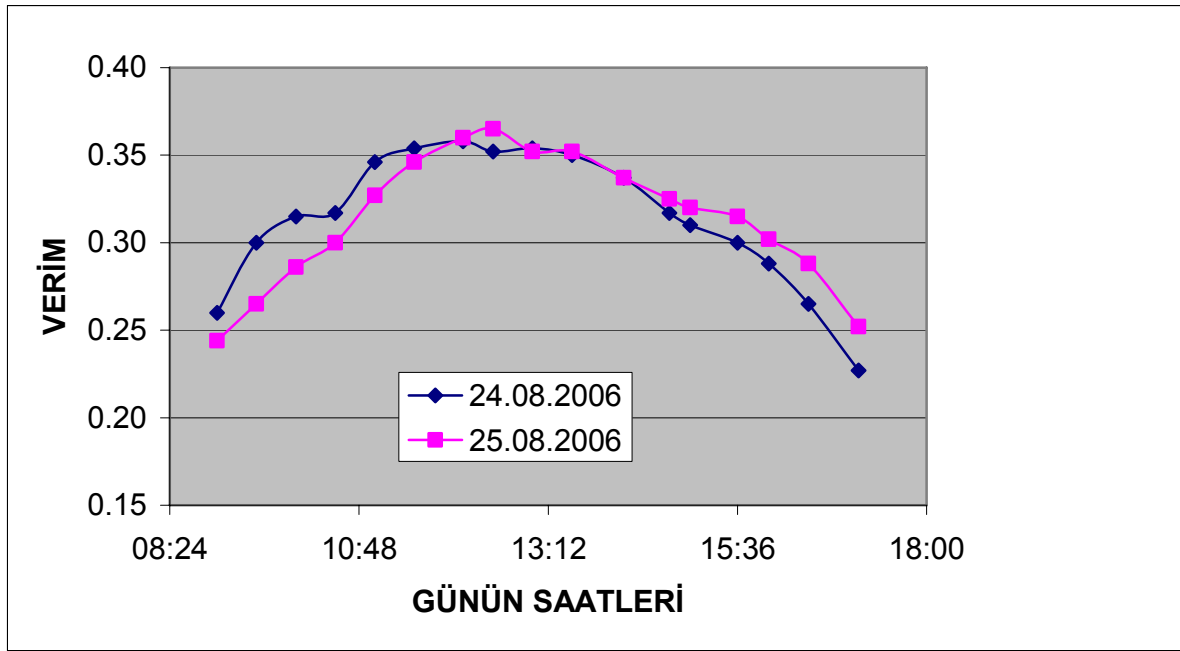
Şekil 6.6. Oluklu Tip Kolektör Veriminin Günün Saatlerine Göre Değişimi



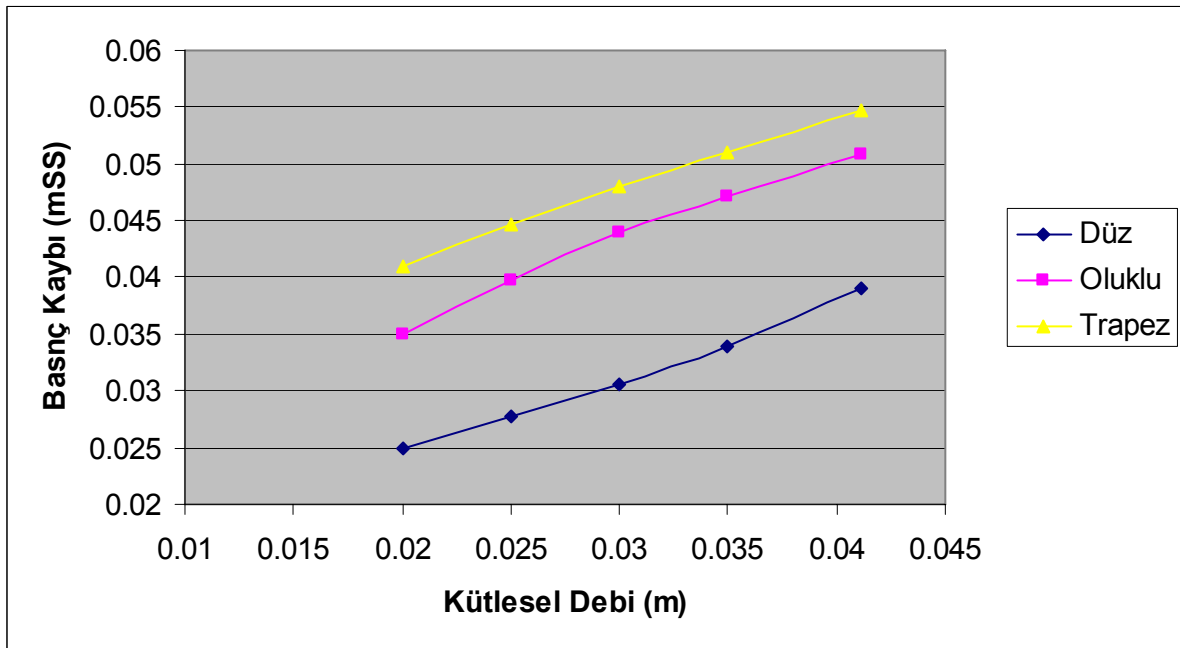
Şekil 6.7. Gün Işınımının Günün Saatlerine Göre Değişimi



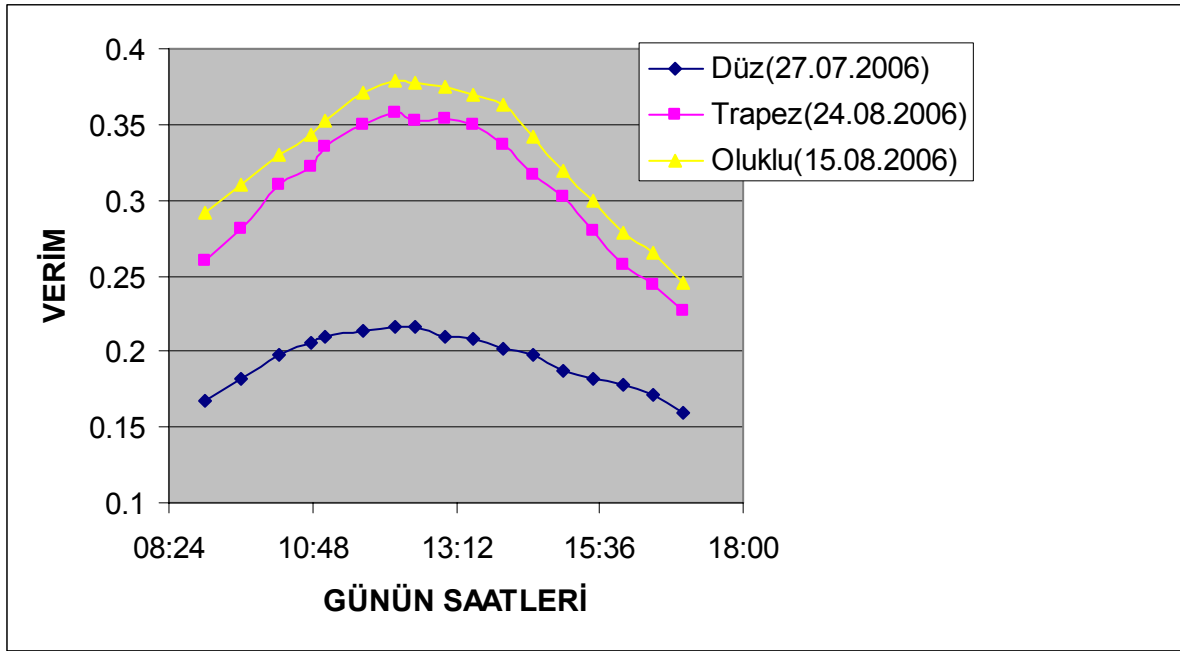
Şekil 6.8. Trapez Tip Kolektör Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarının Günün Saatlerine Göre Değişimi (24.08.2006, $m=0.04$ kg/s)



Şekil 6.9. Trapez Tip Kolektör Veriminin Günü Saatlerine Göre Değişimi



Şekil 6.10. Basınç Kaybının Kütlesel Debiye Göre Değişimi



Şekil 6.11. Kolektör Verimlerinin Karşılaştırılması

Şekil 6.1’de ısıtım değerleri günün saatlerine göre değişimi verilmektedir. Isıtım değerleri yaklaşık aynı olan günler karşılaştırmada baz olarak alınmıştır.

Şekil 6.2’de ise düz kollektörün hava giriş ve çıkış sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişimi verilmektedir. 27.07.2006’da yapılan deneyde maksimum hava debisi 0,04 kg/sn olarak kullanılmıştır.

Şekil 6.3’de ise düz kollektörün günün saatlerine göre verim değişimi verilmektedir. Bu kollektörlerde verim 0,15 ile 0,22 arasında değişmektedir.

Şekil 6.4.’de ise 15.08.2006 tarihi ile 16.08.2006 tarihlerindeki ısıtım değerleri günün saatlerine göre değişimi verilmektedir.

Şekil 6.5’de ise oluklu tip kollektör giriş ve çıkış sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişimi verilmektedir. Bu şekilde kütleli debi maksimum değeri olan 0,04 kg/sn dir. Deneyler 15.08.2006 tarihinde yapılmıştır.

Şekil 6.6’da ise oluklu tip kollektörün verimi günün saatlerine göre değişimi verilmektedir. Şekil 6.6’da görüleceği gibi oluklu tüp kollektörün verimi 0,3 ile 0,4 arasında değişmektedir.

Şekil 6.7’de 24.08.2006 ile 25.08.2006 tarihlerinin ısıtım değerleri günün saatlerine göre çizilmiştir.

Şekil 6.8’de trapez tip kollektöre hava giriş ve çıkış sıcaklıkları günün saatlerine göre değişimi verilmektedir. Deneyler 24.08.2006 tarihinde yapılmıştır. Deneyler kütleli debinin maksimum olduğu 0,04 kg/sn için verilmiştir.

Şekil 6.9’da ise trapez tip kollektör veriminin günün saatlerine göre değişimi verilmektedir. Şekil 6.9’dan da görüleceği gibi trapez tip kollektör için verim 0,25 ile 0,36 arasında değişmektedir.

Şekil 6.10’da ise kütleli debi ile basınç kaybı karşılaştırılmıştır.

Şekil 6.10'dan görüleceği üzere doğal olarak basınç kaybı en düşük olan düz kollektördür. Daha sonra oluklu en fazla basınç kaybı trapezde ölçülmüştür.

Şekil 6.11'de ise kollektör verimleri birbirleri arasında mukayese edilmiştir. Kollektör verimi basınç kaybı ile ters orantılı olmasına rağmen oluklunun verimi en yüksek trapezin verimi olukluya yaklaşık olmakla beraber düzün ise en az çıkmıştır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Havali kollektörler kurutma, alan ısıtması ve seraların ısıtılması için kullanışlı ve geliştirilmeye elverişli alternatif ısıtma kollektörleridir. Elde edilen sonuçlara göre oluklu profil hem basınç kaybı yönünden hem de kollektör verimi yönünden en elverişli profili meydana getirmiştir.

Deneylerimiz hava akımının tek geçişi için yapılmıştır. Trapez yüzey profili ise keskin köşelerinde basınç kayıplarını artırmakta köşelerde ölü hacimler oluşturmaktadır. Keskin köşeler nedeni ile basınç kayıpları artmakta ölü hacimler nedeniyle ısı transferinde oluklu yüzeye göre de düşüşler meydana getirmektedir. Fakat düz yüzeye göre de akım yolunu uzattığı için ısı transferinde artışlar meydana getirmektedir.

Daha ileriki çalışmalarda aynı kollektörlerin çok geçişli tipleri incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Uyarel A, Y., Öz, E.S., 1987, Güneş Enerjisi Ve Uygulamaları, Ankara, 239s.
2. Karaman. S, 1998, Güneş Enerjili Uygun Sıcaklık Sulu Sistemin Seçimi, Atatürk Üni. Erzurum.
3. Ciose D.J., 1963, Solar Air Heaters For Flow Temperature Applications, Solar Energy, 7, 3, 117-124.
4. Gupta C. L., Garg H. P., 1967, Performance Studies On Solar Air Heaters, Solar Energy, 11,1,25- 31.
5. Selçuk K., 1971, Thermal And Economic Analysis Of The Overlapped Glass Plate Solar Air Heaters, Solar Energy, 13,2, 165-191.
6. Niles P.W.,Carnegie E.J.,Pohl J.G., Cheme J.M, 1978, Design And Performance Of An Air Collector For İndustrial Crop Dehydration, Solar Energy, 20, 19-23.
7. Özil E, Birkebak, R.C., 1982, Experimental Study Of A Solar Collector With a Fiber Bed As An Absorbing Medium , Tübitak, Marmara Bilimsel Ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü.
8. Demirel Y., Kunç Ş., 1984, Eşkut E., Yeni Bir Havalı Güneş Toplayıcı Modeli, Güneş Enerjisi Konferansı, 1-18.
9. Atagündüz G., Özbalta N., 1987, Experimental İvestigations On Air Collecctor With Goatskin For Drying Purpose, İses Solar World Congress.
10. Esper, A., Lutz, K., Mühlbauer, W., 1989, Development And Testing Of Plastic Film Solar Air Heaters, Solar And Wind Tecnoiogy,6, 3, 189-195
11. Hottel, H. C. And Woertz, B.B., 1942,Performance Of Flat-Plate Solar Heat Collectors Trans, Asme, 64, 91-104.
12. Yeh, H., Ting, C., 1990, Efficiency of Solar Air Heaters With Baffles, Energy, 167, 983-1990.
13. Yeh, K., Ting C., 1990, Efficiency of Solar Air Heaters Packed With iron Fillings, Energy, 13, 7, 543-547.
14. Garg, K. P. And Datta, G., 1988, Performance Studies On A Finned-Air Heater, Energy, 14, 2, 87-92.
15. Binark. K., Deliçay, Ş., 1993, Hava Isıtmalı Güneş Kollektörleri Dizaynı.İsı Bilimi Tekniği 9. Ulusal Kongresi, Elazığ, S.204-212.
16. Yeh, H., Lin,T., 1995, Efficiency İmprovement Of Flat Plate Solar Air Heaters Energy, 21. 6, 435-443.
17. Yeh, H.Lin, T., 1996, The Effect Of Collector Aspect Ratio On The Collector Efficiency Of Upward- Type Flat-Plate Solar Air Heaters, Energy, 21, 10, 843-850.

18. Mohammad. A. A., 1996, Counter-Current Solar Air Heater. Proceedings Of The First Trabzon İnternational Energ And Environment Symposium.
19. Altuntop, N., Demiral, D., Çınar, G., 1997, Matrix Tip Düzlemsel Havalı Güneş Kollektörlerinin Analitik ve Deneysel İncelenmesi. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Edirne. 992-1001 s.
20. H-M.Yeh, C-D.Ho. J-Z. Hou, 2002, Collector Efficiency of Double-Flow Solar Air Heaters with Fins Attached, Energy. 27. 715-727.
21. Paisorn N, Bancho K., 2003. Theoretical Study On Heat Transfer Characteristics And Performance Of The Flat-Plate Solar Air Heaters, İnt. Comm. Heat Mass Transfer. 30, 8, 1125-1136.
22. Amman, H.D., 2003, A mathematical Model Of Thermal Performance Of A Solar Air Heater With Slats. Renewable Energy, 28, 1597-1615.
23. Paisorn, N., Bancho, K., 2003. Theoretical Study on Heat Transfer Characteristics and Performance of The Flat-Plate Solar Air Heaters, Int. Comm. Heat Mass Transfer. 30, 8, 1125-1136.
24. Yıldız, C., Togrul, I. C., Sarsılmaz, C., Pehlivan, D., 2002. Thermal efficiency of an air solar collector with extended absorption surface and increased convection, Int. Comm. Heat and Mass Transfer, 29, 831-840.
25. Kılıç, A., Öztürk, A., 1983, Güneş Enerjisi, Kipaş Dağıtımcılık, İstanbul.
26. Atagündüz G., 1987, Güneş Enerjisinin Temelleri Ve Uygulamaları Ege Üni. Yayınları, İzmir.
27. Kılıç, A., Öztürk, A., 1995, Havalı Kolektörlerde Güneş Enerjisinin Depolanması, İTO Makine, İstanbul.
28. Kadayıfçılar, 5. Ve Yavuzcan G, 1965, Güneş Enerjisinin Toplanması Ve Depolanması.
29. Dağsöz, A.K., 1971, Teknikte Sıcaklık Ölçülmesi, İ.T.Ü. Makine Fakültesi.
30. Kutscher, C.F. And Christensen, C. B., 1982, Ungiazed Transpired Solar Collectors, American Solar Energy Society, Newyork.
31. Schmidt, R. N., Park, K.C., Janssen E., 1964, High Temperature Solar Absorber Coatings, Part II, Tecb, Doc, Report no ML-TDR-64-250 from Honeywell Research Center to Air Force Material Laboratory.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet ATICI 1968 yılında Kavak Köyünde doğdu. İlköğretimini Kavak Hazar İlköğretim Okulunda, Lise eğitimini Elazığ'da ve 1993 yılında Lisans Eğitimine Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Otomotiv Öğretmenliği Bölümünde başladı. 1997 lisans eğitimini tamamlayarak Endüstri Meslek Lisesi Motor Bölümünde Motor Öğretmeni olarak göreve başladı. Halen Motor öğretmeni olarak görev yapmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.