

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YUTUCU PLAKASI SİLİNDİRİK TENKE KUTULARDAN
YAPILMIŞ BİR HAVALI GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜNÜN
ISIL PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Filiz ÖZGEN

Tez Yöneticisi
Yrd. Doç. Dr. Mehmet ESEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2007

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YUTUCU PLAKASI SİLİNDİRİK TENKE KUTULARDAN
YAPILMIŞ BİR HAVALI GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜNÜN
ISIL PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

Filiz ÖZGEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

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

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet ESEN

Üye :

Üye :

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

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, beni yönlendiren ve yardımcı olan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet ESEN' e, deney setimin hazırlanmasında ve deneylerimin yapılışında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Hikmet ESEN'e, Fakültemiz Makine Eğitimi Bölümü teknisyenlerine, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) yönetim birimi tarafından maddi olarak desteklenen 1281 no'lu projemize katkıda bulunan bütün FÜBAP personeline ve manevi desteğinden dolayı eşim Metin ÖZGEN'e teşekkür ederim.

Arş. Gör. Filiz ÖZGEN

Ocak, 2007

Elazığ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEŞEKKÜR	
İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	III
SİMGELER LİSTESİ.....	V
ÖZET.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
1. GİRİŞ	1
2. KONU İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	3
3. GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ	7
3.1.Sabit Kolektörler	7
3.1.1.Düzlemsel Güneş Kolektörleri	7
3.1.1.1.Cam Yüzey Malzemeleri.....	9
3.1.1.2.Kollektör Yutucu Yüzeyleri.....	10
3.1.2.Parabolik Güneş Kolektörleri.....	10
3.1.3.Vakumlanmış Borulu Güneş Kolektörleri.....	11
3.2.Odaklanabilen Güneş Kolektörleri.....	13
3.2.1.Parabolik Çanak Kolektör.....	15
3.2.2.Lineer Fresnel Reflektör	16
3.2.3.Parabolik Çukur Toplayıcılar	17
3.2.4.Helisel Alan Kolektörleri	18
4. KOLLEKTÖRLERİN TERMAL ANALİZİ	20
4.1.Düz Tabaka Kollektörlerin Performansı	20
4.2.Odaklayıcı Kollektörlerin Termal Analizi	26
4.3.İkinci Kanun Analizi	27
5. GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN PERFORMANSI	30
5.1.Kollektör Termal Verimi.....	30
5.2.Ekonomik Analiz	32
5.2.1.Paranın Zaman Değeri.....	33
5.2.2.Geri Ödeme Periyodu.....	34
6. DENEYSEL ÇALIŞMA	36
6.1.Kollektörün Dizaynı.....	36
6.2.Deneysel Ölçümler ve Hesap Metodu.....	39

6.3.Deney Sonuçları	40
7. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	53
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ.....	59

ŞEKİLLER LİSTESİ

- Şekil 3.1. Düz plakalı kollektörün görünüşü
- Şekil 3.2. Düz plakalı kollektörün ayrıntılı görünüşü
- Şekil 3.3. Parabolik kollektörün şematik şekli
- Şekil 3.4. Vakumlanmış bir tüp kollektörünün şematik şekli
- Şekil 3.5. Odaklanabilen güneş kollektörünün şematik şekli
- Şekil 3.6. Parabolik çanak kollektörünün şematik şekli
- Şekil 3.7. Linear Fresnel Reflektör kollektörünün şematik şekli
- Şekil 3.8. Parabolik çanak kollektörünün şematik şekli
- Şekil 3.9. Merkezi toplayıcı sisteminin şematik şekli
- Şekil 4.1. Düz tabaka kanat ve boru şekli
- Şekil 4.1.a. Kanat element için enerji dengesi
- Şekil 4.1.b. Boru element için enerji dengesi
- Şekil 4.2. Odaklayıcı kollektör modeli
- Şekil 5.1. Çeşitli Kollektörlerin verimlerinin karşılaştırılması
- Şekil 6.1. Deney düzeneğinin fotoğrafı
- Şekil 6.2. Tip I' in yutucu yüzeyi
- Şekil 6.3. Tip II' in yutucu yüzeyi
- Şekil 6.4. Tip III' ün yutucu yüzeyi
- Şekil 6.5. Tip I' in yutucu yüzeyinin kasa içindeki görünüşü
- Şekil 6.6. Tip II' in yutucu yüzeyinin kasa içindeki görünüşü
- Şekil 6.7. Tip III' in yutucu yüzeyinin kasa içindeki görünüşü
- Şekil 6.8. Yutucu yüzey sıcaklıklarının ve güneş ısıtım değerinin zamanla değişimi (Tip I, $m=0.05 \text{ kg/sn}$)
- Şekil 6.9. Yutucu yüzey sıcaklıklarının ve güneş ısıtım değerinin zamanla değişimi (Tip II, $m=0.05 \text{ kg/sn}$)
- Şekil 6.10. Yutucu yüzey sıcaklıklarının ve güneş ısıtım değerinin zamanla değişimi (Tip III, $m=0.05 \text{ kg/sn}$)
- Şekil 6.11. Yutucu yüzey sıcaklıklarının ve güneş ısıtım değerinin zamanla değişimi (Tip I, $m=0.03 \text{ kg/sn}$)
- Şekil 6.12. Yutucu yüzey sıcaklıklarının ve güneş ısıtım değerinin zamanla değişimi (Tip II, $m=0.03 \text{ kg/sn}$)
- Şekil 6.13. Yutucu yüzey sıcaklıklarının ve güneş ısıtım değerinin zamanla değişimi (Tip III, $m=0.03 \text{ kg/sn}$)
- Şekil 6.14. Tip I için verimin zamanla değişimi

- Şekil 6.15. Tip II için verimin zamanla değişimi
- Şekil 6.16. Tip III için verimin zamanla değişimi
- Şekil 6.17. Tüm kollektörlerin verimlerinin karşılaştırılması
- Şekil 6.18. $m=0.05$ kg/s için Tip I'in anlık verim değişimi
- Şekil 6.19. $m=0.05$ kg/s için Tip II'nin anlık verim değişimi
- Şekil 6.20. $m=0.05$ kg/s için Tip III'ün anlık verim değişimi
- Şekil 6.21. $m=0.03$ kg/s için Tip I'in anlık verim değişimi
- Şekil 6.22. $m=0.03$ kg/s için Tip II'nin anlık verim değişimi
- Şekil 6.23. $m=0.03$ kg/s için Tip III'ün anlık verim değişimi
- Şekil 6.24. Tip I kollektörünün literatürle kıyaslanması

SİMGELER LİSTESİ

A_a	: Yutucu alan (m^2)
A_c	: Toplam kollektör boşluk alanı (m^2)
A_f	: Kollektör geometrik faktörü
A_r	: Toplayıcı alan (m^2)
A_k	: Deneysel kollektör alanı (m^2)
b	: Birleşme noktası genişliği (m)
c_p	: Sabit basınçtaki özgül ısı (J/kg K)
c_0	: Ara verim değeri ($=F_R \tau \alpha$)
c_1	: Kollektör veriminin 1. mertebe katsayısı (W/m^2C^0)
c_2	: Kollektör veriminin 2. mertebe katsayısı (W/m^2C^{02})
C	: Kollektör yoğunlaştırıcı oranı
C_b	: Birleşme noktası iletimi (W/mC^0)
d	: Kar veya faiz oranı
D	: Yükseltici boru dış çapı (m)
D_i	: Boru iç çapı (m)
D_0	: Boru dış çapı(m)
e	: Yıllık enflasyon hızı
E	: Satın alınan malın şimdiki değeri
f	: Kollektör için tanımlanmış bir faktör
F_y	: Isıtma sisteminin ısıtma yüzünü karşılama yüzdesi
F'	: Kollektör verim faktörü
F	: Kanat verimi
FF	: Paranın gelecekteki nakit akışı
F_R	: Isı kazanç faktörü
F_s	: İlk yıl yakıtta sağlanan tasarruf
G_b	: Işınlanan direk ısı akısı (W/m^2)
G_t	: Kollektör boşluğundaki toplam güneş enerjisi akısı (W/m^2)
h_{fi}	: Yutucu boru içindeki ısı transfer katsayısı (W/m^2C^0)
h_w	: Rüzgar ısı transfer katsayısı (W/m^2C^0)

I	: Kollektör yüzeyine düşen güneş ışıınım miktarı (W/m^2)
I_s	: Isıtma sisteminin ilk yatırım maliyeti
k	: Yutucu ısıl iletkenlik katsayısı (W/mC^0)
k_b	: Birleşme noktası ısıl iletkenlik katsayısı (W/mC^0)
L	: Kollektör uzunluğu (m)
m	: Kütlesel debi (kg/s)
n_0	: Kollektör optik verimi
N_g	: Cam yüzey numarası
q^*	: Birim kollektör yüzeyi için ısı akısı (W/m^2)
q_u	: Kollektör tarafından üretilen faydalı enerji (W)
q'_u	: Birim uzunluk başına faydalı enerji kazancı (J/m)
q'_{knt}	: Birim kanat uzunluk için faydalı enerji kazancı (J/m)
q'_{boru}	: Birim boru uzunluğu için faydalı enerji kazancı (J/m)
Q	: Çıkış ısı transfer değeri (W)
Q^*	: Kollektör üzerindeki güneş radyasyonu (W)
Q_f	: Faydalı ısı (W)
Q_L	: Binanın yıllık ısıtma yükü
P	: Paranın şimdiki değeri
P_c	: Tasarruf edilen fosil yakıtın fiyatı
S	: Yutulan güneş enerjisi (kJ/m^2)
T	: Mutlak sıcaklık (K)
T_a	: Çevre sıcaklığı (C^0)
T_b	: Yerel temel sıcaklık (C^0)
T_f	: Yerel akışkan sıcaklığı (C^0)
T_i	: Kollektöre giren akışkan sıcaklığı (C^0)
T_r	: Toplayıcı sıcaklığı (K)
$T_{h,g}$	: Kollektöre giren havanın sıcaklığı (C^0)
$T_{h,\phi}$	: Kollektörden çıkan havanın sıcaklığı (C^0)
U_b	: Alt kısımdaki ısı kayıp katsayısı (W/m^2C^0)
U_c	: Kenar kısımdaki ısı kayıp katsayısı (W/m^2C^0)
U_L	: Güneş kollektörü ısı transfer kayıp katsayısı (W/m^2C^0)
U_0	: Akışkandan çevre havasına ısı transfer katsayısı (W/m^2C^0)
V	: Vergi oranı

W	: Rüzgar hızı (m/s)
δ	: Yutucu kanat kalınlığı (m)
ΔT	: Sıcaklık farkı
x	: Yıl
x_p	: Geri ödeme periyodu
Δx	: Kanat ya da toplayıcı boru malzemesi (m)
γ	: Ortalama birleşme noktası kalınlığı (m)
θ	: Boyutsuz sıcaklık ($=T/T_0$)
ψ	: Denklem çözümü için tanımlanmış bir faktör
$\tau\alpha$	: Yutma-geçirme katsayısı
η	: Kollektör verimi

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YUTUCU PLAKASI SİLİNDİRİK TENEKE KUTULARDAN YAPILMIŞ BİR HAVALI GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜNÜN ISIL PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Filiz ÖZGEN

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

2007, Sayfa: 59

Bu çalışma, düzlemsel havalı güneş kolektöründe çift geçişli kanal içerisine silindirik teneke kutulardan yapılmış yutucu plakanın yerleştirildiği bir düzeneği deneysel olarak incelemektedir. Bu yöntem, akışkan (hava) hızını ve yutucu plaka ile hava arasındaki ısı transfer katsayısını arttırmak suretiyle kolektör verimini önemli oranda iyileştirir. Ayrıca bu kolektör, havalı güneş kolektörlerinin yutucu plakasını makul bir maliyetle imal etmek için, kullanılmış silindirik teneke kutuların tekrar kullanılması (geri dönüşümü) için bir öneri olarak tasarlanmıştır.

Atmosfere konveksiyon kayıplarını azaltmak için, kolektör 4 mm kalınlığında tek cam örtü ile örtülmüştür. Deneysel çalışma için üç farklı tipte yutucu plaka tasarlanmış ve test edilmiştir. İlk tipte (Tip I), silindirik teneke kutular yutucu plaka üzerinde zikzaklı olarak kaydırılmış, ikinci tipte (Tip II) ise sıralı olarak dizilmiştir. Tip III ise, üzerinde kutuların olmadığı bir düzlem plaka şeklindedir. Deneyler 0.03 kg/s ve 0.05 kg/s lik hava debileri için gerçekleştirilmiştir. En yüksek verim Tip I için elde edilmiştir.

Ayrıca, bu çalışmada test edilen havalı güneş kolektörünün ısı verimi ile literatürdekilerin ısı verimleri arasında karşılaştırma sunulmuş ve aralarında iyi bir uyum olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Havalı güneş kolektörü; geri kazanılabilir teneke kutular; ısı verim; deneysel; çift geçişli akış.

ABSTRACT

Master Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THERMAL PERFORMANCE OF AN AIR SOLAR COLLECTOR WITH AN ABSORBER PLATE MADE OF CANS

Filiz ÖZGEN

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Education

2007,Page:59

This study experimentally investigates a device for inserting an absorbing plate made of recyclable cans into the double-pass channel in a flat-plate solar air collector. This method substantially improves the collector efficiency by increasing the fluid velocity and enhancing of heat transfer coefficient between the absorber plate and air. Furthermore, this collector had been designed as a proposal to use recycle recyclable materials to build absorber plates of air solar collectors at an acceptable cost.

The collector had been covered with a 4-mm single glass plate, in order to reduce convective loses to the atmosphere. Three different absorber plates had been designed and tested for experimental study. In the first type (Type I), cans had been staggered as zigzag on absorber plate, while in Type II they were arranged in order. Type III is a flat plate (without cans). Experiments had been performed for air mass flow rates of 0.03 kg/s and 0.05 kg/s. The highest efficiency had been obtained for Type I.

Also, comparison between the thermal efficiency of the air solar collector tested in this study with the ones reported in the literature had been presented, and a good agreement had been found.

Keywords: Solar air heaters; recyclable cans; thermal efficiency; experimental; double-pass flow.

1.GİRİŞ

Enerji, termodinamikte bir iş yapabilme yeteneği olup sanayileşmiş toplumların ayrılmaz bir parçasıdır. Günümüzde enerji, büyük oranda birincil kaynaklardan elde edilmektedir. Petrol, tabii gaz, likit petrol gazı, kömür ve odun belli başlı enerji kaynaklarıdır. Bunlar sınırlıdır ve 35 ile 200 yıl arasında bitecekleri tahmin edilmektedir. Enerji kaynakları azalırken, dünya nüfusunun sürekli artması ve enerji bağımlılığı, enerji açığını sürekli büyütecektir. Temel enerji kaynakları tüketildiğinde insanlık daha uzun ömürlü enerji kaynaklarına dönmek zorunda kalacaktır. Bunların en önemlileri nükleer ve güneş enerjileridir. Nükleer enerjinin yüksek teknoloji ve maliyetinin yanında insan sağlığına son derece zararlı oluşu kullanılabilirliğini azaltmaktadır. Güneş enerjisi güvenilir bir kaynak olup, yaygın kullanımında yüksek ve özel teknoloji gerektirmemektedir. Kullanımı sırasında hiçbir önemli çevre kirliliği de yaratmamaktadır.

Güneş enerjisinin uzaydan geçerek dünyaya ulaşması elektromanyetik radyasyonla olmaktadır. Isıtma ve soğutma proseslerinde kullanılabilmesi için bu enerjinin ısıya dönüştürülmesi gerekir. Güneş radyasyonunu ısı enerjisine dönüştüren aygıtlar güneş kolektörleridir.

Güneş, 1.39×10^9 m çapında, içinde ateşli sıcak gazların bulunduğu bir küredir ve dünyadan ortalama 1.5×10^{11} m uzaklıktadır. Güneş enerjisi, güneşi terk ettikten sonra, gezegenimize yalnızca 8 dakika 20 saniye çarpar. Güneşin efektif siyah yüzey sıcaklığı 5762 K'dır [1]. Güneşin merkez bölgesindeki sıcaklığı çok yüksektir ve 8×10^6 K ile 40×10^6 K arasında değişir. Güneşteki yüksek sıcaklıktan dolayı elektronlar atom çekirdeklerine ayrılır. Bu sebeple, güneşte serbest elektron ve atom çekirdekleri bulunur. Dört hidrojen çekirdeği birleşerek bir helyum çekirdeğini oluşturur. Füzyon adı verilen bu reaksiyon çok yüksek sıcaklıkta oluşur. Güneşte oluşan helyum miktarı, harcanan hidrojen miktarından daha azdır. Aradaki fark güneş ışıınımı ile oluşan enerjiyi verir. Bu enerji çeşitli dalga boylarında ışıınlar halinde dünyaya ulaşır. Güneşin toplam enerji çıkışı 3.8×10^{20} MW'dır ve bu değer güneşin toplam yüzeyi dikkate alındığında 63 MW'dır. Bu enerji tüm yönlerde dışarıya ısı yayar. Toplam radyasyon yayılımının 1.7×10^{14} KW'lık sadece küçük bir bölümü dünya tarafından durdurulur [1]. Hatta bu küçük bölümüyle hesaplanmıştır ki yeryüzündeki güneş radyasyonunun 30 dakikası bir yıl için gerekli olan dünya enerjisine eşittir.

İnsanlar fark etmişlerdir ki, güneş enerjisinin kullanımı onlar için faydalıdır. Yunan tarihçisi Xenophon, Yunan filozof Socrate'nin öğrettiklerinin bazılarını kaydettiği <Memorabilia> da yazın soğuk ve kışın sıcak evlere sahip olduklarını belirtmiştir.

Tarih öncesinden beri, güneş, insanların yiyeceklerini kurutma ve saklama özelliğine sahiptir. Deniz sularının buharlaştırılarak, tuzun çökmesini sağlar. İnsanlar, her doğal olayın arkasında güneşi motive bir güç olarak görmüşlerdir. Tarih öncesinde, çoğu insan güneşi <Tanrı> olarak nitelendirmiştir. Mısır'daki çoğu el yazısında, Piramitler en büyük mühendislik başarılarından görülmüş ve bunlar güneşe giden bir merdiven olarak nitelendirilmişlerdir [2].

1973'ün 12. kış gününde, yakıt ve enerjinin ekonomik bağlantılarında değişiklikler olmuştur. Sebebi, Mısır ordusunun 12 Ekim'de Suez Kanalı'nı geçip uluslar arası krize neden olmalarıdır. Bu arada OPEC kurulmuştur. Şirketler yüksek fiyatlar belirleyerek, ham petrolün fiyatını % 70 arttırmışlardır.

Diğer enerji formlarıyla karşılaştırıldığında güneş enerjisinin en büyük avantajı temiz ve hiç çevresel kirlenme olmaksızın tedarik edilebilmesidir. Geçen yüzyıllarda fosil yakıtları, enerjimizin çoğunu sağlamaktaydı çünkü bu daha ucuz ve alternatif enerji kaynaklarından daha elverişliydi. Günümüzde güneş enerjisi kullanımını arttırırken, çeşitli kaynaklardan elde edilen enerjinin tasarruflu bir şekilde kullanımı sağlanmalıdır. Tasarrufta ilk adım, binalarda kullanılan klasik ya da alternatif enerji kaynaklarının talebini düşürmek olmalıdır. İkinci adım, fosil yakıt talebini azaltmak için güneşli teknolojilerinin uygulanmasıdır.

Yapılan bu çalışmada, üç farklı yutucu yüzey kullanılarak oluşturulan üç tip güneş hava kolektörünün ısı performansları deneysel olarak araştırılmıştır. Çift hava akışlı kolektörlerin kullanılmasıyla kolektör verimi gelişir. Çift hava akışlı kolektörler, giriş sıcaklığını ve hava akış hızını arttırmak için dizayn edilmişlerdir. Giriş sıcaklığının yüksek olması, yutucu yüzeyden daha sıcak havanın çıkmasına neden olur, sıcaklık farkı artar ve haliyle verim de yükselir. Çift hava akışlı kolektörler, tek hava akışlı kolektörlere göre daha fazla ısı transfer yüzeyine sahip olurlar. Isı transfer yüzeyinin fazla olması da verimi olumlu yönde etkileyen bir faktördür.

Bir güneş kolektöründe akış alanına yerleştirilen engeller ısı transfer alanını artırarak türbülanslı akışın oluşmasını sağlar. Yutucu yüzeyin altından ve üstünden aynı anda hava akışı olan çift akışlı sistemlerde, ısı transfer alanının çift olması nedeniyle kolektörün performansı daha iyi olur.

Bu çalışmada üç tip güneş hava kolektörü incelenmiştir. Yutucu yüzeyler üzerine kutuların karmaşık olarak yerleştirildiği Tip I, kutuların düzgün sıra olacak şekilde yerleştirildiği Tip II ve düz yutucu yüzeye sahip Tip III şeklinde belirtilmiştir. Bu üç kolektörün 0.03 kg/s ve 0.05 kg/s lik hava debileri için ısı performansları deneysel olarak incelenmiştir.

2.KONU İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Yakıt fiyatları hızlı bir şekilde artmaktadır. Gelişmiş ülkelerde olduğu gibi Türkiye de güneş enerjisi gibi temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları; ısıtma, soğutma, kurutma ve güçlü uygulamalar için kullanılmaktadır. Türkiye önemli bir enerji ülkesidir, enerji gereksiniminin yarısından fazlasını fosil yakıtlardan sağlamaktadır. Türkiye, yenilenebilir enerji kaynakları, özellikle güneş, rüzgar, su gücü ve jeotermal enerji için önemli bir potansiyele sahiptir. Uzun yıllar, Türkiye'nin kırsal bölgelerinde, kuru yemiş, ceviz, üzüm gibi tanecikli malzemeler için açık güneş kurutması, büyük güneş enerjisi potansiyeli yüzünden önemli uygulamalara sahiptir [3,4].

Güneş hava kolektörlerinin kullanımında artış vardır, çünkü: (1) güneş hava kolektörleri ile taze havanın ön ısıtması kolay ve ucuz bir teknolojidir, (2) bakımı ve operasyonu çok kolaydır, (3) özel bir insan gücü gerektirmezler, (4) yerel olarak üretilebilirler, (5) çevre dostudur ve (6) yakıt gerektirmezler. Aynı zamanda güneş hava ısıtıcıları, havanın düşük yoğunluğu, küçük volümetrik ısı kapasitesi ve küçük ısıl iletkenliği yüzünden performansları sınırlıdır. Böylece güneş hava kolektörlerinin performanslarını geliştirmek için farklı tiplerde imalatı önerilmiştir [5,6].

Güneş hava kolektörleri, güneş enerjisini transfer eden ısı değiştiricisinin bir türüdür. Kolektörlerin avantajı, akışkanda donma ya da kaynamanın meydana gelmemesidir. Tipik bir güneş hava kolektörünün en önemli kısmı saydam örtü ve yutucu yüzeydir. Güneş hava kolektörlerinin termal performansı, kolektörün malzemesine, şekline, boyutlarına ve planına bağlıdır. Performans gelişimi, farklı malzemeler, çeşitli şekiller, farklı boyutlar ve planlar kullanılarak elde edilebilir. Yutucu yüzey ve hava arasındaki ısı transfer katsayısını geliştirmek için bazı yenilikler kullanılmış ve farklı şekiller literatürde yer almıştır.

Metwally ve diğ. [7], ileri kıvrımlı borulu bir güneş kolektörü üzerinde bir deneysel inceleme yürütmüşlerdir. Yaptıkları çalışmada kolektörün yutucu yüzeyini kıvrımlı yüzeylerle inşa etmişlerdir. Kolb ve diğ. [8], yutucu yüzeyi matrix şeklinde olan bir güneş hava kolektörü dizayn etmişlerdir. Burada yutucu matrix yüzey kolektörün en önemli kısmıdır ve kare bir alan ve düz bir şekilden oluşan oksitlenmiş iki paralel tabakadan oluşmuştur. Bir kafes şekli verilerek ısı kaybı en aza indirilmeye çalışılmıştır.

A.A. Mohamad [9], gözenekli bir yutucu yüzey kullanarak yutucu yüzeyden hava akımına ısı transferini arttırmaya çalışmıştır. U şeklinde dizayn edilen bu kolektörde çift cam kullanılarak birleştirilmiş çift akışlı bir geçiş sağlanmıştır. Bu kolektörün termal verimi, geleneksel hava ısıtıcısının termal veriminden daha yüksektir. D.Albizzati [10], gözenekli yutucu bir yüzeye sahip olan güneş hava kolektörünün termal performansı ile ilgili bir çalışma

yapmıştır. Bu kollektörde havanın giriş ve çıkış doğrultusu aynı değildir ve yutucu yüzey belli bir açı ile yerleştirilmiştir. Bu çalışmada kollektörün birkaç noktasında, havanın giriş ve çıkış sıcaklıkları, havanın hızı, güneş radyasyon değerleri ölçülmüştür. Bunun yanında enerji kazancı, termal verim ve güneş kollektörünün karakteristik parametreleri hesaplanmıştır.

Md. A. Karim ve diğ. [11], düz tabaka, kanatlı ve V-kıvrımlı güneş hava kollektörlerinin performansını hem deneysel hem de teorik olarak incelemişlerdir. Sonuçlar göstermiştir ki V-kıvrımlı kollektörün verimi en iyidir, bunun yanında düz tabaka kollektörler daha az verime sahiptir. V-kıvrımlı kollektörler, düz tabakalı kollektörlere göre, tek geçişli ve çift geçişli modeller için sırasıyla % 10-15 ve %5-11 daha fazla verime sahiptir.

Moummi ve diğ. [12], dikdörtgen biçimindeki yutucu yüzeyleri dizayn ettikleri kollektör üzerinde akışa dik olarak yerleştirip, bu kollektörün termal performansı üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçları, üzerinde dikdörtgen biçimindeki engeller olmayan düz tabaka güneş kollektörü ile kıyaslamışlardır.

Ho ve diğ. [17], geri dönüşümlü bir düz tabaka güneş hava ısıtıcısında çift geçişli kanat içindeki bir yutucu yüzeyi teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Bu metodla kollektör verimini ve akış hızını arttırmışlardır. Elde ettikleri sonuçları, tek geçişli güneş hava kollektörü ile karşılaştırmışlardır.

D. Njomo [13], camsız, seçici yutucu güneş hava kollektörü ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Camsız güneş hava kollektörleri, hava ısıtma, havalandırma ya da mahsul kurutma gibi uygulamalarda kullanılır. D. Njomo yaptığı çalışmada camsız gözeneksiz seçici yutucu hava ısıtıcısında ısı değiştirgeci analizi için bir matematik model geliştirmiştir. Diferansiyel denklemler oluşturarak, çeşitli parametrelerin etkilerini incelemiştir. Giriş akış sıcaklığı, kütle akış oranı, hava kanalının derinliği, camsız yutucu yüzeyin performansı üzerinde çalışmıştır. Yapılan çalışmaları, düşük rüzgar hızı için bir konveksiyonel iki cam yüzeyli hava kollektörü ile karşılaştırmıştır.

Sahu ve Bhagoria [14], bir güneş hava ısıtıcısının yutucu yüzeyi üzerindeki 90^0 eğimli enine kirişleri kullanarak ısı transfer katsayısını arttırmak için bazı deneysel incelemeler yapmışlardır. Sadasuke ve diğ. [15], çift kanallı bir düz tabaka güneş hava kollektöründeki yutucu yüzeyin hem alt hem de üst kanallarındaki hava akışını ve kollektörün termal performansını analiz etmişlerdir. Üst kanallardaki akışın termal veriminin yüksek olduğu gözlenmiştir.

Toğrul ve Pehlivan [16], çift geçişli hava akış kanalında dolgu malzemesi bulunan yeni dizayn edilmiş bir konik yoğunlaştırıcı hava ısıtıcısının termal performansına farklı yutucu yüzey kullanımının etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla, standart siyah boyalı bakır boru, seçici yüzey ve yapay olarak pürüzlendirilmiş yutucu yüzeyleri ayrı ayrı kullanarak, en yüksek termal

verimi elde etmişlerdir. Yeh ve diğ. [17], kanat bağlı çift akışlı güneş hava ısıtıcısının kollektör verimini hem deneysel hem de analitik olarak incelemişlerdir. Yutucu yüzeyin üst ve alt tarafına kanatlar yerleştirilerek hava geçişini sağlamışlardır. Yutucu yüzeyin üst ve altından geçen havanın akış oranının kollektör verimine olan etkisini incelemişlerdir.

Momin ve diğ. [18], yutucu yüzey üzerinde V-kesimli kırımlar olan güneş hava ısıtıcılarındaki ısı transferini ve sürtünmeyi incelemişlerdir. V-kesimli kırımlara sahip güneş hava ısıtıcısının dikdörtgensel borularının akış karakteristiklerini ve ısı transferi üzerine olan etkilerini deneysel olarak görmüşlerdir. Elde edilen sonuçlar, ısı transfer katsayısı ve sürtünme faktörü üzerindeki artışı belirlemek için benzer akışlar altında düz borularla karşılaştırılmıştır. Isı transfer katsayısı ve sürtünme faktörü için bazı bağıntılar geliştirilmiştir.

Bazı pratik uygulamalarda, güneş hava kollektörlerinin ana dezavantajı düşük verimdir. Uçar ve İnallı [19], yaptıkları deneysel çalışmada, yutucu yüzeyin farklı biçim ve düzenlemesinin, ısı transferini artırma teknikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Yutucu yüzey üzerindeki dereceli levhaların ve kanatların, güneş hava kollektörü performansına etkisini test etmişlerdir. Geleneksel güneş hava kollektörlerinde, kollektör veriminin en düşük olduğunu görmüşlerdir.

G. Alvarez ve diğ. [20], geri dönüşümlü, dairesel alüminyum kutulardan yapılan yutucu bir yüzeyin kullanıldığı, tek camlı bir güneş hava kollektörünün verimini test etmişlerdir. Önceden bilinen teorik sıcaklıklar ile ölçülen değerler mukayese edilmiştir. Dairesel kutular kullanılarak oluşturulan güneş hava kollektörünün termal verimi daha iyi bulunmuştur.

S. Karslı [21], 75° açılı bir kanatlı kollektör, 70° açılı bir kanatlı kollektör, tüplü bir kollektör ve bir temel kollektör olmak üzere 4 tip hava ısıtıcılı düz tabaka güneş kollektörünün performans analizini yapmıştır. En yüksek kollektör verimi ve hava sıcaklık artışının 75° açılı kollektörde olduğu görülmüştür. Abene ve diğ. [5], deneysel olarak sağlamışlardır ki güneş hava kanallarında engellerin üretimi, kollektör performansının gelişimi için çok önemli bir faktördür. Form, boyutlar, yönlendirme ve düşünülen engellerin pozisyonu gibi bazı özelliklerin kollektör verimini etkilediğini belirtmişlerdir.

Kreith F. ve Kreider JF. [22], güneş enerjili hava ısıtıcılarındaki performansı daha fazla arttırmanın, kollektördeki kanatçıkların hava türbülansını yaratmak için akış yönünü şaşırtıcılarla ve büyütülmüş ısı transfer alanları ile donatılmasının sağlanabileceğini belirtmişlerdir.

Benzer bir çalışmada da güneş enerjili hava ısıtıcılarındaki optimum akış kanal derinliği ve kütleli hava debisi ile farklı dizaynlar oluşturulmuştur. Ele alınan dizayn değişiklikleri cam örtülü ve örtüsüz düzlem yutucu levha tipi; tek, çift ve üçlü hava geçişleri gibi seçeneklerdir.

Çift akış şekline sahip tek cam örtülü güneş enerjili hava ısıtıcısının en iyi performansı verdiği bulunmuştur [23].

P. Naphon ve B. Kontragol [24], güneş hava ısıtıcılarının performansı ve ısı transfer karakteristikleri üzerine, hava kütle akış oranının etkilerini nümerik olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında farklı akış oranlarının olduğu beş değişik güneş hava kolektörü modeli tasarlamışlar ve hava kütle akış oranının kolektör performansını etkilediğini tespit etmişlerdir. Çeşitli modellerde güneş hava ısıtıcıları geliştirilerek, ısı kaybı azaltılabilir ya da termal performans artırılabilir. İlave olarak, yutucu yüzeyin yalıtımı, termal performansı arttırmak için önemli bir faktördür.

Forson ve diğ. [26], tek geçişli, çift boşluklu bir havalı güneş ısıtıcısının matematiksel modelini tanımlamışlardır. Güneş ışıınımı, ısı transfer katsayısı, ortalama hava akış oranı ve ortalama sıcaklığın dizayn edilen modelde başarılı sonuçlar verdiğine değinmişlerdir. Tek geçişli çift boşluklu havalı güneş ısıtıcılarında kayda değer performans gelişmesinin, kolektör parametrelerinin uygun seçimi ve üstten alta iki hava boşluklu kanal derinliği ile elde edilebileceğini göstermişlerdir. Havanın kütsel debisinin verim üzerinde etkili olduğunu belirtmişlerdir.

A.A. Ghoneim [27], kare bölmeli bir peteğin farklı dizilişi ile oluşturulan güneş kolektörünün performansı üzerinde durmuştur. Petek şeklindeki malzeme, düz tabaka güneş kolektöründe cam yüzey ile yutucu yüzey arasına yerleştirilmiştir. Ghoneim yaptığı deneysel çalışmada, böyle bir modelin kolektör verimini olumlu yönde etkilediğini görmüştür.

Çalışmamızda üç tip güneş hava kolektörünün ısı performansını deneysel olarak incelenmiştir. Yutucu yüzeyler, üzerine kutuların karmaşık olarak yerleştirildiği Tip I, kutuların düzgün sıra olacak şekilde yerleştirildiği Tip II ve düz yutucu yüzeye sahip Tip III şeklinde belirtilmiştir. Bu üç kolektörün 0.03 kg/s ve 0.05 kg/s lik hava debileri için ısı performansları deneysel olarak incelenmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki Tip I'in termal performansı daha iyidir.

3.GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ

Güneş ısı kollektörleri, güneş radyasyon enerjisini iç enerjiye dönüştüren ısı değiştiricilerinin özel bir çeşididir. Güneş kollektörleri gelen güneş radyasyonunu yutar, ısıya dönüştürür ve bu ısıyı akışkana iletir (genellikle hava, su ya da yağ).

Temelde 2 tip güneş kollektörü vardır: Odaklanamayan ya da sabit ve odaklanabilen güneş kollektörleri. Odaklanamayan güneş kollektörleri düz yüzeyli olup, güneş ışığını odaklamazlar. Odaklanabilen güneş kollektörleri genellikle içbükey bir yüzeye sahiptir ve güneş ışınının merkezi, artan radyasyon değişimi sebebiyle çok küçük bir bölgede ışın radyasyonuna maruz kalır. Sadece direkt radyasyondan faydalanırlar, yüksek sıcaklık temin edebilirler. Çalışabilmeleri için güneşi görmek zorundadırlar, bu nedenle odaklı kollektörler, güneşlenme yönünden zengin yörelerde, daha verimli olarak kullanılırlar.

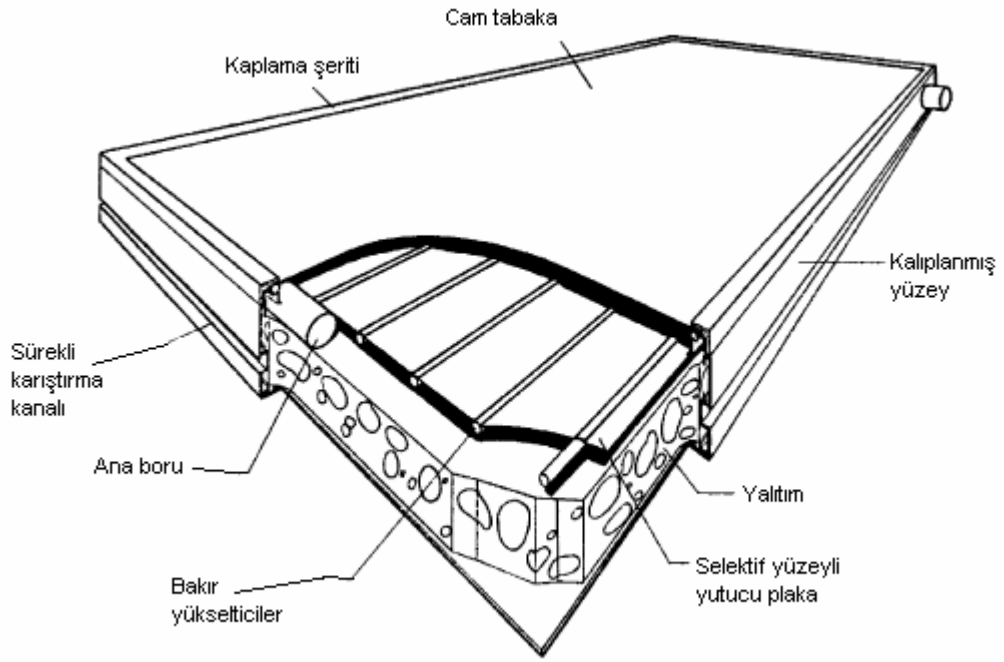
3.1.Sabit Kollektörler

Güneş enerjisi kollektörleri, temelde onların hareketlerine göre seçilir. Sabit, tek eksenli izleyen, çift eksenli izleyen gibi. Sabit olan güneş kollektörleri güneşi izlemezler. Bu kategoride 3 tip kollektör incelenmiştir:

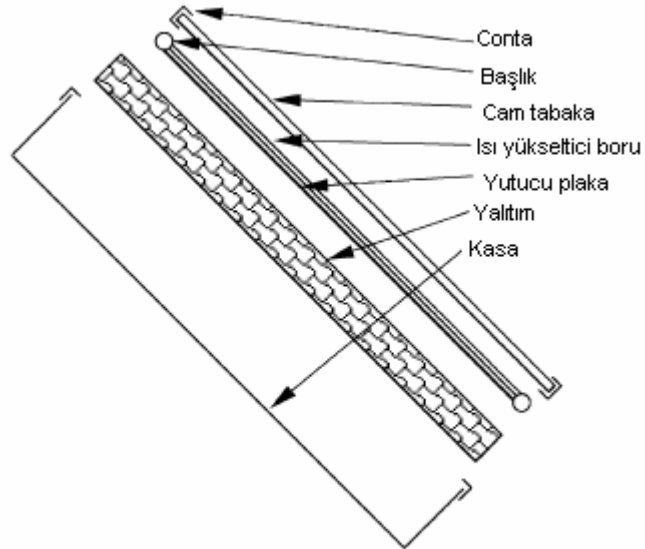
- 1.Düzlemsel güneş kollektörleri
- 2.Parabolik güneş kollektörleri
- 3.Vakumlanmış borulu kollektörler

3.1.1.Düzlemsel Güneş Kollektörleri

Tipik bir düz tabaka güneş kollektörü Şekil (3.1)'de verilmiştir. Güneş radyasyonu bir cam yüzeyden geçer, yüksek yutuculuğa sahip siyah yutucu yüzeye çarpar ve bu enerjinin büyük bir bölümü tabaka tarafından yutulur. Daha sonra akışkan tüpüne, depolanmak ya da kullanılmak amacıyla transfer edilir. Yutucu yüzeyin alt tarafı ve koruyucu bölgenin yan tarafı kondüksiyon kayıplarını azaltmak için yalıtılmıştır. Akışkan tüpleri yutucu yüzeye kaynakla birleştirilebilir ya da yüzeyin gerekli bir bölgesinde olabilir. Geçirgen yüzey, yutucu yüzeyden konveksiyon kayıplarını azaltmak için kullanılmıştır ve yutucu yüzey ile cam yüzey arasındadır. Düzlemsel güneş kollektörleri genellikle sürekli sabit pozisyonundadır ve güneşi izlemez. Bunlar ekvatora doğru direkt olarak, kuzey yarımkürede güneye doğru, güneyde kuzeye doğru yönlendirilirler. Kollektörün optimum eğim açısı uygulamaya az ya da çok bağlı olarak $10-15^{\circ}$ açı değişimleri ile yerin enlemine eşittir [28].



Şekil 3.1. Düz plakalı kollektörün görünüşü.



Şekil 3.2. Düz plakalı kollektörün ayrıntılı görünüşü.

Bir düz tabaka güneş kollektörü Şekil (3.2)'de verilen parçalardan oluşmuştur. Bunlar:

- a.Güneş ışınlamını geçiren ve üstten ısı kaybını önleyen bir veya daha çok sayıdaki saydam örtü
- b.Enerji toplayan yutucu yüzey
- c.İsı taşıyan akışkanın dolaştığı borular
- d.Siyah yüzeyden ve kollektörün çevresinden ısı kayıplarını en aza indiren yalıtım
- e.Toplayıcıyı dış etkilerden koruyan ve yukarıda belirtilen kısımları bir araya getiren kasa

Düzlemsel güneş kollektörleri, çeşitli şekillerde ve çok farklı malzemelerden dizayn edilebilirler. Su, suya katılan antifriz maddesi ya da hava gibi akışkanlar kullanılır. Cam yüzey ve yutucu yüzeyin malzemeleri aşağıda verilmiştir:

3.1.1.1.Cam Yüzey Malzemeleri

Cam yüzeyler, gelen kısa dalga güneş radyasyonunun % 90'ından fazlasını geçirebilirler, yutucu yüzey tarafından neşredilen uzun dalga radyasyonunun neredeyse hiçbirini geçirmezler. Düşük demir içerikli camlar, güneş radyasyonu için yüksek geçirgenliğe sahiptir (yaklaşık 0.85-0.90), fakat güneş ısıtıcı yüzeyler tarafından neşredilen uzun dalga termal radyasyonlarını (5.0-50 μm) geçirmez.

Plastik film ve tabakaların kısa dalga boylu güneş ışınlamalarını geçirmeleri daha yüksektir, fakat bazıları, 0.40 kadar büyük olan uzun dalga boylu ışınlamaları da geçirmektedir. Plastikler camdan daha ucuzdur, kolay şekil verilebilir ve sızdırmazlık sağlanabilir. Buna karşı yüksek sıcaklıklarda deforme olurlar ve morötesi güneş ışınlamına dayanıklı değildirler. Sadece birkaç tipi uzun periyotlar için güneşin ultraviyole radyasyonlarına direnebilirler. Bunlar dolu ya da taşlar tarafından kırılmazlar, esnektirler ve düşük kütleye sahiplerdir. Pencere camları ve sera camlarının normal yutuculuk oranları sırasıyla 0.87 ve 0.85 dir [29]. Teflon ve kapton gibi plastik esaslı saydam malzemeler yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır ama pahalıdır.

Çeşitli prototiplerde yalıtılmış düzlemsel ve parabolik güneş kollektörleri inşa edilmiştir ve bunlar son 10 yılda test edilmiştir [30,31]. Düşük fiyat ve yüksek sıcaklık resistant yalıtım malzemeleri (TI) geliştirilmiştir. TI ile örtülmüş düzlemsel güneş kollektörü prototipi Benz ve diğ. [32] tarafından geliştirilmiştir.

3.1.1.2. Kollektör Yutucu Yüzeyleri

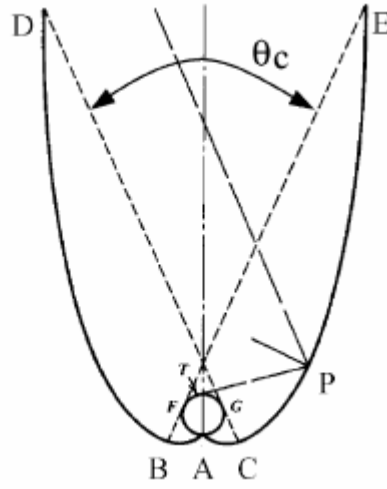
Güneş kollektörlerinin en önemli kısmını yutucu yüzey oluşturmaktadır. Saydam kollektör örtüyü geçerek yutucu yüzeye gelen ışınımın büyük bir kısmı yüzey tarafından yutulur ve geri kalan kısmı yansıtılır. Kısa dalga güneş radyasyonu için kollektör yüzeyinin yutuculuğu, kaplamanın rengine ve olay açısına bağlıdır. Genellikle siyah renk kullanılır. Her nasılsa bazı referanslarda çeşitli renk kaplamaları estetik sebepler için önerilmiştir [33,34].

Uygun elektrolit ya da kimyasal davranışlara göre, yüzeyler, güneş radyasyon yutuculuğunun en yüksek değerleri (α) ve uzun dalga yayılımının en düşük değerleri ile (ε) üretilir. Kollektörün verimi, yutucu yüzey kaplamasına, geometrisine ve yüzey için seçilen malzemenin özelliğine bağlı olarak değişir. Bu yüzey sıvısı, düzlemsel güneş kollektörlerinde, bakır, alüminyum, paslanmaz çelik, sac, plastik...vb. ısı iletkenliği uygun herhangi bir malzemeden imal edilebilir.

Üzerine gelen güneş ışınımını yutarak ısınan levhanın, ısıyı temas halindeki akışkana iyi bir şekilde iletebilmesi için, ısı iletim katsayısı yüksek malzemeler seçilir ve ısı geçişinin daha çabuk ve daha iyi olması için levhalar ince yapılır. Bunun yanında imalat kolaylığı, kolay bulunabilirliği, elde edilebilme imkanları ve fiyatı da göz önüne alınmalıdır.

3.1.2. Parabolik Güneş Kollektörleri

Parabolik güneş kollektörleri görüntü vermeyen toplayıcılardır. Bu tip güneş enerjisi kollektörlerinin potansiyeline Winston tarafından dikkat çekilmiştir [35]. Bunlar yutuculuğu ve yansıtma yeteneği yüksek olan kollektörlerdir. Şekil (3.3)' de bu tip bir kollektör gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, parabolik güneş kollektörünün üst bölümü (BD ve CE) parabolik iken, reflektörün en düşük parçası (AB ve AC) daireseldir. Bunlar kısaltılabilir ve böylece daha ucuz versiyonlarda parabolik güneş kollektörleri elde edilebilir. Bu kollektör, genellikle toz ve diğer malzemelerden korunmak için cam örtü ile örtülmüştür.



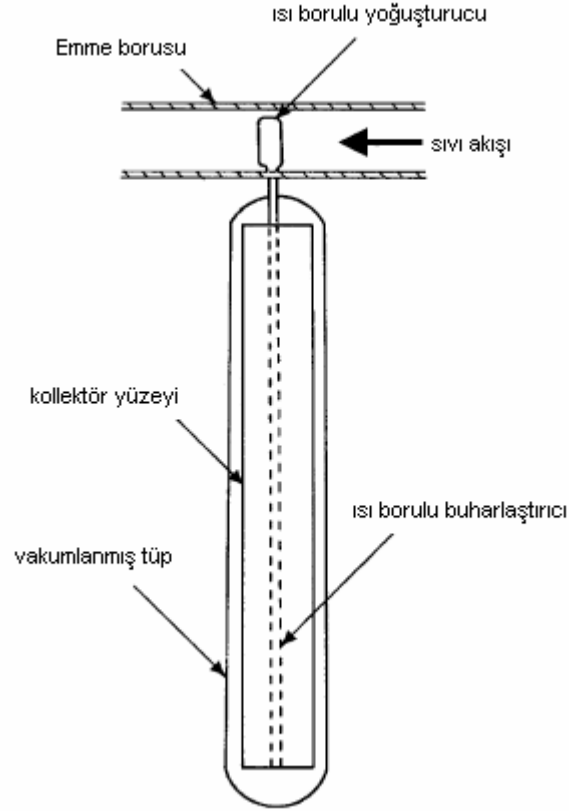
Şekil 3.3.Parabolik kollektörün şematik görünüşü

Parabolik güneş kollektörünün kabul edilen yönlendirme açısı θ_c ' dir. Bu açiya bağlı olarak kollektör sabit ya da güneşi izleyen olabilir. Parabolik güneş kollektörünün ordinatları, ya kuzey-güney ya da doğu-batı doğrultusu boyuncadır ve ekvatora doğru yönelir. Kuzey-güney doğrultusuna yönlendirildiğinde, kollektör devamlı güneş ışını alabilir. Sabit parabolik güneş kollektörleri için, minimum kabul edilen açı 47^0 ye eşittir. Bu açı güneşin eğimini yaz gündönümünden kış gündönümüne dönüştürür (2×23.5^0). Uygulamada büyük açılar düşük odaklaşma oranı harcamalarında kollektörün yayılan ışınlamı toplamasını mümkün kılar.

2 tip parabolik güneş kollektörü dizayn edilmiştir: Simetrik ve asimetrik. Genellikle yutucuların 2 ana tipi kullanılmıştır. Borulu yüzgeç tipleri ve tüp şeklindeki yutuculardır [36,37].

3.1.3. Vakumlanmış Borulu Güneş Kollektörleri

Düz tabaka güneş kollektörleri, güneşli ve sıcak iklimlerde kullanılmak için geliştirilmiştir. Her nasılsa onların faydası, rüzgarlı ve soğuk günlerin aksi durumlarında büyüktür. Vakumlu tip ısı güneş kollektörleri diğerlerinden farklıdır. Bu güneş kollektörleri Şekil (3.4)'de gösterildiği gibi vakumlanmış tüp içindeki, bir ısı borusundan oluşmuştur.



Şekil 3.4. Vakumlanmış bir tüp kolektörünün şematik görünüşü

Kollektör her zaman cam tüp grubundan oluşur. Tüp içinde yapılan vakum işlemi ile konveksiyon ve kondüksiyon yolu ile olabilecek ısı kayıpları azaltılır. Kullanılan camlar vakum nedeniyle oluşan basınç farkına dayanabilecek mukavemettir. Bağlantı borularının tüpe bağlanabilmesi için bir veya iki manifold bulunur.

Vakumlanmış borulu kollektörler göstermiştir ki seçici bir yüzey ve efektif konveksiyon parazit gidericilerinin birleşimi, yüksek sıcaklıklarda iyi bir performansla sonuçlanabilir [29]. Vakum örtü, konveksiyon ve kondüksiyon kayıplarını azaltır, bu yüzden bu kollektörler, düzlemsel güneş kollektörlerinden daha yüksek sıcaklıklarda çalıştırılabilir. Düzlemsel güneş kollektörleri gibi bu kollektörler de hem direk hem de dağınık gelen radyasyonu toplar. Her nasılsa onların verimi ihmal edilebilen düşük açılarında daha yüksektir. Bu etkilerle, gün boyunca olan performansta vakumlanmış borulu kollektörler, düzlemsel kollektörlerden daha avantajlıdır.

Vakumlanmış borulu kollektörlerde sıvı buhar kullanılır. Bu kollektörler bir vakum sızdırmaz tüp içinde, bir ısı borusuna yer verir. Bu boru bakır borudur, siyah yüzeyle kaplanmıştır (yutucu tabaka). Diğer tüpten dışarı çıkarılan ve sızdırmazlık borusu ile

birleştirilen metal kısım kondenserdir. Isı boruları, yoğunlaştırıcı ve buharlaştırıcıya uğrayan akışkanın küçük bir miktarını içerir.

3.2.Odaklanabilen Güneş Kollektörleri

Odaklanabilen güneş kollektörleri, güneş radyasyonunu merkezlendirmeye yararlar. Odaklı kollektörlerin yapıları çoğunlukla iç bükey ayna şeklindedir. Bunun yanında konik ve silindir şeklinde olanları da vardır. Ancak bunların da kesitleri içbükeydir. Bazı özel hallerde merkezlendirme için merceklerden yararlanılırsa da geniş çapta uygulamalar için düşünülemez. Değişik bir düzenleme tarzı olan düz plakalı yansıtıcılardan yararlanılarak da, odaklı kollektörler yapılabilir. Güneş radyasyonunun geniş bir kısmı çok küçük bir bölge üzerine yoğunlaştırılarak sıcaklık artırılabilir. Bu, radyasyon kaynakları ve enerji yutucu yüzeyi arasına koyulan bir optik alet tarafından yapılabilir.

Odaklı güneş kollektörlerinin avantajları, düz tabaka güneş kollektörü ile karşılaştırılabilir [38]. En önemlilerinden bazıları:

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

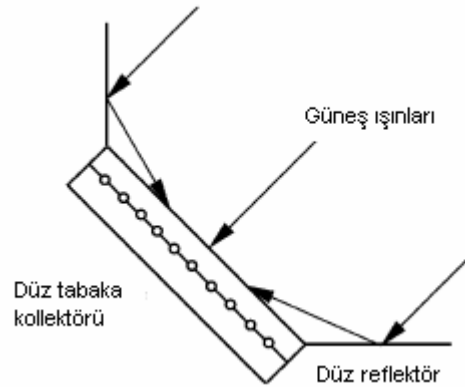
Odaklı güneş kollektörlerinin dezavantajları:

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

Çoğu dizaynlar, odaklanabilen kollektörler için düşünülmüştür. Yoğunlaştırıcılar, ışığı yansıtıcı ya da ışığı kırıcı, silindirik ya da parabolik, bütün ya da parçalara ayrılmış olabilir. Toplayıcılar konveks, düz, silindirik ya da konkav olabilir ve camla örtülmüş ya da örtüsü açık olabilir.

Geleneksel odaklanabilen kollektörler güneşin günlük hareketini takip etmelidir. Güneşin hareketini kolayca izlemek için 2 metot vardır: Birincisi altazimut metodudur ki bu metot, hem denizden yükseklikte hem de eğik düzlemin güneyle yaptığı açıda güneşi izleyen bir aygıtla yapılır. Paraboloid güneş kollektörleri genellikle bu sistem için yapılır. İkinci metot tek eksende güneşi izleme metodudur. Bu kollektörler, tek doğrultuda ya doğu-batı, ya da kuzey-güney doğrultusunda güneşi izlerler. Parabolik çanak tipi kollektörler genellikle bu sistemde kullanılır. Bu sistemler devamlıdır ve bütün halindedir.

Odaklanabilen 1. tip güneş kollektörünün şematik görünüşü, Şekil (3.5)' de gösterilmiştir. Düz tabaka kollektörü, düz reflektörlerle donatılmıştır ve güneş radyasyonu direk olarak kollektöre ulaşır. Aradaki boşluk yutucu yüzeyden daha büyüktür fakat sistem sabittir. Bu sistemin ayrıntılı analizi Ref [39]'da açıklanmıştır. Düzlemsel güneş kollektörleri daha önce 1966'da Tabor tarafından önerilmiştir. Bu konu ile ilgili diğer önemli çalışmalar Seitel [40] ve Perers ve diğ. [41] tarafından tanıtılmıştır.



Şekil 3.5. Odaklanabilen güneş kollektörünün şematik görünüşü

Kollektörlerin diğer bir tipi de sabit kollektörlerden parabolik olanlarıdır. Bunlar odaklayıcı kollektör gibi de sınıflandırılabilir ve sabit ya da güneşi izleyen kollektörler olabilir. Güneşi izledikleri zaman çok kaba ya da aralıklıdır. Odaklama oranı genellikle küçüktür ve radyasyon parabolik yüzey üzerindeki yansılardan daha sakın ve yoğun olabilir.

Odaklı kollektörlerin bir dezavantajı görülmüştür ki, düşük yoğunlaştırma oranlarında, onlar sadece güneş radyasyonunun direk bileşenlerini kullanırlar. Çünkü yayılan bileşenler, çoğu tipler tarafından yoğunlaştırılmazlar. Odaklayıcı kollektörlerin bir avantajı yazın, güneş doğu-batı çizgisinin kuzeyinden yükseldiğinde kuzey-güney ordinatlarında güneşten direk olarak radyasyon almasıdır. Düz tabakanın güney yüzeyi, yayılan diğer radyasyonların hiçbirini

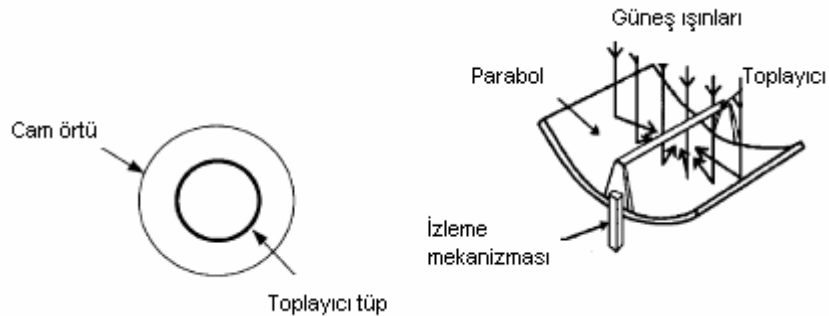
toplayamaz. Böylece odaklayıcı kollektörler, düzlemsel kollektörlerden daha fazla radyasyon toplayabilir.

Bu kategorideki kollektörler:

- 1.Parabolik çanak kollektörler
- 2.Lineer Fresnel reflektör
- 3.Parabolik çukur toplayıcı
- 4.Merkezi alıcı

3.2.1.Parabolik Çanak Kollektör

İyi verimli yüksek sıcaklıklar elde etmek için, yüksek performanslı bir güneş kollektörü gereklidir. Aydınlatma yapıları sistemler ve 400 C^0 ye kadar olan uygulamalar için düşük fiyat teknolojileri, parabolik kollektörler ile elde edilebilir. Bu kollektörler 50 ve 400 C^0 arasındaki sıcaklıklarda ısı üretebilir ve parabolik yüzeyin, reflektör malzemesinin bükülmesiyle yapılmıştır. Şekil (3.6)'da görüldüğü gibi bir metal siyah tüp, ısı kayıplarını azaltan cam tüplü bir örtü, toplayıcının merkezi boyunca yerleştirilmiştir. Parabol güneşe doğru odaklandığında, reflektöre gelen paralel ışınlar toplayıcı tüpe geçer. Güneş tek eksenli yönde izlenir ve böylece uzun bir kollektör modülü üretilmiş olur. Kollektör doğu-batı doğrultusunda olduğunda, güneş kuzeyden güneye izlenir ya da kuzey-güney doğrultusunda güneş doğudan batıya izlenir. Güneşi izleme modunun avantajı, gün içinde çok küçük kollektör ayarlarının gerektirilmesi ve öğlen vakitlerinde güneş daima boşluğu doldurur, fakat kollektör performansı, günün erken ve geç saatlerinde geniş ihmal edilecek kadar düşük açılardan dolayı azalır (kosinüs kayıpları). Kuzey-güney yönlendirmelerinde öğlen vakti en yüksek kosinüs kayıplarına sahiptir ve güneş tam doğuda ya da tam batıda iken sabahları ve akşamları en düşüktür.



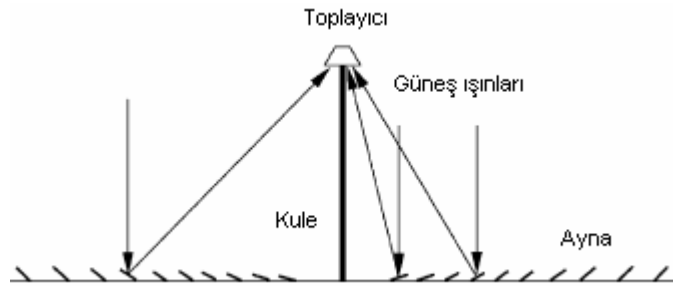
Şekil 3.6. Parabolik çanak kollektörün şematik görünüşü

Bir yılın üzerindeki periyotlara bakıldığında, yatay bir kuzey-güney alanı genellikle, yatay doğu-batı alanından biraz daha fazla enerji toplar. Kuzey-güney alanı yazın pek çok enerji toplar, kışın daha az toplar. Doğü-batı alanı kışın kuzey-güney alanından daha fazla enerji toplar ve yazın daha az toplar. Burada yönlendirmelerin seçimi genellikle uygulamalara bağlıdır ve yazın ya da kışın daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulur [42].

Parabolik çanak kolektörleri, güneş termal elektrik üretimi ya da ısı uygulamalar için 400 C⁰ ye kadar olan sıcaklıklarda oluşturulur. Bu tip sistemlerin en büyük uygulamaları, güneş elektrik üretim sistemleri olarak bilinen Güney Kaliforniya güç fabrikalarıdır (SEGS) ki bunların toplam kurulu kapasiteleri 354 MW_e dir [43]. Parabolik çanak kolektörlerinin toplam kurulu kapasitesi 1.2 MW a eşittir [44]. Parabolik kısmın toplayıcısı lineerdir.

3.2.2. Lineer Fresnel Reflektör

Bir lineer fresnel reflektör kolektörünün parçalarının şekli Şekil (3.7)' de gösterilmiştir. Sistemin bu tipinin en büyük avantajı düz ya da elastik kavisli bir reflektör olarak kullanılmasıdır. Parabolik cam reflektörlerle kıyaslandığında daha ucuzdur. Zemine monte edilir, böylece minimum malzemeye ihtiyaç duyulur.



Şekil 3.7. Lineer Fresnel Reflektör kolektörünün şematik görünüşü

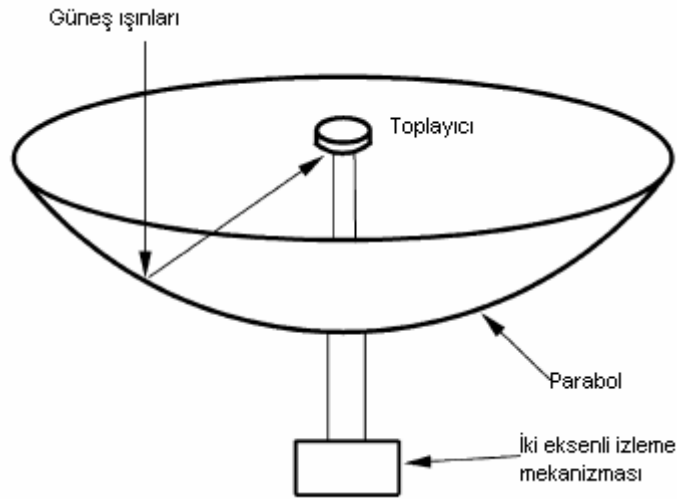
Bu prensibin ilk uygulaması, en büyük güneş öncüsü Giorgio Francia [46] tarafından yapılmıştır ki o, hem lineer hem de 2 eksenli güneşi izleyen Fresnel reflektör sistemini geliştirmiştir (Genoa'da, 60 yıllarında İtalya'da).

1979'da FMC kuruluşu, 10 ve 100 MW_e lineer fresnel güç fabrikasına detaylı bir proje üretmiştir. En büyük fabrika 1.68 km lik lineer çukur yutucu yüzeyi, 61 m kule üzerine monte etmişlerdir. Yalnız bu proje uygulamaya koyulmamıştır [47].

Daha sonra güneşi izleyen lineer fresnel reflektörü, Feuermann ve Gordon tarafından 90. yılların başında İsrail Paz şirketi tarafından yapılmıştır [48]. Klasik lineer fresnel reflektör sistemleri sadece bir toplayıcıya sahiptir.

3.2.3. Parabolik Çukur Toplayıcılar

Bir parabolik çukur toplayıcısının şekli, Şekil (3.8)' de gösterilmiştir. Bir noktada odaklanan kollektör 2 eksende güneşi izleyebilir. Yüzeyin merkez noktasındaki bir toplayıcısının üzerine yoğunlaşmış şekilde güneş enerjisi gelir. Parabolik çukur sistemleri 1500 C⁰ nin üzerindeki sıcaklıklara ulaşabilir. Çünkü toplayıcı, güneş ışınlarını kollektör alanının her tarafına dağıtır.



Şekil 3.8. Parabolik çukur toplayıcısının şematik görünüşü

Bu kollektörlerin birkaç önemli avantajı vardır:

1.Daima güneşe odaklandıklarından, bütün kollektör sistemlerinden daha fazla verime sahiptirler.

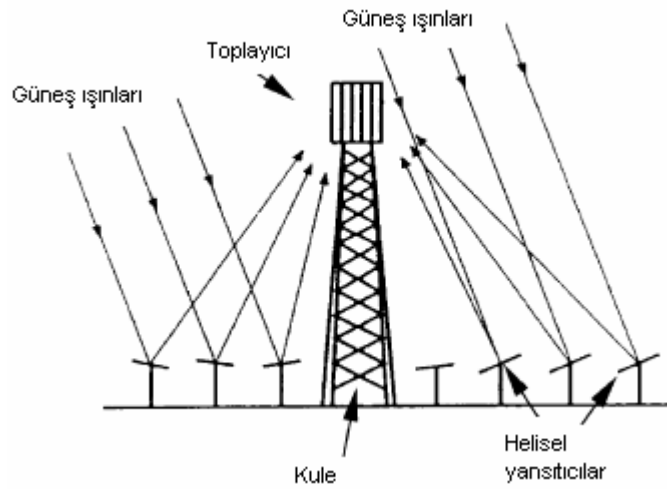
2.Onların yoğunlaştırıcı oranı 600-2000 arasındadır. Böylece yüksek verimli termal enerji ve güç değişim sistemleridir.

3.Parabolik çukur toplayıcılar ya bağımsız fonksiyon ya da tüm toplayıcı sisteminin bir parçası şeklinde modüler kollektör ve alıcı ünitelerine sahiptirler.

Odaklı kollektörlerin bu tipi, parabolik çanak makineleri için kullanılır. Bir parabolik çanak makine sistemi elektrik jeneratörüdür ki bunlarda benzin ve kömür yerine güneş ışığı kullanılır.

3.2.4. Helisel Alan Kollektörleri

Bu tip bir kollektör Şekil (3.9)' da gösterilmiştir. Düz ya da helisel olarak monte edilen aynalara, güneş ışınları belli bir açı ile direk olarak gelir ve toplayıcıya iletilir. Bu kollektörler helisel alan ya da merkezi toplayıcı kollektörler olarak adlandırılır. Helisel kısım üzerindeki küçük konkav bir ayna kullanılarak, termal enerjinin büyük bir kısmı, yüksek sıcaklık ve basınçta güce dönüştürülebilir. Toplayıcı tarafından yutulan yoğunlaşmış ısı enerjisi akışkana transfer edilir ve güç elde edilir.



Şekil 3.9. Merkezi toplayıcı sistemin şematik görünüşü

Merkezi yoğunlaştırıcılar birkaç avantaja sahiptir:

1. Bunlar güneş enerjisini toplayıp bir tek toplayıcıya gönderirler, böylece minimum termal enerji gerektirirler.
2. Odaklayıcı oranları 300-1500' e ulaşır ve böylece hem toplanan enerjide hem de elektriğe dönüşen enerjide yüksek verim elde edilir.
3. Bu kollektörler termal enerjiyi depolamaya uygundur.
4. Tamamen büyüktürler (genel olarak 10 MW dan daha fazla), bu yüzden ekonomik aralıktan dolayı faydalıdır.

Yoğunlaşmış güneş ışığı, toplayıcıların üzerine gelir. Yutulan güneş ışığı enerji olarak akışkana transfer edilir. Isı transport sistemi boru, pompa ve valflerden oluşmuştur. Güneş ışığı, toplayıcı, depo ve güç dönüşüm sistemleri arasındaki bir kapalı bölgede akışkana direk olarak transfer edilir. Termal depolama sistemleri enerjiyi toplar ve sezilebilen ısıyı daha sonra güç dönüşüm sistemlerine iletir. Depolama sistemleri güneş enerjisinin toplamını elektriğe dönüştürür. Güç dönüşüm sistemleri buhar jeneratörü ve türbin jeneratöründen oluşmuştur.

Toplayıcıya çarpan ortalama güneş değışimi 200-1000 kw/m² arasındaki bir değere sahiptir. Bu değışim 1500 C⁰ den daha fazla sıcaklıklarda çalışma imkanı sağlar ve yüksek verimde termal enerji elde edilir.

4. KOLLEKTÖRLERİN TERMAL ANALİZİ

Kollektör yüzeyine gelen güneş ışınımının bir kısmı saydam örtüden yansır, bir kısmı yutulur ve geri kalan kısmı yutucu yüzeye ulaşır. Yutucu yüzeye gelen ışınımın bir kısmı taşıyıcı akışkana geçerken, bir kısmı çevreye kaybolmaktadır.

Kollektörde meydana gelen ısı kayıpları çok sayıda değişkene bağlıdır. Güneş ışınımı şiddeti, çevre sıcaklığı, rüzgar hızı, kollektörün konstrüksiyonu, saydam örtü özellikleri, yutucu yüzeyin ısıtım, yutma, yayma değeri, ısı iletim katsayısı, kalınlığı, yalıtım malzemesinin cinsi ve kalınlığı bu değişkenlerden bazılarıdır. Tüm değişkenler göz önünde tutularak kollektörün ısı analizi yapılmalıdır.

4.1.Düz Tabaka Kollektörlerinin Performansı

Sabit durumlar altında, bir güneş kollektörü tarafından dağıtılan faydalı ısı, ısı transfer akışkanı tarafından yutulan enerjiye eşittir. Bu kollektörden toplanan faydalı enerji aşağıdaki formülle elde edilir.

$$q_u = A_c [G_t \tau \alpha - U_L (T_p - T_a)] = mc_p [T_o - T_i] \quad (4.1)$$

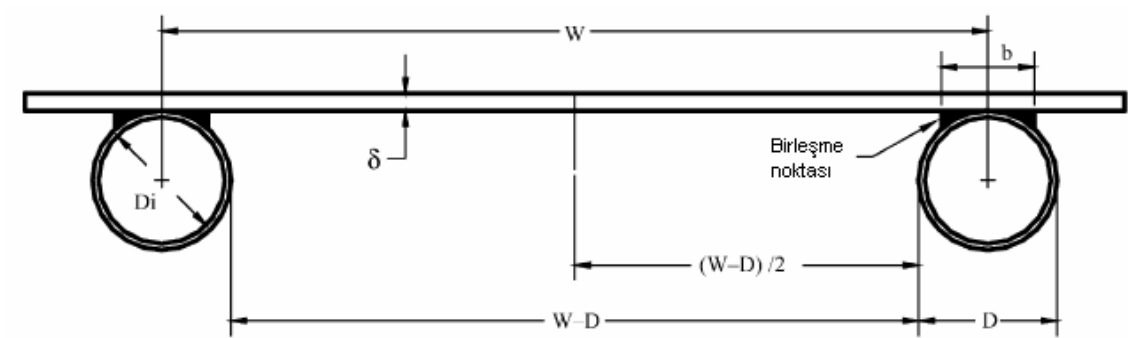
Burada T_i akışkan giriş sıcaklığı, T_p ortalama yüzey sıcaklığıdır. Eğer ısı kazanç faktörü denklem içine alınırsa denklem:

$$q_u = A_c F_R [G_t (\tau \alpha) - U_L (T_i - T_a)] \quad (4.2)$$

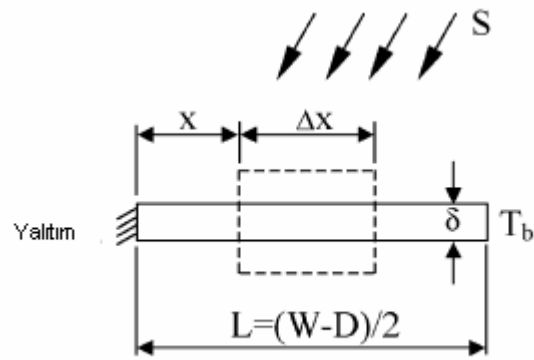
olur. Burada F_R ısı kazanç faktörüdür. Kollektör ısı kazanç faktörü, kollektör tarafından toplanan faydalı enerjinin, yutucu yüzeyin her yerinin akışkan giriş sıcaklığında olması durumundaki toplayacağı enerjiye oranı olarak tanımlanır. F_R , Ref [49]'den elde edilebilir.

$$F_R = \frac{mc_p}{A_c U_L} (1 - \exp[-\frac{U_L F' A_c}{mc_p}]) \quad (4.3)$$

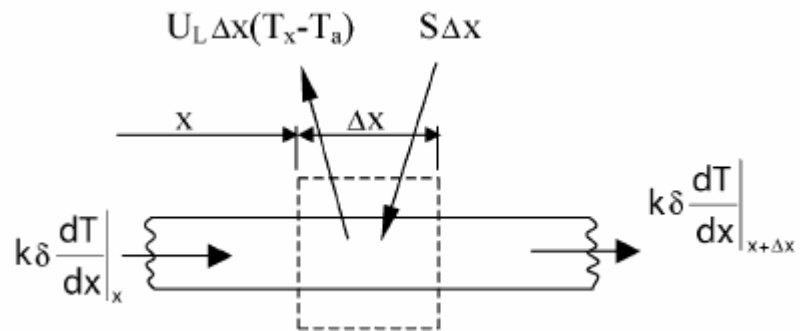
Burada F' kollektör verim faktörüdür. Şekil (4.1)' de bir tabaka tüpünün şekli gösterilmiştir. Burada tüpler arasındaki uzaklık W , tüp çapı D ve levha kalınlığı δ 'dır. Levha genellikle bakır ya da alüminyumdan yapılmıştır. Şekil (4.1.b)' da gösterilen bir kanadın uzunluğu $L=(W-D)/2$ dir. Şekil (4.1.c)' de ise genişliği Δx olan bir boru element gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Fiziksel Model, a) Düz tabaka kanat ve boru geometrisi



b) Kanat elemanı için enerji dengesi



c) Boru elemanı için enerji dengesi

Bu eleman için enerji dengesi:

$$S\Delta x - U_L \Delta x (T - T_a) + \left(-k\delta \frac{dT}{dx} \right) \Big|_x - \left(-k\delta \frac{dT}{dx} \right) \Big|_{x+\Delta x} = 0 \quad (4.4)$$

Burada S yutulan güneş enerjisidir. Limit Δx sıfıra yaklaşırsa:

$$\frac{d^2 T}{dx^2} = \frac{U_L}{k\delta} \left(T - T_a - \frac{S}{U_L} \right) \quad (4.5)$$

Bu diferansiyel denklemin çözümü için 2 sınır şartı gerekir:

$$\frac{dT}{dx} \Big|_{x=0} = 0 \quad \text{ve} \quad T \Big|_{x=L} = T_b$$

dir ve uygunluk için iki değişken tanımlanmıştır:

$$m = \sqrt{\frac{U_L}{k\delta}} \quad (4.6)$$

$$\theta = T - T_a - \frac{S}{U_L} \quad (4.7)$$

Bu durumda denklem (4.5) aşağıdaki gibi olur:

$$\frac{d^2 \theta}{dx^2} - m^2 \theta = 0 \quad (4.8)$$

Bu denklem için sınır şartları:

$$\frac{d\theta}{dx} \Big|_{x=0} = 0 \quad \text{ve} \quad \theta \Big|_{x=L} = T_b - T_a - \frac{S}{U_L}$$

şeklindedir. Bu durumda denklemin genel çözümü:

$$\theta = C_1' e^{mx} + C_2' e^{-mx} = C_1 \sinh(mx) + C_2 \cosh(mx) \quad (4.9)$$

1. sınır şartından $C_1 = 0$ ve 2. sınır şartından

$$\theta = T_b - T_a - \frac{S}{U_L} = C_2 \cosh(mL)$$

ya da $C_2 = \frac{T_b - T_a - \frac{S}{U_L}}{\cosh(mL)}$ verir. Elde edilen C_1 ve C_2 ile denklem (4.9)

aşağıdaki gibi olur:

$$\frac{T - T_a - \frac{S}{U_L}}{T_b - T_a - \frac{S}{U_L}} = \frac{\cosh(mx)}{\cosh(mL)} \quad (4.10)$$

Bu denklem herhangi bir y değeri için x doğrultusundaki sıcaklık dağılımını verir. Akış doğrultusundaki birim tüp için enerji davranışı kanatta Fourier Kanunu ile değerlendirilebilir.

$$q'_{knt} = -k\delta \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=L} = \frac{k\delta m}{U_L} [S - U_L (T_b - T_a)] \tanh(mL) \quad (4.11)$$

Fakat $\frac{k\delta m}{U_L}$, $\frac{1}{m}$ ye eşittir. Denklem (4.11) borunun yalnızca bir kenarında

toplanan enerjiyi hesaplar. Her iki tarafında toplanan enerji:

$$q'_{knt} = (W - D) [S - U_L (T_b - T_a)] \frac{\tanh[m(W - D)/2]}{m(W - D)/2} \quad (4.12)$$

ya da kanat verimi yardımıyla:

$$q'_{knt} = (W - D) F [S - U_L (T_b - T_a)] \quad (4.13)$$

Denklem (4.13) deki F faktörü, dikdörtgen biçimli düz kanatlar için standart kanat verimidir.

$$F = \frac{\tanh[m(W - D)/2]}{m(W - D)/2} \quad (4.14)$$

şeklindedir. Boru bölgesi üzerindeki enerji toplamı :

$$q'_{\text{boru}} = D[S - U_L (T_b - T_a)] \quad (4.15)$$

ile verilir. Sıvı akışkan doğrultusundaki birim uzunluk için faydalı enerji dengesi:

$$q'_u = q'_{\text{knt}} + q'_{\text{boru}} = [(W - D)F + D][S - U_L (T_b - T_a)] \quad (4.16)$$

Bu enerji sonuçta akışkana transfer edilmelidir ki bu aşağıda dirençler cinsinden şu şekilde ifade edilir:

$$q'_u = \frac{T_b - T_f}{\frac{1}{h_{fi} \pi D_i} + \frac{1}{C_b}} \quad (4.17)$$

Denklem (4.17) deki C_b birleşme noktası iletimi, ısıl iletkenlik katsayısı k_b , ortalama birleşme noktası kalınlığı γ ve birleşme noktası genişliği b ise bu durumda birim uzunluk için birleşme noktası iletimi aşağıdaki gibi verilebilir.

$$C_b = \frac{k_b b}{\gamma} \quad (4.18)$$

C_b , kollektör performanslarının anlatımı için çok önemlidir ve genellikle metal-metal birleşiminde gereklidir. Şöyle ki birleşme noktası iletimi 30 W/mK' den daha büyüktür ve kanatlar boruya muntazam kaynak edilmelidir.

$$q'_u = WF'[S - U_L (T_f - T_a)] \quad (4.19)$$

Burada kollektör verim faktörü F' aşağıdaki gibi alınır.

$$F' = \frac{1/U_L}{W \left[\frac{1}{U_L [D + (W - D)F]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D_i h_{fi}} \right]} \quad (4.20)$$

F' nün fiziksel açıklaması, gerçek faydalı enerji artışının, faydalı enerji artışına oranı olarak verilebilir. Bu sonuçlar, kollektör yutucu yüzeyi, yerel akışkan sıcaklığında ise olur.

Denklem (4.20)' nin anlamı akışkandan ortam havasına ısı transferi direncidir. Bu direnç $\frac{1}{U_0}$

ile de gösterilebilir. Bu durumda F' nün diğer bir tanımı:

$$F' = \frac{U_0}{U_L} r \quad (4.21)$$

dir. Kollektör verim faktörü, herhangi bir kollektör dizaynı ve sıvı akışkan oranları için temel bir sabit faktördür. U_L nin C_b ye oranı, U_L nin h_{fi} ye oranı ve kanat verimi F , sadece denklem (4.20)' de görülebilir ve sıcaklığın fonksiyonu olabilir. F' faktörü U_L nin ve h_{fi} nin bir fonksiyonudur.

$$U_L = U_t + U_b + U_c \quad (4.22)$$

Bu, yutucu yüzeyden çevre havasına ısı transfer direncidir. Toplam ısı kayıp katsayısı denklem (4.22)'de [50] tarafından verilmiştir.

$$U_L = \frac{1}{N_g} + \frac{\sigma(T_{av}^2 + T_a^2)(T_{av} + T_a)}{\frac{1}{\varepsilon_p + 0.05N_g(1 - \varepsilon_p)} + \frac{2N_g + f - 1}{\varepsilon_g} - N_g} \quad (4.23)$$

$$\frac{C}{T_b} \left[\frac{T_{av} - T_a}{N_g + f} \right]^{0.33} + \frac{1}{h_w}$$

Burada

$$h_w = 5.7 + 3.8W \quad (4.24)$$

$$f = (1 - 0.04h_w + 0.0005h_w^2)(1 + 0.091N_g) \quad (4.25)$$

$$C = 365.9(1 - 0.00883\beta + 0.0001298\beta^2) \quad (4.26)$$

ve T_p kollektör sabit sıcaklığıdır. Akış oranı sıfıra eşit olduğu zaman yutucu tabaka sıcaklığı :

$$T_p = \frac{G_t(\tau\alpha)}{U_L} + T_a \quad (4.27)$$

şeklindedir. Yapılan kollektörlerde iyi bir yalıtım yapılırsa, kollektörlerin alt ve yan tarafları için denklem (4.22)' deki kayıp katsayısı U_b ve U_c sabittir. Toplam yutma-geçirme çarpanı $(\tau\alpha)$ aşağıdaki gibidir:

$$(\tau\alpha) = \frac{I_{bT}(\tau\alpha)_b + I_d \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) (\tau\alpha)_s + \rho I \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) (\tau\alpha)_g}{I} \quad (4.28)$$

Sonuçta kollektör verimi, q_u yu $(G_t A_c)$ ye bölerek elde edilir.

$$n = F_R \left[\tau\alpha - \frac{U_L (T_i - T_a)}{G_t} \right] \quad (4.29)$$

İhmal edilebilen açılar 35° nin altındadırlar, α nın τ katı temelde sabittir ve denklem (4.2) ile (4.29), U_L sabit kaldığı sürece $(T_i - T_a)/G_t$ parametresine göre lineerdir.

4.2.Odaklayıcı Kollektörlerin Termal Analizi

Odaklayıcı güneş kollektörlerinin termal analizi, genellikle düzlemsel güneş kollektörlerinininkine benzer. Isı kazanç faktörü F_R , kayıp katsayısı U_L ve kollektör verim faktörü F' dür. Bir odaklayıcı kollektörün anlık verimi, toplayıcının enerji dengesinden hesaplanabilir. Denklem (4.1) odaklayıcı kollektör için uygulanırsa, odaklayıcıdan elde edilen faydalı enerji:

$$q_u = G_b n_0 A_a - A_r U_L (T_r - T_a) \quad (4.30)$$

dir. Birim kollektör uzunluğu için faydalı enerji artışı, yerel toplayıcı sıcaklığı T_r de belirtilebilir:

$$q'_u = \frac{q_u}{L} = \frac{A_a n_0 G_b}{L} - \frac{A_r U_L}{L} (T_r - T_a) \quad (4.31)$$

Yerel akışkan sıcaklığı T_r de akışkana enerji transferi:

$$q'_u = \frac{\left(\frac{A_r}{L}\right)(T_r - T_f)}{\frac{D_0}{h_{fi}D_i} + \left(\frac{D_0}{2k} \ln \frac{D_0}{D_i}\right)} \quad (4.32)$$

Eğer T_r , denklem (4.31) ve (4.32)' den elenirse:

$$q'_u = F' \frac{A_a}{L} \left[n_0 G_b - \frac{U_L}{C} (T_f - T_a) \right] \quad (4.33)$$

Burada F' kollektör verim faktörüdür.

$$F' = \frac{1/U_L}{\frac{1}{U_L} + \frac{D_0}{h_{fi}D_i} + \left(\frac{D_0}{2k} + \ln \frac{D_0}{D_i}\right)} \quad (4.34)$$

Düzlemsel güneş kolektörlerine benzer şekilde ısı kazanç faktörü kullanılarak, denklem (4.30) aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$q_u = F_R [G_b n_0 A_a - A_r U_L (T_i - T_a)] \quad (4.35)$$

Kollektör verimi, q_u 'nun, $(G_b A_a)$ 'ya bölünmesiyle elde edilir.

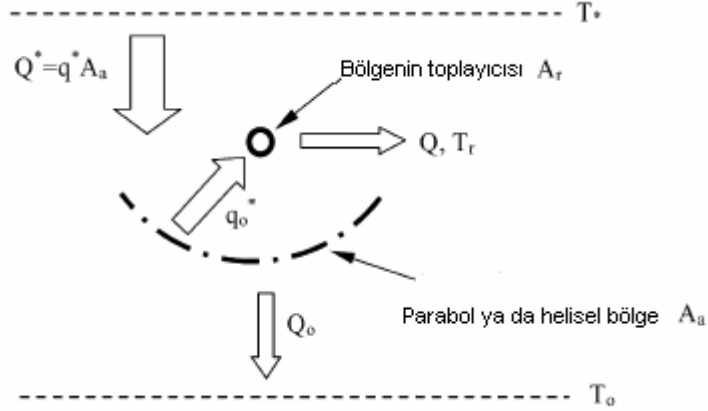
$$n = F_R \left[n_0 - U_L \left(\frac{T_i - T_a}{G_b C} \right) \right] \quad (4.36)$$

Burada C odaklayıcı oranıdır $[C = A_a / A_r]$.

4.3.İkinci Kanun Analizi

Bu analiz, Bejan'ın çalışmaları esas alınarak yapılmıştır [51,52]. Analiz kollektör düşünülerek hazırlanmıştır. Entropi üretimi, yüksek sıcaklıklı sistemlerde çok fazla önemlidir. Düşünülmüştür ki kollektör bir boş bölgeye (A_a) sahiptir ve Şekil (4.2)' de gösterildiği gibi

güneşten Q^* oranında güneş radyasyonu alır. Net güneş ısı transferi Q^* , kollektör alanı A_a ile orantılıdır ve orantılı faktörü $q^*(W/m^2)$ dünyanın coğrafik pozisyonları ile kollektörün yönlendirilmesi ile meteorolojik durumlar ve günün değişik zamanlarında değişir. Bu analizde q^* sabit farz edilmiştir ve sistem de sabit durumdadır.



Şekil 4.2. Odaklayıcı kollektör modeli

$$Q^* = q^* A_a \quad (4.37)$$

Odaklayıcı sistemler için q^* reflektör üzerindeki güneş enerjisi düşüşüdür. Mekanizmayı izleyen kollektör toplayıcısı üzerindeki enerji düşüşü, optik hatalar ve toplayıcı camın optik özellikleri düşünülmüştür. Bu nedenle, toplayıcı üzerindeki radyasyon düşüşü q_o^* optik verimin bir fonksiyonudur. Odaklayıcı kollektörler için toplayıcı üzerindeki radyasyon düşüşü:

$$q_o^* = n_o q^* = \frac{n_o Q^*}{A_a} \quad (4.38)$$

Toplayıcı sıcaklığı T_r de ısı transferi Q dur. Kollektörden çevreye ısı kaybı Q_0 ile gösterilir.

$$Q_0 = Q^* - Q \quad (4.39)$$

Odaklayıcı kollektörler için Q_0 , toplayıcı çevre sıcaklığı ve toplayıcı alanı ile orantılıdır.

$$Q_0 = U_r A_r (T_r - T_0) \quad (4.40)$$

Burada U_r , A_r üzerindeki toplam ısı transfer katsayısıdır. U_r , kollektörün bir karakteristik sabitidir. Denklem (4.39) ve (4.40) birleştirildiğinde maximum toplayıcı sıcaklığı meydana gelir ($Q=0$ iken).

$$\theta_{\max} = \frac{T_{r,\max}}{T_0} = 1 + \frac{Q^*}{U_r A_r T_0} \quad (4.41)$$

Denklem (4.38) ve (4.41) in birleşimiyle:

$$\theta_{\max} = 1 + \frac{q^*_0 A_a}{n_0 U_r A_r T_0} \quad (4.42)$$

$$C = \frac{A_a}{A_r} \text{ düşünüldüğünde,}$$

$$\theta_{\max} = 1 + \frac{q^*_0 C}{n_0 U_r T_0} \quad (4.43)$$

elde edilir. Denklem (4.43) den görüldüğü gibi $\theta_{\max}$, C ile orantılıdır. Kollektörün en yüksek odaklayıcı oranı $\theta_{\max}$ ve $T_{r,\max}$ dır. $T_{r,\max}$ terimi, kollektörün durgun sıcaklığı olarak bilinir. Kollektör sıcaklığı $\theta = T_r / T_0$, 1 ve $\theta_{\max}$ arasında değişir ısı dağıtım oranı Q ya bağlıdır. Kollektör verimi:

$$\eta_c = \frac{Q}{Q^*} = 1 - \frac{\theta - 1}{\theta_{\max} - 1} \quad (4.44)$$

η_c , kollektör sıcaklığının lineer bir fonksiyonudur. Durgun noktadaki ısı transferi Q , üretilen faydalı çalışmalar için sıfır ekserji ya da sıfır potansiyel içerir.

5. GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN PERFORMANSI

5.1.Kollektör Termal Verimi

Denklem (4.2) ve (4.42) deki ısı kayıp katsayısı U_L gerçekte sabit değildir, fakat kollektör giriş ve çıkış sıcaklıklarının bir fonksiyonudur. Bu durumda :

$$F_R U_L = c_1 + c_2 (T_i - T_a) \quad (5.1)$$

yazılabilir. Denklem (4.2) ve (4.42) ye denklem (5.1) uygulanarak düzlemsel güneş kollektörleri için;

$$q_u = A_a F_R [\tau \alpha G_t - c_1 (T_i - T_a) - c_2 (T_i - T_a)^2] \quad (5.2)$$

ve odaklayıcı kollektör için:

$$q_u = F_R [G_b n_0 A_a - A_r c_1 (T_i - T_a) - A_r c_2 (T_i - T_a)^2] \quad (5.3)$$

yazılabilir. Düzlemsel güneş kollektörleri için verim aşağıdaki gibidir:

$$n = F_R \tau \alpha - c_1 \frac{(T_i - T_a)}{G_t} - c_2 \frac{(T_i - T_a)^2}{G_t} \quad (5.4)$$

ve eğer biz $c_0 = F_R \tau \alpha$ ve $x = (T_i - T_a)/G_t$ alırsak,

$$n = c_0 - c_1 x - c_2 G_t x^2 \quad (5.5)$$

elde ederiz . Odaklayıcı kollektörler için verim aşağıdaki gibidir:

$$n = F_R n_0 - \frac{c_1 (T_i - T_a)}{C G_b} - \frac{c_2 (T_i - T_a)^2}{C G_b} \quad (5.6)$$

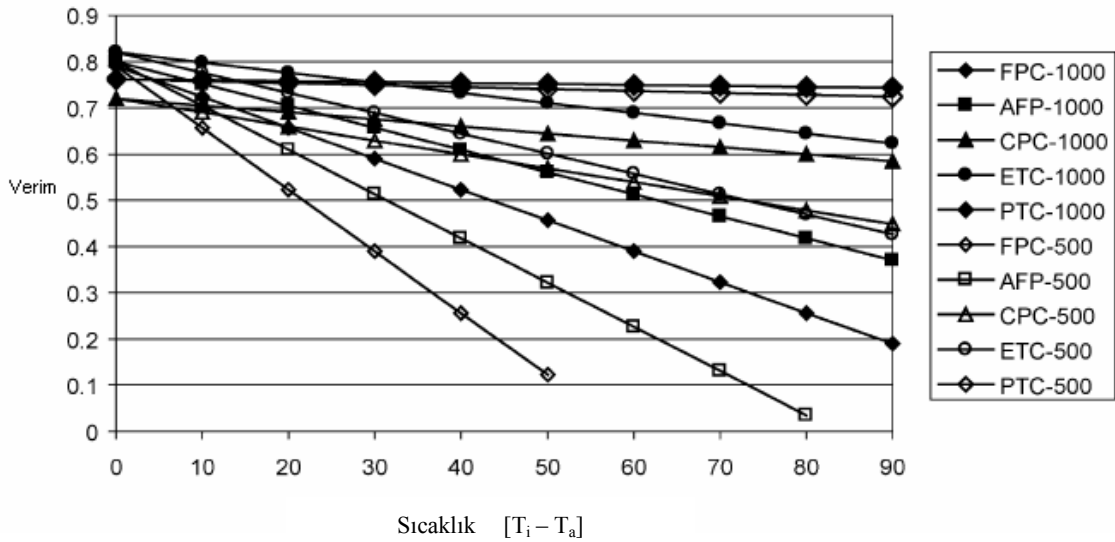
ve eğer biz $k_0 = F_R n_0$, $k_1 = c_1 / C$, $k_2 = c_2 / C$ ve $y = (T_i - T_a)/G_b$ alırsak:

$$n = k_0 - k_1 y - k_2 G_b y^2 \quad (5.7)$$

elde ederiz. Genellikle $c_2 = 0$ ve $k_2 = 0$ durumlarında 2. terimler ihmal edilebilir. Denklem (5.4) ve (5.6) de geçen düzlemsel güneş kolektörlerinin durumları için $(T_i - T_a)/G_t$ ve odaklayıcı kolektörlerin durumları için $(T_i - T_a)/G_b$ ısı kayıp parametrelerine karşın verimin değerleri Şekil (5.1)' de düz bir çizgi olarak gösterilmiştir. Kesici, düzlemsel güneş kolektörleri için $F_R \tau \alpha$ ya, odaklayıcılardan biri için $F_R n_0$ ' a eşittir.

Düşey eksenli çizgilerin kesiştiği yerde, kolektöre giren akışkan sıcaklığı çevre sıcaklığına eşittir ve kolektör sıcaklığı maksimumdur. Yatay eksenli çizgilerin kesiştiği yerde kolektör verimi sıfırdır. 500 ve 1000 W/m² lik ışınlama yüzeylerinde çeşitli kolektörlerin verimlerinin bir kıyaslaması Şekil (5.1)' de gösterilmiştir. Burada 5 örnek kolektör tipi düşünülmüştür:

- .Düz tabaka kolektörleri (FPC)
- .Gelişmiş düz tabaka kolektörleri (AFP)
- .Doğu-batı doğrultusunda uzun eksenli yönlendirilmiş sabit birleştirilmiş parabolik güneş kolektörleri (CPC)
- .Vakumlu tüp kolektörleri (ETC)
- .Doğu-batıyı izleyen parabolik çukur kolektörler (PTC)



Şekil 5.1. Çeşitli Kolektörlerin verimlerinin karşılaştırılması

Şekil (5.1)' de görüldüğü gibi en yüksek ışınlama yüzeyi, en iyi verim ve en yüksek performanslı kolektör sabit birleştirilmiş parabolik kolektörler, Vakumlanmış borulu

kollektörler ve parabolik çanak kollektörleri en yüksek kollektör giriş sıcaklığında en yüksek verime sahiptir. Şekil (5.1)' de odaklayıcı kollektörlerin avantajı görülebilir. Isı kayıpları odaklayıcı oranı C ile ters orantılıdır. Bu, kollektör performans eğrilerinin küçük eğimlerine götürür. Böylece odaklayıcı güneş kollektörlerinin verimi, yüksek giriş sıcaklıklarında yüksek değerde kalır. Performans denklemlerinden, performanstaki farklılıklar görülebilir. Örneğin iyi bir düzlemsel güneş kollektörünün performansı şu şekildedir:

$$n = 0.792 - 6.65 \left(\frac{\Delta T}{G_t} \right) - 0.06 \left(\frac{\Delta T^2}{G_t} \right) \quad (5.8)$$

IST kollektörünün (Sandia Tests [45] tarafından elde edilen) performans denklemi, yapımcı tarafından şöyle belirlenmiştir:

$$n = 0.762 - 0.2125 \left(\frac{\Delta T}{G_b} \right) - 0.001672 \left(\frac{\Delta T^2}{G_b} \right) \quad (5.9)$$

Denklem (5.4) ve (5.7) bütün önemli dizaynları içine alır. Eğer ısı taşınım oranı azalırsa, toplam yutucu sıcaklık artar ve daha fazla ısı kaybolur. Akış artarsa, kollektör yutucu sıcaklığı ve ısı kayıpları azalır.

5.2. Ekonomik Analiz

Herhangi bir ısı talebinin güneş enerjisinden sağlanmasının düşünülməsi durumunda, tesis edilecek güneş sistemi tarafından üretilecek enerji maliyetinin minimize edilmesi önemlidir. Herhangi bir yörede talep edilen suyu, güneş enerjisi sisteminden karşılayabilecek kollektör sayısının tespiti, gerek sistemin verilen talebi karşılayabilmesi için ve gerekse tesis edilecek sistemin mevcut piyasa koşullarına göre ekonomik olabilmesi son derece önem arz eder. Gereğinden fazla güneş kollektör tesisi pahalı bir yatırım olabileceği gibi, gereğinden az kollektör tesisi de ekonomik olabilecek ancak verilen talebi karşılayamayacaktır. Güneş kollektör sistemlerinde, sistemin kurulu gücünün arttırıldığı oranda faydası artmaz. Örnek olarak, bir bina üzerinde kurulmuş olan bir güneş kollektör sisteminde kollektör sayısı 2 katına çıkarılırsa faydası veya enerji üretimi 2 katına çıkmaz.

Talep edilen sıcak suyun herhangi bir yörede ve mevcut piyasa ekonomik koşullarında, tamamen güneşten karşılanmasının ekonomik olması durumu her zaman mümkün değildir. Belirtilen koşullarda talep edilen sıcak su miktarının belirli bir yüzdesi güneşten sağlanırken

diğer kısmının konvansiyonel kaynaklardan temin edilmesi, tamamının güneşten karşılanmasına kıyasla daha ekonomik olması kuvvetle muhtemeldir.

Serbest piyasada, yahut fiyatlarında meydana gelen artışlar, ileriki yıllarda sistemin faydasını etkileyebilir. Nükleer veya fosil kökenli yakıtın maliyetinin artması halinde, güneş sisteminin sağlayacağı tasarruf nedeniyle, güneş sistemi ekonomik olacaktır, azalması halinde ise doğal olarak güneş sistemi ekonomik olmayacaktır.

Güneş enerjisi temiz, gürültüsüz, bolca bulunan, güvenilir ve tükenmez bir enerji kaynağıdır. Yeryüzüne düşen güneş ışıının potansiyeli oldukça fazla olup, yeryüzünün pek çok bölgesinde güneş enerjisi faydalı enerjiye dönüştürülebilir. Bu ilgi çekici özelliklerine rağmen güneş enerjisi bedava değildir. Güneş enerjisini faydalı hale dönüştürebilmek için önemli ölçüde yatırım gerekmektedir.

Herhangi bir enerji dönüşüm sisteminde, yatırım yaparken verilecek ekonomik karar, yapılacak ilk yatırımın sistemin ekonomik ömrü boyunca kaç yılda geri döneceği esasına dayanır. Güneş enerjisini faydalı enerjiye dönüştüren sistemlerde ise verilecek yatırım kararına etki eden en önemli parametre, sistemin ekonomik ömrü boyunca yakıttan elde edilen tasarrufun sistemin ilk yatırım maliyeti ile karşılaştırıldığında bu yatırım miktarını karşılayıp karşılayamayacağı durumudur. Eğer sistemin kurulmasında yapılacak olan ilk yatırım maliyeti, sistemin ekonomik ömrü boyunca sağladığı yakıt tasarrufundan daha büyükse o zaman bu sistem ekonomik değildir, bunun tersi durumunda ise, yani ilk yatırım maliyeti sistemin ekonomik ömrü boyunca sağlanan yakıt tasarrufu ile karşılanabiliyorsa, o zaman bu sistem ekonomiktir. Sistemin mühendislik ekonomisi yönünden analizi yapılırken kullanılan bazı temel ekonomik kavramlar şu şekilde verilebilir:

5.2.1. Paranın Zaman Değeri

Elde mevcut olan paranın toplamının değeri, aynı toplamın gelecekteki değerinden daha fazladır, çünkü eldeki para gelecekte daha fazla bir toplam oluşturmak için herhangi bir yatırıma verilebilir. Örneğin 10 YTL' yi %50 karla bir yıllığına bir yatırıma verirsek bu para bir yıl sonra 15 YTL olacaktır. Bunun tersi olarak paranın gelecekteki toplamı veya nakit akışı azalacaktır ve değeri bugünkü değerinden daha az olacaktır. x yıl sonraki nakit akışının şimdiki değeri aşağıdaki eşitlikle verilebilir:

$$P = \frac{FF}{(1 + d)^x} \quad (5.10)$$

Burada; P paranın şimdiki değeri, FF gelecekteki nakit akışı, x yıl, d kar veya faiz oranıdır. Bu arada enflasyondan dolayı satın alınan malın fiyatı her geçen gün artmaktadır. Yıllık enflasyon hızı e, satın alınan malın şimdiki değeri E' nin x yıl sonraki fiyatı:

$$FF = E(1 + e)^x \quad (5.11)$$

şeklinde olacaktır. Gelecekteki değer FF, aynı zamanda iskonto miktarı ile ilişkilidir. Sonuçta şimdiki değer:

$$P = \frac{(1 + e)^x}{(1 + d)^x} \quad (5.12)$$

Toplam şimdiki değerler:

$$\text{Toplam şimdiki değer} = E = \sum_{j=1}^x \left(\frac{1 + e}{1 + d} \right)^j = E \cdot \text{\$DF}(x, e, d) \quad (5.13)$$

Burada, \\$DF(x, e, d) şimdiki değer faktörü olarak adlandırılır ve aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\text{\$DF}(x, e, d) = \frac{1 + e}{d - e} \left[1 - \left(\frac{1 + e}{1 + d} \right)^x \right] \quad (5.14)$$

5.2.2. Geri Ödeme Periyodu

Geri ödeme periyodunun en genel tanımı, güneş enerjisi sistemindeki ilk yatırım masraflarının toplamına eşit olacak kümülatif yakıt tasarrufları için gerekli zaman miktarıdır ve aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$x_p = \frac{I_s - (I_s * V)}{F_s} \quad (5.15)$$

Burada x_p geri ödeme periyodu, I_s ısıtma sisteminin ilk yatırım maliyeti, V vergi oranı, F_s ilk yıl yakıtta sağlanan tasarruflar olup aşağıdaki gibi verilir:

$$F_s = F_y \cdot Q_L \cdot P_c \quad (5.16)$$

Burada F_y ısıtma sisteminin ısıtma yükünü karşılama yüzdesi, Q_L binanın yıllık ısıtma yükü, P_c tasarruf edilen fosil yakıtın fiyatı şeklinde tanımlanmıştır.

6. DENEYSEL ÇALIŞMA

6.1. Kollektörlerin Dizaynı

Bu çalışmada, yutucu plakası silindirik teneke kutulardan yapılmış bir havalı güneş kollektörünün ısı performansını deneysel olarak araştırılmıştır. Kollektör kasası 214 cm boyunda, 84 cm genişliğinde ve 20 cm yüksekliğindedir. Kollektörde saydam örtü olarak 4 mm kalınlığında pencere camı, kasa malzemesi olarak sunta tahta, yalıtım malzemesi olarak 3 cm kalınlığında stropor kullanılmıştır. Kollektör yatayla eğimi 38° olacak şekilde güneşe yönlendirilmiştir. Deney düzeneğinin fotoğrafı Şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1. Deney düzeneğinin fotoğrafı

Güneş hava kollektörünün en önemli kısmı yutucu yüzeydir. Çalışmamızda üç farklı yutucu yüzey kullanılmıştır. Yutucu yüzeyin her iki tarafından hava akışı sağlanacak şekilde yüzeyler imal edilmiştir. Bu tür yutucu yüzeylerin seçilmesinin nedeni, literatürde her iki kanaldan geçen hava debisinin kollektör verimlerini iyileştirdiğindendir [17]. Yutucu yüzeyleri oluşturmak için, 244 tane kola kutusu toplanmış, bu kutuların önleri ve arkaları açılıp silikon tutkalının bir çeşidi kullanılarak, 1,5 mm kalınlığında galvanizli sacın hem üzerine hem de altına yapıştırılmıştır. Yapıştırma işleminden sonra siyah mat boya ile bu sac boyanarak yutucu yüzey oluşturulmuştur. Oluşturulan bu yutucu yüzeylerin birincisinde toplam 154 adet kutu, Şekil 6.2’de görüldüğü gibi karmaşık (Tip I) yerleştirilmiş, Şekil 6.3’de ise 90 adet kutu düzgün

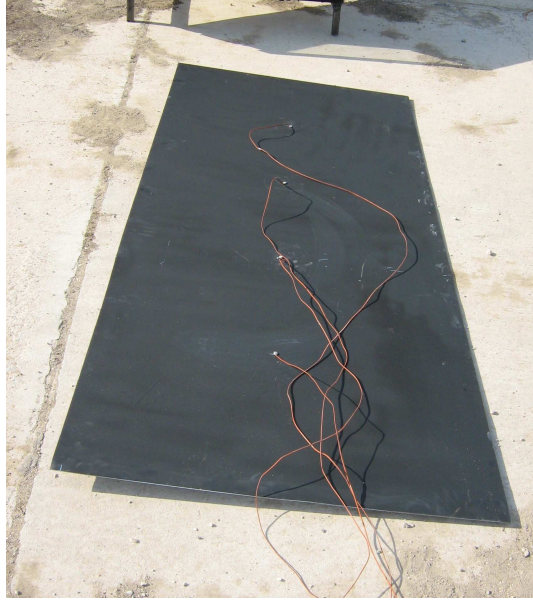
sıra (Tip II) olacak biçimde yerleştirilmiştir. Çalışmamızda kullandığımız üçüncü yutucu yüzeyde kutular kullanılmamıştır, düz (Tip III) tip olarak belirttiğimiz yutucu yüzey Şekil 6.4’de gösterilmiştir. Bu yutucu yüzeylerin kollektör kasası içindeki görüntüleri ise sırasıyla Şekil 6.5, Şekil 6.6 ve Şekil 6.7’de görülmektedir.



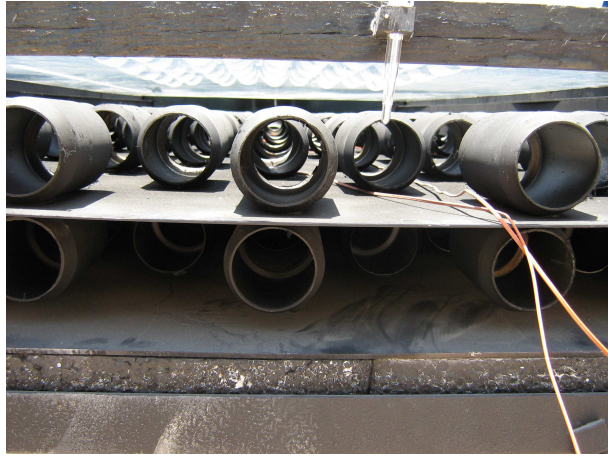
Şekil 6.2. Tip I' in yutucu yüzeyi



Şekil 6.3. Tip II' in yutucu yüzeyi



Şekil 6.4. Tip III' ün yutucu yüzeyi



Şekil 6.5. Tip I' in yutucu yüzeyinin kasa içindeki görünüşü



Şekil 6.6. Tip II' in yutucu yüzeyinin kasa içindeki görünüşü



Şekil 6.7. Tip III' in yutucu yüzeyinin kasa içindeki görünüşü

Birim yatay yüzeye gelen toplam ışıınım şiddetini ölçmek için Kipp δ Zonen CM3 Piranometre'si kullanılmıştır. Kollektör, bir boru ile 800 m³/h debisindeki hava sirkülasyon fanının emme ağzına bağlanmıştır. Fanın ağzına ise debiyi ölçmek için baş kısmı metal fanlı olan hava akışı + hava hızını ölçen bir dijital anemometre (AM-4206M) cihazı bağlanmıştır. Kollektörün giriş ve çıkışındaki havanın sıcaklığı civalı termometre (0-100 C⁰) kullanılarak ölçülmüştür. Yutucu yüzeylerin belirli noktalarının sıcaklıklarını ölçmek için 42.8 cm'lik eşit aralıklarla dört noktaya T tipi Cu-Constantan ısı çiftleri bağlanmıştır. Isıl çiftlerin diğer uçları ise CR 510 Data Logger veri kaydediciye bağlanarak değerler okunmuştur.

6.2. Deneysel Ölçümler ve Hesap Metodu

Deneyler, Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Atelye alanında 01.07.2006-30.07.2006 tarihleri arasında yapılmıştır. 9:00 ile 16:00 saatleri arasında yapılan deneylerde verimin en iyi çıktığı günler bu çalışmaya konulmuştur. Yapılan çalışmada üç farklı yutucu yüzey geometrisi ve iki farklı hava debisi (0.03 ve 0.05 kg/s) için deneyler yapılmıştır.

Kollektörün girişindeki ve çıkışındaki hava sıcaklıkları sırasıyla $T_{h,g}$ ve $T_{h,\phi}$ olmak üzere sıcaklık farkı,

$$\Delta T = T_{h,\phi} - T_{h,g} \quad (6.1)$$

hesaplanmıştır. Havanın fiziksel özellikleri,

$$\Delta T_m = (T_{h,\phi} + T_{h,g}) / 2 \quad (6.2)$$

olarak verilen ortalama hava sıcaklığı esas alınarak seçilmiştir. Kollektörün anlık verimi ise,

$$\eta = \frac{Q_f}{A_k I} = \frac{m c_p (T_{h,\phi} - T_{h,g})}{A_k I} \quad (6.3)$$

ifadesi ile hesaplanmıştır.

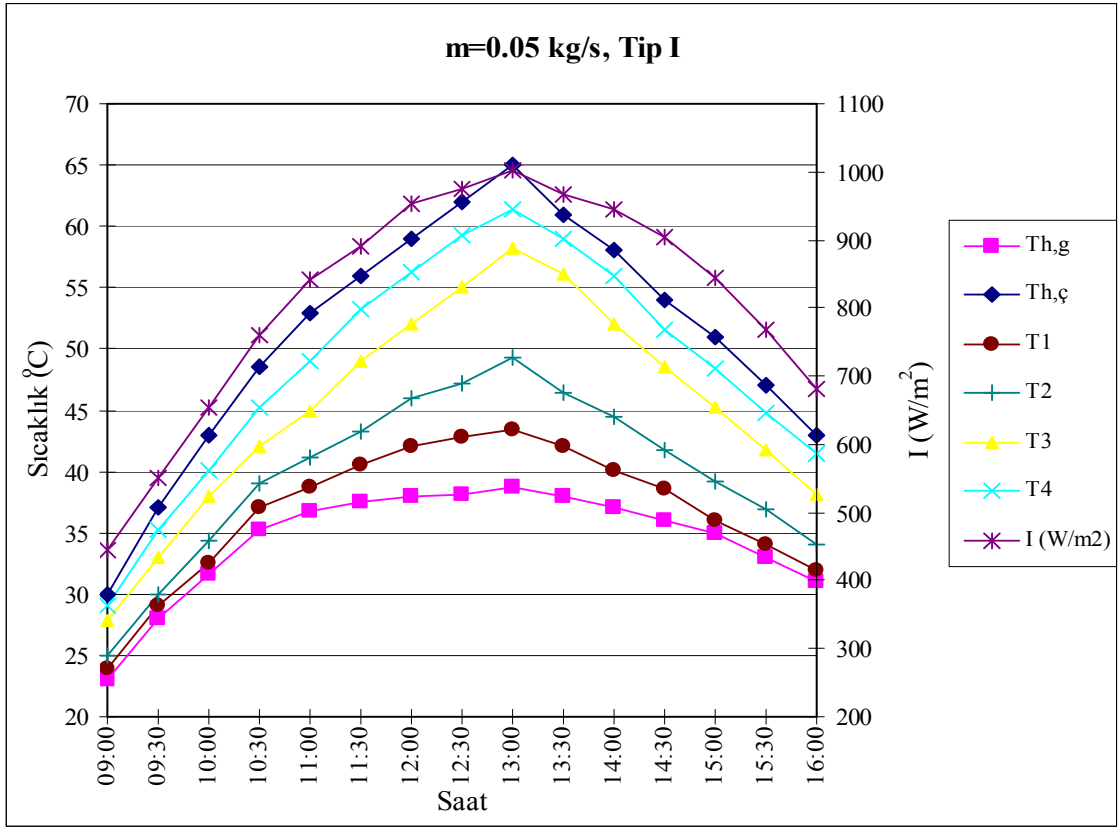
Bu eşitlikte m (kg/s) havanın kütsel debisini, c_p (J/kgK) sabit basınçta havanın özgül ısısını, I (W/m²) kolektör yüzeyine düşen anlık güneş ışımasını, A_k (m²) ise kolektör alanını göstermektedir. Kolektör yutucu yüzey alanı 1.80 m²'dir.

6.3. Deney Sonuçları

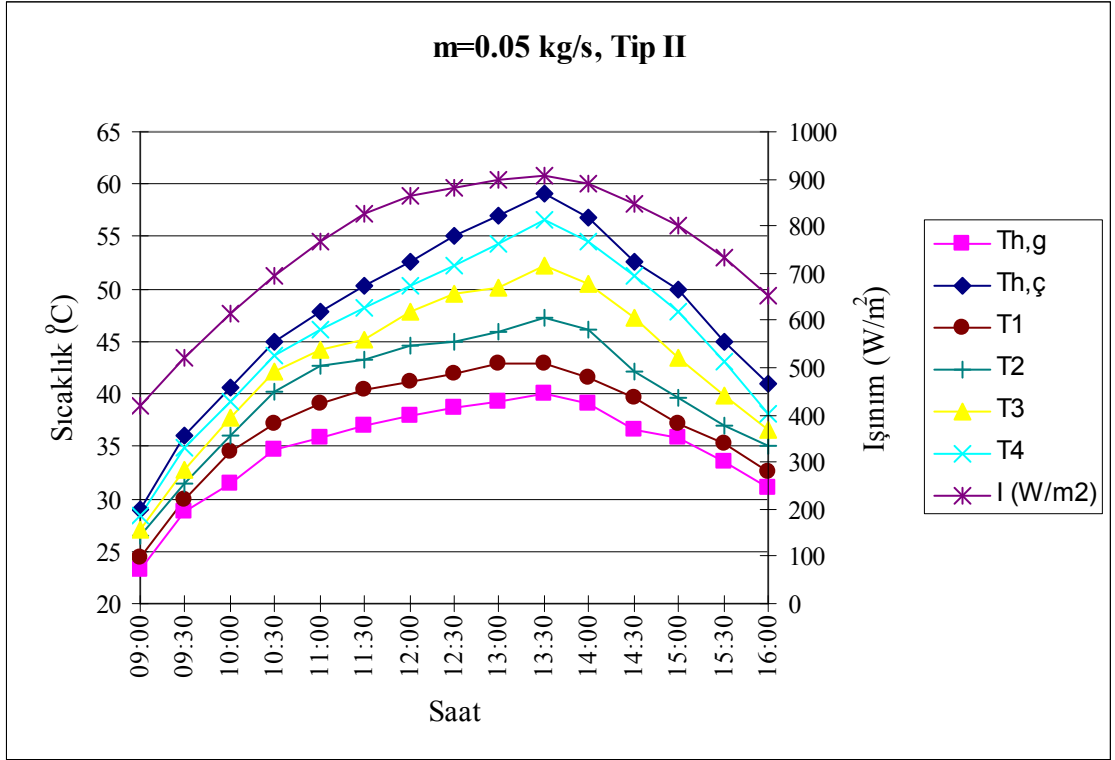
Yutucu yüzeyden ısıнын maksimum değeri çıkarmak için uygun çözümlerden biri hava akımının önünde engeller oluşturmaktır. Bu engeller, yutucu yüzeyin üzerine yerleştirilebilir. Bu geometriler sayesinde kolektör içerisinde türbülanslı akış artabilir. Böylece verim minimum kayıpla daha yüksek olur. Bu nedenle yüksek bir verim elde etmek için kolektör Tip I ve Tip II' de kutular yutucu yüzeyin üzerine ve altına yerleştirilmiştir. Bu durumda çift hava akışı da sağlanmıştır. Tek geçişli hava akışı yerine çift geçişli hava akışının oluşturulması, ısı transfer alanını ve türbülanslı akışını arttıracığı için, kolektör verimi daha da iyileşecektir. Yeh ve diğ. [17], çift akışlı güneş hava ısıtıcısının kolektör verimini hem deneysel hem de teorik olarak incelemişlerdir. Yutucu yüzeyin üst ve alt tarafına kanatlar yerleştirerek çift geçişli bir hava akışı sağlamışlardır. Çift geçişli akış oranının kolektör verimini olumlu yönde etkilediğini görmüşlerdir.

Deneylerin yapıldığı günler için hesaplanan değerler ve alınan veriler grafikler halinde verilmiştir. Bu grafiklerde 0.03 kg/s ve 0.05 kg/s'lik debiler için kolektöre giren ve çıkan havanın sıcaklık değişimi, verim değişimi ve yutucu yüzey üzerine eşit aralıklarla yerleştirilen ısı çiftler yardımıyla ölçülen sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi görülmektedir.

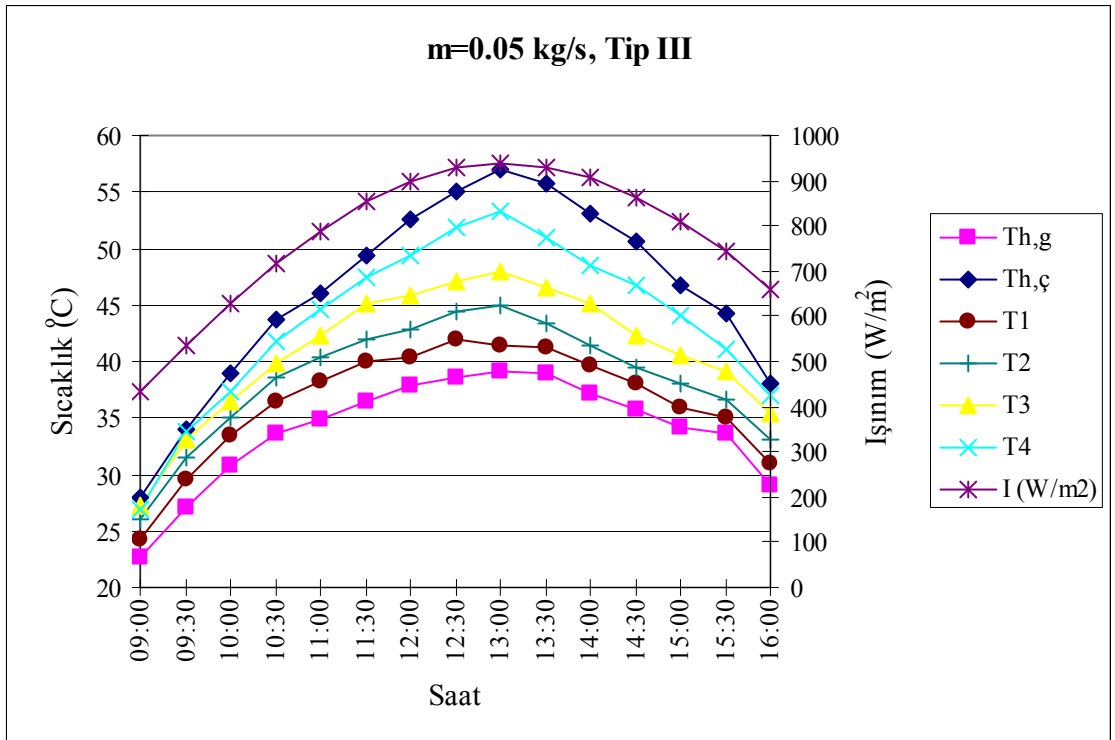
Kutuların karmaşık olarak yerleştirildiği Tip I kolektörü için yutucu yüzey sıcaklıklarının ve güneş ışıının değerlerinin zamanla değişimi 0.05 kg/s'lik hava debisi için Şekil 6.8'de, aynı debide benzer değişim Tip II ve Tip III kolektörleri için Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da verilmiştir. Bu grafiklerde açıkça görülmektedir ki sıcaklığın değişimi, yutucu yüzey üzerine gelen ışıının şiddetinin değişimine paralel olarak saat 13:00'e kadar artmakta, daha sonra ışıının şiddetinin düşmesiyle birlikte azalmaktadır. Sıcaklık değişimi incelendiğinde giriş sıcaklığının en düşük, çıkış sıcaklığının ise en yüksek olduğu görülmektedir. Çıkış sıcaklığı, kolektör Tip I'de diğer kolektörlere göre daha yüksektir. Çünkü kutuların karmaşık olarak yerleştirilmesi ısı transfer alanını ve haliyle de yüzey sıcaklığını arttırmaktadır. Yutucu yüzey üzerinde ısı çiftler yardımıyla eşit aralıklarda ölçülen T_1, T_2, T_3, T_4 sıcaklık değerlerinin de giriş ve çıkış sıcaklıkları arasında kaldığı görülmektedir.



Şekil 6.8. Yutucu yüzey sıcaklıklarının ve güneş ışınlam değerinin zamanla değişimi (Tip I, m=0.05 kg/s)



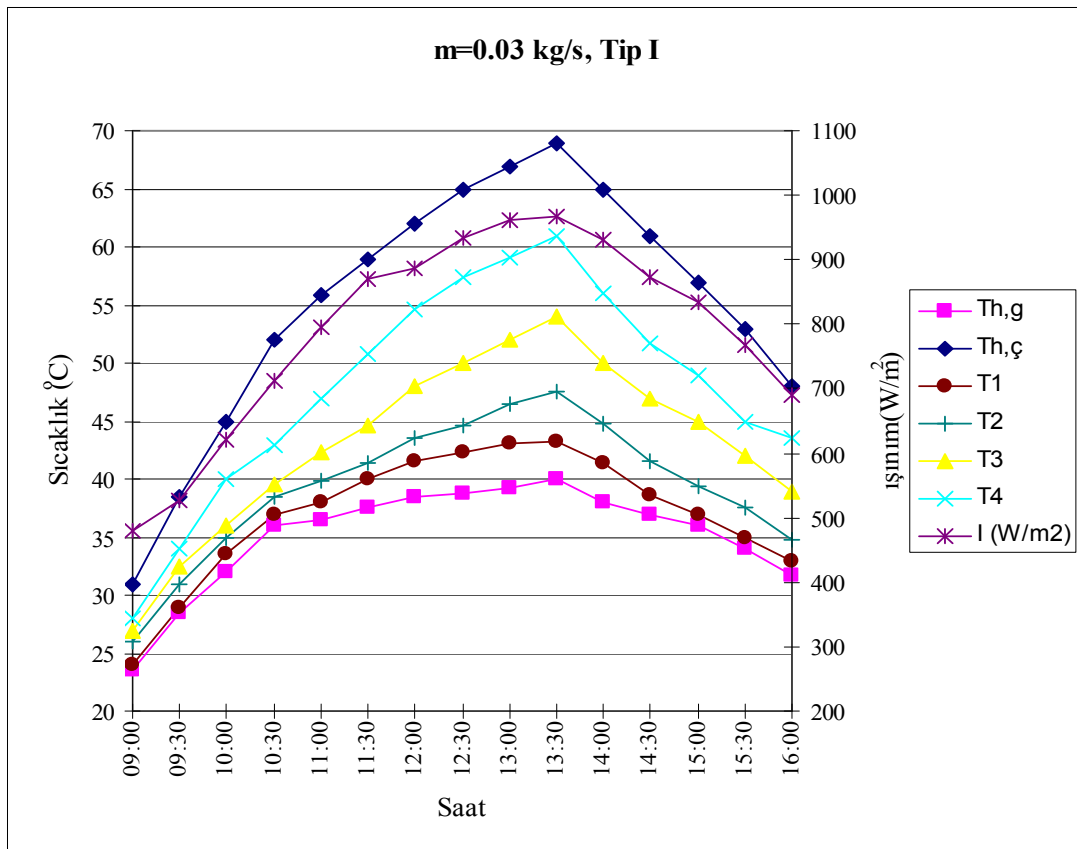
Şekil 6.9. Yutucu yüzey sıcaklıklarının ve güneş ışınlam değeriinin zamanla değışimi (Tip II, m=0.05 kg/s)



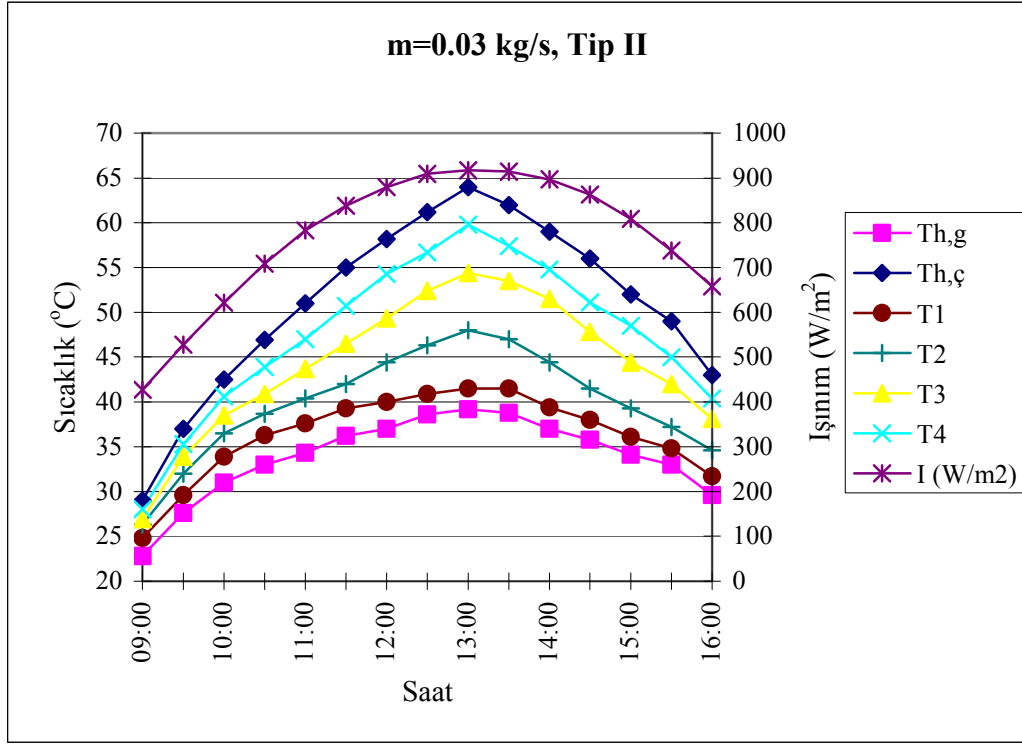
Şekil 6.10 Yutucu yüzey sıcaklıklarının ve güneş ışınlam değeriinin zamanla değışimi(Tip III, m=0.05kg/s)

Grafikler incelendiğinde üç tip kolektör için giriş sıcaklıklarının ($T_{h,g}$) benzer olduğu görülür. Çünkü deneyler birbirini takip eden günlerde yapılmıştır ve hava sıcaklığı bu günlerde kararlı bir haldedir. En yüksek sıcaklık artışı Tip I'de, en düşük sıcaklık artışı Tip III kolektöründe meydana gelmektedir. Bu sıcaklık artışının en fazla olduğu zaman güneş ışınımının maksimum olduğu saatlerdir. Çoğunlukla saat 13:00'de yutucu yüzey üzerine gelen ışınım miktarı en fazladır.

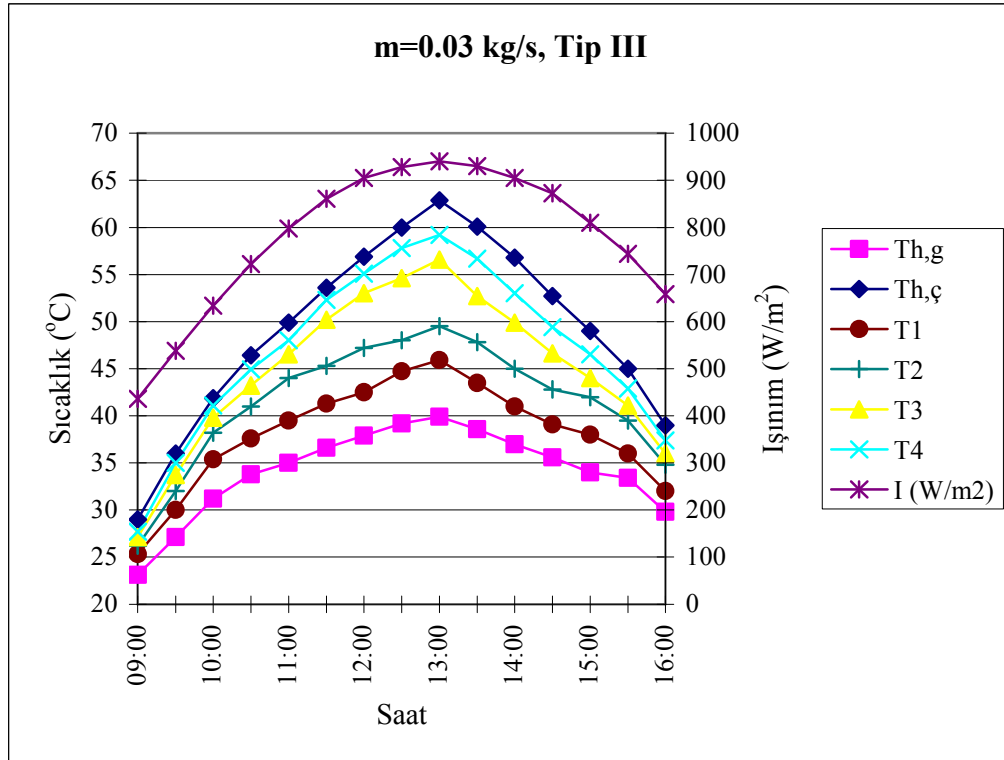
0.03 kg/s'lik debide yutucu yüzey sıcaklıklarının ve güneş ışınım değerlerinin zamanla değişimi Tip I, Tip II ve Tip III için sırasıyla Şekil 6.11, 6.12 ve 6.13'de verilmiştir. Bu şekillerde de sıcaklık değişiminin ışınım şiddetine bağlı olarak değiştiği açıktır.



Şekil 6.11. Yutucu yüzey sıcaklıklarının ve güneş ışınım değerinin zamanla değişimi (Tip I, $m=0.03\text{kg/s}$)

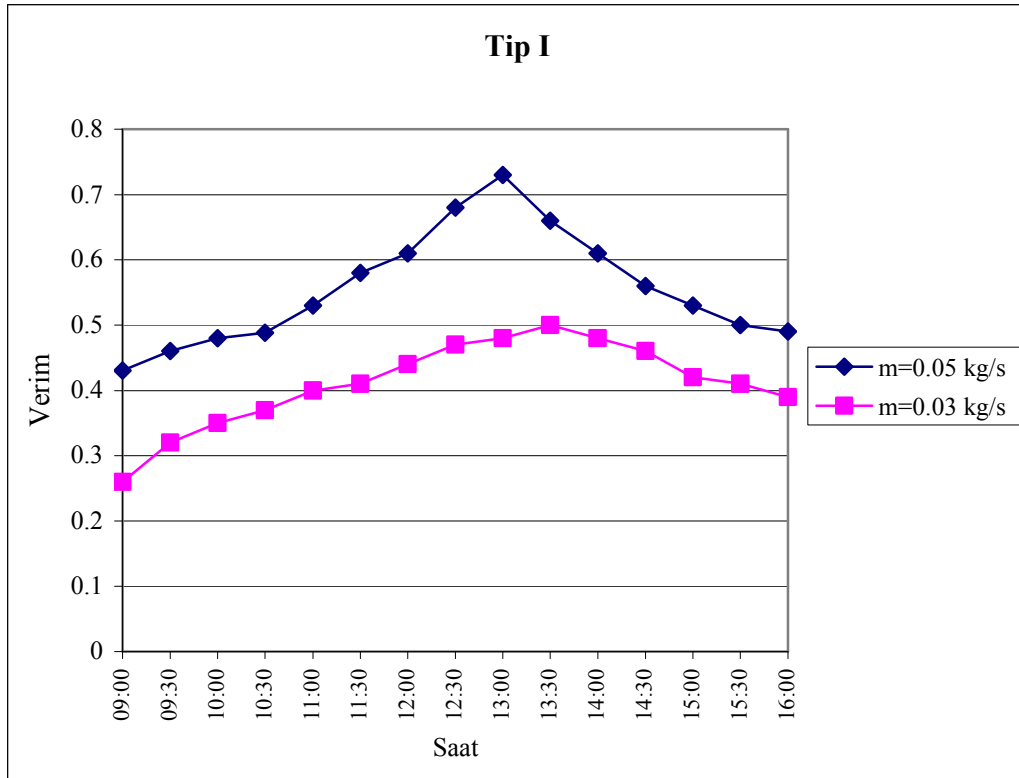


Şekil 6.12. Yutucu yüzey sıcaklıklarının ve güneş ışınlam değerinin zamanla değişimi (Tip II, m=0.03kg/s)

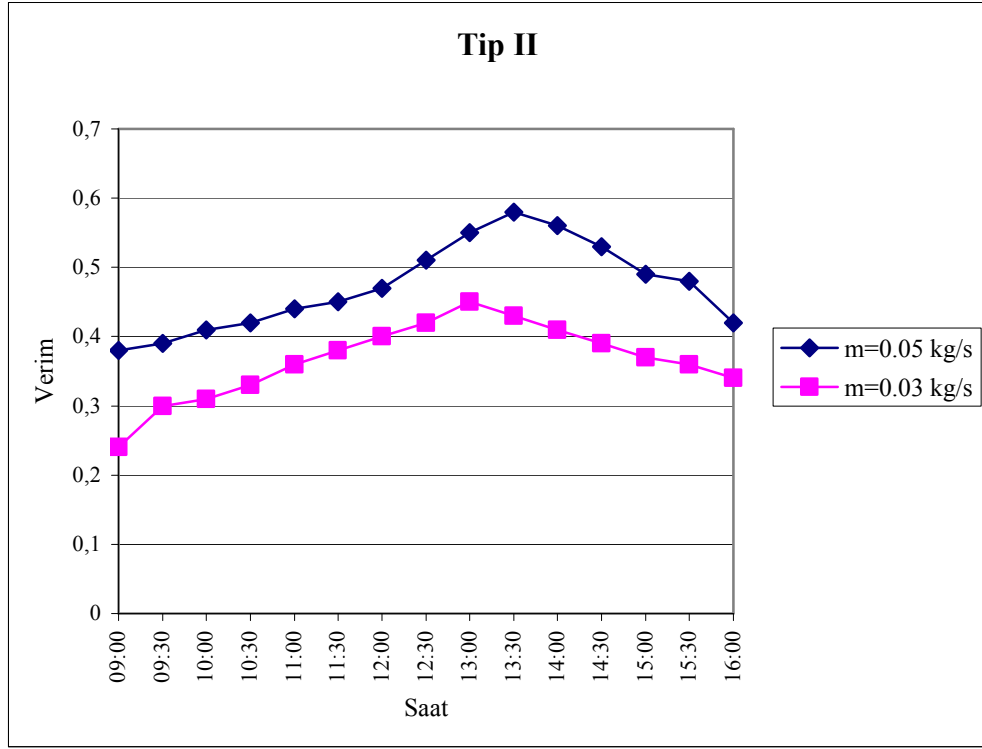


Şekil 6.13. Yutucu yüzey sıcaklıklarının ve güneş ışınlam değerinin zamanla değişimi (Tip III, m=0.03kg/s)

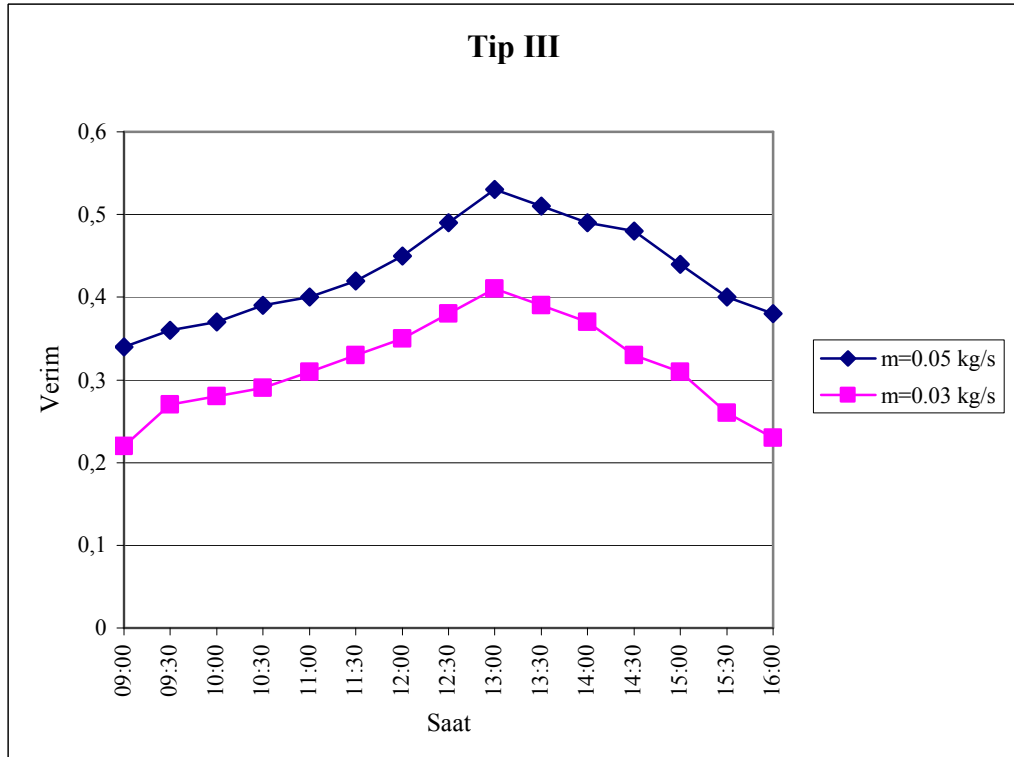
Isı transfer alanı Tip I'de en yüksek değere sahiptir. Şekil 6.14'de 0.03 kg/s ve 0.05 kg/s' lik debilerde kollektör Tip I için verim değişimi verilmiştir. Verimdeki değişim denklem (6.3)'deki parametrelere bağlıdır. Debi ve sıcaklık artışı verim değerini de arttırmaktadır. Şekil 6.14'de açıkça görülmektedir ki debinin artışı verimi de arttırmaktadır. Sıcaklık farkı saat 13:00'e kadar artıp sonra azaldığı için verim değeri de benzer bir değişim göstermektedir. Verimin her iki debideki zamanla değişimleri Tip II için Şekil 6.15'de, Tip III için Şekil 6.16'da verilmiştir. Tip I kollektörüne benzer şekilde verim, debi ve sıcaklık farkına paralel bir değişim göstermektedir.



Şekil 6.14. Tip I için verimin zamanla değişimi

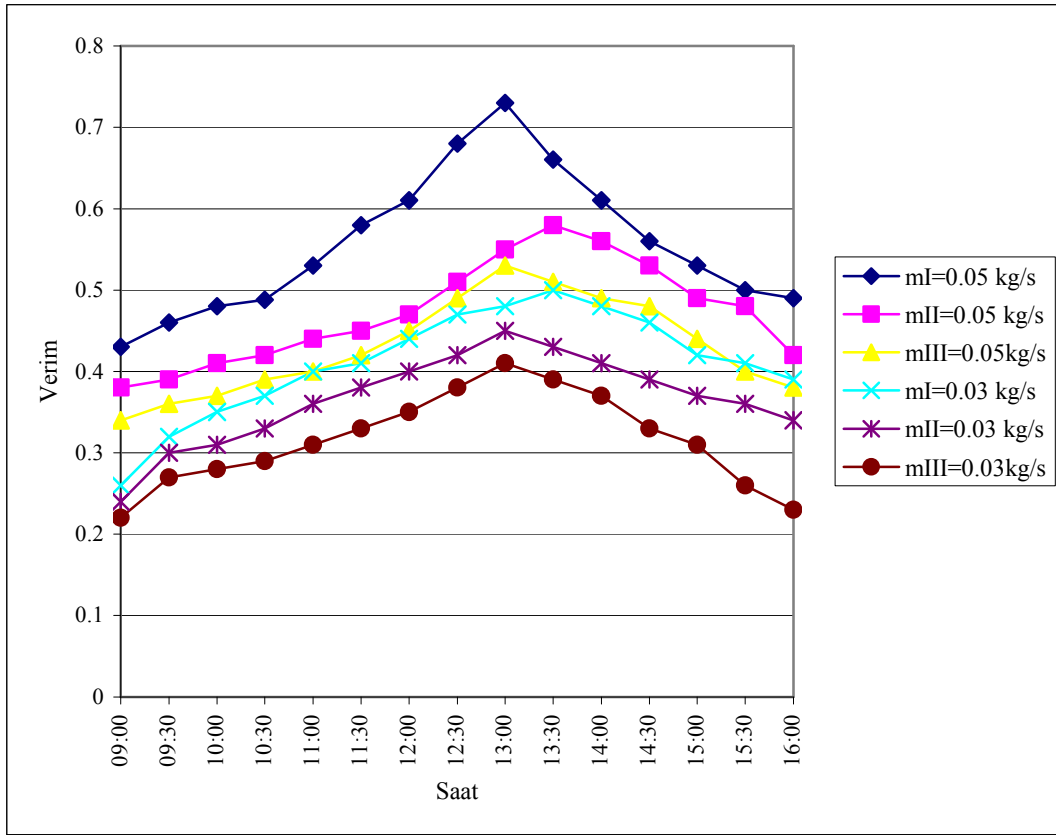


Şekil 6.15. Tip II için verimin zamanla değişimi



Şekil 6.16. Tip III için verimin zamanla değişimi

Bu üç tip kollektörün verimlerinin zamanla değişimleri Şekil 6.17’de verilmiştir. Yüksek debide verim, Tip I için %43 ve %73 arasında, Tip II için %38 ve %58 arasında, Tip III için %34 ve %53 arasında değişmektedir. Yüksek debi için maksimum verim üç kollektör için sırasıyla %73, %58 ve %53 dür. Düşük debi için verim, Tip I için %26 ve %50, Tip II için %24 ve %45, Tip III için %22 ve %45 arasında değişmektedir. Düşük debide maksimum verim üç kollektör için sırasıyla %50, %45 ve %41’dir. Debinin artmasıyla kollektör içindeki sıcaklık artışı azalır. Bu durum kollektör yüzey sıcaklığının düşmesi ile sonuçlanır, çevreye olan kayıplar azalır ve verim artar.



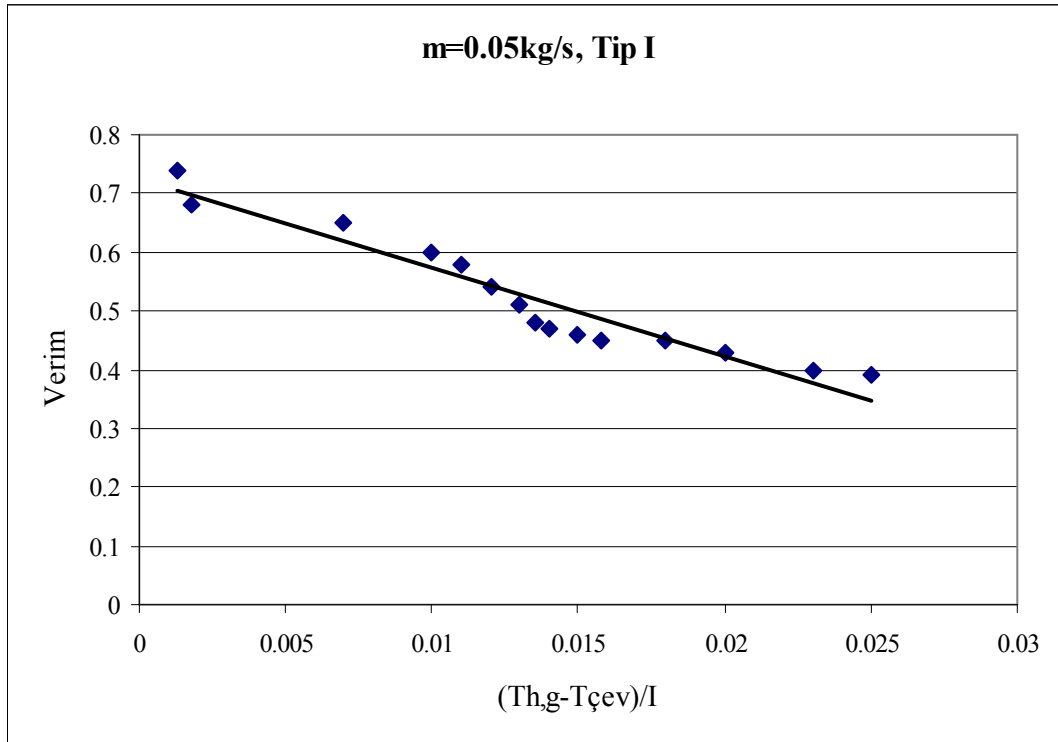
Şekil 6.17. Tüm kollektörlerin verimlerinin karşılaştırılması.

Umulduğu gibi Tip III diğer kollektörlerden daha az verime sahiptir. Çünkü bu kollektör düz bir yutucu yüzeye sahiptir, yutucu yüzey üzerinde kanatlar, engeller ya da türbülans artırıcı hiçbir şey yoktur. Tip I’in verimi, Tip II’nin veriminden daha yüksektir. Yutucu yüzey üzerine ve altına yerleştirilen kutuların karmaşık olması türbülanslı akış yaratır. Bu durum en yüksek ısı transfer katsayısı, en yüksek yutucu sıcaklık ve azalan termal ısı kaybını sağlar. Bundan dolayı en yüksek verim elde edilir.

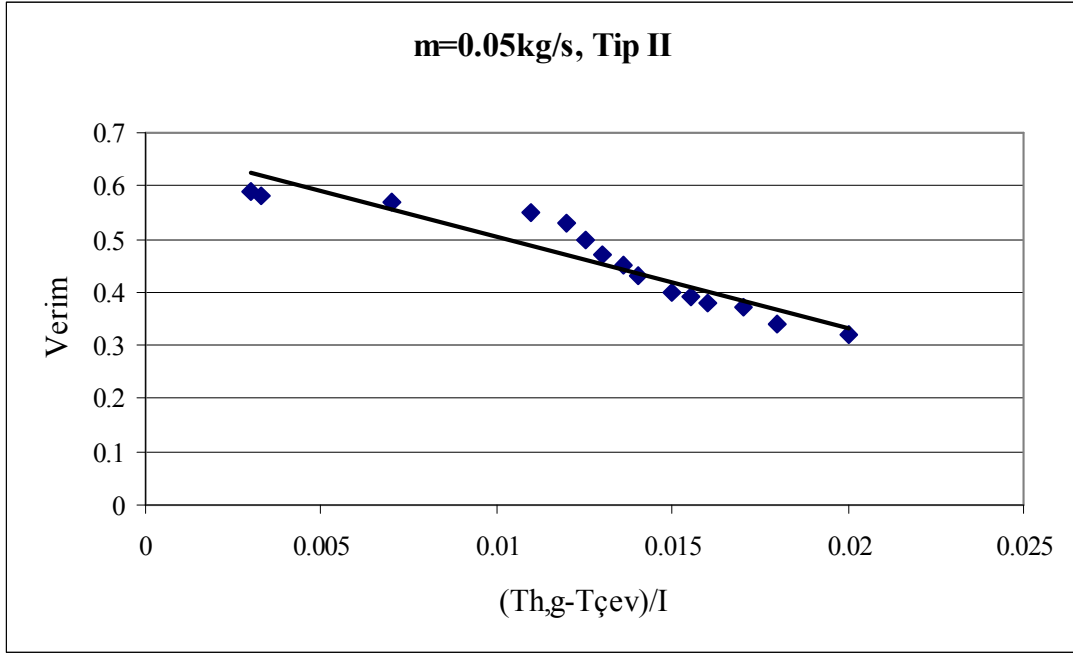
Günün en yüksek verim değerlerine bakıldığında $m=0.05$ kg/s'lik hava debisi için Tip I, Tip II'den %20.54 Tip III'den de % 27.39 daha iyidir. $m=0.03$ kg/s'lik hava debisi için Tip I, Tip II'den %10 Tip III'den de %18 daha iyidir.

Kanatlı sistemlerin termal performansı, düz tabaka kolektörlerinkinden daha yüksek bulunmuştur [25]. Karim ve Hawlader [11], belirlemişlerdir ki, V-kıvrımlı kolektörler en iyi verimli kolektörlerdir ve düz tabaka kolektörler en düşük verimli kolektörlerdir. Abene ve diğ. [5], deneysel olarak sağlamışlardır ki güneş hava kanallarında engellerin üretimi, kolektör performansının gelişimi için çok önemli bir faktördür. Düşünülen engellerin pozisyonu, boyutları, biçimi kolektör verimini etkiler.

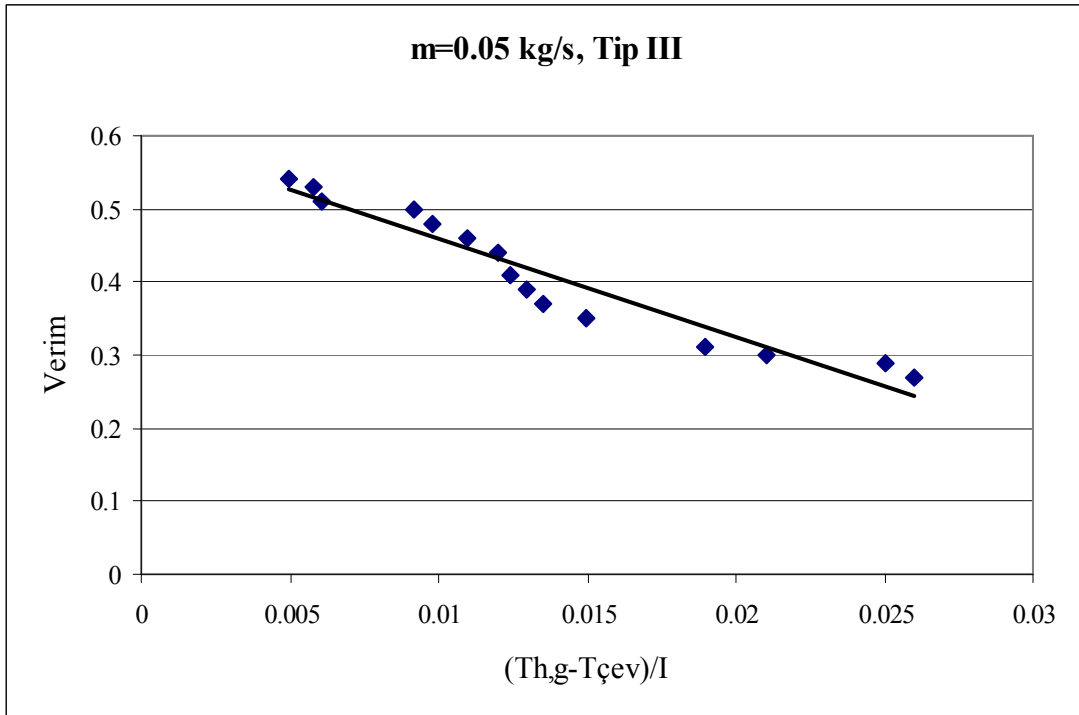
Çalışmamızda incelediğimiz üç tip kolektörün, $(T_{h,g} - T_{\text{cev}})/I$ değerlerine karşı anlık verim değişimleri sabit çevre şartları için ($T_{\text{cev}} = 27^\circ\text{C}$, $I = 650 \text{ W/m}^2$), Şekil 6.18-23'de verilmiştir. Şekil 6.18, Şekil 6.19 ve Şekil 6.20'de Tip I, Tip II ve Tip III kolektörlerinin 0.05 kg/s'lik hava debisi için anlık verim değişimleri görülmektedir.



Şekil 6.18. $m=0.05$ kg/s için Tip I'in anlık verim değişimi



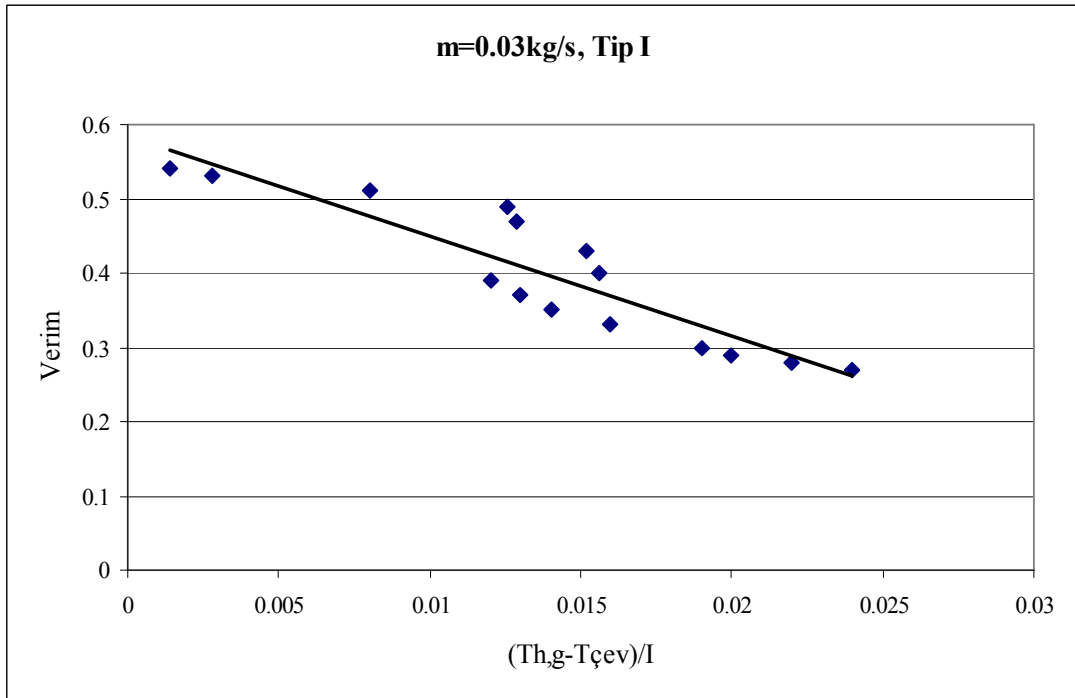
Şekil 6.19. m=0.05 kg/s için Tip II'nin anlık verim değişimi



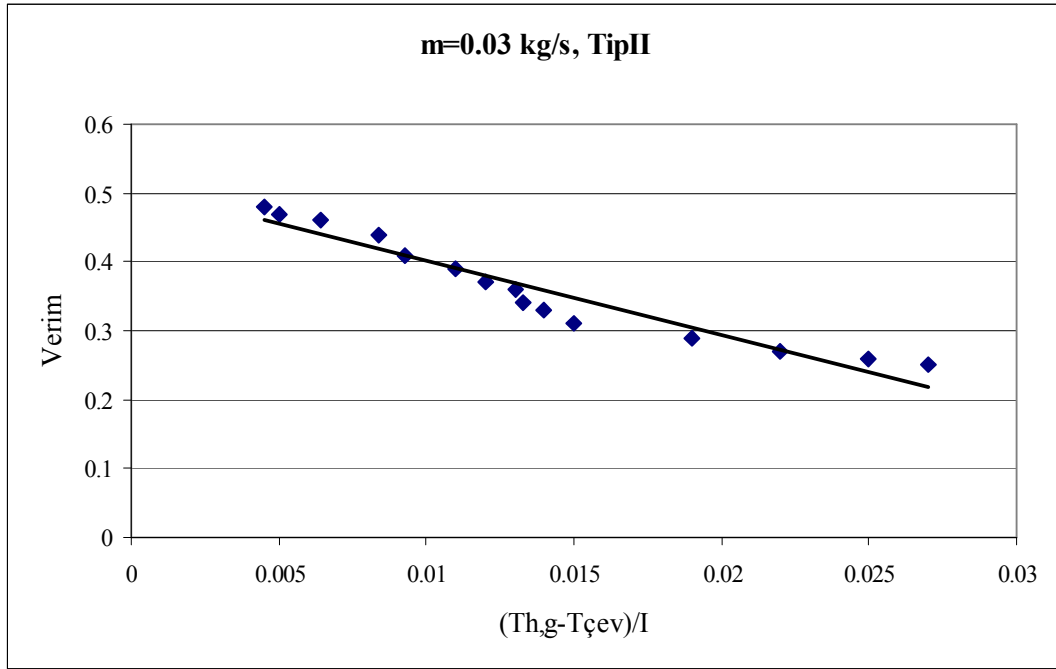
Şekil 6.20. m=0.05 kg/s için Tip III'ün anlık verim değişimi

Şekiller incelendiğinde açıkça görülebilir ki küçük $(T_{h,g} - T_{\text{cev}})/I$ değerinde anlık verim yüksek, büyük $(T_{h,g} - T_{\text{cev}})/I$ değerinde anlık verim düşüktür. Çünkü sıcaklık parametresinin artmasıyla toplam kayıplar en az seviyeye iner ve kolektörün verimi artar.

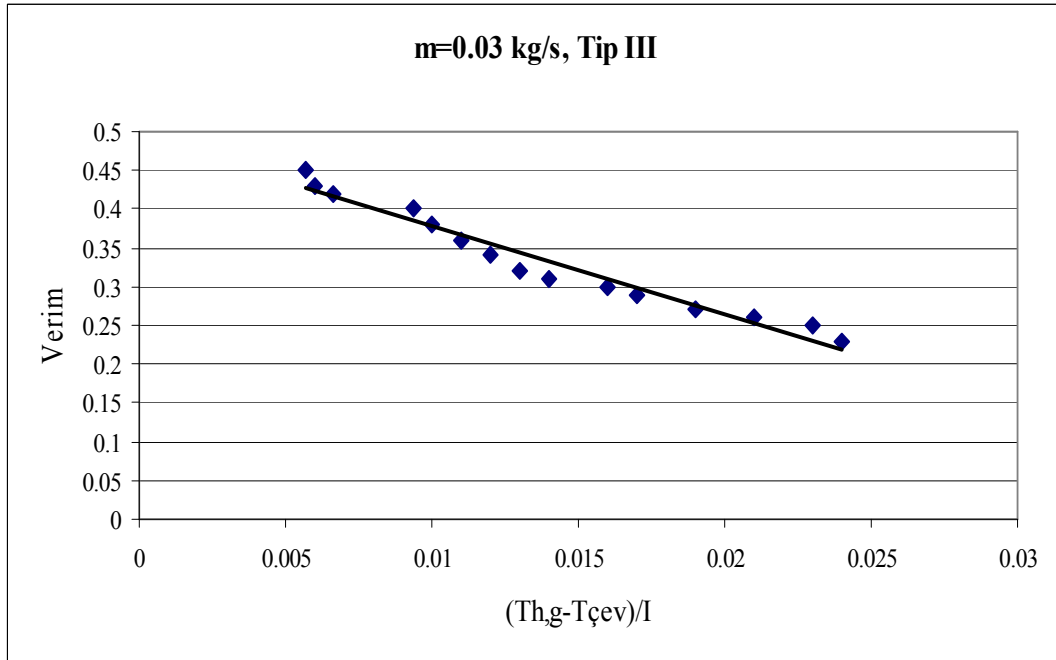
Şekil 6.21, Şekil 6.22 ve Şekil 6.23’de ise 0.03 kg/s’lik hava debisi için anlık verim değişimleri görülmektedir. Benzer şekilde sıcaklık parametresinin artışıyla anlık verim düşmektedir. Düşük debideki verim, yüksek debideki verimden daha düşüktür. Düşük debide havanın akım hızı düşüktür, kollektör içine giren hava güneş ışınlımına daha fazla maruz kalır ve çıkış sıcaklıkları artar. Yüksek debide hava akımı daha hızlıdır ve çıkış sıcaklıkları düşer. Debinin artmasıyla verim artar. Denklem (6.3)’de verimin debi ile doğrusal olarak değiştiği açıktır.



Şekil 6.21. $m=0.03$ kg/s için Tip I’in anlık verim değişimi



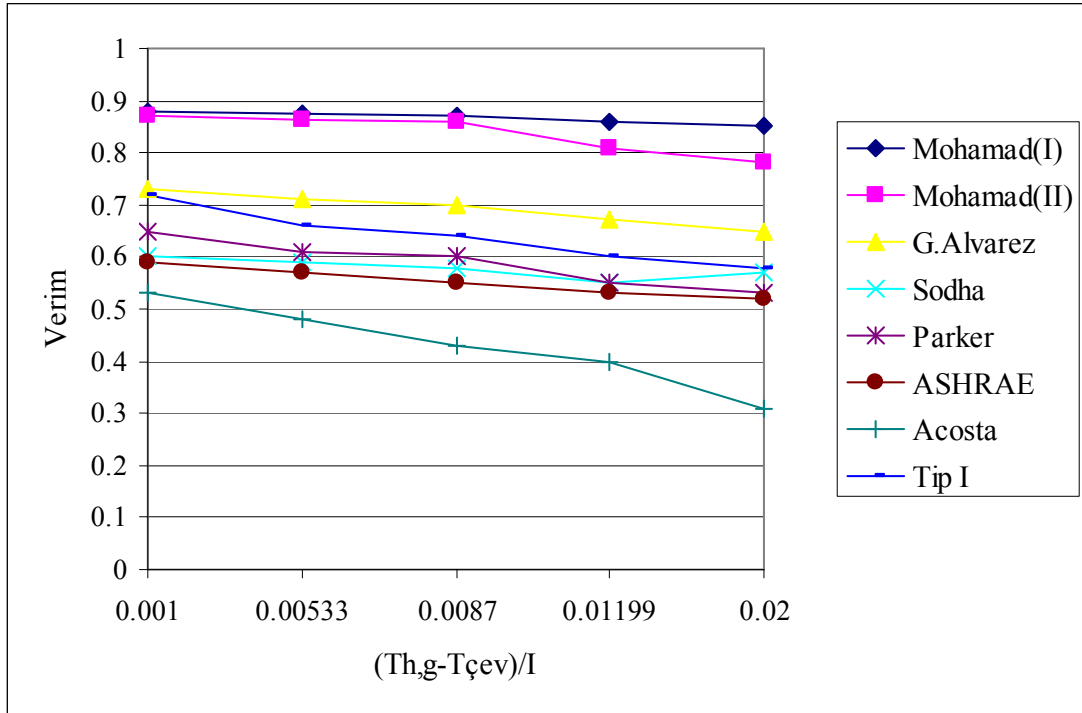
Şekil 6.22. $m=0.03$ kg/s için Tip II'nin anlık verim değişimi



Şekil 6.23. $m=0.03$ kg/s için Tip III'ün anlık verim değişimi

Dizayn edilen güneş hava kolektörünün, termal performansının karşılaştırmasını yapmak için literatürde verilen kolektörlerden yedi tanesi seçilmiştir. Şekil 6.24'de seçilen kolektörlerin termal verimleri gösterilmiştir. Mohamad [9], yutucu yüzeyleri gözenekli (I) ve

gözenekli olmayan (II), çift hava akışlı ve tek hava akışlı iki kollektörün termal verimini 0.005 kg/s ve 0.02 kg/s'lik hava debisi için bulmuştur. Parker ve diğ. [53], 0.0238 kg/s'lik hava debisi için, çift hava akışlı ve tek hava akışlı güneş kollektörünün termal performansını incelemişlerdir. Sodha ve Chandra [54], 0.02 ve 0.08 kg/s'lik hava debisi için, çift hava geçişli ve tek hava geçişli, tek cam yüzeyli güneş hava kollektörünün termal performansı ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. ASHRAE [55], standartlarında yutucu yüzeyi siyah krom bakır olan tek cam yüzeyli bir hava kollektörünün termal performansını 0.01 ve 0.03 kg/s'lik hava debisi için incelemişlerdir. G. Alvarez ve diğ. [20], çift akışlı bir güneş hava kollektörünün verimini 0.033 kg/s için hesaplamışlardır. Acosta ve diğ. [56], tek hava akışlı güneş hava kollektörünün termal performansını bulmuşlardır. Bu çalışmada çift hava akışlı bir kollektörün performansı incelenmiştir.



Şekil 6.24. Tip I kollektörünün literatürle kıyaslanması

Bütün bu benzer kollektörlerin verimlerinin karşılaştırılması Şekil 6.24'de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi en yüksek verim Mohamad tarafından yapılan çift hava akışlı ve gözenekli kollektörden (I) elde edilmiştir. En düşük verim ise Acosta tarafından dizayn edilen kollektöre aittir. Çalışmamızda elde ettiğimiz kollektör ise maksimum %72 verime sahiptir.

7. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yutucu yüzeyden ısıнын maksimum değerini çıkarmak için uygun çözümlerden biri hava akımının önünde engeller oluşturmaktır. Bu engeller, yutucu yüzeyin üzerine yerleştirilebilir. Bu geometriler sayesinde kollektör içerisinde türbülanslı akış artabilir. Böylece verim minimum kayıpla daha yüksek olur. Bu nedenle yüksek bir verim elde etmek için kollektör Tip I ve Tip II' de kutular yutucu yüzeyin üzerine ve altına yerleştirilmiştir. Bu durumda çift hava akışı da sağlanmıştır. Tek geçişli hava akışı yerine çift geçişli hava akışının oluşturulması, ısı transfer alanını ve türbülanslı akışını arttıracak için, kollektör verimi daha da iyileşecektir.

Bu çalışmada üç tip güneş hava kollektörü incelenmiştir. Yutucu yüzeyler, üzerine kutuların karmaşık olarak yerleştirildiği Tip I, kutuların düzgün sıra olacak şekilde yerleştirildiği Tip II ve düz yutucu yüzeye sahip Tip III şeklinde belirtilmiştir. Bu üç kollektörün 0.03 kg/s ve 0.05 kg/s lik hava debileri için ısı performansları deneysel olarak incelenmiştir. Tip I'in verimi, Tip II'in veriminden daha yüksektir. Yutucu yüzey üzerine ve altına yerleştirilen kutuların karmaşık olması türbülanslı akış yaratır. Bu durum en yüksek ısı transfer katsayısı, en yüksek yutucu sıcaklık ve azalan termal ısı kaybını sağlar. Bundan dolayı en yüksek verim elde edilir. Tip III diğer kollektörlerden daha az verime sahiptir. Çünkü bu kollektör düz bir yutucu yüzeye sahiptir ve ısı transfer alanı diğerlerine göre daha azdır.

Güneş hava kollektörlerinin verimi güneş radyasyonuna ve kollektörlerin yüzey geometrisine bağlıdır. Sıcaklık parametresi artarsa anlık verim azalır, toplam kayıplar da azaldığı için kollektör verimi artar.

Tip I, Tip II, ve Tip III kolektörleri için yutucu yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi, güneş ışıınım değerlerinin zamanla değişimine paraleldir. Bu değişim gün ortasına kadar artmakta, daha sonra ışıınım şiddetinin düşmesiyle birlikte azalmaktadır. Sıcaklık değişimi incelendiğinde giriş sıcaklığının en düşük, çıkış sıcaklığının ise en yüksek olduğu görülmektedir. Çıkış sıcaklığı, kollektör Tip I'de diğer kolektörlere göre daha yüksektir. Çünkü kutuların karmaşık olarak yerleştirilmesi ısı transfer alanını ve haliyle de yüzey sıcaklığını arttırmaktadır. Yutucu yüzey üzerinde ısı çiftler yardımıyla eşit aralıklarda ölçülen T_1, T_2, T_3, T_4 sıcaklık değerlerinin de giriş ve çıkış sıcaklıkları arasında kaldığı görülmektedir.

Kollektörlerin verimi, güneş hava kollektörünün yapısına ve güneş ışıınım değerine bağlıdır. Kollektörün malzemesi, şekli, boyutları performans gelişimini etkiler. Yutucu yüzey üzerine yerleştirilen kanatlar, engeller, kıvrımlı yüzeyler ve literatürde verilen farklı şekiller, ısı transfer alanını arttırdığı için verimi arttırırlar. Kollektörlerin termal performansını arttırmak için çeşitli modellerde güneş hava ısıtıcıları geliştirilebilir. Isı kaybının azaltılması verimi arttıran bir unsurdur, bu nedenle de yutucu yüzeyin iyi yalıtılması gerekir.

Yutucu yüzeyi üzerine kutuların karmaşık olarak yerleştirildiği kollektör Tip I, çift hava akışlı olacak şekilde dizayn edilmiştir. Çift hava akışlı olması kollektör performansı üzerine olumlu etki yapmaktadır. Elde edilen termal verim, literatürdeki bilinen değerlerle mukayese edilmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki uygun dizaynlar yapıldığında, çalışmamızda kullanılan kollektör Tip I iyi bir verim sağlayabilir. Bu kolektörden elde edilen verim %72'lere kadar uzanır ki bu sonuç bir güneş hava kollektörü için memnun edicidir.

KAYNAKLAR

1. Kreith, F., Kreider, JF., 1978, Principles of solar engineering. New York: McGraw-Hill.
2. Anderson, B., 1977, Solar energy: Fundamental in building design. New York: McGraw-Hill.
3. Kaygusuz, K., Kaygusuz, A., 2002, Renewable energy and sustainable development in Turkey. Renewable Energy;25:431-453.
4. Kaygusuz, K., 1997, Rural energy resources: Applications and consumption in Turkey. Energy Sources;19:549-558.
5. Abene, A., Dubois, V., Le Ray, M., Ouagued, A., 2004, Study of a solar air flat plate collector use of obstacles and application for the drying of grape. J Food Eng;65:15-22.
6. Ben Amara, M., Houcine, I., Guizani, AA., Maalej, M., 2005, Efficiency investigation of a new design air solar plate collector used in a humidification-dehumidification desalination process. Renewable Energy;30:1309-1327.
7. Metwally, MN., Abou-Ziyan, HZ., El-Leathy, AM., 1997, Performance of advanced corrugated-duct solar air collector compared with five conventional design. Renewable Energy;10:519-537.
8. Kolb, A., Winter, E.R.F., Viskanta, R., 1998, Experimental studies on a solar air collector with metal matrix absorber. Solar Energy;65:91-98.
9. Mohamad, A.A., 1996, High efficiency solar air heater. Solar Energy;60:71-76.
10. Albizzati, E.D., 2000, Solar collector for air heater. International Solar Energy Society;22:663-666.
11. Karim, Md.A., Hawlader, M.N.A., 2006, Performance investigation of flat plate, v-corrugated and finned air collectors. Energy;31:452-470.
12. Moumami, N., Youcef Ali, S., Moumami, A., Desmons, J.Y., 2004, Energy analysis of a solar air collector with rows of fins. Renewable Energy;29:2053-2064.
13. Njomo, D., 2000, Unglazed selective absorber solar air collector. Heat and Mass Transfer;36:313-317.
14. Sahu, M.M., Bhagoria, J.L., 2005, Augmentation of heat transfer coefficient by using 90° broken transverse ribs on absorber plate of solar air heater. Renewable Energy;30:2057-2073.
15. Ito, S., Kashima, M., Miura, N., 2000, A flat plate solar collector with dual channels for air flows.
16. Toğrul Türk, İ., Pehlivan, D., 2002, Konik yoğunlaştırılmalı bir güneş enerjili hava ısıtıcının verimine farklı absorber yüzey kullanımının etkisi. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi;22:47-53.

17. Yeh, H.M., Ho, C.D., Hou, J.Z., 1999, The improvement of collector efficiency in solar air heaters by simultaneously air flow over and under the absorbing plate. *Energy*;24:857-871.
18. Momin, A.E., Saini, J.S., Solanki, S.C., 2002, Heat transfer and friction in solar air heater duct with V-shaped rib roughness on absorber plate. *International Journal of Heat and Mass Transfer*;45:3383-3396.
19. Uçar, A., İnallı, M., 2006, Thermal and exergy analysis of solar air collector with passive augmentation techniques. *International Communication Heat and Mass Transfer*;33:1281-1290.
20. Alvarez, G., Arce, J., Lira, L., Heras, M.R., 2004, Thermal performance of an air solar collector with an absorber plate made of recyclable aluminium cans. *Solar Energy*;77:107-113.
21. Karsli, S., 2006, Performance analysis of new-design solar air collector for drying applications. *Renewable Energy* ; In Press.
22. Kreith, F., Kreider, J.F., 1978, *Principles of solar engineering*. New York: McGraw-Hill.
23. Verma, R., Chandra, R., Garg, HP., 1992, Optimization of solar air heater of different design. *Renewable Energy*;2:21-31.
24. Naphon, P., Kontragool, B., 2003, Theoretical study on heat transfer characteristics and performance of the flat plate solar air heaters. *Heat and Mass Transfer*;30:1125-1136.
25. Hachemi, A., 1999, Theoretical and experimental study of efficiency factor, heat transfer and thermal heat loss coefficients in solar air collectors with selective and nonselective absorbers. *Int J Energy Res*;23:675-682.
26. Forson, F.K., Nazha, M.A.A., Rajakaruna, H., 2003, Experimental and simulation on a single pass, double duct solar air heater. *Energy Conversion and Management*;44:1209-1227.
27. Ghoneim, A.A., 2005, Performance optimization of solar collector equipped with different arrangements of square-celled honeycomb. *Intenational Journal of Thermal Sciences*;44:95-105.
28. Kalogirou, S., 2003, The potential of solar industrial process heat applications. *Appl Energy*;76:337-361.
29. ASHRAE, 1995, *Handbook of HVAC Applications*, Atlanta.
30. Spate, F., Hafner, B., Schwarzer, K., 1999, A system for solar process heat for decentralised applications in developing countries. *Proceeding of ISES Solar World Congress*, Jerusalem, Israel on CD-ROM.
31. Schwiger, H., 1997, *Optimisation of solar thermal absorber elements with transparent insulation*, Spain on CD-ROM.

32. Benz, N., Haster, W., Hetfleish, J., Tratzky, S., Klein, B., 1998, Flat-Plate solar collector with glass TI. Proceeding of Eurosun'98 Conference on CD-ROM, Portoroz, Slovenia.
33. Tripanagnostopoulos, Y., Souliotis, M., Nousia, Th., 2000, Solar collector with colored absorbers. *Solar Energy*; 68:343-356.
34. Orel, ZC., Gunde, MK., Hutchins, MG., 2002, Spectrally selective solar absorbers in different non-black colours. Proceedings of WREC VII, Cologne on CD-ROOM.
35. Winston, R., 1974, Solar concentrators of novel design. *Solar Energy*; 16:89-95.
36. Mills, DR., Giutronich, JE., 1978, Asymmetrical non-imaging cylindrical solar concentrators. *Solar Energy*; 20:45-55.
37. Ronnelid, M., Perers, B., Karlsson, B., 1996, Construction and testing of a large-area CPC-collector and comparison with a flat plate collector. *Solar Energy*; 57(3):177-184.
38. Kalogirou, S., Eleftheriou, P., Lloyd, S., Ward, J., 1994, Desing and performance characteristics of a parabolic-trough solar collector system. *Appl Energy*;47:341-354.
39. Garg, HP., Hrishikesan, DS., 1998, Enhancement of solar energy on flat-plate collector by plane booster mirrors. *Solar Energy*;40(4):295-307.
40. Seitel, SC., 1975, Collector performance enhancement with flat reflectors. *Solar Energy*;17:291-295.
41. Perers, B., Karlsson, B., Bergkvist, M., 1994, Intensity distribution in the collector plane from structured booster reflectors with rolling grooves and corrugations. *Solar Energy*;53(2):215-226.
42. Kalogirou, S., 1991, Solar energy utilisation using parabolic trough collectors in Cyprus. MPhil Thesis. The Polytechnic of Wales on CD-ROM.
43. Kearney, DW., Price, HW., 1992, Solar thermal plants-LUZ concept. Proceedings of the Second Renewable Energy Congress, Reading UK, vol.2.;p.582-588.
44. Grasse, W., 1995, Solar PACES Annual Report, DLR Germany.
45. Dudley, V., 1995, SANDIA Report test result for industrial solar technology parabolic trough solar collector. SAND94-1117, Albuquerque, USA: Sandia National Laboratory.
46. Francia, G., 1968, Pilot plants of solar steam generation systems. *Solar Energy*;12:51-64.
47. Mills, DR., 2001, Solar thermal electricity. In Germany:ISES;p.577-651.
48. Feuerman, D., Gordon, JM., 1991, Analysis of a two-stage linear Frensel reflector solar concentrator. *ASME J Solar Energy Engng*;113:272-279.
49. Duffie, JA., Beckman, WA., 1991, Solar engineering of thermal processes. New York: Wiley.
50. Klein, SA., 1975, Calculation of flat plate collector loss coefficients. *Solar Energy*;17:79-80.

51. Bejan, A., Kearney, DW., Kreith, F., 1981, Second law analysis and synthesis of solar collector system. J Solar Energy Engng;103:23-28.
52. Bejan, A., 1995, Entropy generation minimization. 2nd ed. Boca Raton: CRC Pres.
53. Parker, B.F., Lindley, M.R., Colliver, D.G., Murphy, W.E., 1993, Termal performance of three solar air heaters. Solar Energy;6:467-479.
54. Sodha, M.S., Chandra, R., 1994, Solar drying systems and their testing procedure. Energy Conversion Management;35(3):219-267.
55. ASHRAE STANDART 93-86, 1991, Methods of testing to determine the thermal performance of solar collectors. The American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta EU.
56. Acosta, A.R., Vazques, J.J., 1994, Diseno construccion y caracterizacion de un secador solar de productos agricolas. Bachelor Thesis, Tech. Inst. of Zacatepec., Mexico.

ÖZGEÇMİŞ

Filiz ÖZGEN, 13 Eylül 1976 yılında Elazığ'da doğdu. İlk, Orta ve Lise öğrenimini Elazığ'da tamamladı. 1993 yılında Elazığ Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü kazandı. Üniversite eğitimini 1997 yılında tamamladı. 2004 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümünde açılan Araştırma Görevliliği sınavını kazandı. Halen aynı bölümde görev yapmaktadır. Evli ve iki çocuk annesidir.