

**GÜNEŞ ENERJİLİ TABİİ SİRKÜLASYONLU
ENDİREKT SICAK SU HAZIRLAMA SİSTEMLERİNDE
KANATÇIK OPTİMİZASYONU**

MUSTAFA AKTAŞ

133411

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
(MAKİNE EĞİTİMİ)**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**T.C. YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
BİLGİ YAYINLARI MERKEZİ**

133401

TEMMUZ 2003

ANKARA

Mustafa AKTAŞ tarafından hazırlanan GÜNEŞ ENERJİLİ TABİİ SİRKÜLASYONLU ENDİREKT SICAK SU HAZIRLAMA SİSTEMLERİNDE KANATÇIK OPTİMİZASYONU adlı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.



Prof. Dr. Etem Sait ÖZ

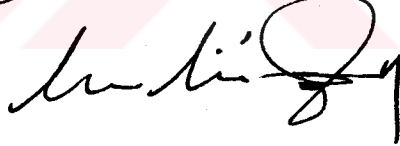
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, Jürimiz tarafından Makine Eğitimi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Etem Sait ÖZ



Üye : Doç. Dr. Hikmet DOĞAN



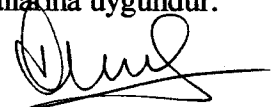
Üye : Yrd. Doç. Dr. Adnan SÖZEN



Üye :

Üye :

Bu tez Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	İ
ABSTRACT.....	İi
TEŞEKKÜR.....	İii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	İv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	V
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	Vii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	5
3. GÜNEŞ ENERJİSİ.....	9
3.1. Genel Bilgiler.....	9
3.2. Güneş Enerjisinin İlk Uygulamaları.....	10
3.3. Neden Güneş Enerjisi ?.....	11
3.4. Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları.....	14
3.4.1. Isıl uygulamalar.....	15
3.4.2. Fotovoltaik uygulamalar.....	17
3.4.3. Pasif güneş enerjisi uygulamaları.....	18
4. GÜNEŞ ENERJİSİ SICAK SU HAZIRLAMA SİSTEMLERİ.....	20
4.1. Tabii Sirkülasyonlu Sistemler.....	21
4.2. Zorlanmış Dolaşimli (Pompalı) Sistemler.....	22
4.3. Direkt Sistemler.....	25
4.4. Endirekt Sistemler.....	25
4.5. Güneş Kollektörleri.....	27
4.5.1. Saydam örtü.....	29
4.5.2. Yutucu yüzey.....	30
4.5.3. Seçici yüzey.....	31

4.5.4. Isı yalıtımı ve kasa.....	32
4.5.5. Akışkan taşıyan borular.....	33
4.6. Depolama Tankları.....	34
4.7. Boru Çapı ve Levha Kalınlığı.....	35
5. GENİŞLETİLMİŞ YÜZEYLERDEN ISI GEÇİŞİ.....	36
5.1. Kanatlarda İletimin Genel Çözümlemesi.....	39
5.2. Sabit Kesit Alanlı Kanatlar.....	41
5.3. Kanat Etkenliği.....	47
6. DOĞAL İŞİ TAŞINIMI.....	53
6.1. Yatay Boruda Doğal Isı Taşınımı.....	53
7. MATERYAL VE METOD.....	56
7.1. Deneysel Setlerin Hazırlanması.....	56
8. DENEYLERİN YAPILIŞI.....	60
9. DENEY SONUÇLARI.....	61
9.1. Enerji Hesapları.....	61
9.1.1. Sistemlere verilen enerji.....	61
9.1.2. Sistemlerden elde edilen enerji.....	65
9.1.3. Sistemlerin verimi.....	66
9.2. Deneysel Veri Hesapları.....	66
9.2.1. Sisteme verilen enerji hesabı.....	66
9.2.2. Sistemlerden elde edilen enerji hesabı.....	68
9.2.3. Verim hesabı.....	71
10. KANATÇIK HESAPLAMALARI.....	93
10.1. 10x310 mm Kanatçıklı Sistem.....	93
10.2. 20x310 mm Kanatçıklı Sistem.....	95
10.3. 30x310 mm Kanatçıklı Sistem.....	96
11. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	99
KAYNAKLAR.....	102



**GÜNEŞ ENERJİLİ TABİİ SİRKÜLASYONLU
ENDİREKT SICAK SU HAZIRLAMA SİSTEMLERİNDE
KANATÇIK OPTİMİZASYONU**

(Yüksek Lisans Tezi)

MUSTAFA AKTAŞ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Haziran 2003

ÖZET

Bu çalışmada güneş enerjili tabii sirkülasyonlu endirekt sıcak su hazırlama sistemlerinde kanatçık optimizasyonu yapılmıştır. Bu nedenle bütün özellikleri aynı olan, sadece ısı eşanjörü üzerinde kanatçık ölçüleri farklı olan endirekt dört ayrı sistemin performansları deneysel olarak incelenmiş ve karşılaştırmaları yapılmıştır. Karşılaştırma sonucunda ısı eşanjörü üzerinde kanatçık olmayan sistemin verimi % 55 , diğer sistemlerin verimleri ise 10 x 310 mm % 56, 20 x 310 mm % 58 ve 30 x 310 mm % 62 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre kanatçık kullanmanın uygunluğu saptanmıştır. 30 x 310 mm kanatçıklı sistemin diğer sistemlere göre daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.

Bilim Kodu :
Anahtar Kelimeler : Güneş enerjisi, endirekt sistem, kanatçık, verim
Sayfa Adedi : 106
Tez yöneticisi : Prof. Dr. Etem Sait ÖZ

**THE FIN OPTIMIZATION IN THE NATURAL CIRCULATION INDIRECT
HOT WATER PREPARING SYSTEMS BY SOLAR ENERGY**

(M. Sc. Thesis)

MUSTAFA AKTAŞ

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE END TECHNOLOGY**

June 2002

ABSTRACT

In this study the fin optimization has been done in the natural circulation indirect hot water preparing systems by solar energy. Due to the this reason the performance of four different indirect systems whole properties are the same only the fins dimensions are different on the heat exchanger were examined experimentally and compared. The results of comparing performance of the system that without fin on the heat exchanger is 55 %, the performance of other systems 10x310mm 56 %, 20x310 mm 58 % and 30x310 mm 62 % has been determined. According to these results the appropriateness using fin was obtained. It has been seen that the system that finned 30x310 mm has better performance than the other systems.

**Science Code :
Key Words : Solar energy, indirect system, fin , performance
Page Number : 106
Adviser : Prof. Dr. Etem Sait ÖZ**

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. Etem Sait ÖZ' e, yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Hikmet DOĞAN' a, ihtiyacım olduğunda ilgisi ve desteği ile bana yardımcı olan Öğr. Gör. Tayfun MENLİK' e, deney setlerinin hazırlanmasında ve deneylerin yapılması sırasında bana yardımcı olan Rahim YÜKSEL' e ve İstek-Solar Isı çalışanlarına, tezin her aşamasında destek ve yardımlarını gördüğüm eşim Gönül AKTAŞ' a, her konuda desteğini esirgemeyen ağabeyim Serdar AKTAŞ' a ve emeği geçen herkese teőekkürlerimi sunarım..



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Türkiye’de coğrafi bölgelere göre güneş enerjisi potansiyeli ve Türkiye ortalaması.....	12
Çizelge 6.1. Rayleigh sayısına bağlı sabitler.....	53
Çizelge 7.1. Sıcak su deposu ve eşanjör boyutları.....	57
Çizelge 9.1. Deney yapılan günlere ait Ankara ilinin verileri.....	61
Çizelge 9.2. Deney Yapılan Günlere ait Ankara ilinin güneş ışımın şiddeti verileri.....	62
Çizelge 9.3. Deney süresince tespit edilen maksimum sıcaklık değerleri.....	65
Çizelge 9.4. 23 Temmuz 2001 günü sıcak su hazırlama sistemlerinden ölçülen sıcaklık değerleri.....	70
Çizelge 9.5. 24 Temmuz 2001 günü sıcak su hazırlama sistemlerinden ölçülen sıcaklık değerleri.....	75
Çizelge 9.6. 26 Temmuz 2001 günü sıcak su hazırlama sistemlerinden ölçülen sıcaklık değerleri.....	79
Çizelge 9.7. 30 Temmuz 2001 günü sıcak su hazırlama sistemlerinden ölçülen sıcaklık değerleri.....	83
Çizelge 9.8. 31 Temmuz 2001 günü sıcak su hazırlama sistemlerinden ölçülen sıcaklık değerleri.....	87
Çizelge 9.9. 01 Ağustos 2001 günü sıcak su hazırlama sistemlerinden ölçülen sıcaklık değerleri.....	91
Çizelge 10.10. Sistemlerin deney yapılan günlere ait verim değerleri.....	100

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. Tabii dolaşımli direkt sıcak su hazırlama sistemi.....	22
Şekil 4.2. Kollektör devresi tam dolu olmayan pompalı indirekt sistem.....	24
Şekil 4.3. Güneş enerjili indirekt sıcak su hazırlama sistemi.....	26
Şekil 4.4. Düzlemsel bir güneş kollektörü.....	29
Şekil 5.1. Bir yapısal elemanda bileşik iletim ve taşınım.....	36
Şekil 5.2. Bir düzlemsel duvardan ısı geçişinin artırılmasından ısı geçişinin artırılmasında kanat kullanımı.....	37
Şekil 5.3. Tipik kanatlı- boru ısı değiştiricileri.....	38
Şekil 5.4. Kanat türleri.....	39
Şekil 5.5. Genişletilmiş yüzeyde enerji dengesi.....	40
Şekil 5.6. Sabit kesitli düz kanatlar	42
Şekil 5.7. Sabit kesitli bir kanatta ısı iletimi ve taşınımı.....	43
Şekil 5.8. Dikdörtgen, üçgen ve parabolik profilli düz kanatların verimleri..	51
Şekil 5.9. Dikdörtgen profilli dairesel kanatların verimleri.....	52
Şekil 7.1. Eşanjör kanatçık detayı.....	57
Şekil 7.2. Sistemlerin bağlantı şeması.....	58
Şekil 9.1. 23 Temmuz 2001 gününe ait sıcaklık zaman grafiği.....	71
Şekil 9.2. 24 Temmuz 2001 gününe ait sıcaklık zaman grafiği.....	76
Şekil 9.3. 26 Temmuz 2001 gününe ait sıcaklık zaman grafiği.....	80
Şekil 9.4. 30 Temmuz 2001 gününe ait sıcaklık zaman grafiği.....	84

Şekil 9.5. 31 Temmuz 2001 gününe ait sıcaklık zaman grafiği.....	88
Şekil 9.6. 01 Ağustos 2001 gününe ait sıcaklık zaman grafiği.....	92
Şekil 10.7. Sistemlerin verim-deney yapılan günler grafiği.....	100



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simge	Açıklama
ϕ	Enlem derecesi ($^{\circ}$)
β	Işın toplayıcının yatayla yaptığı açı ($^{\circ}$)
γ	Azimut açısı ($^{\circ}$)
ω	Güneş saat açısı ($^{\circ}$)
$\text{Cos } \theta$	Eğik düzlemin normali ile direkt güneş radyasyonu arasındaki açı ($^{\circ}$)
r_a	Eğik düzlemin çevresinin toplam güneş radyasyonu için yansıtma katsayısı
δ	Güneş deklinasyon açısı ($^{\circ}$)
n	Yılın hesabı yapılan x. günün sayısı
m	Kütle (kg)
c	Özgül ısı (kJ/kg K)
ΔT	Sıcaklık farkı ($^{\circ}\text{C}$)
t_{son}	Çıkış suyu sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
t_{ilk}	Giriş suyu sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
η	Verim
Q	Toplam ısı miktarı (J)
V	Hacim (m^3)
L	Boy (m)
D	Çap (m)
α_Y	Güneş ışınımı yutma oranı
ε	Uzun dalga boylu ısı ışınım yayma oranı
t	Kanat kalınlığı (m)
w	Kanat genişliği (m)

L	Kanat yüksekliği (m)
K	Toplam ısı geçiş katsayısı (W/m ² K)
k	Isı iletim katsayısı (W/mK)
α	Isı yayılım oranı (m ² /s)
ν	Kinematik viskozite (m ² /s)
P	Kanadın evre uzunluğu (m)
A	Isı geçişi yönünde kanatçık kesit alanı (m ²)
D_h	Hidrolik ap (m)
h	Isı taşınım katsayısı (W/m ² K)
g	Yerçekimi ivmesi (m/s ²)

Kısaltmalar	Açıklama
I_{TOP}	Eğik düzleme gelen güneş radyasyonu (W/m ² h)
I_{DIR}	Yatay düzleme gelen direkt radyasyon değeri (W/m ² h)
I_{DIF}	Yatay düzleme gelen difüz güneş radyasyonu (W/m ² h)
YYRA₁	Yatay yüzeye gelen radyasyon değeri (W/m ² h)
BUF	Bulanıklık faktörü
YYRA	Yeryüzü radyasyonu (W/m ² h)
ARA	Atmosfer ncesi ortalama radyasyon değeri (W/m ² h)
ϵ_f	Kanat etkenliği
Ra	Rayleigh sayısı
Gr	Grashof sayısı
Nu	Nusselt sayısı
Pr	Prandtl sayısı
PV	Photovoltaic

1. GİRİŞ

Doğanın bir parçası olan insanlar, sanayileşme ve uygar yaşamını sürdürebilmek için çevresinden daha çok yararlanmaya, çevresinde hazır bulamadıklarını da üreterek tüketmeye başlamıştır. Özellikle 19. Yüzyılın ikinci yarısından itibaren insanlık doğanın birikimi olan petrol, kömür ve madenler gibi yer altı kaynaklarını hızla tüketirken, üretim esnasında da atık ve yanma ürünleri ile yaşam ortamı olan çevreyi geri dönüşümsüz olarak kirletmiştir. İnsanlık kendi ve diğer canlıların yaşam ortamına zarar vermeden, doğal dengeyi bozmadan uygar ve konforlu yaşamayı sanayileşmesini sürdürebilmelidir. Sanayileşme, ısınma ve aydınlanma için gerekli enerjiyi doğaya zarar vermeden sağlayabilmelidir (1).

Özellikle 19. Yüzyılın ikinci yarısından itibaren başlayan ve hızla artan bir sanayileşme ile insanoğlu gerekli enerji ve hammaddeyi yeryüzünde bulamayınca yer altı kaynaklarına da el atmış, dünyanın birikimi olan petrol, kömür ve madenleri hoyratça tüketmeye başlamıştır. Sadece doğal kaynakları tüketmekle kalmamış, yeterli çevre bilinci olmadığı için kaynakların tüketimi ve yeni ürünlerin oluşumu sırasında kükürdioksit, azotoksitleri gibi asidik gazlar, karbondioksit, metan gibi sera gazları ve toksik maddelerin çevreye kontrolsüz salınması sonucu bitkiler, hayvanlar ve insanların olumsuz etkilenmesine neden olmuştur. Salgın hastalıkların önlenmesiyle dünya nüfusu da hızla artmıştır. 20. Yüzyılın başında bir milyar olan dünya nüfusu yüzyılın sonunda altı milyarı bulmuştur. Artan nüfusu beslemek ve alıştığı yüksek yaşam düzeyini korumak için bile daha çok temiz su, aydınlatma, ısınma, konut ve besine ihtiyaç olmuştur. Daha fazla besin üretmek için kullanılan gübrelerin atıkları akarsu ve gölleri aşırı nitrat ve fosfatla kirletmiş, su canlıları azalmış, iklim değişikliği, ormanların hızla yok olması korkutmuştur. Bilimsel araştırmalar çevreyi koruyarak sanayileşmenin mümkün olabileceğini ve bunların yollarını göstermiştir. Çevre dostu enerji kaynaklarından yararlanarak enerji ihtiyacının karşılanması sürdürülebilir kalkınma ve sanayileşmenin ilk ve önemli

basamağıdır. Zira sanayileşme için güvenilir enerjiye ihtiyaç vardır ve çevre en çok enerji üretimi esnasında kirlenir.

Dünyanın enerji ihtiyacının karşılanmasında gerekli olan güç için son yıllardaki durumu, 2015 yılı hedef alınarak bu zaman aralığındaki gelişmeler, bazı ihtimalleri hesaba katarak yapılan araştırmalar sonucu kömürün 2220 yılında, doğalgazın 2060 yılında ve petrolün de 2040 yılında tükeneceği tahmin edilmektedir (2).

Gelişme çabasındaki Türkiye'nin karşılaştığı en önemli sorunlardan birisi, ekonomik kalkınmanın motorunu ateşleyecek enerjiyi sağlamaktır. Gün geçtikçe artan ekonomik ve ekolojik hasarlara yerel enerji kaynaklarının sınırlı olmasının eklenmesi, Türkiye'nin enerji seçeneklerinin belirlenmesini kritik hale getirmektedir. Yani bir anlamda Türkiye, ya Batının kullanımını azaltmaya çalıştığı fosil yakıtlar ve nükleer güce yönelecek ya da verimliliği artırıp enerji ihtiyacını azaltarak, doğalgaz ve yenilenebilir kaynaklara daha fazla ağırlık verecektir (3).

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, toprak-su kaynakları ve deniz ürünleri gibi temiz enerji kaynakları sayılabilir. Dünya nüfusunun hızlı artışına paralel olarak enerji tüketiminin hızla artması, bu enerji kaynaklarının fosil kökenli olması ve yakın gelecekte tükenme tehlikesiyle karşı karşıya olması, ayrıca enerji fiyatlarının hızla yükselmesi diğer yandan çevresel problemlerle karşılaşılması insanların yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesini gerekli kılmaktadır (1).

Yenilenebilir enerji kaynakları ise dünyamızın en büyük ana enerji kaynağı olan güneşin doğrudan ve dolaylı oluşturduğu enerjiden yararlanmaya dayanır. Dünyanın yaratılışından bu yana güneş enerjisini sürekli göndererek dünyayı ısıttığı gibi suyu buharlaştırarak su enerjisi, farklı ısıtma sonucu rüzgar enerjisi, deniz akıntısı, dalga, deniz suyu sıcaklık farkı enerjisi, fotosentez sonucu fosil yakıtlar, biyokütle hatta gel-git enerjisinin de ana kaynağıdır. Dünyaya düşen tüm manyetik güneş enerjisinin

(1600 W/m^2) büyük bir kısmı atmosfer tarafından yansıtılır ve absorplanır. Eğim açısı, gece ve gündüz dikkate alındığında yeryüzünün metre karesine ortalama düşen enerji (200 W) tüm enerji ihtiyacımızı karşılayabilecek kapasitededir.

Kayıplardan sonra yeryüzüne bir günde düşen enerji miktarı 3.56×10^{18} Kcal civarındadır. Bu miktar 1990 yılında tüm dünyada tüketilen enerji miktarından 6000 kat fazladır yani başka bir ifadeyle uygarlığın başından beri insanlığın tükettiği enerji, sadece güneşten dünyaya 30 günde ulaşan enerjiye eşittir. Bu enerjinin kullanılabilir durumdaki büyük bölümü, Türkiye'nin de içinde bulunduğu 45° kuzey ve 45° güney enlemleri arasında kalan ve dünyanın güneş kuşağı olarak adlandırılan bölgededir. Yapılan ölçümlere göre ülkemizin % 63'ünde 10 ay, % 17'sinde 1 yıl boyunca güneş enerjisinden yararlanmak mümkündür (3).

Güneş enerjisinden yararlanmak için kullanılan ısıl uygulamalar düşük, orta ve yüksek sıcaklık uygulamaları olmak üzere üçe ayrılır. Düşük sıcaklık uygulamaları, daha çok düzlem toplayıcılarla su ısıtılması, konut ve sera ısıtılması için kullanılır. Orta sıcaklık uygulamalarında, güneş ışımının, odaklı toplayıcılarla toplanması ile, sanayi için gerekli sıcak su ve buhar elde etmek için kullanılır. Genellikle bu tip toplayıcılarda, güneş ışınlarını sürekli olarak alabilmek için güneşi izleyen mekanizmalara gerek vardır. 300°C sıcaklık değerinin üzerine çıkılabilen, yüksek sıcaklık uygulamalarında ise, geniş bir alana gelen güneş ışımını bir noktaya odaklanarak, metal ergitme fırınları çalıştırılabilir.

Teknolojik toplama başlığı altında kalan ikinci uygulama türü ise; güneş pilleri olarak isimlendirilen fotovoltaik uygulamalardır. Üzerlerine düşen güneş ışımını doğrudan elektrik enerjisine çeviren güneş pilleri doğru akım üretirler. Bu piller, seri veya paralel bağlanarak, ürettikleri akım ve gerilim değeri yükseltilebilir. Üretilen akımı depolayabilmek için, bir akümülatöre gerek vardır. Güneş pilleri, uzay programı için geliştirilmeye başlanmış; ancak, sonraki yıllarda, bilinen yollarla elektrik üretiminin güç olduğu ya da güç üretim merkezlerine uzak olan deniz

fenerleri, orman gözetleme kuleleri, çiftlik evleri ve dağ evleri gibi yerlerde de kullanılmaya başlanmıştır (4).

Güneş enerjisi konusunda yapılan araştırmalar, kullanımdaki en büyük engel olan depolanma sorununu yüksek derecede ısı, mekanik veya elektrik gücü halinde depolanmasını sağlayarak çözebilecek gibidir. Bazı ülkeler şimdiden güneş enerjisi potansiyelini değerlendirme yönünde önemli adımlar atmıştır. Örneğin İsrail'de konutların % 84'ünün sıcak su ihtiyacının güneş enerjisiyle sağlanmakta ve 9 kata kadar olan konutlarda güneş enerjisi ile su ısıtılması zorunlu tutulmaktadır. Ayrıca dünya üzerinde güneş enerjisini kullanan devasa elektrik üretim tesislerinden, binaların ısıtılıp soğutulmasına, sanayi tesislerinin çatılarına konulacak sistemlerle bu tesislerin sıcak su ihtiyaçlarının karşılanmasına, fotovoltaik pillerle elektrik üretimine kadar bir çok tesis kuruludur. Binalarda kullanılan enerjinin dörtte üçü ısıtma ve soğutmaya gitmektedir. Bu durum güneş enerjisi kullanımı için büyük bir potansiyel sağlamaktadır. Bina tasarım ve inşaatının uygun hale getirilmesi ile güneşten gelen enerjinin kontrol altına alınması ve kışın diğer yakıt türlerinden takviye edilerek ısıtma, absorpsiyonlu sistemler kullanılarak da soğutma yapılabilmektedir.

Temiz ve güvenilir olması, çevre sorunlarına neden olmaması gibi sebeplerle, güneş enerjisi gittikçe önem kazanmaktadır. Yenilenebilir bir enerji kaynağı olan güneş enerjisiyle çalışan sistemlerin geliştirilmesi ve daha verimli hale getirilebilmesi için yapılan araştırmalar gün geçtikçe artmaktadır.

Bu çalışmada güneş enerjisiyle kullanma sıcak suyu hazırlayan tabii sirkülasyonlu indirekt sistemlerde kanatçık optimizasyonu yapılmıştır. Bu amaçla, kanatçıkları farklı olan farklı deney setleri tasarlanmış ve imal edilmiş ve verimleri karşılaştırılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Yapılan literatür taramasında, güneş enerjili endirekt sıcak su hazırlama sistemlerinde kanatçık optimizasyonu ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Güneş enerjisi ile ilgili sistemler hakkında bir çok çalışma ve araştırma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda endirekt sistemlerle direkt sistemler karşılaştırılmış, sistemi oluşturan diğer elemanlar incelenmiş, değişik özelliklere sahip düzlemsel güneş kolektörlerinin verimleri kıyaslanmış, güneş enerjisi tesisatı kolektör ve boru bağlantılarında yapılan hataların ısı verime olan etkisi incelenmiş, güneşi izleyen sistemin sabit sisteme göre kıyaslanması yapılmış, endirekt güneş enerjisi sistemlerinde kullanılabilen ara faz elemanlarının araştırılması yapılmıştır.

Korucu, 1992 yılının Ağustos ayında kendinden depolu kolektörler için bir simülasyon programı geliştirmiştir. Yüksek geçirgen ve yalıtım maddeler kullanan kendinden depolu kolektörler Orta ve Kuzey Avrupa gibi soğuk iklimli bölgelerde mümkün görülmüştür. Yıllık güneşten faydalanma oranı ve verim, bilinen güneş kolektörlerine eşit veya daha yüksek olduğu belirlenmiştir. 12 aylık işletme döneminde güneşten faydalanma oranı % 58 ve verim % 28 olmuştur. Bu durum 40 l/m² gün su boşaltma özel durumunda % 68 faydalanma oranı ve % 36 verim şeklinde gerçekleşmiştir (5).

Aras, 1996 yılının Haziran ayında endirekt bakır borulu ve levhalı termosifon akışlı güneş kolektörünün ışınım ve ısı analizini deneysel ve analitik olarak araştırmıştır, termosifon akışlı kolektörün teorik analizinde akışın laminar olduğu varsayılarak termosifon sistem su debisinin, kolektör giriş ve çıkış sıcaklık farkının ve sistemdeki basınç kaybının hesaplanmasını sağlayan bir model geliştirmiştir (6).

Ertunç, 1997 yılının Ekim ayında kontrüksiyon olarak değişik malzemelerden yapılmış olan düzlemsel güneş kolektörlerinin performansları ile açık ve kapalı sistemlerde kolektör giriş-çıkış sıcaklıklarına ilaveten absorber ve cam sıcaklıkları

ölçülmek suretiyle kollektörlerin sıcak su üretim verimleri ölçülerek birbiriyle kıyaslanmıştır. Polipropilen kollektörlerin ısı iletim katsayısı düşük olmasına rağmen verimlerinin alüminyum kollektöre göre daha yüksek çıkması polipropilen kollektörün petek yapısından daha yüksek olmasından ileri geldiği saptanmış, polipropilen absorberli kollektörlerin açık sistemlerde depo suyu sıcaklığının, alüminyum absorberli kollektör sisteminin depo suyu sıcaklığına göre daha yüksek olduğu sonucuna varmıştır. (7).

İlhan, 1999 yılının Mart ayında güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemlerinin çalışma karakteristiklerini deneysel olarak incelemiş, debi, ışınlım, giriş ve çıkış sıcaklık değerleri ölçülerek gün içerisindeki belli zamanlardaki verim ve akış hızına bağlı olarak termosifon sisteminin montaj ve çalıştırılmasının kolay olması ve aynı zamanda diğer güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemlerine göre verimin daha iyi olması nedeniyle yaygın kullanıma sahip olduğu gözlemlenmiştir (8).

Menlik, 1999 yılının Ekim ayında tabii dolaşimli direkt ve indirekt iki ayrı sistem üzerinde ısı verim açısından performans deneyleri yapmış, deneyler aynı özellikte aynı şartta ve ortamda yapılarak direkt sistemin ısı veriminin indirekt sisteme göre % 7 daha yüksek olduğu görülmüştür (9).

Kurtbaş, 2000 yılında kapalı devre güneş enerjisi sistemlerinde kullanılabilen ara faz elemanlarının araştırmasını yaparak deney sonuçlarına göre ara faz elemanlarının ısı çekme kapasitelerinin iyiliği sırasıyla % 50 su- % 50 propilen glikol karışımı buna çok yakın değerlerde % 50 su- % 50 etilen glikol karışımı, şanzıman yağı ve trafo yağı olarak saptanmıştır (10).

Bayram, 2000 yılının Ağustos ayında ışın toplayıcı ve ısı ileticileri birbirinden farklı indirekt ve direkt dolaşimli olan altı adet sıcak su hazırlama sistemlerinin ısı performanslarını karşılaştırmıştır. Deneyler aynı anda aynı şartta ve ortamda yapılarak yapılan deney sonucunda direkt dolaşimli sistemlerin indirekt dolaşimli

sistemlere göre % 12 daha iyi verimli olduğu görülmüştür. Ayrıca depo tip ısı soğurmalı sistem diğer sistemlerin ortalama verim sonuçlarına göre yaklaşık % 17 oranında daha iyi performans göstermiştir. (11).

Altuntop, Tekin ve İlbaş 2001 yılının Ekim ayında güneş enerjisi tesisatı kollektör ve boru bağlantılarında yapılan hataların ısı verime etkisini deneysel olarak incelemiş, bu hatalardan, farklı uzunluktaki boru boyu uygulaması çok kollektörlü sistemlerde ilk kollektörden sonra diğer kollektörlerde gittikçe azalan değerlerde su dolaşmasından dolayı kollektörlerin ısı veriminde düşmeye sebep olduğu ve bu düşmenin kollektör sayıları arttıkça daha da arttığı belirlenmiştir. Doğal dolaşimli sistemlerde, su dolaşım hızının ve buna bağlı olarak elde edilen sıcak su miktarının azalmaması için minimum sayıda, tesisat elemanı kullanılması özellikle dirseklerin oluşturduğu basınç kaybının ortadan kaldırılması için, fleksibil borular kullanılması faydalı görülmüştür (1).

Alaçakır ve Korucu, 2001 yılının Ekim ayında güneşi izleyen sistemin sabit sisteme göre kıyaslanmasını deneysel olarak incelemiş, bir yıl boyunca yapılan ölçümlerde, aylara göre değişmekle birlikte ortalama olarak enerjiden % 20 den fazla faydalanım olduğu görülmüştür (1).

Ekmekçi, Dizdar ve Özçelebi 2001 yılının Ekim ayında Kocaeli İli için bir güneş enerjili su ısıtma sistemi ve boyutlandırılması konusunda çalışmış yapılan deneyler sonucunda düzlemsel yüzeyli güneş kollektörlerinde verimi artıran en önemli parametrenin kollektör bünyesindeki yutucu yüzey kaplaması olduğu gözlemlenmiştir. Kocaeli ili için yapılan güneş enerjili su ısıtma sisteminin projelendirilmesi sonucunda yılın dört ayı boyunca enerji ihtiyacının tamamına yakın kısmının güneş kollektörlerinden karşılanacağı görülmüş, diğer aylarda ise güneş enerjisi potansiyeline bağlı olarak değişen oranlarda bu ihtiyacın karşılanabileceği ortaya çıkmıştır (1).

Variyenli, 2002 yılının Temmuz ayında tabii sirkülasyonlu güneş enerjili indirekt sıcak su hazırlama sistemlerinde eşanjör kapasitesinin verime olan etkisini incelemiştir. Aynı özellikte aynı şart ve ortamda yapılan deneyler sonucunda kullanma suyu kapasitesi 50 lt ve eşanjör kapasitesi 5 lt olan sıcak su hazırlama sisteminin verimi diğer sistemlere göre % 5 daha yüksek çıkmıştır (12).



3. GÜNEŞ ENERJİSİ

3.1. Genel Bilgiler

Güneş galaksi merkezinden yaklaşık 27000 ışık yılı uzaklıkta ve galaksi düzlemine 100 ışık yılı mesafededir. Güneş ile gezegenler ve gezegenlerin tesirinde olan uydular ve gök cisimleri güneş sistemini meydana getirirler. Güneşin kütlesi yaklaşık 2×10^6 ton, çapı $1,39 \times 10^6$ km ve ortalama olarak $1,41 \text{ gr / cm}^3$ yoğunluğundaki sıcak gaz topluluğudur. Güneşin yüzey sıcaklığı 5762 K ' dir. Güneşten yeryüzüne düşen ışınım değeri yani güneş sabiti 1353 W/m^2 'dir (13).

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışıma enerjisidir, güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden kaynaklanır. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Dünya'ya güneşten gelen enerji, dünya'da bir yılda kullanılan enerjinin 20 bin katıdır. Güneş ile dünya arasındaki mesafe 150 milyon km'dir. Güneşin, 5 milyar yıl sonra tükeneceği hesaplanmaktadır. Yeryüzüne düşen güneş radyasyonu değeri yaklaşık olarak $4 \times 10^{24} \text{ J/yıl}$ ' dir (14).

Enerji yaşam için önemlidir. Vücudun işlemi direkt olarak enerjiye bağlıdır. Güneşten gelen enerji bitkilerde ve hayvanlarda kimyasal enerji depolamak için dönüştürülür. Bu yiyecekler gücün kaynağı olur ki bu güç kas gücünü, vücut sıcaklığını ve yaşamı sağlar. İnsanoğlu güneş güçlü bir sistemdir (15).

Güneş ışınımının tamamı yeryüzüne ulaşmaz, % 30 kadarı dünya atmosferi tarafından geriye yansıtılır. Güneş ışınımının % 50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır. Bu enerji ile dünya'nın sıcaklığı yükselir ve yeryüzünde yaşam mümkün olur. Rüzgar hareketlerine ve okyanus dalgalanmalarına da bu ısınma neden olur. Güneşten gelen ışınımın % 20'si atmosfer ve bulutlarda tutulur.

Yeryüzüne gelen güneş ışımının % 1'den azı bitkiler tarafından fotosentez olayında kullanılır. Dünya'ya gelen bütün güneş ışımını, sonunda ısıya dönüştür ve uzaya geri verilir (16).

Güneş, nükleer yakıtlar dışında dünyada kullanılan bütün yakıtların ana kaynağıdır. İçinde sürekli olarak hidrojenin helyuma dönüştüğü füzyon reaksiyonları gerçekleşmekte ve oluşan kütle farkı, ısı enerjisine dönüşerek uzaya yayılmaktadır. Ancak bu enerjinin çok küçük bir kısmı yeryüzüne ulaşmaktadır. Atmosferdeki CO₂, su buharı ve ozon gibi gazların güneş ışığını absorbe etmeleri, bunun yanısıra katedilmesi gereken yolun uzunluğu, yeryüzüne ulaşan güneş ışığı değerinin düşük olmasına neden olur. "Sera etkisi"ne neden olan CO₂'nin atmosfere yayılımının % 80'i , enerji üretimi, dağıtımı ve tüketiminden kaynaklanmaktadır. CO₂ günümüz toplumunun en büyük yanma atık ürünüdür (1).

Güneş ışınları atmosferi geçerken, toz partiküller ve gaz moleküller tarafından yansıtılır saptırılır ve absorbe edilirler. Bu da ışınların zayıflamasına neden olur. Güneş ışınlarının, atmosferi hiçbir engel olmadan geçen ve direkt olarak yeryüzüne düşen bileşeni direkt ışınım olarak tanımlanır. Güneş ışınlarının, toz partikülleri ve gaz molekülleri tarafından yansıtılan veya absorbe edilerek yeniden aksettirilen ve yönsüz olarak yeryüzüne ulaşan bölümü ise difüz ışınım olarak tanımlanır (17).

3.2. Güneş Enerjisinin İlk Uygulamaları

İnsanların güneş enerjisinden faydalanmaları oldukça eski tarihlerde başlamıştır. Socrates (M.Ö 400), evlerin güney yönünde fazla pencere konularak güneş enerjisinden daha çok yararlanılabileceğini belirtmiştir. Archimedes (M.Ö. 250), içbükey aynalarla güneş ışımını odaklayarak Syracuse'yı kuşatan gemileri yakmıştır (18).

Güneş enerjisi konusundaki çalışmalar 1600 yılında Galile'nin merceği bulmasıyla hız kazanmıştır. İlk defa Fransa'da 1725 yılında Belidor tarafından güneş enerjisi ile çalışan bir su pompası yapılmıştır. Fransız Mouchot 1860'da parabolik aynalar yardımıyla güneş ışımını odaklayarak küçük bir buhar makinasını çalıştırmıştır. Güneş enerjisi ile çalışan hava çevrimli bir makina 1868 yılında Ericsson tarafından yapılmıştır. Bu yıllarda güneş enerjisi konusundaki çalışmalar yoğunlaşmış, tatlı su elde edilmesi ve güneş ocakları konusunda çok sayıda çalışma yapılmıştır. Amerikalı iki bilim adamı Shuman ve Boys 1913'de parabolik aynalar yardımıyla bir buhar üretici yapmışlar ve bundan faydalanarak Nil nehrinden su çeken 50 HP'lik su pompasını çalıştırmışlardır (18).

Güneş enerjisi ile elektrik üretmek amacı ile ilk tesis 1915 yılında J.A Harwigton tarafından ABD'de yapılmıştır. İlk güneş pili de yine ABD'de Bell laboratuvarlarında 1954 yılında D.M. Chapin, C. Fuller, ve G.L Person tarafından yapılmıştır.

I. Dünya savaşı ve sonrasında petrolün önem kazanmasıyla güneş enerjisi üzerindeki çalışmalar araştırma seviyesinde kalmıştır. Güneş enerjisinin önem kazanması özellikle 1973'deki dünya enerji kriziyle başladı. Petrol fiyatlarının gittikçe artması, buna bağlı olarak da siyasi ve ekonomik çekişmelerin başlaması yeni enerji kaynakları üzerindeki çalışmaları artırmıştır. Özellikle de güneş enerjisi, üzerinde en çok çalışılan yeni enerji kaynağı olmuştur (18).

3.3. Neden Güneş Enerjisi ?

Güneş ışımını güneşten homojen olarak her yöne saçılan bir enerji akımıdır. Bu enerji akımında dünyanın dış atmosferine $1,353 \text{ kW/m}^2$ 'lik bir güç ulaşmaktadır. Bu değere güneş sabiti denilmektedir. Türkiye'de yatay düzleme gelen toplam güneş ışımını yaklaşık 3037 kcal/m^2 gün'dür. Bu miktar teorik olarak yılda 123 milyar TEC (Ton Eşdeğer Taşkömürü) veya yaklaşık 86 milyar TEP (Ton Eşdeğer Petrol)'e

eşittir. Ekvatorun 45° kuzey ve 45° güney enlemlerinde kalan bölgeye güneş kemeri denir. Türkiye bulunduğu coğrafi konum itibariyle (36° - 42° kuzey enlemleri arasında) bu kemere çok yakın olduğundan güneş enerjisi alma yönünden oldukça şanslı bir ülkedir. Yıllık güneşlenme süresi ortalama olarak 2640 saat civarındadır. Çizelge 3.1.'de Türkiye'de coğrafi bölgelere göre güneş enerjisi potansiyeli ve Türkiye ortalaması verileri görülmektedir.

Çizelge 3.1. Türkiye'de coğrafi bölgelere göre güneş enerjisi potansiyeli ve Türkiye ortalaması

Coğrafi Bölgeler	Toplam güneş enerjisi kWh / m² yıl	Yıllık toplam güneşlenme süresi saat / yıl
G. Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Ege	1304	2738
İç Anadolu	1314	2628
D. Anadolu	1365	2664
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971
Türkiye Ortalaması	1311	2640

Türkiye'de halen toplam enerji tüketiminin yaklaşık üçte biri binaların ısıtılmasında kullanılmaktadır. Enerji tasarrufu düşünülerek yapılan binalarda, özellikle ekonomik ısıtma sistemlerinin kullanılması ile binaların enerji tüketimi belirgin ölçüde azaltılabilir. Güneş enerjisi, mevcut enerji kaynaklarının ve dünya atmosferinin korunmasına yönelik önemli katkılar sağlayabilir. Kullanma suyunun ısıtılmasında güneş enerjisi kullanılması durumunda yüksek bir enerji tasarruf potansiyeli bulunmaktadır. Ülkemizin bulunduğu enlem aralığında özellikle yaz aylarında merkezi bir boyler bağlantılı güneş kollektörlerinin kullanılması alışlagelmiş konvansiyonel kazanlara ilginç bir alternatif oluşturmaktadır. Kullanma suyunun

ısıtılması için gerekli olan enerji yıllık takvimden bağımsızdır ve özellikle yaz aylarında kullanma suyu enerji ihtiyacı ile güneş enerjisi arzı arasında zaman yönünden bir uyum söz konusudur. Bir veya iki aileli konutlarda birbirine uyumlu bileşenlerden oluşan doğru olarak tasarlanmış güneş enerjisi sistemlerinin tesisi ile kullanma suyunun ısıtılması için gerekli olan yıllık enerji ihtiyacının yaklaşık % 50 ila % 80'i arasında bir enerji tasarrufu sağlanabilir (19).

Büyük enerji projelerinde uluslararası kredi desteği için aranan şartlar arasında, çevresel etki değerlendirmesi önemli bir yer tutmaktadır. Kentlerde fosil yakıt kullanımının maliyetleri hesaplandığında hava kirliliği insan sağlığı, insan sağlığına olan olumsuz etkileri ve hastane masrafları, asit yağmurlarından etkilenen ormanların değerleri, yok olan kuşların ve ekolojik dengenin maliyetleri bu enerjinin zorunlu dışsal maliyetleri olarak göz önüne alınmaktadır (1).

Çoğu enerji su ısıtma amacı için kullanılır. Tipik bir Avustralya evinde su ısıtma için harcanan enerji evde harcanan toplam enerjinin % 40'ına kadar ulaşır. Enerji kaynakları genel olarak % 79 elektrik, % 16 gaz ve % 5'i ise güneş enerjisi ve yenilenebilir enerji kaynaklarıdır (20).

Ürdün'de kullanma sıcak suyu ısıtma sistemleri yaygın olarak kullanılır. Yaklaşık oturanların % 12 'si su ısıtmak için güneş enerjisi kullanır. Ürdün'de güneş enerjili ısıtma sistemlerine ek olarak diğer kullanma sıcak suyu hazırlama sistemleri analitik hiyerarşi yöntemi kullanılarak fiyat ve faydaları bakımından ele alınarak fiyat açısından en az pahalı olan güneş enerjili su ısıtma sistemleri ve fayda bakımından ise güneş enerjili sistemler en faydalı sistemler olarak görülmüştür (21).

Güneş pilleri teknolojisi elektrik üretim ihtiyacımızı karşılayacak potansiyele sahiptir. Örneğin, 18 km x 18 km boyutlarında bir solar hücre ağı yılda 67,342 gigawatt saat elektrik enerjisi üretebilir ve bu kabaca Türkiye'nin 1992 yılındaki toplam elektrik enerjisi üretimine denktir. Mevcut elektrik ağından 1 km uzaktaki bir

ev için güneş pilleri kullanmak, bir transformatör istasyonu kurmaktan ve iletim kabloları ile direkleri inşa etmekten daha ucuza gelebilir (1).

Güneş enerjili sistemlerin tercih edilmesinin birçok sebebi vardır. Bunlar aşağıda belirtilmiştir.

- Radyasyon, karbondioksit, kükürt, zehirli gaz ve duman gibi çevre kirletici yan etkilerinin olmaması,
- Her coğrafi ortamda farklı değerlerde bulunabilmesi, yerel güneş enerjisine göre yararlanabilme imkanı,
- Tükenmeyen bir enerji kaynağı olması,
- Mahalli uygulamalara elverişli olması,
- İşletme masraflarının az olması,
- Karmaşık teknolojiye ihtiyaç duyulmaması,
- Her ülke ekonomisinin dışa bağımlı olmadan uygulayabileceği ve doğabilecek ekonomik bunalımlarda başka ülkeleri etkilemeyecek bir enerji olması.

3.4. Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları

Güneş enerjisinden yararlanan sistemler, kendi aralarında ısı uygulamalar ve fotovoltaik uygulamalar olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Isıl uygulamalar, güneş enerjisinden direkt yararlanan, fotovoltaik sistemler ise güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirerek kullanılan sistemlerdir.

Hemen hemen bütün enerji kaynakları güneş ışınımının maddeler üzerindeki fiziksel ve kimyasal tesirinden meydana gelmektedir. Hidrolik enerji, rüzgar enerjisi, dalga enerjisi vb. güneş ışınımından dolayı olarak oluşan enerjilerdir. Burada doğrudan güneş enerjisinin kullanılması sonucu ortaya çıkan enerji şekli elektrik, mekanik ve ısı enerjisidir.

3.4.1. Isıl uygulamalar

Güneş enerjisinden faydalanarak elde edilen ısıl uygulamalar, sistemin özelliğine ve kullanım amacına göre düşük, orta ve yüksek sıcaklık uygulamaları olarak üç kısma ayrılır.

3.4.1.1. Düşük sıcaklık uygulamaları (20 °C ila 100 °C)

Belirtilen bu uygulamalarda güneş ışınımı bir ısı toplayıcısı (genellikle kollektör) aracılığıyla bir akışkana (su, hava, hidrojenli hidrokarbonlar vb.) aktarılır ve sıcaklığı artan akışkan faydalanma amacına göre depolanır ya da sisteme gönderilir. Düşük sıcaklık uygulamalarında sıcak su temini, konut ısıtması ve sera ısıtması diğer uygulamalara göre daha ekonomiktir.

Bu uygulamalar;

- Konutların sıcak su temini,
 - Mekan ısıtma,
 - Sera ısıtma,
 - Güneş havuzları,
 - Güneş bacaları,
 - Su arıtma sistemleri,
 - Ürün kurutma,
 - Tuz üretimi,
 - Güneş ocakları,
 - Güneş pompaları,
 - Soğutma sistemleri,
- dir.

3.4.1.2. Orta sıcaklık uygulamaları (100 °C ila 300 °C)

Bu uygulamada güneş ışınımının yansıtılarak veya kırılarak bir noktaya veya eksene yoğunlaştırıldığı odaklayıcı toplayıcılar kullanılır. Birçok gelişmiş ülkede güneş enerjisi teknolojilerinde öncelik çizgisel odaklayan ve güneşi izleyen sistemlere verilmiş durumdadır.

Bu uygulamalar;

- Büyük soğutma ve ısıtma sistemleri,
- Sanayi için gerekli olan sıcak su ve buhar temin eden sistemler, dir.

3.4.1.3. Yüksek sıcaklık uygulamaları (300 °C ve üzeri)

Birçok gelişmiş ülkede güneş enerjisi teknolojilerinde öncelik çizgisel odaklayan ve güneşi izleyen sistemlere verilmiş durumdadır. Tipik çizgisel odaklayıcı, parabolik bir yalak ve bu yalağın odak noktasından geçen bir borudan oluşmaktadır. Parabolik yalak güneş ışınlarını yüksek verimle odaklayan ve bir ayna spot sisteminden ibarettir. Odak noktasında bulunan ve içinden ısı transfer akışkanının geçtiği boru ise genellikle saydam ikinci bir boru içinde yer alır. İki boru arası konveksiyon kayıplarını en aza indirmek için vakumlanmıştır. Genellikle kuzey-güney (veya doğu-batı) yönünde yerleştirilen modüller doğu-batı veya (kuzey-güney) yönünde güneşi izlerler ve ısı transfer akışkanının sıcaklığı 350 °C – 400 °C' ye kadar ulaşabilmektedir. Sıcak akışkan bir ön ısıtıcıdan veya doğrudan bir eşanjörden geçirilerek buhar elde edilmekte ve bu buhar elektrik üretimi amaçlandığı takdirde konvensiyonel bir türbüne yollanmaktadır (2).

Güneş fırınları ve güneşsel güç sistemlerinde yansıtıcı olarak aynalardan yararlanılmakta ve 3500 °C sıcaklığa kadar çıkılabilmektedir. Fransa ve ABD'de

bulunan güneş fırınlarında metallerin eritilmesi, kesilmesi ve kalıplanması yapılmaktadır (10).

Bu uygulamalar;

- Güneş fırınları,
 - Metal ergitme fırınları,
- dir.

3.4.2. Fotovoltaik uygulamalar

Fotovoltaik (photovoltaic) terimi, ışıktan gerilim üretilmesi anlamına gelir ve genellikle “PV” ile gösterilir. Fotovoltaik piller için kullanılan ortak terim güneş pilleri olmakla birlikte piller her türlü ışık altında elektrik üretebilirler. Güneş pilleri enerjinin korunumu yasasına uygun olarak, ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır; ancak enerjiyi depolayamazlar. Işık kaynağı (güneş) ortadan kalktığında, pilin ürettiği elektrik de kesilir. Eğer elektrik gece boyunca da kullanılmak isteniyorsa devreye bir elektrik depolayıcı (akü) eklenmelidir.

Güneş pillerinin imal edildiği pekçok materyal vardır fakat en sık kullanılan silisyumdur. Silisyum, dünyada oksijenden sonra en çok bulunan elementtir ve oksijenle birlikte kuvarz daha bilinen haliyle kumu oluştururlar. Zehirsiz ve güvenilir olduğu kadar da bol bulunabilen bir malzemedir. Güneş pillerinin imal edildiği silisyum, aynı zamanda bilgisayar çiplerinin yapımında da kullanılmaktadır. Piller, enerji dönüştürme sırasında herhangi bir yakıt kullanmazlar, yakıtları gün ışığıdır. Üzerlerine düşen ışık ne kadar fazla ise üretilen enerji de o kadar fazla olacaktır. Yakıtları olan güneş ışığı, dünya üzerinde bol oranda ve bedava bulunan belki de tek yakıttır. Üstelik rüzgar ve hidrolik enerjiye nazaran dünya üzerinde dağılımı daha uniformdur (4).

Güneş pili sistemlerinin kullanıldığı uygulama alanları (16);

- Haberleşme istasyonları, kırsal radyo, telsiz ve telefon sistemleri,
 - Petrol boru hatlarının katodik koruması,
 - Bina içi ya da dışı aydınlatma,
 - Orman gözetleme kuleleri,
 - Deniz fenerleri,
 - İlk yardım alarm ve güvenlik sistemleri,
 - Metal yapıların (köprüler, kuleler vb.) korozyondan korunması,
 - Deprem ve hava gözlem istasyonları,
 - Tarımsal sulama ya da ev kullanımı amacıyla su pompajı,
- gibi sıralanabilir.

3.4.3. Pasif güneş enerjisi uygulamaları

Bir binanın tümünün güneş enerjisinden yararlanılacak şekilde tasarlanması, yaşam alanlarının fonksiyonel kullanımı ve hatta doğal havalandırma olanaklarının bu anlayışa eklenmesi sonucu pasif güneş sistemi uygulamalarını oluşturmaktadır. Genel olarak insanların ısınmak amacıyla düşük sıcaklık düzeylerine ihtiyaç duyması aslında bu görevin güneş tarafından kolayca karşılanabileceği bir ortam oluşturur. Pasif sistemlerde mekanik olarak hareket eden kısımlar ve toplayıcı yoktur. Bu nedenle, örneğin; sıcak su toplayıcıları pasif sistem olarak tanımlanamaz. Sistemin basitliğine rağmen kolayca uygulanabilir olması ve yatırım maliyetlerinin çok yüksek olmaması nedeniyle güneş mimarisi ve pasif sistem uygulamaları, bir ülkenin genel enerji arzına en kısa zamanda en büyük katkıyı yapabilecek güneş teknolojisi opsiyonu olarak ortaya çıkmaktadır.

Genel olarak pasif sistemler ayrı kollektör parçalarına sahip değildirler. Her girişim binanın dış yüzey yapısı içerisinde daha fazla güneş ışıınımlı alabilmek için yapılır. Pasif sistemlerde bütün ısı transferi işlemi doğal konveksiyon, iletim ve ışıınımlı ile

olur. Açık olarak bütün binalar bir derece doğal güneş enerjili ısıtma sistemleri olarak yapılmaktadır. Fakat sadece bina yapısı pratik olarak pasif güneş enerjisi kullanan bir binanın ısı ihtiyacının önemli bir oranını sağlamak için, yani; maksimum güneş enerjisi toplamak için sağlanır (22).

Doğal olarak, pasif güneş sistemi uygulamaları iyi bir mimari tasarımı ile başlar. Bu nedenle, binanın yapılacağı bölge ile ilgili iklimsel verilerin, güneş verilerinin ve yöre topografisinin iyi bilinmesi gerekir. Böylece; ilk aşamada optimum yönlendirmesi yapılan binanın ikinci aşamada ısı enerji ihtiyacının minimuma indirgenmesi, yani; ısı ve su yalıtımının en üst düzeyde yapılması gerekir. En uygun ve kaliteli olarak seçilen yapı malzemelerinden kullanılması şartı ile binada pasif güneş uygulaması yapılması sonucu etkin ve verimli şekilde ısınma ve enerji tasarrufu sağlanabilecektir (2).

4. GÜNEŞ ENERJİLİ SICAK SU HAZIRLAMA SİSTEMLERİ

Günümüzde güneş enerjili sistemlerin içinde en ekonomik ve en yaygın olarak kullanılanların başında sıcak su hazırlama sistemleri gelmektedir. Genellikle, çatının güney yönüne konulan düz kolektörlerle ışınım şiddetine bağlı olarak sıcak su ihtiyacının büyük bir kısmı güneş enerjisinden karşılanır. Güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemleri ile konut için gerekli olan toplam enerjinin % 12'sini teşkil eden enerjinin temini sağlanabilir.

Güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemleri çok değişik şekillerde yapılabilmektedir. Tabii dolaşimli sıcak su sistemlerinin ısıl analizi oldukça karışıktır. Sistemde dolaşan akışkanın debisi, kolektör üzerine gelen güneş ışınımı, kolektör ile depo arasındaki mesafe, sistemdeki yerel kayıplar, kolektör konstrüksiyonu gibi çok sayıda değişkene bağlıdır. Genel olarak tabii dolaşimli sıcak su sistemlerinde akışkanın kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları arasında farkın açık havalarda yaklaşık 10 °C ve akışkan debisi yaklaşık 0,009 kg/sn olması tavsiye edilir. Sistemde dolaşan akışkan debisi küçük olduğundan, deponun üst noktasındaki sıcaklık alt noktasındaki sıcaklıktan daha büyüktür (6).

Güneş enerjili sıcak su sistemlerinin seçimine etki eden değişik faktörler mevcuttur. Genel olarak bir sistemin seçimine ve yerleştirme esaslarına etki eden özellikleri;

- Bölgenin meteorolojik özellikleri (dış hava sıcaklığı, rüzgar hızı, kar ve yağmur durumu, güneşlenme süresi),
 - Gerekli sıcak su miktarı, sıcaklığı ve gün içindeki kullanma saatleri,
 - Binanın ya da işyerinin sıhhi tesisat donanımı,
 - Kolektör yüzey alanının büyüklüğü,
 - Şebeke suyunun özellikleri,
 - Binanın konumu ve mimari projesi,
- gibi faktörler belirler.

Sistem ve elemanları seçilirken yukarıda belirtilen hususların her birinin ayrı ayrı göz önüne alınması gerekir (23).

Güneş enerjili sıcak su sistemleri, sirkülasyon şekline göre:

- Tabii dolaşimli,
- Zorlanmış dolaşimli (pompalı),

devre şekline göre:

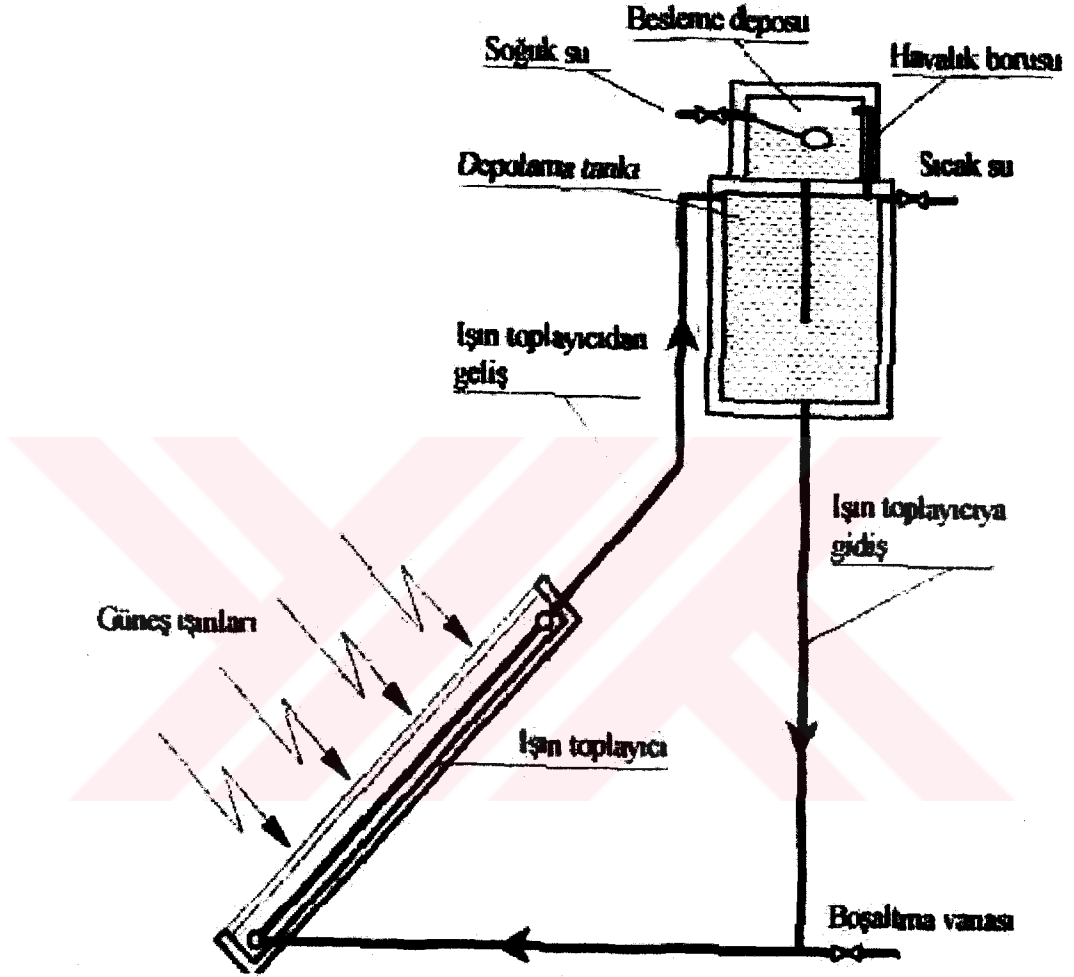
- Endirekt
 - Direkt
- sistemler olarak gruplandırılabilir.

4.1. Tabii Sirkülasyonlu Sistemler

En yaygın kullanılan güneş enerjisi sistemi; sıcak su hazırlama sistemleridir. Bunlar “Termosifon tipi su ısıtıcısı” olarak da isimlendirilir. Sistem düz-levha tipi kollektörlerden ve yalıtılmış bir depodan ibarettir. Şekil 4.1.’de tabii dolaşimli direkt sıcak su hazırlama sistemi görülmektedir. Kollektörde ısınan su genişleyerek (yoğunluğu azaldığından) deponun üst kısmından depoya akar, bunun yerini yaygınlığı daha fazla olan deponun altındaki soğuk su alır. Güneş ışınımında ve kollektör sıcaklığının depo sıcaklığından büyük olduğu müddetçe sirkülasyon devam eder. Tabii dolaşım elde edilebilmesi için; su deposu ve kollektör üst kenarı arasındaki mesafe en az 35 cm ile 40 cm arasında olmalıdır.

Tabii dolaşimli sıcak su sistemlerinde, pompaya ve otomatik kumanda cihazlarına ihtiyaç olmadığından basit ve kullanışlıdır. Ancak, sirkülasyon olabilmesi için deponun kollektörlerden daha yüksekte (en az 35 cm ile 40 cm) olması gerekir. Bu

sebepten sistemin yerleştirilmesi zordur. Büyük sistemlerde, sistem konstrüksiyonu için uygun yer ayrılmalıdır (10).



Şekil 4.1. Tabii dolaşimli direkt sıcak su hazırlama sistemi

4.2. Zorlanmış Dolaşimli (Pompa) Sistemler

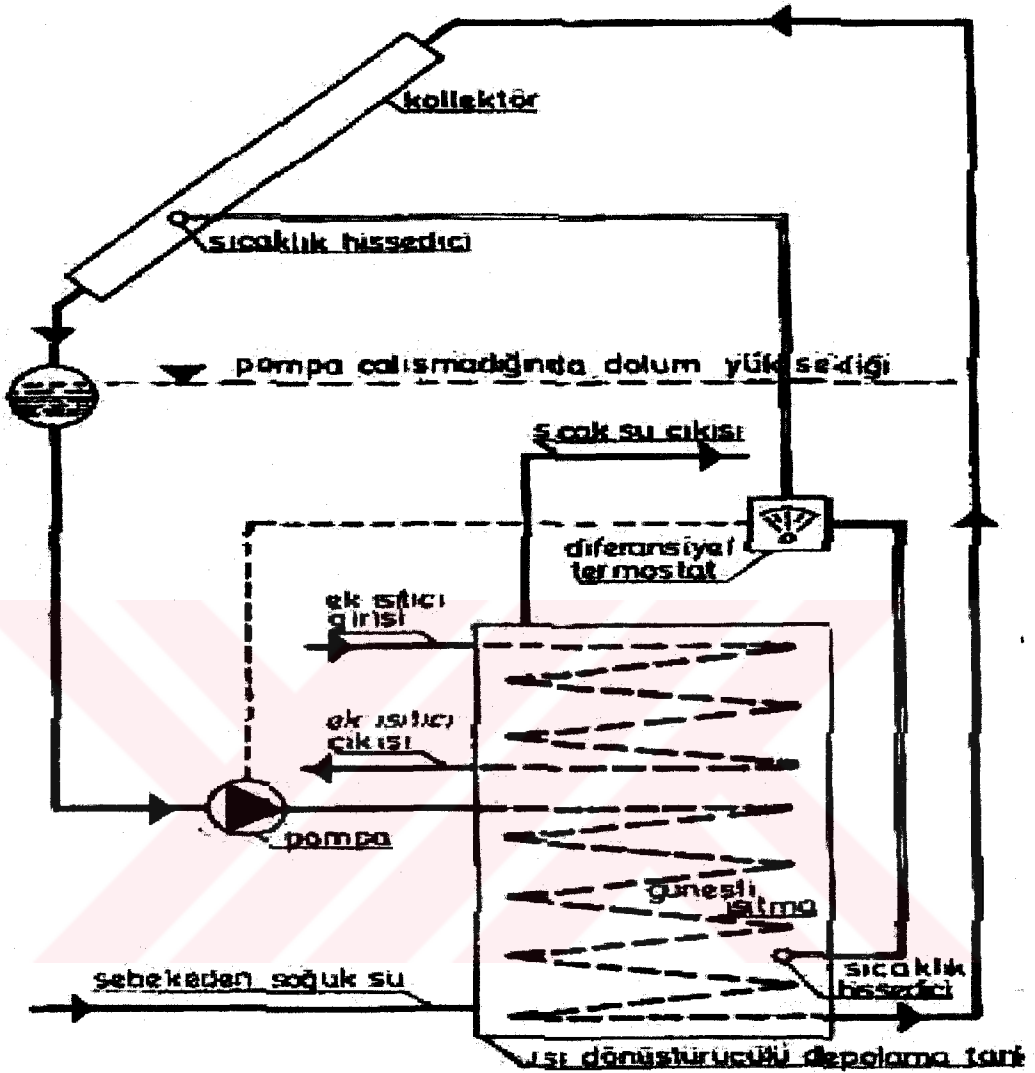
Zorlanmış dolaşimli bir sıcak su sisteminde, genel olarak pompa, diferansiyel termostat, sıcak su deposu, genişleme tankı ve tek yönlü vana (çek valf) bulunur.

Tabii dolaşımli sistemlerde olduğu gibi açık devreli veya endirekt sistemli yapılabilir.

Aktif güneş enerjili ısı sistemde kontrol ünitesi aşağıda belirtilen unsurları yapmak zorundadır:

- Güneş enerjisinin otomatik olarak toplanmasını ve dağıtılmasını ayarlama
- Hem depolama hem ısı yükü için gerekli pompaları, fanları ve kontrol vanalarını hareket ettirerek ayarlama
- Güneş enerjili ısı sistem ile ek ısıtma sisteminin kombinasyonunu yönetme (25).

Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin hepsinde, donma önemli bir problemdir. Donma daha çok kollektörlerde olacağından, kollektör devresinde antifirizli su bulunur. Antifirizli suyun, karışma halinde sağlık bakımından sakıncaları vardır. Kollektör devresinde antifiriz kullanılmayan bir sistemin şeması Şekil 4.2.'de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, sirkülasyon pompası çalışmadığı zaman, kollektör devresindeki su seviyesi düşmektedir. Böylece, kollektör devresindeki su donmayacağı gibi, sağlık bakımından bir sakınca da oluşmayacaktır. Depolama tankında ek ısıtma da yapılmaktadır. Pompanın çalışması, kollektöre güneş ışığı düştüğünde, diferansiyel termostat yardımıyla olmaktadır. Kollektörün altındaki küçük depo, kollektör devresindeki boru sisteminin alabileceği su miktarını depolayabilmelidir. Kollektör üst seviyesine bir tahliye cihazı konarak suyun dolun yüksekliğine inmesi kolaylaştırılır. Sistem atmosferik şartlara açık olduğundan, kollektör devresindeki boruların paslanmaz malzemeden olması doğru olur (24).



Şekil 4.2. Kollektör devresi tam dolu olmayan pompalı indirekt sistem (24).

Pratikte daha çok rastlanan, sıcaklığı hazırlama sistemleri zorlanmış indirekt dolaşimli sıcak su sistemleridir. Kollektör devresinde dolaşan antifrizli su bir ısı değiştiricisi ile sıcak su deposu içinden geçirilmekte ve yeniden kollektöre pompalanmaktadır. Zorlanmış en direkt dolaşimli sistemli sıcak su sistemlerinde genellikle iki depo kullanılır. İki depolu sistemde akışkanın kollektöre giriş sıcaklığı düşük, dolayısıyla kollektör verimi yüksektir.

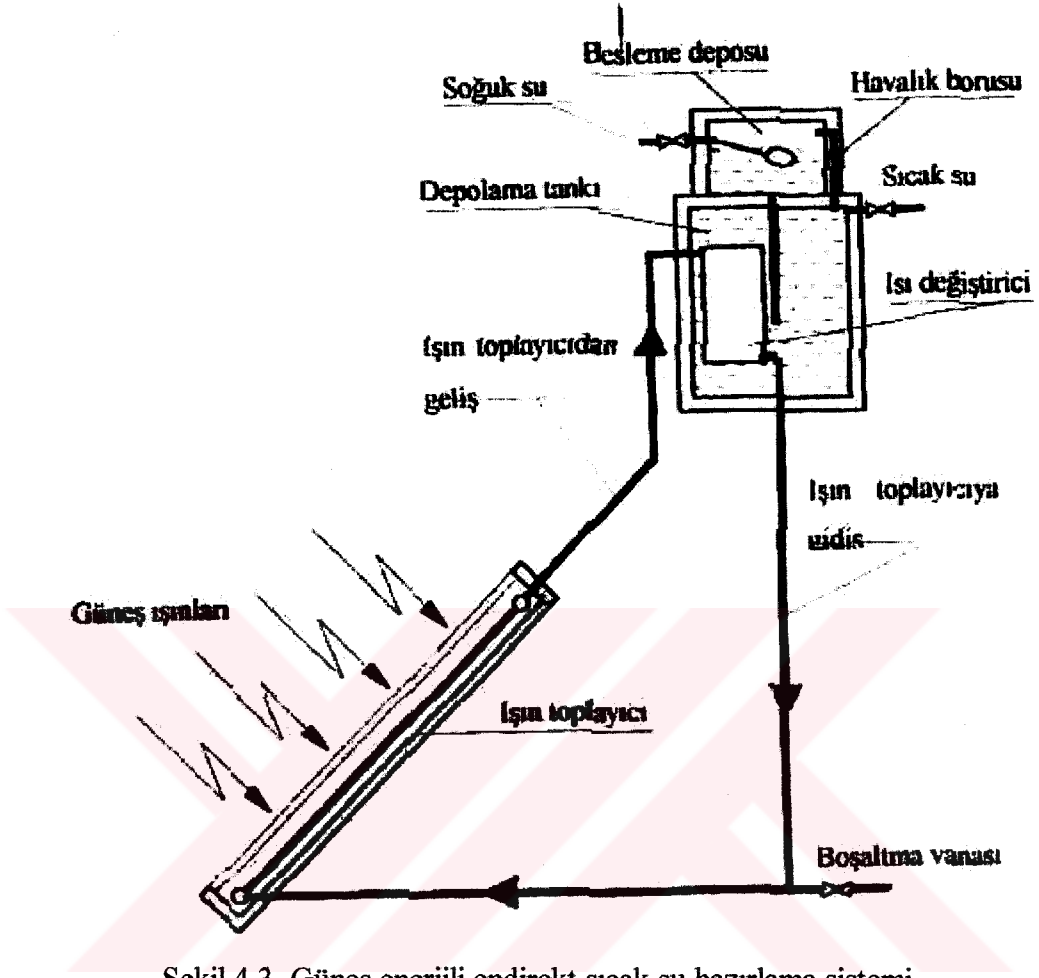
4.3. Direkt Sistemler

Direkt sistemler hiçbir ısı değiştirici kullanılmadan uygulanan sistemlerdir. Kollektörde ısınan ve yoğunluğu dūřen akışkan depoya gider ve direkt olarak kullanma sıcak suyu olarak kullanılabilir. Direkt sistemlerin verimleri bir ısı değiştiricisi kullanılmamasından dolayı indirekt sistemlere gōre daha yōksektir.

4.4. Endirekt Sistemler

En yaygın olarak kullanılan, 1920' lerde uygulamaya konulan sistemlerdir. Endirekt sistem olarak tertip edilen sistemleri gerçekleřtirilenler donma ve korozyon problemlerinin olduęu durumlarda kullanılır. Mimari ve estetik yōnünün ōnem kazandıęı durumlarda, deponun kollektōre yaklařtırılması ve kollektōr ūstū ile birleřtirildięi Őekilde de imal edilebilir. Őekil 4.3.'de gūneř enerjili endirekt sıcak su hazırlama sistemi gōrūlmektedir. Bu sistemde su dolařımı yōğunluk farkının oluřturduęu kaldırma kuvveti ile saęlanır. Aktif sistemlerde kullanılan mekanik elemanlar ve kontrol ūnitelerinin bulunmayıřı nedeniyle bu sistemlerin iřletme ōmrū, 10 yıldan daha fazla olabilmektedir. Ayrıca bakım ve iřletme giderleri yok denecek kadar azdır.

Coęrafi değişimli geliştirilmiş gūneř kollektōrleri, yōksek oranlardaki mevsimsel sıcaklık değişimlerinde bile verimli olarak çalışırlar. Sistemin çevresindeki bōlgede izolasyon yapılarak sistemin verimi artırılır. Bōylece su-antifriz karışımı, sistem elemanları donmaktan korunurken aynı zamanda performans da korunmuş olur.



Şekil 4.3. Güneş enerjili indirekt sıcak su hazırlama sistemi

Su antifriz karışımındaki asıl amaç; donmaya karşı dirençli bir akışkan oluşturmaktır. Bu karışımındaki antifriz oranı uygun şartlar için değiştirilebilir. Fakat sistemin maliyetinde ve ısıl özelliklerde değişimler görülür. Sistemi destekleyici düzenekler ve akışkanlar (propinglikol) geliştirilmiştir. Propinglikolün yan etkileri dikkate alınırsa, pahalı olması ve sıcaklığın düşmesiyle viskozitenin artmasına bunun sonucu olarak da; zorlanmış sistemlerde pompanın harcadığı enerjinin artmasına, tabii sistemlerde akışkan hızının düşmesine veya sirkülasyonun sağlanamamasına neden olabilmektedir. Bu nedenle potasyum asetat, metanol, karışık etanol ve kalsiyum klorid gibi inorganik tuzların kullanılması daha uygundur. Bunların arasında etanol glikolün (otomobil antifrizi) en çok kullanılmasının nedeni, piyasada rahat bulunabilmesi ve daha ucuz olmasıdır. Bazı

ülkelerde etanol glikolün kullanılmasına izin verilmez. Bilim adamları birçok antifriz karışımının kullanılabileceğini vurgulamasına rağmen etanol glikol ekonomikliğı nedeniyle tercih edilmektedir (10).

Soğuk iklimlerde kollektörlerde dolaşan suyun donma problemi vardır. Donma ihtimalinin olduğu günlerde, sistemin boşaltılması gerekir. Ayrıca, kollektörlerdeki su ile kullanılan su karışiyorsa, kollektör borularında korozyona sebebiyet verebilir veya kireçlenme ile boru et kalınlığı artabilir. Bu problemleri ortadan kaldırmak için, kollektör devresinde donma sıcaklığı düşük inhibitör ilaveli akışkan dolaştırılır ve sistem indirekt olarak yapılır.

Isı değıştiricileri mümkün olduğu kadar daha çok etkili olmalıdır. Sistemde mümkün olduğu kadar az basınç kaybı oluşturmamalıdır. Biçimleri daha kolay yalıtım yapmaya izin vermelidir. Isı değıştiricileri depolama tankının içine kolay bir biçimde yerleştirilebilecek şekilde dizayn edilmelidir. Isı değıştiricilerinin dış ve iç yüzeyi korozyondan etkilenmemeli, kolay bir biçimde temizlenebilmelidir (26) .

Endirekt sistemlerde kullanılan ısı değıştiricisinin tesirliğı birden küçük olduğundan akışkanın kollektöre giriş sıcaklığı, direkt sisteme göre daha büyük ve dolayısıyla da kollektör verimi daha küçüktür.

4.5. Güneş Kollektörleri

Güneş kollektörleri, güneş ışınımı ile bir akışkanının sıcaklığının artmasını sağlayan elemanlardır. En basit anlamda, bir yüzeye düşen güneş ışınlarından bir kısmı yüzey tarafından yutulur ve akışkana doğru iletim ve taşınımıyla ısı geçişi olurken, dış yüzeyden de çevreye, yüzey sıcaklığına ve ısı taşınım katsayısına bağılı olarak taşınımıyla ısı geçişi olur. Yutulan ışınımıyla çevreye olan ısı kaybının farkı faydalanılan güneş enerjisidir ve ısıtılmak istenen akışkana geçer.

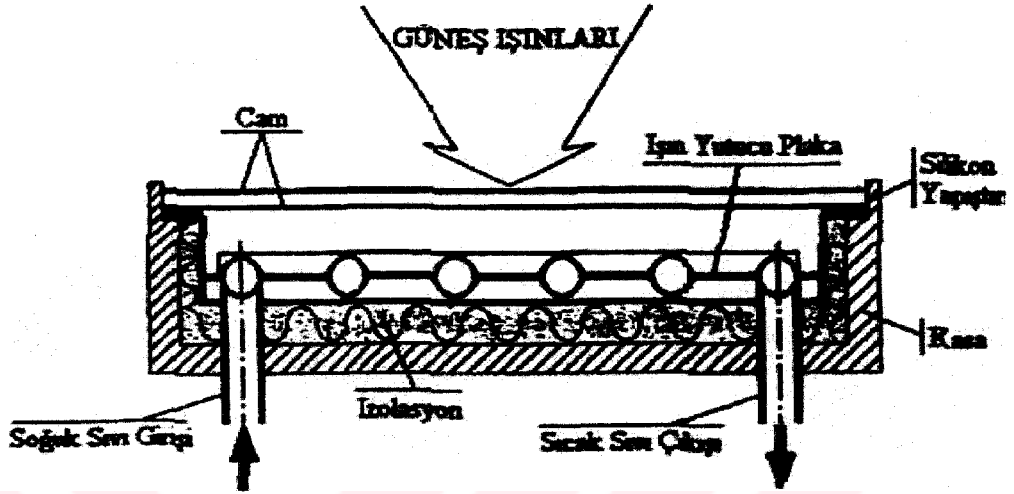
Temel olarak incelendiğinde düzlem plakalı, boşaltma tüplü ve konsantrik olmak üzere üç tip kollektör vardır. Güneş kollektörlerinde düz plakalı kollektörler en çok rastlanan tiplerdir. Düz plakalı kollektör bir veya iki saydam yüzeyin altındaki siyah renkli absorblayıcı yüzeyin bulunduğu izole edilmiş bir kaptan oluşur. Boşaltma tüplü kollektörler paralel şekilde sıralanmış saydam cam tüplerden yapılırlar. Her tüp seçici bir katmanla kaplanmış dış cam tüpten ve iç tüpten oluşur. Bu seçici katman güneş enerjisini absorbe ederken, ısı kayıplarını da engeller. Hava, kondüktif ve konvektif ısı kayıplarını engelleyen bir vakum formu ile tüp arasındaki boşluktan çekilir. Özel uygulamalar için kullanılan konsantrik kollektörler genellikle parabolik oluklardan ibarettir. Bu oluklar, bir ısı transfer sıvısının bulunduğu, bir absorblayıcı tüpteki güneş enerjisini toplamak için yansıtılmış yüzeylerden oluşur (10).

Güneş enerjisinden faydalanma en yaygın düz kollektörlerle olmaktadır. Yapımları için karmaşık teknolojiye gerek olmadığından diğer sistemlere göre daha ucuzdur. Konutların sıcak su hazırlama ve ısıtma sistemlerinde, yüzme havuzlarının ısıtılmasında ve endüstri için gerekli sıcak su temininde düz kollektörler kullanılır.

Düzlemsel kollektörler bir cam örtü, bir absorblayıcı levha ve bir kasadan ibarettir. Güneş ışınları cam örtü tarafından yaklaşık % 85-90 oranında geçirilirler ve absorblayıcı levha tarafından absorblanırlar. Absorblayıcı levha tarafından yayılan güneş ışınları ise cam örtü tarafından % 90'a yakın atmosfere geçirilmezler. Böylece, güneş ışınlarının taşıdığı enerjiden büyük bir kısmı absorblayıcı levhaya entegre edilmiş borulardan geçen akışkana aktarılır. Şekil 4.4.'de bir düzlemsel güneş kollektörü görülmektedir.

Çevre sıcaklığı ve güneş ışınımı, bulunan yere (boylam enlem, yükseklik), zaman (gün, saat) ve atmosfer şartlarına (bulut, nem, vs.) bağlı olarak değişir. Bu sebeple, yüzey üzerine düşen güneş ışınımının mümkün olduğu kadar büyük kısmının faydalı enerjiye dönüştürülebilmesi için önlem alınmalıdır. Belli miktardaki ışınım akışından depolayıcılarla faydalanırken; dışa taşınımıyla olan ısı kaybının

azaltılmasıyla, yüzey yutuculuğunun azaltılmasıyla ve akışkana ısı geçişinin artırılmasıyla faydalanılan güneş enerjisi artırılabilir (10).



Şekil 4.4. Düzlemsel bir güneş kolektörü

4.5.1. Saydam örtü

Saydam örtünün amacı, güneş ışınımını içeriye alıp çevreye olan ısı kayıplarını azaltmaktır. Özellikle rüzgarlı bölgelerde taşınım ile olan ısı kaybı çok fazladır ve saydam örtü kullanılmaması halinde, yutucu yüzey ile çevre havası arasındaki ısı taşınımını çok büyük olacağından faydalı ışınım azalır. Saydam örtü çevreye olan ısı kaybını önlediği gibi, yutucu yüzeyi dış etkenlerden korur.

Kollektörlerde kullanılan saydam örtülerin, kısa dalga boylu güneş ışınımını geçirme oranı büyük, yutucu levha tarafından neşredilen uzun dalga boylu ışınımın dışarı çıkmaması için de uzun dalga boylu ışınımını geçirme oranı küçük olmalıdır. Ucuz olmalı, kolay temin edilebilmeli, mor ötesi güneş ışınlarından etkilenmemeli, yüksek sıcaklıklara dayanabilmeli, kolay işlenebilmeli ve çevreden gelecek etkilere (dolu, taş vb.) dayanıklı olmalıdır.

Pratikte, saydam örtü genellikle kalınlığı 3 mm olan pencere camından bu camın kurşun ve demir oksit oranı az, yani % 0,05'den küçük olmalıdır. Özel imal edilmiş camdan veya polyester elyaflı geçirgen malzemelerden veya güneş ışınlarına dayanıklı fosillerden yapılabilir. Bu levhaların her iki yüzeyinin kenarlarına kollektörlerin taşıyıcı ve izole edici gövdesi kasaya yerleştirilmeden önce yaklaşık 1 cm eninde lastik ve benzeri malzemenin şerit yapıştırılır. Kasa ve geçirgen örtü çerçevesi geçirgen örtü malzemelerinin sıcaklıkla genleşmeleri dikkate alınarak, geçirgen örtünün kasaya yerleştirilmesi ve sızdırmazlığı tasarımda dikkate alınacak hususlardır. Absorblayıcı levha ile geçirgen örtü arasında yaklaşık 2 cm ile 3 cm mesafe bırakılmalıdır. Konveksiyonla ısı transferi kayıplarını önlemek amacı ile çift geçirgen örtü de kullanılabilir (10).

4.5.2. Yutucu yüzey

Yutucu yüzey, kollektörlerde güneş ışınımını yutan ve ısıyı borulardaki akışkana aktaran kısımdır. Yutucu yüzeyin, her şeyden önce güneş ışınımını yutma oranının büyük ve uzun dalga ışınım yayıcılığının küçük olması gerekir. Işınım yutarak ısınan levhanın ısıyı temas halindeki akışkana iyi bir şekilde iletmesi için, ısı iletim katsayısı yüksek malzemeler seçilir ve ısı geçişinin çabuk ve iyi olması için levhalar ince yapılır. Bunların yanında, imalat kolaylığı, elde edilebilme imkanları, kolay işlenebilirliği ve fiyatı da göz önüne alınmalıdır.

Yutucu yüzeyin üzeri siyaha boyanabileceği gibi, seçici yüzey olarak imal edilmesi daha uygundur. Günümüzde birçok ülkede sadece seçici yüzeyler kullanılmaktadır. Teorik incelemelerden de anlaşılacağı üzere levhada toplanan, ısıya dönüşen güneş enerjisinin en az ısı direnç ile akışkana aktarılabilmesi için absorblayıcı yüzeyle akışkan boruları arasında çok iyi iletim sağlamalıdır. Aslında değişik absorblayıcı levha ile akışkan boruları arasında iletimin iyi olması, roll-bond tekniği, panel radyatör tekniği ve alüminyum ekstrüzyon tekniği gibi tekniklerle sağlanabilir. Seçici yüzeyin kullanılmadığı hallerde, absorblayıcı levha iyice temizlendikten sonra

mat, sıcaklığa dayanıklı siyah bir boya ile boyanır. Boya çok ince ve düzgün olmalıdır (10).

Absorblayıcı levhanın kenarlarının kasa kenarlarına temas etmemeleri, yani ısı köprüleri oluşturmamalarına dikkat edilmelidir. Kollektörlerde yutucu yüzey olarak genellikle, bakır, alüminyum ve paslanmaz çelik kullanılır. Bakırın ısı iletim katsayısı yüksek olmasına rağmen, diğerlerine göre çok daha pahalıdır. Çelik ise piyasadan kolay temin edilebilir, fakat korozyona müsait bir metaldir. Diğer taraftan, seçilen malzemenin lehim veya kaynak yapılabilme özelliği de göz önünde bulundurulmalıdır. Bakırın lehimi kolay ama pahalıdır. Alüminyum başka bir metal ile lehim veya kaynağı çok zordur.

Yutucu yüzeylerde ışınım geçirilmediğinden, belli bir dalga boyunda, yansıtma ve yutma oranlarının toplamı birdir. Ayrıca Kirsoff kanununa göre, ısı denge halinde belli bir dalga boyunda yutma ve neşretme oranları birbirine eşittir.

Siyah boyaların güneş ışınımını yutma oranı yüksek olduğu gibi ışınım yayma oranları da (uzun dalga boylu ışınım yutuculuğu) büyüktür. Siyah yüzeyli toplayıcıların normal doğrultudaki güneş ışınımını yutma ve uzun dalga- boylu ışınım yayma oranları 0,90-0,95 mertebesinde dir. Yüzeyin yutma oranı, geliş açısına bağlı olarak değişir. Bu değişim, geliş açısının 50° değerine kadar çok yavaş, daha büyük değerlerinde ise hızla azalmaktadır (10).

4.5.3. Seçici yüzey

Siyah yüzey, ışınım için gerçek yutucudur. Bütün dalga boylarındaki, her açı altında gelen ışınımın tamamını yutar. Ancak, gerçek yüzeyler, her zaman, ışınımın bir kısmını geliş açısına bağlı olarak yansıtır. İdeal siyah cisim aynı zamanda ısı ışınım için gerçek neşredicidir. İdeal yutucu yüzey ise, kısa dalga boylu ışınımın tamamını yutar, ancak uzun dalga boylu ışınım yayıcılığı olmayan yüzeylerdir.

Kısa dalga-boylu ışınının ($0.3 \mu\text{m} - 3.0 \mu\text{m}$) tamamına yakını yutan uzun dalga-boylu ışınım yayıcılığı az olan yüzeylere seçici (selektif) yüzey adı verilir. Seçici (selektif) yüzeylerin, güneş ışınımını yutma oranının (α_y), uzun dalga boylu ısı ışınım yayma oranına (ϵ) bölümüyle (α_y / ϵ) elde edilen değer, seçici yüzeylerin iyilik derecesi hakkında bilgi verir.

Genellikle seçici yüzeylerde α_y / ϵ oran dörtten daha büyüktür, pratikte, yayma oranı çok küçükünce yutma oranı da küçülmektedir. Bu sebeple de α_y / ϵ oranının çok büyük olması, çoğu zaman seçici yüzeyin daha iyi olduğunu belirtmez. Seçici yüzeylerin kaplanmaları, kimyasal banyo, püskürtme veya elektro kaplama ile gerçekleştirilir.

İlk defa, siyah nikel ve siyah bakır kaplama ile seçici yüzey Tabor (1954) tarafından yapılmıştır. Tabor, siyah nikel ve siyah bakır kaplamaları galvanizli çelik ve alüminyum üzerine uygulamıştır. Pratikte, daha çok siyah krom ve siyah nikel kaplamalar yapılmaktadır (10).

4.5.4. Isı yalıtımı ve kasa

Kollektörlerde kullanılan en yaygın yalıtım malzemesi halen cam yünüdür. Bilindiği gibi, cam yünü neme ve sıcaklığa karşı korunmazsa “yalıtım yapma” özelliğini yitirir. Tasarımda en çok dikkat edilecek konulardan biri budur. Cam yünü kalınlığı ılıman iklimlere 5 cm soğuk iklimlerde 10 cm'ye kadar olmalıdır. Bunun yanında strofor ve poliüretan da ısı iletim katsayılarının küçüklüğü ve hafifliği sebebiyle en çok tercih edilen toplayıcı yalıtım malzemelerindendir.

Yalıtım malzemesi seçilirken ısı iletiminin yanında, yanma ve genişleme özellikleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Bunlar kollektörlerin güneş ışınımı almayan alt ve yan kısımlarında olan ısı kayıplarının azalmasını sağlar.

Cam yünü yüksek sıcaklıklara dayanıklı olduğundan, yüksek sıcaklıklara çıkılan kollektörlerde, strofor veya poliüretan üzerine (kollektör levha tarafına) cam yünü konulur.

Yalıtım malzemesi ile kollektör levhası arasında bir hava boşluğu bırakılması ve yalıtım malzemesinin üzeri ışınım yansıtma oranı büyük olan alüminyum folyo ile kaplanması durumunda ısı kaybı daha az olur ve bu durumda yalıtım malzemesi yüksek sıcaklığa çıkmaz.

Yalıtım malzemesi kalınlığı, yutucu yüzey sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki farka bağlı olarak seçilir. Yüksek sıcaklıklara çıkılan toplayıcılarda, yalıtım kalınlığı artırılmalı ve yalıtım malzemesinin toplam ısı geçişi katsayısı $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'den daha küçük olmalıdır. Buna göre, yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı $k \text{ (W/mK)}$ ve kalınlığı $L \text{ (m)}$ olmak üzere $(k/L) < 0,5$ yazılabilir ki, cam yünü ve strofor için $L > 7$ cm olmalıdır. Tabii ki, yalıtım malzemesinin kalınlığı arttıkça ısı geçişi katsayısı küçülür, fakat kollektör kalınlığı, ağırlığı ve fiyatı artar (10).

Düzlemsel kollektörlerde kasa malzemesi olarak genellikle kalınlığı yaklaşık 1 mm olan sac veya galvanizli sac kullanılmaktadır. Alüminyum, plastik, polyester ve hatta ahşaptan imal edilen kasalar da vardır. Kasanın en belirgin özelliklerinden biri dayanımıdır ve buna göre boyutlandırılmalıdır. Taşıyıcılığı, koruyuculuğu, ısı yalıtımı ve estetik gibi unsurları tamamıyla yerine getirmelidir. Bazı hallerde alüminyum kasalara galvaniz sac taban konmaktadır. Bazı hallerde ise tamamen alüminyumdan imal edilmiş kasalar kullanılmaktadır.

4.5.5. Akışkan taşıyan borular

Yutucu yüzey, güneş kollektörlerinin en önemli parçasıdır. Kollektör ve sistemin verimliliği yutucu yüzeye bağlıdır. İyi bir güneş kollektörü sadece güneş ışığını yutmaz. Yuttuğu ısının büyük bir kısmını ısıtıcı akışkana geçirir. Sıvılı

kollektörlerde, akış kanalları yutucu yüzeyin tamamını kapatmaz. Bu nedenle ısı, yutucu yüzeyden iletim yoluyla akış kanallarındaki sıvıya ulaşmak zorundadır. Borular yutucu yüzey üzerine aralıklarla yerleştirilirler. Boruların arasında kalan yutucu yüzey yüzeyleri boruya tutturulmuş kanatlar şeklinde görev yaparlar. Isı, bu kanatlardan borulara, borulardan da içlerindeki sıvıya (genellikle su) aktarılır.

Borular arasındaki mesafe arttıkça (kollektörün birim genişliği için kullanılan boru sayısı azaldıkça) kanat verimi dolayısıyla kollektör verimi azalır. Borular arası mesafe küçüldükçe kollektör verimi artar. Bununla beraber sarf edilen malzeme miktarı ve işçilik de fazlaşır. Optimum kanat uzunluğu, kullanılan boru ve kanat malzemesine, boru çapına, kanat kalınlığına, kollektörün kullanıldığı bölgenin meteorolojik özelliklerine (ışınım şiddeti, çevre sıcaklığı, güneşlenme süresi vs.) kollektörün kullanılacağı sistemin özelliklerine, (sirkülasyon tipi, depo büyüklüğü, akışkan tipi vs.) bağlı olarak değişir. Ayrıca kanat geometrisinin de optimum kanat uzunluğuna tesiri büyüktür (7).

4.6. Depolama Tankları

Tabii sirkülasyonlu sistemlerde kullanılan depolar imalatlarında hiçbir özel konstrüksiyon gerektirmezler. Sadece çevreye olacak ısı kaybına karşı çok iyi yalıtılmalıdır. Sistemlerde ısıtılan suyun depolanmasını sağlayan elemanlara "Depolama Tankı" denir. Kullanılacakları sisteme göre tek depolu, gömlekli veya eşanjör tipli olarak yapılırlar.

Tabii sirkülasyonlu sistemlerde kullanılan depolar güneşsiz ve hava sıcaklığının düşük olduğu sıcaklıklarda sistemde ters akımı önlemek için ve sistemin tabii sirkülasyonla çalıştırılabilmesi için kollektörlerden en az 35 cm - 40 cm yukarı konulmaları gerekir.

4.7. Boru Çapı ve Levha Kalınlığı

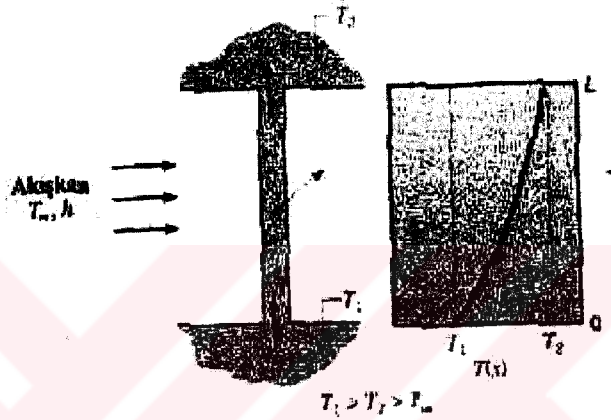
Tabii dolaşımli sıcak su sistemlerinde, akışkanın hareketi küçük yoğunluk farklarından (depodaki akışkan ile kollektördeki akışkanın) meydana geldiğinden, borulardaki sürtünme kayıpları ve yerel kayıplar (vana, dirsek, geçit vs.) az olmalıdır. Bunun için, kollektör ile depo arasındaki bağlantı borularının çapı büyük (en az 20 mm) seçilmelidir.

Düz kollektörlerde kullanılan boruların çapı tabii sirkülasyonun rahat olması ve kireçlenme probleminin az olması için büyük tutulmalıdır. Küçük çaplı çok boru kullanmaktan, büyük çaplı az boru kullanmak daha iyidir. Büyük çaplı az boru kullanmakla, hem malzemenin tasarruf sağlanır, hem de işçilik azalır. Sürtünme kayıpları azalacağından tabii sirkülasyon rahat olur, kireçlenme daha geç başlar. Bununla beraber, birim genişlikteki kollektör için kullanılan boru sayısının azalmasıyla borular arası mesafe büyüyeceğinden kanat verimi küçülür. Bu noktada boruların çaplarının büyük tutulması ve borular arası mesafenin küçük tutulması düşünülebilir, fakat bu takdirde birim kollektör yüzey alanına karşı gelen ısı taşıyıcı akışkan miktarı (kollektör kapasitesi) büyür. Standardlarda kollektör kapasitesinin 2.4 l/m^2 'den küçük seçilmesi önerilmektedir. Zira, kapasite büyük seçilirse birim kütledeki akışkana geçen faydalı ısı azalacağından sirkülasyon kötüleşir ve sistemin rejime girmesi gecikir (7).

Tabii sirkülasyonlu sistemlerde kullanılan kollektörlerde akışkanın dolaştığı borunun iç çapının 12 mm'den büyük seçilmesi (pompalı sistemlerde küçük seçilebilir) ve kollektör kapasitesinin de 1.8 l/m^2 mertebesinde tutacak kadar küçük seçilmesi önerilmektedir.

5. GENİŞLETİLMİŞ YÜZEYLERDEN ISI GEÇİŞİ

Farklı sıcaklıklardaki iki duvar arasında destek sağlayacak bir çubuk kullanılmaktadır. X doğrultusunda sıcaklık gradyanı iletim ile ısı geçişine neden olurken, aynı zamanda yüzeyden taşınım ile ısı geçişi gerçekleşmektedir. Şekil 5.1. 'de bir yapısal elemanda bileşik iletim ve taşınım şekli görülmektedir.

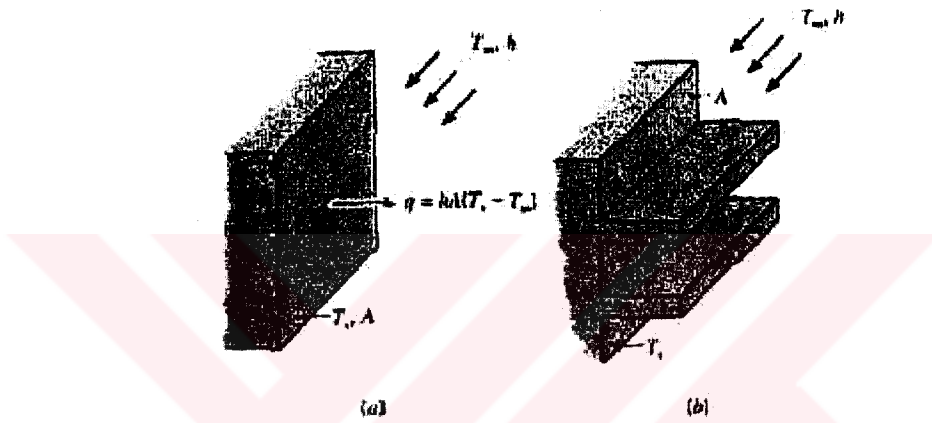


Şekil 5.1. Bir yapısal elemanda bileşik iletim ve taşınım (27).

Taşınım ve iletimin birlikte gerçekleştiği bir çok farklı durum olmakla birlikte, en sık karşılaşılan uygulamalardan biri katı ve çevresindeki akışkan arasında ısı geçişini artırmak için kullanılan genişletilmiş yüzeylerdir. Bu tür yüzeylere kanat adı verilir.

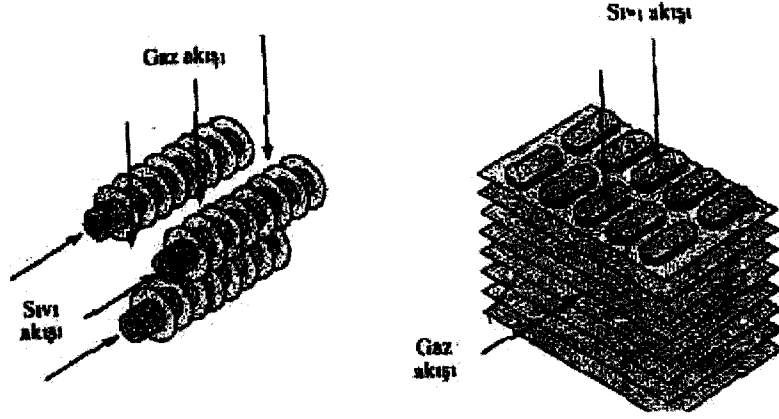
Şekil 5.2.'deki düzlemsel duvar göz önüne alındığında, T_s sabitse, ısı geçişini artırmanın iki yolu vardır. Akışkan hızı yükseltilerek ısı taşınım katsayısı artırılabilir ve/veya akışkan sıcaklığı T_∞ azaltılabilir. Bununla beraber, h 'nin en yüksek değere artırılması bile istenen ısı geçişini elde etmeye yeterli olmayabilir veya yüksek maliyetlerle karşılaşılabılır. Bu maliyetler akışkan hareketinin artırılması için gerek duyulan fan veya pompa gücü ile ilgilidir. Bundan başka, T_∞ sıcaklığının azaltılması seçeneği çoğu kez pratik değildir. Şekil 5.2.(b)'de incelendiğinde üçüncü bir seçeneğin de olabileceği görülür. Başka bir deyişle ısı geçişini taşınımın gerçekleştiği yüzeylerin artırılması ile artırılabilir. Bu cıdardan, etrafındaki akışkan

için genişleyen kanatlar kullanılarak yapılabilir. Kanat malzemesinin ısı iletim katsayısı, kanat boyunca sıcaklık dağılımını etkiler ve bundan ısı geçişi de etkilenir. İdeal olarak, kanat dibinden ucuna kadar sıcaklık değişiminin en az olması için, kanat malzemesi yüksek bir ısı iletim katsayısına sahip olmalıdır. Isı iletim katsayısının sonsuz olması durumunda, tüm kanat yüzey sıcaklığından olacak, en fazla ısı geçişi artışı sağlanacaktır (27).



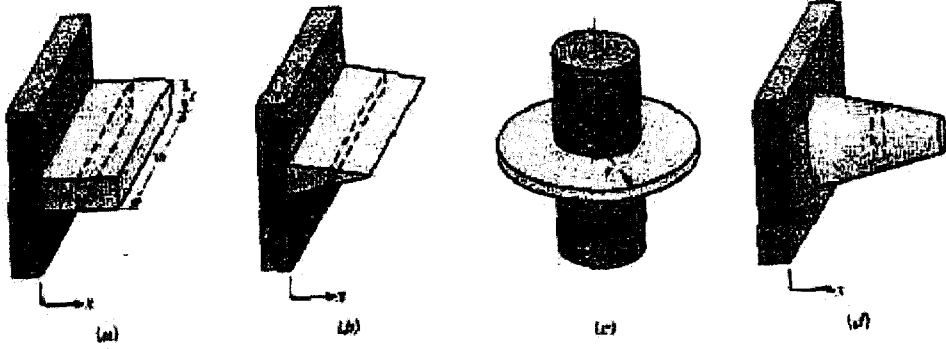
Şekil 5.2. Bir düzlemsel duvardan ısı geçişinin artırılmasından ısı geçişinin artırılmasında kanat kullanımı (a) çıplak yüzey, (b) kanatlı yüzey (27).

Kanat uygulamalarının geniş bir kullanım alanı vardır. Çim biçme veya motorsiklet motor kafasındaki soğutma düzeneği veya elektrik güç trafosunun soğutucusu bunlara bazı örneklerdir. Bir iklimlendirme cihazında, kullanılan akışkan ile hava arasındaki ısı geçişini artırmak için kullanılan kanatlı borular da örnek verilebilir. Yaygın kullanılan iki kanatlı boru düzeneği Şekil 5.3.'de gösterilmektedir.



Şekil 5.3. Tipik kanatlı- boru ısı değıştircileri (27).

Farklı kanat biçimleri Şekil 5.4.'de görülmektedir. Bir düz kanat, düzlemsel duvara tutturulan herhangi bir genişletilmiş yüzeydir. Kesit alanı sabit olabilir veya değışebilir. Dairesel kanat bir silindir çevresine tutturulmuştur ve kesit alanı silindirin eksenine göre yapı çap ile değışmektedir. Yukarıda sözü geçen kanatlar dikdörtgen kesitli olup alanları düz kanatlar için kanat kalınlığı “ t ” ile genişliği “ w ” ‘nin çarpımı dairese kanatlar için kanat kalınlığı “ t ” ile çevresi $2\pi r$ ’nin çarpımı olarak ifade edilir. Buna karşın, iğne kanat veya diken kanat dairese kesitli bir genişletilmiş yüzeydir. İğne kanatlar sabit kesitli olabilir veya olmayabilir. Herhangi bir uygulamada, belirli bir kanat türünün seçimi, kanatların ısı taşınım katsayısını azaltma ve kanat üzerindeki akış için basınç düşüşünü artırma gibi etkenlerin yanında kullanılacak yere, kütleye, imalat yöntemi ve maliyete bağlı olabilir (27).



Şekil 5.4. Kanat türleri (a) sabit kesitli düz kanat. (b) Değişken kesitli düz kanat.
(c) Dairesel kanat. (d) İğne kanat (27).

5.1. Kanatlarda İletimin Genel Çözümlemesi

Bir kanattan olan ısı geçişini belirlemek için, öncelikle kanat boyunca sıcaklık dağılımının bilinmesi gerekmektedir. Çözümlemeye, uygun bir diferansiyel eleman üzerinde enerji dengesi ile başlanır. Şekil 5.5.'deki genişletilmiş yüzeyde belirli kabuller yapılırsa çözümleme basitleştirilir. Kanat içerisinde iletim gerçekte iki boyutlu olduğu halde aksenal (x) yönde bir boyutlu kabul edilebilir. Kanat üzerindeki herhangi bir noktada akışkana taşınan enerji dik (y,z) yöndeki iletim ile dengelenmek zorundadır. Ancak uygulamada, kanat incedir ve uzunlamasına sıcaklık değişimi dik yöndekine oranla çok daha büyüktür. Bu nedenle, ısı iletimi "x" yönünde bir boyutlu alınabilir. Ayrıca çözümlemede sürekli rejim ele alınacak, ısı iletim katsayısına sabit, yüzey üzerindeki "h" ısı taşınım katsayısının düzgün dağılımlı olduğu kabul edilecektir. Bunlara ek olarak kanat içinde ısı üretimi ve kanat yüzeyinden ışınlama ısı geçişi göz ardı edilecektir.

Şekil 5.5.'deki diferansiyel elemana korunum kuralları,

$$Q_x = Q_{x+dx} + d_q \text{ taşınım}$$

[5.1.]

elde edilir. Fourier yasasından

$$q_x = -k A_C \frac{dT}{dx}$$

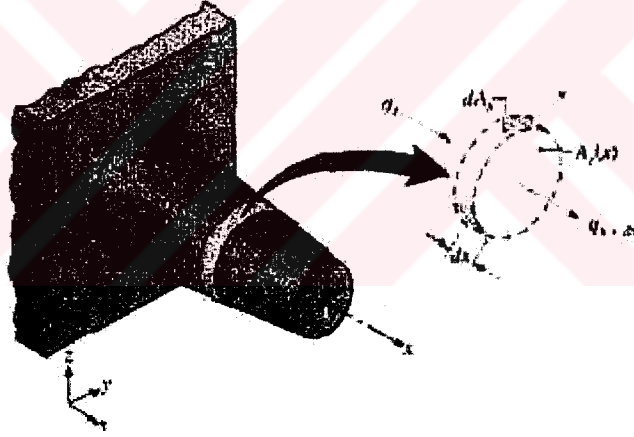
[5.2.]

yazılabilir. Burada “ A_C ”, “ x ” ile değişebilen kesit alanıdır. $x+dx$ 'te iletimi

$$q_{x+dx} = q_x + \frac{dq_x}{dx} dx$$

[5.3.]

olarak gösterilebilir ve buradan,



Şekil 5.5. Genişletilmiş yüzeyde enerji dengesi (27).

$$q_{x+dx} = -k A_C \frac{dT}{dx} - k \frac{d}{dx} \left[A_C \frac{dT}{dx} \right] dx$$

[5.4.]

elde edilir. Taşınım ile geçen ısı,

$$dq_{\text{taşınım}} = h dA_S (T - T_\infty)$$

[5.5.]

bağıntısıyla verilmektedir. Burada, “ dA_s ” diferansiyel elemanın yüzey alanıdır. Bu denklemler enerji dengesinde Eşitlik 5.1. yerine konursa,

$$\frac{d}{dx} \left(A_c \frac{dT}{dx} \right) - \frac{h}{k} \frac{dA_s}{dx} (T - T_\infty) = 0 \quad [5.6.]$$

$$\frac{d^2T}{dx^2} + \left[\frac{1}{A_c} \frac{dA_c}{dx} \right] \frac{dT}{dx} - \left(\frac{1}{A_c} \frac{h}{k} \frac{dA_s}{dx} \right) (T - T_\infty) = 0 \quad [5.7.]$$

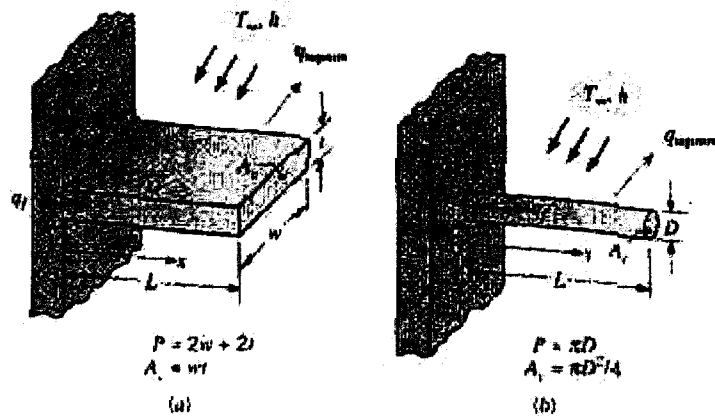
elde edilir. Bu sonuç, genişletilmiş bir yüzeyde, bir boyutlu enerji denkleminin genel gösterimidir.

5.2. Sabit Kesit Alanlı Kanatlar

Eşitlik 5.7’yi çözmek için geometriyi daha açık belirtmek gerekir. Sabit kesit alanlı düz dikdörtgen ve iğne kanatlı en basit durum ile başlanabilir. Şekil 5.6.’ da görüldüğü gibi her bir kanat $T(0) = T_b$ sıcaklığındaki taban yüzeyine oturtulmuş olup “ T_∞ ” sıcaklığındaki bir akışkan içinde bulunmaktadır.

İncelenen kanatlar için, “ A_c ” sabit ve $A_s = Px$ olup, “ A_s ” tabandan x ’e kadar olan yüzey alanı ve “ P ” kanadın çevre uzunluğudur. Buna göre, $dA_c/dx = 0$ ve $dA_s/dx = P$ olmaktadır ve Eşitlik 5.7. aşağıdaki gibi sadeleşir:

$$\frac{d^2T}{dx^2} - \frac{hP}{kA_c} (T - T_\infty) = 0 \quad [5.8.]$$



Şekil 5.6. Sabit kesitli düz kanatlar (a) Dikdörtgen kanat. (b) İğne kanat (27).

Bu eşitlik bir değişken dönüşümü ile daha da basitleşir. Sıcaklık farkı θ

$$\theta(x) \equiv T(x) - T_{\infty} \quad [5.9.]$$

olarak tanımlansın. Burada, " T_{∞} " sabit olduğundan $d\theta/dx = dT/dx$ olur. Eşitlik (5.9), Eşitlik (5.8) yerine konursa,

$$\frac{d^2\theta}{dx^2} - m^2\theta = 0 \quad [5.10.]$$

elde edilir. Bu eşitlikte,

$$m^2 \equiv \frac{hP}{kA_c} \quad [5.11.]$$

olmaktadır.

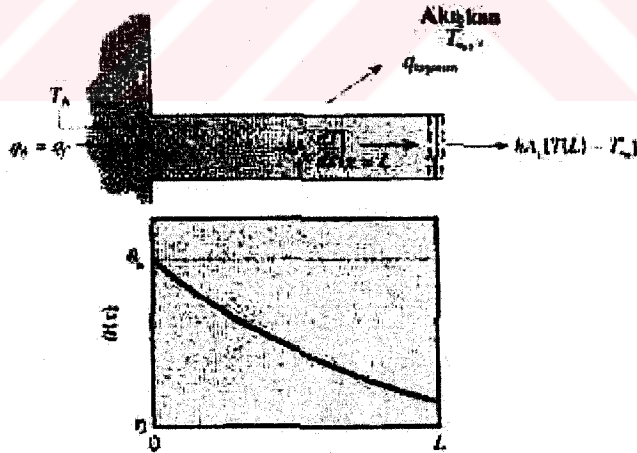
Eşitlik 5.10. lineer, homojen ve sabit katsayılı ikinci mertebeden bir diferansiyel denklemdir. Bu denklemin genel çözümü,

$$\theta(x) = C_1 e^{mx} + C_2 e^{-mx} \quad [5.12.]$$

şeklindedir. Eşitlik 5.12.'nin Eşitlik 5.10.'nun bir çözümü olduğu kolayca sağlanabilir. Eşitlik 5.12.'deki entegrasyon sabitlerinin bulunabilmesi için uygun sınır koşullarının tanımlanması gerekir. Bu şartlardan biri kanadın tabanındaki ($x=0$) sıcaklık olabilir.

$$\theta(0) = T_b - T_\infty \equiv Q_b \quad [5.13.]$$

İkinci sınır koşulu, kanadın ucunda ($x=L$) tanımlanır ve dört ayrı fiziksel durumundan birine karşı gelebilir. Bu dört farklı durum aşağıda "A", "B", "C" ve "D" şıkları olarak ele alınmıştır. İlk şık veya "A" şıkında, kanadın ucundan taşınımıyla ısı geçişi gözönüne alınır. Bu uç etrafında Şekil 5.7.'deki gibi bir kontrol yüzeyine enerji dengesi uygulanırsa,



Şekil 5.7. Sabit kesitli bir kanatta iletim ve taşınım (27).

$$hA_c [T (L) - T_{\infty}] = -k A_c \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=L}$$

veya

$$hQ (L) = -k \left. \frac{dQ}{dx} \right|_{x=L} \quad [5.14.]$$

elde edilir. Başka bir deyişle, kanadın ucundan taşınım ile akışkana geçen enerji kanat içinden uca iletilen enerjiye eşit olmalıdır. Eşitlik 5.12., Eşitlik 5.13. ve Eşitlik 5.14.'de yerine konursa, sırasıyla

$$\theta_b = C_1 + C_2$$

ve

$$h (C_1 e^{mL} + C_2 e^{-mL}) = km (C_1 e^{-mL} + C_2 e^{mL}) \quad [5.15.]$$

elde edilir. “C₁“ ve “C₂“ bu denklemlerden çözülerek, ara işlemlerden sonra

$$\frac{\theta}{\theta_b} = \frac{\cosh m(L-x) + (h/mk) \sinh m(L-x)}{\cosh mL + (h/mk) \sinh mL} \quad [5.16.]$$

olduğu gösterilebilir. Bu sıcaklık dağılımı Şekil 5.7.'de grafiksel olarak gösterilmektedir. Sıcaklık gradyanının büyüklüğü “x” arttıkça azalmaktadır. Bu eğilim, “x” ’in artması ile iletimle ısı geçişindeki azalmanın bir sonucudur.

Kanattan olan toplam ısı geçişi de önemli bir büyüklüktür. Şekil 5.7.'den açıkça görüldüğü gibi kanattan geçen ısı, her ikisi de sıcaklık dağılımının kullanılmasını içeren, iki farklı yol ile hesaplanabilir. Kullanılabilecek en basit yol kanat tabanında Fourier yasasının uygulanmasıdır.

$$q_f = q_b = -kA_c \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0} = -kA_c \left. \frac{d\theta}{dx} \right|_{x=0} \quad [5.17.]$$

Buradan, $\theta(x)$ sıcaklık dağılımını kullanarak,

$$q_f = \sqrt{hPkA_c} \theta_b \frac{\sinh mL + (h/mk) \cosh mL}{\cosh mL + (h/mk) \sinh mL} \quad [5.18.]$$

bulunur. Ayrıca, enerji korunumu kanatından taşınım ile geçen ısının kanat tabanından iletim ile giren ısıya eşit olmasını gerektirir. Buna göre “ q_f ” aşağıda gösterildiği gibi de hesaplanabilir:

$$q_f = \int_{A_f} h [T(x) - T_\infty] dA_s \quad [5.19.]$$

$$q_f = \int_{A_f} h \theta(x) dA_s$$

Burada, “ A_f ” uç da içinde olmak üzere toplam kanat yüzey alanıdır. Eşitlik 5.16’nın Eşitlik 5.19’da yerine konması Eşitlik 5.18’ i verecektir.

İkinci şık veya “B” şıkında, kanadın ucu adyabatik varsayılır ve

$$\left. \frac{d\theta}{dx} \right|_{x=L} = 0 \quad [5.20.]$$

yazılabilir. Eşitlik 5.12.’nin burada yerine konması ve “ m ” ile bölünmesinden sonra,

$$C_1 e^{mL} - C_2 e^{-mL} = 0$$

elde edilir. Bu ifadenin Eşitlik 5.15. ile birlikte kullanılmasıyla C_1 ve C_2 çözülür ve bu sonuçların Eşitlik 5.12.’de yerine konmasıyla,

$$\frac{\theta}{\theta_b} = \frac{\cosh m(L-x)}{\cosh mL} \quad [5.21.]$$

bulunur. Bu sıcaklık dağılımının Eşitlik 5.17. ile birlikte kullanılmasından,

$$q_f = \sqrt{hPkAc} \theta_b \tanh mL \quad [5.22.]$$

eşitleri ile kanattan geçen ısı miktarı elde edilir.

Kanat ucunda sıcaklığın bilindiği "C" şıkkı için, sıcaklık dağılımı ve ısı geçişi benzer bir yolla bulunabilir. Bu durumda, ikinci sınır şartı $\theta(L) = \theta_L$ olup, sonuçlar aşağıda verilmiştir:

$$\frac{\theta}{\theta_b} = \frac{(\theta_L / \theta_b) \sinh mx + \sinh m(L-x)}{\sinh mL} \quad [5.23.]$$

$$q_f = \sqrt{hPkAc} \theta_b \frac{\cosh mL - \theta_L / \theta_b}{\sinh mL} \quad [5.24.]$$

Çok uzun kanat, D şıkkı incelenen durumların bir uzantısıdır. Bu durumda, $L \rightarrow \infty$ iken $\theta \rightarrow 0$ olur ve

$$\frac{\theta}{\theta_b} = e^{-mx} \quad [5.25.]$$

$$q_f = \sqrt{hPkAc} \theta_b \quad [5.26.]$$

kolayca elde edilir (27).

5.3. Kanat Etkenliği

Kanat kullanımı, bir yüzeyden ısı geçişini artırmak için etkin yüzey alanını artırmayı amaçlar. Bununla birlikte, kanadın kendisi orijinal yüzeyden ısı geçişine bir iletim direnci gösterir. Bu nedenle, kanat kullanımının ısı geçişini mutlaka artıracığı önceden söylenemez. Bu husus kanat etkenliği tanımlanarak değerlendirilebilir. Kanat etkenliği, ϵ_f kanatlı halde geçen ısının kanatsız halde geçebilecek ısıya oranı olarak tanımlanır. Böylece,

$$\epsilon_f = \frac{q_f}{hA_{c,b}\theta_b} \quad [5.27.]$$

olup, " $A_{c,b}$ " tabandaki kanat kesit alanıdır. Gerçekçi her tasarımda " f " 'nin değeri mümkün olduğunca büyük olmalıdır ve genel olarak, $\epsilon_f \geq 2$ olmalıa kanat kullanımı uygun değildir. Bu nedenle, kanatlı yüzeyin taşınım katsayısının kanatsız yüzeydekine eşit sayılması, sonsuz kanat yaklaşımı (D ısı ıkkı) için,

$$\epsilon_f = \frac{kP}{hA_c} \quad [5.28.]$$

sonucu verir.

Bu sonuçtan çeşitli gözlemler yapılabilir. Kanat etkenliği, yüksek ısı iletim katsayılı malzemelerin seçilmesi ile yükseltilir. Alüminyum alaşımları ve bakır ilk akla gelen malzemelerdir. Bakırın ısı iletim katsayısı yüksektir, ancak alüminyum alaşımları daha hafif ve ucuzdur, bu nedenle tercih edilir. Kanat etkenliği, çevre uzunluğunun kesit alanına oranının artırılması ile de yükseltilir. Bu nedenle ince, fakat yakın

aralıklı kanatları kullanılır. Kanat aralığının, akışı engelleyecek ölçüde azaltılmaması gerekir (27).

Eşitlik 5.28. ayrıca ısı taşınım katsayısının küçük olduğu durumlarda kanat kullanımının yararını göstermektedir. Bu durumda, akışkan gaz olduğu zaman ve özellikle yüzeyden ısı geçişi doğal taşınım ile olduğunda kanatlara daha çok ihtiyaç duyulacağını göstermektedir. Kanatlar bir gaz ile bir sıvıyı ayıran yüzeylerde kullanılacaksa, genellikle düşük ısı taşınım katsayısının bulunduğu taraf olan gaz tarafına yerleştirilir. Bilinen bir örnek, otomobil radyatörünün borularıdır. Kanatlar, içinden su akışı olan (büyük h) dış yüzeyine uygulanırsa $f > 2$, kanat uygulamasını haklı kılabilecek bir kıstas olarak kullanılacaksa, $(k.P / h.A_c) > 4$ olması gerekecektir.

Eşitlik 5.28. ϵ_f için, bir üst sınır belirler. Bu sınıra "L" sonsuza giderken yaklaşılır. Bununla beraber, ısı geçişinde maksimum artışı elde etmek için çok uzun kanatların kullanılması elbette şart değildir. Adyabatik uç sınır koşulu gözönüne alındığında kanattan olabilecek en fazla ısı geçişinin % 98 kadarının, $ml = 2.3$ olduğu zaman gerçekleşebileceği Eşitlik 5.22.'de görülmektedir. Bu nedenle kanadın $L = 2.3 / m$ 'den fazla uzun olması anlamsızdır.

Kanat performansı bir ısıl direnç ile de niceleştirilebilir. Taban ve akışkan sıcaklıkları arasındaki fark potansiyel farkı olarak ele alınırsa, kanat direnci aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$R_{t,f} = \frac{\theta}{q_f} \quad [5.29.]$$

Bu sonuç, özellikle kanatlı yüzey bir ısıl devre ile gösterildiği zaman son derece yararlıdır. Kanat uç sınır koşuluna bağlı olarak, " q_f " için uygun bir bağıntının A, B,

C, D şıklarıyla açıklanmıştır. Kanatsız taban alanındaki taşınım direnci aşağıdaki gibidir:

$$R_{t,b} = \frac{1}{hA_{c,b}} \quad [5.30.]$$

5.29. numaralı eşitlik, bu eşitlik ile bölünür ve 5.27. numaralı eşitlik kullanılırsa,

$$\varepsilon_f = \frac{R_{t,b}}{R_{t,f}} \quad [5.31.]$$

bulunur.

Bu sonuca göre kanat etkenliği ısı dirençlerin bir oranı olarak yorumlanabilir ve ε_f 'yi artırmak için kanadın iletim/taşınım direncini azaltmak gerekir. Kanat ısı geçişini artıracaksa, direnci kanatsız taban alanındaki taşınım direncini aşmamalıdır.

Kanat ısı performansının bir diğer ölçüsü kanat verimi η_f 'dir. Taşınım için en yüksek sıcaklık farkı, dip ($x=0$) ve akışkan arasındaki sıcaklık farkıdır. $Q_b = T_b - T_\infty$. Bu nedenle bir kanadın yayabileceği enerjinin en yüksek değeri bütün kanat yüzeyi taban sıcaklığında olduğu zaman gerçekleşecektir. Ancak bu ideal bir durumdur ve kanat içinde bir sıcaklık değişimi her zaman vardır. Bu düşünceden yola çıkarak kanat verimi,

$$\eta_f \equiv \frac{q_f}{q_{\max}} = \frac{q_f}{hA_f\theta_b} \quad [5.32.]$$

biçiminde tanımlanabilir. Burada " A_f " kanadın yüzey alanıdır. Adyabatik uçlu ve sabit kesit alanlı düz bir kanat için, Eşitlik 5.22 ve 5.32,

$$\eta_f = \frac{M \tanh mL}{hPLQ_b} = \frac{\tanh mL}{mL} \quad [5.33.]$$

ucundan ısı kaybı olan düz dikdörtgen bir kanattan ısı geçişini veren Eşitlik 5.18.'in kullanımı zordur. Bu eşitliği kullanmak yerine, dikdörtgen kanat için $L_c = L + (t/2)$ ve iğne kanat için $L_c = L + (D + 4)$ biçiminde düzeltilmiş kanat yüksekliği tanımlara yapılarak, adyabatik uç için geçerli olan, Eşitlik 5.22. kullanılabilir. Düzeltme taşınım uçu gerçek kanattan ısı geçişi ile adyabatik uçlu daha uzun bir kanadın eşdeğer davranış gösterdiği varsayımına dayanmaktadır. Bu nedenle taşınım uçlu kanattan ısı geçişi;

$$q_f = M \tanh mL_c \quad [5.34.]$$

ve verim,

$$\eta_f = \frac{\tanh mL_c}{mL_c} \quad [5.35.]$$

bağıntılarıyla gösterilebilir. Bu yaklaşımdan kaynaklanan hata, (ht/k) veya $(hD/2k) \leq 0.0625$ ise gözardı edilebilir (27).

Dikdörtgen bir kanadın genişliği kalınlığından çok daha fazla ise, $w > t$, çevresi yaklaşık olarak

$P = 2w$ alınabilir ve

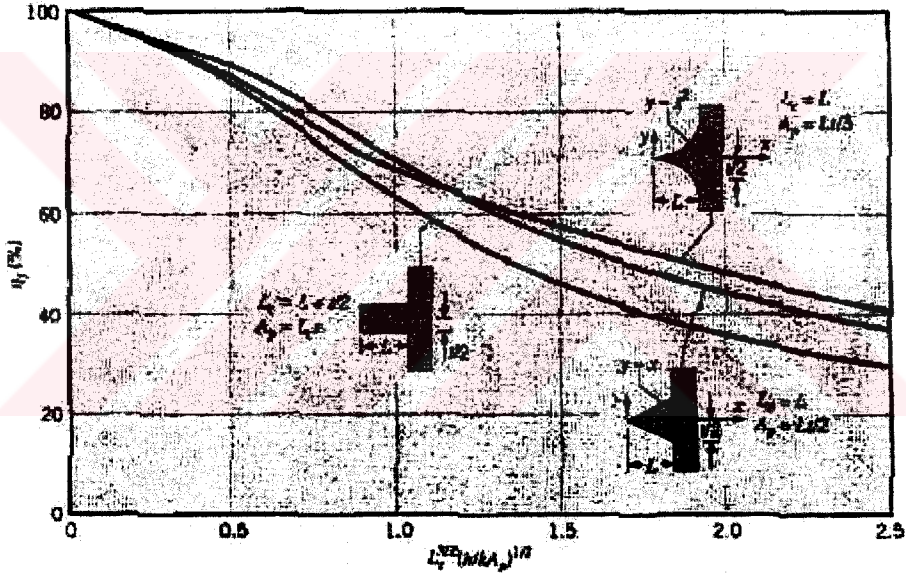
$$mL_c = \sqrt{\frac{hP}{kA_c}} L_c = \sqrt{\frac{2h}{kt}} L_c$$

yazılabilir.

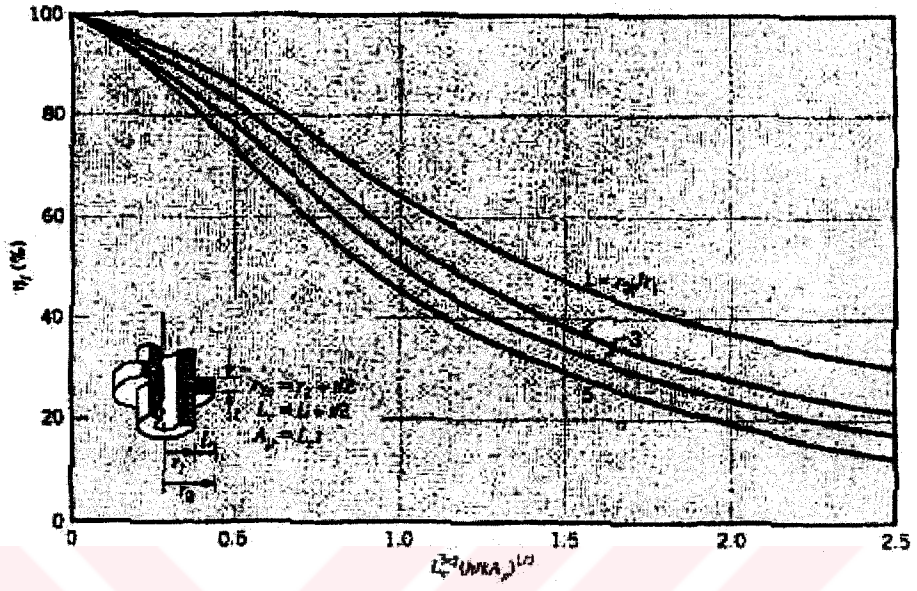
Bu bağıntıda pay ve payda $L_c^{1/2}$ ile çarpılır ve düzeltilmiş kanat profili alanı, $A_p = L_c t$, olarak tanımlanırsa,

$$m.L_c = \sqrt{\frac{2h}{kA_p}} L_c^{3/2} \quad [5.36.]$$

elde edilir. Böylece, Şekil 5.8. ve Şekil 5.9.'da gösterildiği gibi taşınım uçlu dikdörtgen bir kanadın verimi $L_c^{3/2} (h / k.A_p)^{1/2}$ parametresinin bir fonksiyonu olarak gösterilebilir.



Şekil 5.8. Dikdörtgen, üçgen ve parabolik profilli düz kanatların verimleri



Şekil 5.9. Dikdörtgen profilli dairesel kanatların verimleri

6. DOĞAL ISI TAŞINIMI

Bir akışkan, farklı sıcaklıktaki bir yüzey ile temasa geçtiğinde, akışkan içinde sıcaklık farkları meydana gelir. Sıcaklığı fazla olan akışkan zerreleri, yoğunluğu azaldığından yukarıya doğru, sıcaklığı az olan akışkan zerreleri ise yoğunluğu arttığından, aşağıya doğru hareket etmeye başlar. Akışkan içindeki sıcaklık farklarının sonucu olarak, akışkanın yoğunluğundaki değişimin meydana getirdiği bu harekete doğal taşınım denir. Doğal taşınım sonucu meydana gelen ısı taşımına da doğal ısı taşımını denir. Doğal ısı taşımına en güzel örnek, konutların ısıtılmasında kullanılan radyatörlerdir. Radyatör ile temas eden hava molekülleri ısınarak genişler ve yukarıya doğru yükselir. Yukarıya yükselen hava moleküllerinin yerine daha soğuk moleküller gelerek, oda içinde doğal taşınım hareketi meydana gelir. Radyatörler, doğal ısı taşımının yanında, ışımla da ısıtma yaparlar (28).

6.1. Yatay Boruda Doğal Isı Taşımını

Yatay silindir ya da boruda Grashof ve Rayleigh sayısındaki karakteristik uzunluk olarak borunun dış çapı alınır. Yatay boruda ortalama Nusselt sayısı Morgan tarafından,

$$Nu = \frac{hD}{k} = C Ra^n \quad [6.1.]$$

biçiminde verilmiştir. Buradaki “C” ve “n” katsayıları Çizelge 6.1.’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Rayleigh sayısına bağlı sabitler (28).

Ra	C	n
$10^{-10} - 10^{-2}$	0,675	0,058
$10^{-2} - 10^2$	1,020	0,148
$10^2 - 10^4$	0,850	0,188
$10^4 - 10^7$	0,480	0,250
$10^7 - 10^{12}$	0,125	0,333

Rayleigh sayısı

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad [6.2.]$$

olarak verilmiştir.

Doğal taşınımında sistemde kullanılan yatay boru için;

$$Gr = \frac{D_h^3 \cdot \beta \cdot g \cdot \Delta T}{\nu^2} \quad [6.3.]$$

$$\beta = \frac{1}{K} \quad [6.4.]$$

olarak verilmiştir.

Hidrolik çap ise;

$$D_h = \frac{4A}{\zeta} = D_o - D_i \quad [6.5.]$$

olarak verilmiştir.

Prandtl sayısı ise;

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad [6.6.]$$

olarak verilmiştir.

Sistemde kanadın çevre uzunluğu ise;

$$P = 2 (t + w) \quad [6.7.]$$

olarak verilmiştir.

Sistemde kanadın ısı geçişi yönünde kanatçık kesit alanı ise;

$$A = t . w \quad [6.8.]$$

olarak verilmiştir.

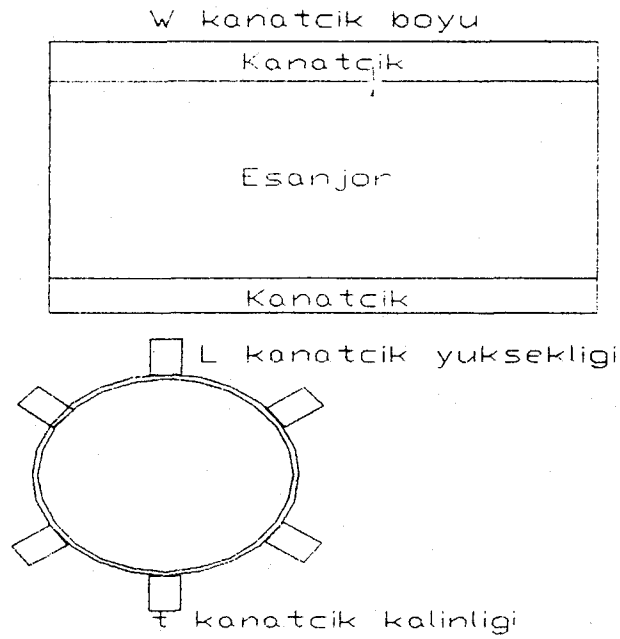


7. MATERYAL VE METOD

7.1. Deney Setlerinin Hazırlanması

Deney setleri tabii sirkülasyonlu ve endirekt olmak üzere dört ayrı sistemden oluşmaktadır. Bu dört sistemin çalışma düzenleri ve şartları; tüm özellikleri aynı olacak şekilde (kollektör yüzey alanı ve kollektörün diğer özellikleri, depo hacmi, eşanjör hacmi, boru bağlantıları vb.) tasarlanmış ve imal edilmiştir. Sistemler imal edilirken her dört sistem için de aynı özelliklere sahip malzemeler kullanılmıştır.

Sistemlerin depoları 2 mm'lik siyah sacdan imal edilmiştir. İmal edilen sıcak su deposu ve eşanjör silindriktir. Deney setlerinde imal edilen sıcak su deposunun hacmi 15 l ve eşanjör kapasitesinin hacmi ise her birinde aynı olup 0,39 l'dir. Eşanjörlerin üzerine birinci sistemde hiçbir kanatçık eklenmemiş, (karşılaştırma yapabilmek için) ikinci sistemde boyutları 10 mm x 310 mm olan 6 adet dikdörtgen kanatçık, üçüncü sistemde boyutları 20 mm x 310 mm olan 6 adet dikdörtgen kanatçık, dördüncü sistemde boyutları 30 mm x 310 mm olan 6 adet dikdörtgen kanatçık silindirik eşanjör boyunca elektrik ark kaynağı ile simetrik olarak kaynatılmıştır. Kanatçıklar 0.20 mm'lik siyah sacdan yapılmıştır. Şekil 7.1. 'de eşanjör kanatçık detayı verilmiştir. Ayrıca deney setlerinin kanatçık boyutları, eşanjör boyutları ve sıcak su deposu boyutları Çizelge 7.1'de verilmiştir.



Şekil 7.1. Eşanjör kanatçık detayı

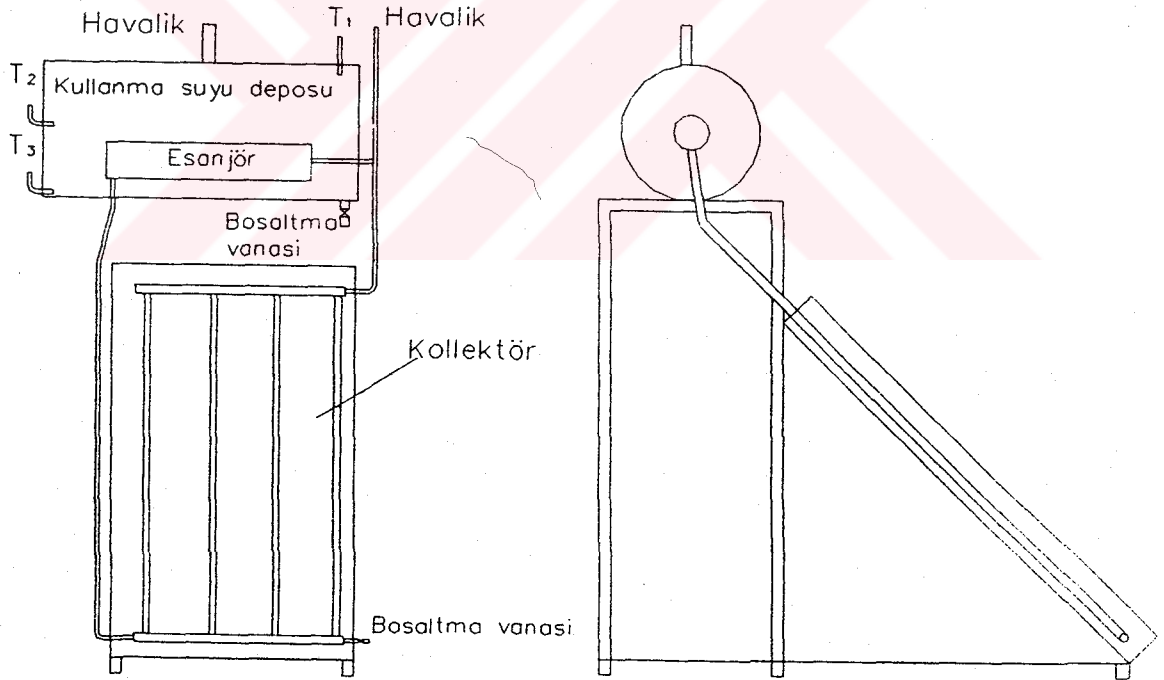
Çizelge 7.1. Sıcak su deposu ve eşanjör boyutları

Sistemler		Kapasite V (Litre)	Boy w (cm)	Çap D (cm)
1.sistem	Depo	15	31	25
	Eşanjör	0,39	31	4
2.sistem	Depo	15	31	25
	Eşanjör	0,39	31	4
3.sistem	Depo	15	31	25
	Eşanjör	0,39	31	4
4.sistem	Depo	15	31	25
	Eşanjör	0,39	31	4

Sistemlerin kollektörleri aynı yüzey alanına sahip olup 60 cm x 35 cm'dir. Kollektörler yatayla 25° açı yapacak şekilde (yaz uygulaması) yerleştirilmiştir.

Sistemlerin sıcak su depolarına kullanma suyu sıcaklığını ölçmek amacıyla üst, orta ve alt kısımlarına birer adet sıcaklık ölçüm borusu monte edilmiştir.

Boru bağlantıları, tabii sirkülasyonlu sistemde basınç kaybını en aza indireyecek şekilde, bağlantı boruları için 1/2" bağlantı elemanları kullanılarak yapılmıştır. Depolar kollektörlerden 35 cm yüksekliğe yerleştirilmiştir. Depolar ve kollektörler; 3 cm x 3 cm profilden yapılan tezgahlar üzerine bütün sistemler aynı olacak şekilde yekpare olarak yerleştirilmiştir. Kollektörler 25° eğimli olarak tezgahlara, tezgahlar da yerden 1,5 m yükseklikte güney yönüne bakan platform üzerine yerleştirilmiştir. Sistemlerin bağlantı şeması Şekil 7.2.'de görülmektedir.



Şekil 7.2. Sistemlerin bağlantı şeması

Sistemlerin depoları 5 cm cam yünü ile yalıtılmıştır. Bağlantı boruları ise poliüretan yalıtım malzemesi ile yalıtılmıştır. Sistemlerin su doldurma, kollektör giriş ve çıkışları, boşaltma ağızları ve havalıkları aynı şekilde ve aynı yerlerden, tüm bağlantıları aynı ölçülerde ve aynı şekilde yapılmıştır.



8. DENEYLERİN YAPILIŞI

Hazırlanan 4 deney seti, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Bölümü Tesisat Anabilim Dalı bahçesinde kollektörler yerden 1,5 m yükseklikte bulunan bir platform üzerine, güney yönüne bakacak ve birbirini gölgelemeyecek şekilde yerleştirilmiştir. Deneyler 23 Temmuz 2001 ile 1 Ağustos 2001 tarihleri arasında 6 gün süreyle yapılmıştır.

Sistemler aynı anda ve saat 09:00'da su ile doldurulmuştur. Ölçümler her yarım saatte bir, saat 09:30'da başlayıp saat 17:00'a kadar yapılmıştır. Sıcaklıklar demir-konstant ısı çiftleri (termo kupullar) ile ölçülmüştür. Sıcaklık ölçümleri yapılırken ELİMKO firmasının üretmiş olduğu 12 kanallı elektronik sıcaklık ölçüm cihazı kullanılmıştır. Deney yapılan gün süresince her yarım saatte bir her bir sistemin depo suyu sıcaklıkları kayda geçirilmiş olup saat 17:00' de her sistemlerin suları boşaltılmıştır.

9. DENEY SONUÇLARI

9.1. Enerji Hesapları

9.1.1. Sistemlere verilen enerji

Sistemde kullanılan kolektör yüzeyi 0,21 m²'lik bir alana sahip ve yatayla 25^o lik bir açı yapmaktadır. Enerji hesapları yapılırken güneşten elde edilen enerjinin bulunması için, kullanılan değerler Ankara Kalaba Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden alınmıştır. Çizelge 9.1.'de ve Çizelge 9.2.'de deney yapılan günlere ait değerler görülmektedir.

Çizelge 9.1. Deney yapılan günlere ait Ankara ilinin verileri

Deney yapılan gün	Ortalama sıcaklık °C	Toplam güneşlenme süresi (saat)	Ortalama bulutluluk X / 10
23.07.2001	28,0	12,2	0,0
24.07.2001	29,6	12,3	0,0
26.07.2001	29,4	12,2	0,0
30.07.2001	27,7	7,9	5,3
31.07.2001	28,8	11,5	3,3
01.08.2001	28,0	11,7	1,7

Çizelge 9.2. Deney yapılan günlere ait Ankara ilinin güneş ışınım şiddeti verileri
(cal/cm²)

SAATLER	TARİHLER					
	23.07.2001	24.07.2001	26.07.2001	30.07.2001	31.07.2001	01.08.2001
04:00-05:00	0	0	0	0	0	0
05:00-06:00	3,00	2,50	3,00	2,00	3,00	2,50
06:00-07:00	13,80	15,00	15,00	10,80	13,20	14,40
07:00-08:00	30,00	31,80	30,00	32,40	28,80	31,20
08:00-09:00	45,60	41,40	45,60	27,60	45,00	43,80
09:00-10:00	57,60	59,40	57,60	44,40	57,00	57,00
10:00-11:00	68,40	67,20	66,60	55,80	54,00	65,40
11:00-12:00	72,00	71,40	72,00	54,60	51,60	70,20
12:00-13:00	73,80	70,80	72,00	23,40	58,20	70,20
13:00-14:00	69,60	66,60	67,20	29,40	67,80	62,40
14:00-15:00	63,60	60,00	57,60	48,60	60,00	55,20
15:00-16:00	51,60	49,20	47,40	45,00	48,00	37,80
16:00-17:00	38,40	32,40	34,80	32,40	33,00	32,40
17:00-18:00	24,00	19,80	20,40	15,60	20,40	13,80
18:00-19:00	10,80	6,60	6,60	3,00	5,40	3,20
19:00-20:00	0,10	0,30	0	0	0	0
TOPLAM	622,30	594,40	595,80	425,0	545,40	559,50

Işın toplayıcı yüzeyine gelen toplam güneş ışınımından elde edilen enerjiyi bulmak için;

$$I_{TOP} = [I_{DIR} \times R] + I_{DIF} \times \left[\frac{1 + \cos\beta}{2} \right] + [I_{DIR} + I_{DIF}] \times r_a \times \left[\frac{1 - \cos\beta}{2} \right] \quad [9.1.]$$

eşitliğinden yararlanılmıştır.

Bu eşitlikte;

I_{DIR} : Direkt radyasyon (W/m^2) olup

$$I_{DIR} = YYRA_1 - I_{DIF} \quad [9.2.]$$

$YYRA_1$: Deneyin yapıldığı 09:00 ile 17:00 saatleri arasında yatay yüzeye gelen radyasyon değeri, W/m^2 8h (Çizelge 9.2.)

I_{DIF} : Difüz radyasyon (yansıma ışını) (W/m^2 8h)

$$I_{DIF} = [1 - (1,097 \times BUF)] \times YYRA_1 \quad [9.3.]$$

BUF : Bulanıklık faktörü.

$$BUF = \frac{YYRA}{AÖRA} \quad [9.4.]$$

YYRA : Deneyin yapıldığı gün için ortalama yatay yüzey radyasyon değeri, W/m^2 gün.

AÖRA : Dene yapılan ayın ortalama atmosfer öncesi radyasyon değeri, W/m²gün [24].

r_a : eğik düzlem çevresinin toplam güneş radyasyonu için yansıtma katsayısı $\approx 0,2$ dir.

$$R = \frac{\text{Cos}\theta}{\text{Cos}\theta_2} \quad [9.5.]$$

$$\text{Cos}\theta = [\text{Sin}\delta \times \text{Sin}\phi \times \text{Cos}\beta] - [\text{Sin}\delta \times \text{Cos}\phi \times \text{Sin}\beta \times \text{Cos}\gamma] +$$

$$[\text{Cos}\delta \times \text{Cos}\phi \times \text{Cos}\beta \times \text{Cos}\omega] + [\text{Cos}\delta \times \text{Sin}\phi \times \text{Cos}\gamma \times \text{Cos}\omega] +$$

$$[\text{Cos}\delta \times \text{Sin}\beta \times \text{Sin}\gamma \times \text{Sin}\omega] \quad (24). \quad [9.6.]$$

$$\text{Cos}\theta_2 = [\text{Sin}\phi \times \text{Sin}\delta] + [\text{Cos}\phi \times \text{Cos}\delta \times \text{Cos}\omega] \quad (24). \quad [9.7.]$$

Eşitlikte;

ϕ : Enlem derecesi (Ankara için 40°).

β : Işın toplayıcının yatayla yaptığı açı (25°).

γ : Azimut açısı (ısı yutucu güney yönüne baktığı için, 0° dir).

ω : Saat açısı 12:00'den itibaren her saat için 15°, 16:00 için 60° alınmıştır).

$$\delta = 23,45 \times \text{Sin} \left[360 \times \frac{284 + n}{365} \right] \quad [9.8.]$$

δ : Deklinasyon açısı (24).

n : Hesabı yapılan gün (takvimde 1 Ocak'tan itibaren kaçınıcı gün ise...).

9.1.2. Sistemlerden elde edilen enerji

$$Q = m \times c \times \Delta T \quad [9.9.]$$

m : Suyun kütleli debisi (15 kg)

c : Özgül ısı (4,18 kJ/kg K)

ΔT : Sıcaklık farkı, ($t_{\text{son}} - t_{\text{ilk}}$).

eşitliği kullanılmıştır.

Çizelge 9.3. Deney süresince tespit edilen maksimum sıcaklık değerleri

Deney yapılan günler	Kanatçıksız sistemin sıcaklığı °C	10mmx310mm kanatçıklı sistemin sıcaklığı °C	20mmx310mm kanatçıklı sistemin sıcaklığı °C	30mmx310mm kanatçıklı sistemin sıcaklığı °C
23.07.2001	62,6	64,1	65,8	68,7
24.07.2001	60,6	62,2	63,7	66,7
26.07.2001	60,7	62,3	63,8	66,6
30.07.2001	46,5	47,8	49,3	51,0
31.07.2001	59,1	60,4	62,0	65,1
01.08.2001	59,9	60,9	62,5	66,0

9.1.3. Sistemlerin verimi

Sistemlerin verimleri, sistemlerin yapıldığı malzemenin teknik özelliklerine, buldukları enlem derecesine, eğimlerine, çevresiyle olan sıcaklık farklarına ve kullandıkları zamana bağlı olarak değişebilmektedir.

$$\eta = \frac{Q}{F_k \times I_{TOP}} \quad [9.10.]$$

eşitliği ile sistem verimi bulunabilmektedir (24).

9.2. Deney Veri Hesapları

Altı gün süresince sıcaklık değerleri tespit edilen sistemlerin, performanslarının karşılaştırılması amacıyla hesaplamalar yapılmıştır. Deneyin birinci günü (23.07.2001) için hesaplamalar ayrıntılı olarak işlenmiş olup, diğer günlerin hesaplamaları kısaca yapılmıştır.

9.2.1. Sisteme verilen enerji hesabı

23.07.2001 günü için ayrıntılı işlenen hesaplarda Meteoroloji İşleri Ankara Bölge Müdürlüğü rasat verilerine göre kollektör yüzeyine gelen güneş ışığının en yüksek değeri, saat 13:00'da olmuştur. Direkt ışınım $4079,66 \text{ W/m}^2\text{8h}$ ve difüz radyasyon ise $1677,18 \text{ W/m}^2\text{8h}$ olarak tespit edilmiştir. Bu değerler, yatay düzleme gelen güneş radyasyonudur. Sistemin ışın toplayan yüzeyi yatayla 25° 'lik açı yapmaktadır. 25° eğik yüzeye gelen güneş radyasyonunu bulmak için Eşitlik 9.1.'den yararlanılmıştır.

$$YYRA = 7237,3 \text{ W/m}^2\text{gün}$$

$$AÖRA = 11202 \text{ W/m}^2\text{gün} \quad (24).$$

$$BUF = 0,646$$

$$YYRA_1 = 5756,85 \text{ W/m}^2 \text{ 8h}$$

Eş. 9.3. 'de yerine konulursa

$$\begin{aligned} I_{DIF} &= (1 - (1,097 \times 0,646)) \times 5756,85 \\ &= 1677,18 \text{ W/m}^2 \text{ 8h} \end{aligned}$$

bulunur. Buna göre yataydaki radyasyon miktarı Eşitlik 9.2.'den

$$I_{DIR} = 5756,85 - 1677,18 = 4079,66 \text{ W/m}^2 \text{ 8h}$$

olarak bulunur.

Deneyin yapıldığı gün 23.07.2001 olduğu için;

$$n = 204. \text{ gün}$$

$$\delta = 23,45 \times \text{Sin} [360 \times (284 + 204) / 365] = 20,03^\circ$$

olarak deklinasyon açısı bulunur.

$$\phi = 40^\circ$$

$$\beta = 25^\circ$$

$$\gamma = 0^\circ$$

$$\omega = 60^\circ$$

$$\text{Cos } \theta = 1,302$$

$$\text{Cos } \theta_2 = 0,915$$

Ve Eş. 9.5. 'den

$$\mathfrak{R} = 1,42$$

bulunur. Bu sonuçlar Eşitlik 9.1.'deki 25° eğim açısı olan 1 m^2 'lik ışın yutucu yüzeyine gelen güneş radyasyon değeri için;

$r_a = 0,2$ için;

$$I_{\text{TOP}} = (4079,66 \times 1,42) + 1677,18 \times (1 + \cos 25^\circ / 2) + (4079,66 + 1677,18) \times 0,2 \times (1 - \cos 25^\circ / 2)$$

$$I_{\text{TOP}} = 7445,6 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

olarak alınmaktadır.

9.2.2. Sistemlerden elde edilen enerji hesabı

Dört farklı tipte tertip edilen sistemlerden, 23.07.2001 günü ve saat 16:00 'da elde edilen enerji için Eşitlik 9.9.'dan yararlanılmıştır. 23.07.2001 günü için toplu sonuçlar Çizelge 9.4. 'de ki gibi tespit edilmiştir.

1. Kanatçıksız endirekt sıcak su hazırlama sistemi:

23.07.2001 günü için sayısal verileri ve ısı hesabı aşağıda yapılan bu sistemin Sıcaklık–Zaman grafiği Şekil 9.1.'de verilmiştir.

$$m = 15 \text{ kg}$$

$$c = 4,18 \text{ kJ / kg K}$$

$$t_{\text{ilk}} = 15,0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{son}} = 62,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_1 = 15 \times 4,18 \times (62,6 - 15,0) = 2984,52 \text{ kJ} \times 0,278 = 829,6 \text{ W}$$

2. 10 mm x 310 mm kanatçıklı indirekt sıcak su hazırlama sistemi:

23.07.2001 günü için sayısal verileri ve ısı hesabı aşağıda yapılan bu sistemin Sıcaklık–Zaman grafiği Şekil 9.1.’de verilmiştir.

$$m = 15 \text{ kg}$$

$$c = 4,18 \text{ kJ / kg K}$$

$$t_{\text{ilk}} = 15,0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{son}} = 64,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_2 = 15 \times 4,18 \times (64,1 - 15,0) = 3078,57 \text{ kJ} \times 0,278 = 855,84 \text{ W}$$

3. 20 mm x 310 mm kanatçıklı indirekt sıcak su hazırlama sistemi:

23.07.2001 günü için sayısal verileri ve ısı hesabı aşağıda yapılan bu sistemin Sıcaklık–Zaman grafiği Şekil 9.1.’de verilmiştir.

$$m = 15 \text{ kg}$$

$$c = 4,18 \text{ kJ / kg K}$$

$$t_{\text{ilk}} = 15,0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{son}} = 65,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_3 = 15 \times 4,18 \times (65,8 - 15,0) = 3185,16 \text{ kJ} \times 0,278 = 885,47 \text{ W}$$

4. 30 mm x 310 mm kanatçıklı indirekt sıcak su hazırlama sistemi:

23.07.2001 günü için sayısal verileri ve ısı hesabı aşağıda yapılan bu sistemin Sıcaklık–Zaman grafiği Şekil 9.1.'de verilmiştir.

$$m = 15 \text{ kg}$$

$$c = 4,18 \text{ kJ / kg K}$$

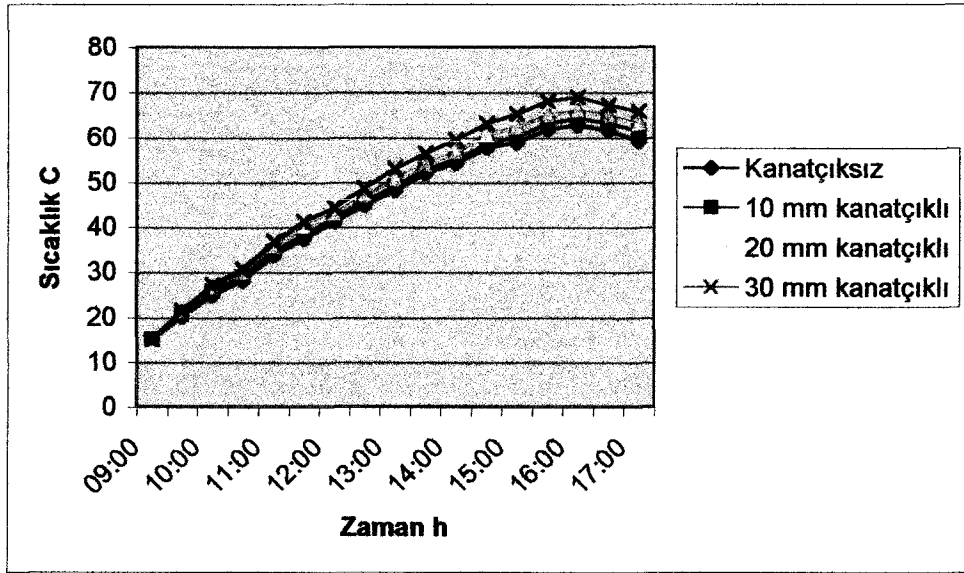
$$t_{\text{ilk}} = 15,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{son}} = 68,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_4 = 15 \times 4,18 \times (68,7 - 15,0) = 3366,99 \text{ kJ} \times 0,278 = 936,02 \text{ W}$$

Çizelge 9.4. 23 Temmuz 2001 günü sıcak su hazırlama sistemlerinden ölçülen sıcaklık değerleri

SAAT	SICAKLIKLAR $^{\circ}\text{C}$			
	Sıcaklık Ölçümü Alınan Sistemler			
	Kanatçksız	10mm x 310mm	20mm x 310mm	30mm x 310mm
9:00	15,0	15,0	15,0	15,0
9:30	20,1	20,4	21,1	21,3
10:00	24,7	25,6	26,5	27,1
10:30	28,1	28,8	29,7	30,6
11:00	33,7	34,5	35,6	36,7
11:30	37,4	38,3	40,0	41,1
12:00	41,1	41,8	42,9	44,2
12:30	44,9	45,6	46,8	48,6
13:00	48,1	49,0	50,5	53,0
13:30	51,9	52,6	53,8	56,4
14:00	54,2	55,0	56,5	59,3
14:30	57,6	58,4	60,5	62,9
15:00	58,8	59,9	62,0	65,1
15:30	61,7	62,9	64,8	67,9
16:00	62,6	64,1	65,8	68,7
16:30	61,3	63,0	64,6	67,1
17:00	59,1	61,2	62,9	65,6



Şekil 9.1. 23 Temmuz 2001 gününe ait sıcaklık zaman grafiği

9.2.3. Verim hesabı

Dört farklı tipte tertip edilen sistemlerden, 23.07.2001 günü elde edilen hesap sonuçlarına göre verim hesabı için Eş. 9.10.'dan yararlanılmıştır. Çizelge 9.10. 'da sistemlerin deney yapılan günlerde verim sonuçları toplu olarak ve Şekil 9.7. 'de verim-deney yapılan günler grafiği verilmiştir.

1. 23.07.2001 gününe ait kanatçıksız sistemin verimi:

$$I_{TOP} = 7445,6 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$Q_1 = 829,6 \text{ W/8h}$$

$$F_K = 0,21 \text{ m}^2$$

$$\eta_I = 829,6 / (7445,6 \times 0,21) = 0,53$$

2. 23.07.2001 gününe ait 10 mm x 310 mm kanatçıklı sistemin verimi:

$$I_{TOP} = 7445,6 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$Q_2 = 855,84 \text{ W/8h}$$

$$F_K = 0,21 \text{ m}^2$$

$$\eta_2 = 855,84 / (7445,6 \times 0,21) = 0,55$$

3. 23.07.2001 gününe ait 20 mm x 310 mm kanatçıklı sistemin verimi:

$$I_{TOP} = 7445,6 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$Q_3 = 885,47 \text{ W/8h}$$

$$F_K = 0,21 \text{ m}^2$$

$$\eta_3 = 885,47 / (7445,6 \times 0,21) = 0,57$$

4. 23.07.2001 gününe ait 30 mm x 310 mm kanatçıklı sistemin verimi:

$$I_{TOP} = 7445,6 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$Q_4 = 936,02 \text{ W/8h}$$

$$F_K = 0,21 \text{ m}^2$$

$$\eta_4 = 936,02 / (7445,6 \times 0,21) = 0,60$$

Tarih : 24.07.2001 Deneyin 2. Günü

$$YYRA = 6912,8 \text{ W/m}^2\text{gün}$$

$$AÖRA = 11202 \text{ W/m}^2\text{gün [24].}$$

$$BUF = 0,617$$

$$YYRA_1 = 5547,5 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$I_{DIF} = 1792,68 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$I_{DIR} = 3757,82 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$n = 205. \text{ gün}$$

$$\delta = 19,82^\circ$$

$$\phi = 40^\circ$$

$$\beta = 25^\circ$$

$$\gamma = 0^\circ$$

$$\omega = 60^\circ$$

$$\text{Cos } \theta = 1,302$$

$$\text{Cos } \theta_2 = 0,913$$

$$\mathfrak{R} = 1,43$$

$$r_a = 0,2$$

$$I_{TOP} = 7130,05 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

Sistemlerden suya verilen enerji ve verim hesabı

1. 24.07.2001 gününe ait kanatçiksız sistemin verimi:

$$m = 15 \text{ kg} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{son}} = 60,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_5 = 15 \times 4,18 \times (60,6 - 15) = 2859,12 \text{ kJ} \times 0,278 = 794,83 \text{ W/8h}$$

$$Q_5 = 794,83 \text{ W/8h} \quad F_k = 0,21 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 7130,05 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_5 = 794,83 / (7130,05 \times 0,21) = 0,53$$

2. 24.07.2001 gününe ait 10 mm x 310 mm kanatçıklı sistemin verimi:

$$m = 15 \text{ kg} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{son}} = 62,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_6 = 15 \times 4,18 \times (62,2 - 15) = 2959,44 \text{ kJ} \times 0,278 = 822,72 \text{ W/8h}$$

$$Q_6 = 822,72 \text{ W/8h} \quad F_k = 0,21 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 7130,05 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_6 = 822,72 / (7130,05 \times 0,21) = 0,55$$

3. 24.07.2001 gününe ait 20 mm x 310 mm kanatçıklı sistemin verimi:

$$m = 15 \text{ kg} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{son}} = 63,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_7 = 15 \times 4,18 \times (63,7 - 15) = 3053,49 \text{ kJ} \times 0,278 = 848,87 \text{ W/8h}$$

$$Q_7 = 848,87 \text{ W/8h} \quad F_k = 0,21 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 7130,05 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_7 = 848,87 / (7130,05 \times 0,21) = 0,57$$

4. 24.07.2001 gününe ait 30 mm x 310 mm kanatçıklı sistemin verimi:

$$m = 15 \text{ kg} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{ilk} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{son} = 66,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

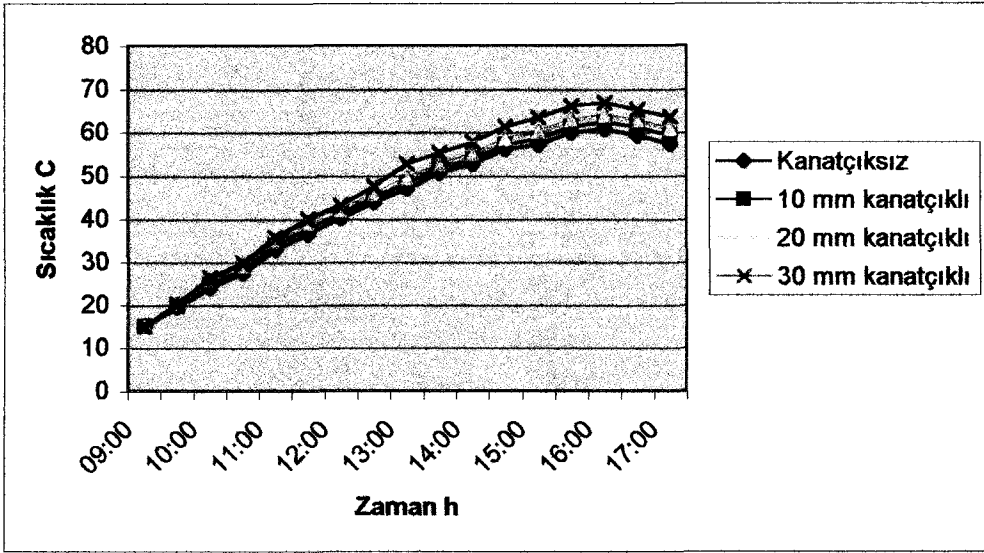
$$Q_8 = 15 \times 4,18 \times (66,7 - 15) = 3241,59 \text{ kJ} \times 0,278 = 901,16 \text{ W/8h}$$

$$Q_8 = 901,16 \text{ W/8h} \quad F_k = 0,21 \text{ m}^2 \quad I_{TOP} = 7130,05 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_8 = 901,16 / (7130,05 \times 0,21) = 0,60$$

Çizelge 9.5. 24 Temmuz 2001 günü sıcak su hazırlama sistemlerinden ölçülen sıcaklık değerleri

SAAT	SICAKLIKLAR °C			
	Sıcaklık Ölçümü Alınan Sistemler			
	Kanatçiksız	10mm x 310mm	20mm x 310mm	30mm x 310mm
9:00	15,0	15,0	15,0	15,0
9:30	19,4	19,5	20,0	20,1
10:00	23,8	24,8	25,6	26,3
10:30	27,3	28,1	29,0	29,7
11:00	32,8	33,8	34,8	35,7
11:30	36,4	37,5	39,1	40,0
12:00	40,1	40,9	41,9	43,0
12:30	43,8	44,6	45,6	47,5
13:00	46,9	48,1	49,2	52,6
13:30	50,6	51,5	52,4	55,1
14:00	52,7	53,7	54,8	57,7
14:30	56,0	57,1	58,3	61,2
15:00	57,1	58,4	60,1	63,3
15:30	59,9	61,2	62,7	66,0
16:00	60,6	62,2	63,7	66,7
16:30	59,1	61,1	62,5	65,0
17:00	57,2	59,2	60,6	63,4



Şekil 9.2. 24 Temmuz 2001 gününe ait sıcaklık zaman grafiği

Tarih : 26.07.2001 Deneyin 3. Günü

$$YYRA = 6229,0 \text{ W/m}^2\text{gün}$$

$$AÖRA = 11202 \text{ W/m}^2\text{gün [24].}$$

$$BUF = 0,618$$

$$YYRA_1 = 5526,57 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$I_{DİF} = 1779,85 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$I_{DIR} = 3746,71 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$n = 207. \text{ gün}$$

$$\delta = 19,37^\circ$$

$$\phi = 40^\circ$$

$$\beta = 25^\circ$$

$$\gamma = 0^\circ$$

$$\omega = 60^\circ$$

$$\text{Cos } \theta = 1,303$$

$$\text{Cos } \theta_2 = 0,911$$

$$\mathfrak{R} = 1,43$$

$$r_a = 0,2$$

$$I_{TOP} = 7054,26 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

Sistemlerden suya verilen enerji ve verim hesabı

1. 26.07.2001 gününe ait kanatçiksız sistemin verimi:

$$m = 15 \text{ kg} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{son}} = 59,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_9 = 15 \times 4,18 \times (59,2 - 15) = 2771,34 \text{ kJ} \times 0,278 = 770,43 \text{ W/8h}$$

$$Q_9 = 770,43 \text{ W/8h} \quad F_k = 0,21 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 7054,26 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_9 = 770,43 / (7054,26 \times 0,21) = 0,52$$

2. 26.07.2001 gününe ait 10 mm x 310 mm kanatçıklı sistemin verimi:

$$m = 15 \text{ kg} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{son}} = 60,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{10} = 15 \times 4,18 \times (60,8 - 15) = 2871,66 \text{ kJ} \times 0,278 = 798,32 \text{ W/8h}$$

$$Q_{10} = 798,32 \text{ W/8h} \quad F_k = 0,21 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 7054,26 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_{10} = 798,32 / (7054,26 \times 0,21) = 0,54$$

3. 26.07.2001 gününe ait 20 mm x 310 mm kanatçıklı sistemin verimi:

$$m = 15 \text{ kg} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{son}} = 62,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{11} = 15 \times 4,18 \times (62,3 - 15) = 2965,71 \text{ kJ} \times 0,278 = 824,46 \text{ W/8h}$$

$$Q_{11} = 824,46 \text{ W/8h} \quad F_k = 0,21 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 7054,26 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_{11} = 824,46 / (7054,26 \times 0,21) = 0,56$$

4. 26.07.2001 gününe ait 30 mm x 310 mm kanatçıklı sistemin verimi:

$$m = 15 \text{ kg} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{son}} = 65,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

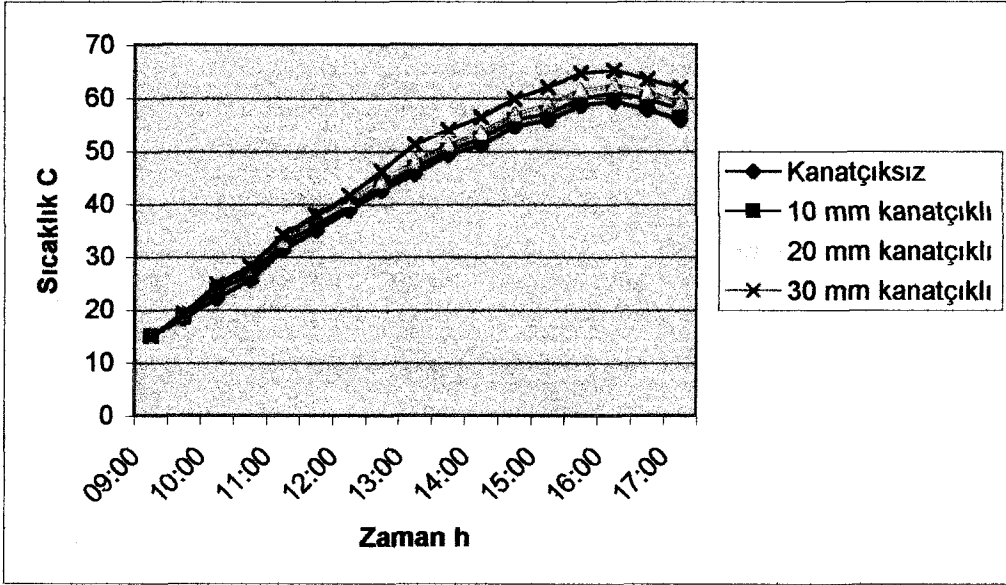
$$Q_{12} = 15 \times 4,18 \times (65,1 - 15) = 3141,27 \text{ kJ} \times 0,278 = 873,27 \text{ W/8h}$$

$$Q_{12} = 873,27 \text{ W/8h} \quad F_k = 0,21 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 7054,26 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_{12} = 873,27 / (7054,26 \times 0,21) = 0,59$$

Çizelge 9.6. 26 Temmuz 2001 günü sıcak su hazırlama sistemlerinden ölçülen sıcaklık değerleri

SAAT	SICAKLIKLAR °C			
	Sıcaklık Ölçümü Alınan Sistemler			
	Kanatçiksız	10 mm x 310mm	20 mm x 310mm	30 mm x 310mm
9:00	15,0	15,0	15,0	15,0
9:30	18,3	18,5	19,1	19,2
10:00	22,1	23,5	24,1	24,7
10:30	25,6	26,5	27,6	28,1
11:00	31,2	32,3	32,9	34,1
11:30	35,0	36,0	37,7	37,8
12:00	38,7	39,5	40,5	41,5
12:30	42,5	43,2	44,2	46,1
13:00	45,6	46,7	47,8	51,2
13:30	49,2	50,0	51,0	53,8
14:00	51,0	52,3	53,3	56,3
14:30	54,6	55,7	56,9	59,8
15:00	55,7	57,0	58,7	61,9
15:30	58,5	59,7	61,3	64,6
16:00	59,2	60,8	62,3	65,1
16:30	57,7	59,6	60,9	63,4
17:00	55,7	57,8	59,0	61,8



Şekil 9.3. 26 Temmuz 2001 gününe ait sıcaklık zaman grafiği

Tarih :30.07.2001 Deneyin 4. Günü

$$YYRA = 4942,75 \text{ W/m}^2\text{gün}$$

$$AÖRA = 11202 \text{ W/m}^2\text{gün [24].}$$

$$BUF = 0,441$$

$$YYRA_1 = 3879,76 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$I_{DIF} = 2002,42 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$I_{DIR} = 1877,33 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$n = 211. \text{ gün}$$

$$\delta = 18,42^\circ$$

$$\phi = 40^\circ$$

$$\beta = 25^\circ$$

$$\gamma = 0^\circ$$

$$\omega = 60^\circ$$

$$\text{Cos } \theta = 1,307$$

$$\text{Cos } \theta_2 = 0,905$$

$$\mathfrak{R} = 1,44$$

$$r_a = 0,2$$

$$I_{TOP} = 4647,82 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

Sistemlerden suya verilen enerji ve verim hesabı

1. 30.07.2001 gününe ait kanatçiksız sistemin verimi:

$$m = 15 \text{ kg} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{son}} = 46,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{13} = 15 \times 4,18 \times (46,5 - 15) = 1975,05 \text{ kJ} \times 0,278 = 549,06 \text{ W/8h}$$

$$Q_{13} = 549,06 \text{ W/8h} \quad F_k = 0,21 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 4647,82 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_{13} = 549,06 / (4647,82 \times 0,21) = 0,56$$

2. 30.07.2001 gününe ait 10 mm x 310 mm kanatçıklı sistemin verimi:

$$m = 15 \text{ kg} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{son}} = 47,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{14} = 15 \times 4,18 \times (47,8 - 15) = 2056,56 \text{ kJ} \times 0,278 = 571,72 \text{ W/8h}$$

$$Q_{14} = 571,72 \text{ W/8h} \quad F_k = 0,21 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 4647,82 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_{14} = 571,72 / (4647,82 \times 0,21) = 0,58$$

3. 30.07.2001 gününe ait 20 mm x 310 mm kanatçıklı sistemin verimi:

$$m = 15 \text{ kg} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{son}} = 49,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{15} = 15 \times 4,18 \times (49,3 - 15) = 2150,61 \text{ kJ} \times 0,278 = 597,8 \text{ W/8h}$$

$$Q_{15} = 597,8 \text{ W/8h} \quad F_k = 0,21 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 4647,82 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_{15} = 597,8 / (4647,82 \times 0,21) = 0,61$$

4. 30.07.2001 gününe ait 30 mm x 310 mm kanatçıklı sistemin verimi:

$$m = 15 \text{ kg} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{son}} = 51,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

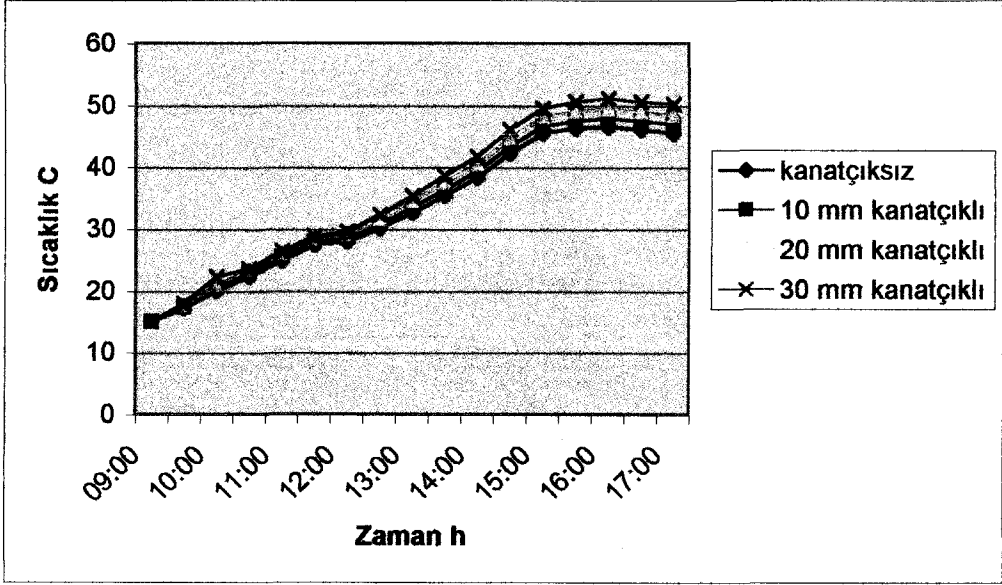
$$Q_{16} = 15 \times 4,18 \times (51,0 - 15) = 2257,2 \text{ kJ} \times 0,278 = 627,5 \text{ W/8h}$$

$$Q_{16} = 627,5 \text{ W/8h} \quad F_k = 0,21 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 4647,82 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_{16} = 627,5 / (4647,82 \times 0,21) = 0,64$$

Çizelge 9.7. 30 Temmuz 2001 günü sıcak su hazırlama sistemlerinden ölçülen sıcaklık değerleri

SAAT	SICAKLIKLAR $^{\circ}\text{C}$			
	Sıcaklık Ölçümü Alınan Sistemler			
	Kanatçksız	10mm x 310mm	20mm x 310mm	30mm x 310mm
9:00	15,0	15,0	15,0	15,0
9:30	17,2	17,3	17,6	17,9
10:00	20,0	20,4	20,9	22,2
10:30	22,2	22,8	23,2	23,5
11:00	24,8	25,5	25,9	26,4
11:30	27,4	27,8	28,3	28,8
12:00	27,9	28,4	29,1	29,6
12:30	30,1	30,7	31,6	32,3
13:00	32,6	33,4	34,4	35,3
13:30	35,4	36,3	37,5	38,6
14:00	38,3	39,3	40,5	41,7
14:30	42,2	43,3	44,6	46,0
15:00	45,4	46,6	48,0	49,5
15:30	46,2	47,4	48,9	50,5
16:00	46,5	47,8	49,3	51,0
16:30	46,0	47,4	48,8	50,5
17:00	45,4	46,9	48,3	50,1



Şekil 9.4. 30 Temmuz 2001 gününe ait sıcaklık zaman grafiği

Tarih : 31.07.2001 Deneyin 5. Günü

$$YYRA = 6343,0 \text{ W/m}^2\text{gün}$$

$$AÖRA = 11202 \text{ W/m}^2\text{gün [24].}$$

$$BUF = 0,566$$

$$YYRA_1 = 4996,24 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$I_{DIF} = 1894,06 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$I_{DIR} = 3102,17 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$n = 212. \text{ gün}$$

$$\delta = 18,17^\circ$$

$$\phi = 40^\circ$$

$$\beta = 25^\circ$$

$$\gamma = 0^\circ$$

$$\omega = 60^\circ$$

$$\text{Cos } \theta = 1,307$$

$$\text{Cos } \theta_2 = 0,903$$

$$\mathfrak{R} = 1,45$$

$$r_a = 0,2$$

$$I_{TOP} = 6350,28 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

Sistemlerden suya verilen enerji ve verim hesabı

1. 31.07.2001 gününe ait kanatçiksız sistemin verimi:

$$m = 15 \text{ kg} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{son}} = 59,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{17} = 15 \times 4,18 \times (59,1 - 15) = 2765,07 \text{ kJ} \times 0,278 = 768,68 \text{ W/8h}$$

$$Q_{17} = 768,68 \text{ W/8h} \quad F_k = 0,21 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 6350,28 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_{17} = 768,68 / (6350,28 \times 0,21) = 0,58$$

2. 31.07.2001 gününe ait 10 mm x 310 mm kanatçıklı sistemin verimi:

$$m = 15 \text{ kg} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{son}} = 60,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{18} = 15 \times 4,18 \times (60,4 - 15) = 2846,58 \text{ kJ} \times 0,278 = 791,34 \text{ W/8h}$$

$$Q_{18} = 791,34 \text{ W/8h} \quad F_k = 0,21 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 6350,28 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_{18} = 791,34 / (6350,28 \times 0,21) = 0,59$$

3. 31.07.2001 gününe ait 20 mm x 310 mm kanatçıklı sistemin verimi:

$$m = 15 \text{ kg} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{son}} = 62,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{19} = 15 \times 4,18 \times (62,0 - 15) = 2946,9 \text{ kJ} \times 0,278 = 819,23 \text{ W/8h}$$

$$Q_{19} = 819,23 \text{ W/8h} \quad F_k = 0,21 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 6350,28 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_{19} = 819,23 / (6350,28 \times 0,21) = 0,61$$

4. 31.07.2001 gününe ait 30 mm x 310 mm kanatçıklı sistemin verimi:

$$m = 15 \text{ kg} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{son}} = 65,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{20} = 15 \times 4,18 \times (65,1 - 15) = 3141,27 \text{ kJ} \times 0,278 = 873,27 \text{ W/8h}$$

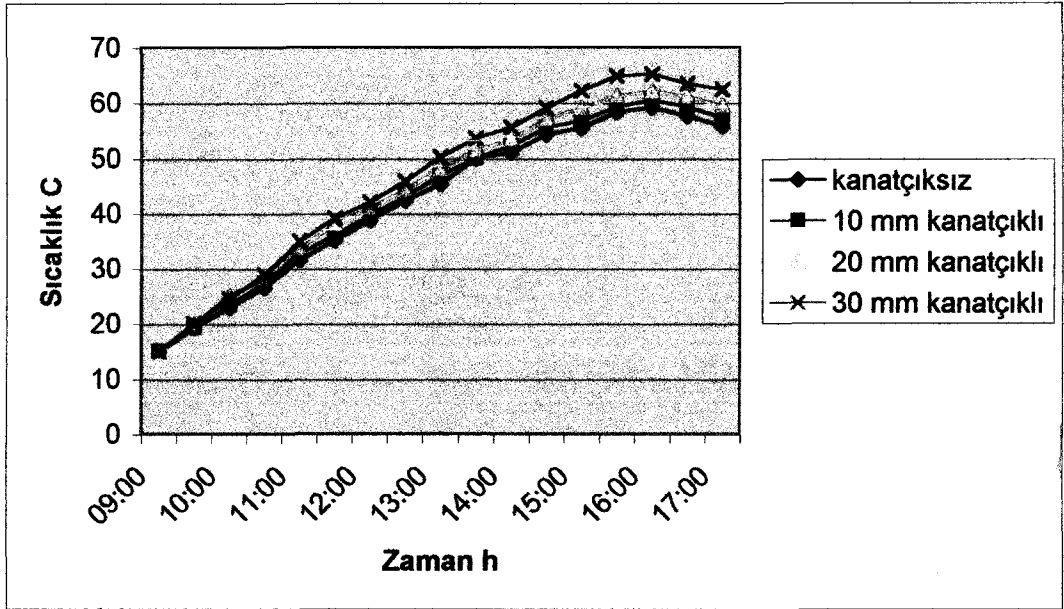
$$Q_{20} = 873,27 \text{ W/8h} \quad F_k = 0,21 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 6350,28 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_{20} = 873,27 / (6350,28 \times 0,21) = 0,65$$

Çizelge 9.8. 31 Temmuz 2001 günü sıcak su hazırlama sistemlerinden ölçülen sıcaklık değerleri

SAAT	SICAKLIKLAR °C			
	Sıcaklık Ölçümü Alınan Sistemler			
	Kanatçiksız	10mm x 310mm	20mm x 310mm	30mm x 310mm
9:00	15,0	15,0	15,0	15,0
9:30	19,2	19,4	19,8	20,0
10:00	23,0	23,3	25,0	24,5
10:30	26,5	27,3	28,2	28,9
11:00	31,5	32,6	33,6	34,9
11:30	35,1	36,1	38,0	39,0
12:00	38,7	39,5	40,9	41,9
12:30	42,3	43,0	44,2	45,8
13:00	45,3	46,8	48,0	50,2
13:30	49,9	50,0	51,3	53,5
14:00	51,0	52,1	53,3	55,5
14:30	54,2	55,5	57,0	59,0
15:00	55,4	56,7	59,0	62,1
15:30	58,3	59,2	61,2	64,8
16:00	59,1	60,4	62,0	65,1
16:30	57,6	59,2	61,1	63,4
17:00	55,8	57,3	59,5	62,3

İ.C. YÜKSEK ÖLÇÜM KURULU
DOKÜMANLAMA VE SÜREÇ YERLEŞİMİ



Şekil 9.5. 31 Temmuz 2001 gününe ait sıcaklık zaman grafiği

Tarih : 01.08.2001 Deneyin 6. Günü

$$YYRA = 6506,9 \text{ W/m}^2\text{gün}$$

$$AÖRA = 10062,2 \text{ W/m}^2\text{gün [24].}$$

$$BUF = 0,646$$

$$YYRA_1 = 5240,47 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$I_{DIF} = 1526,7 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$I_{DIR} = 3713,72 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$n = 213. \text{ gün}$$

$$\delta = 17,91^\circ$$

$$\phi = 40^\circ$$

$$\beta = 25^\circ$$

$$\gamma = 0^\circ$$

$$\omega = 60^\circ$$

$$\text{Cos } \theta = 1,33$$

$$\text{Cos } \theta_2 = 0,901$$

$$\mathfrak{R} = 1,476$$

$$r_a = 0,2$$

$$I_{TOP} = 7005 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

Sistemlerden suya verilen enerji ve verim hesabı

1. 01.08.2001 gününe ait kanatçiksız sistemin verimi:

$$m = 15 \text{ kg} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 15 \text{ }^\circ\text{C} \quad t_{\text{son}} = 59,9 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_{21} = 15 \times 4,18 \times (59,9 - 15) = 2815,23 \text{ kJ} \times 0,278 = 782,63 \text{ W/8h}$$

$$Q_{21} = 782,63 \text{ W/8h} \quad F_k = 0,21 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 7005 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_{21} = 782,63 / (7005 \times 0,21) = 0,53$$

2. 01.08.2001 gününe ait 10 mm x 310 mm kanatçıklı sistemin verimi:

$$m = 15 \text{ kg} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 15 \text{ }^\circ\text{C} \quad t_{\text{son}} = 60,9 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_{22} = 15 \times 4,18 \times (60,9 - 15) = 2877,93 \text{ kJ} \times 0,278 = 800,06 \text{ W/8h}$$

$$Q_{22} = 800,06 \text{ W/8h} \quad F_k = 0,21 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 7005 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_{22} = 800,06 / (7005 \times 0,21) = 0,54$$

3. 01.08.2001 gününe ait 20 mm x 310 mm kanatçıklı sistemin verimi:

$$m = 15 \text{ kg} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 15 \text{ }^\circ\text{C} \quad t_{\text{son}} = 62,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_{23} = 15 \times 4,18 \times (62,5 - 15) = 2877,93 \text{ kJ} \times 0,278 = 827,95 \text{ W/8h}$$

$$Q_{23} = 827,95 \text{ W/8h} \quad F_k = 0,21 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 7005 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_{23} = 827,95 / (7005 \times 0,21) = 0,56$$

4. 01.08.2001 gününe ait 30 mm x 310 mm kanatçıklı sistemin verimi:

$$m = 15 \text{ kg} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{ilk} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{son} = 66,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

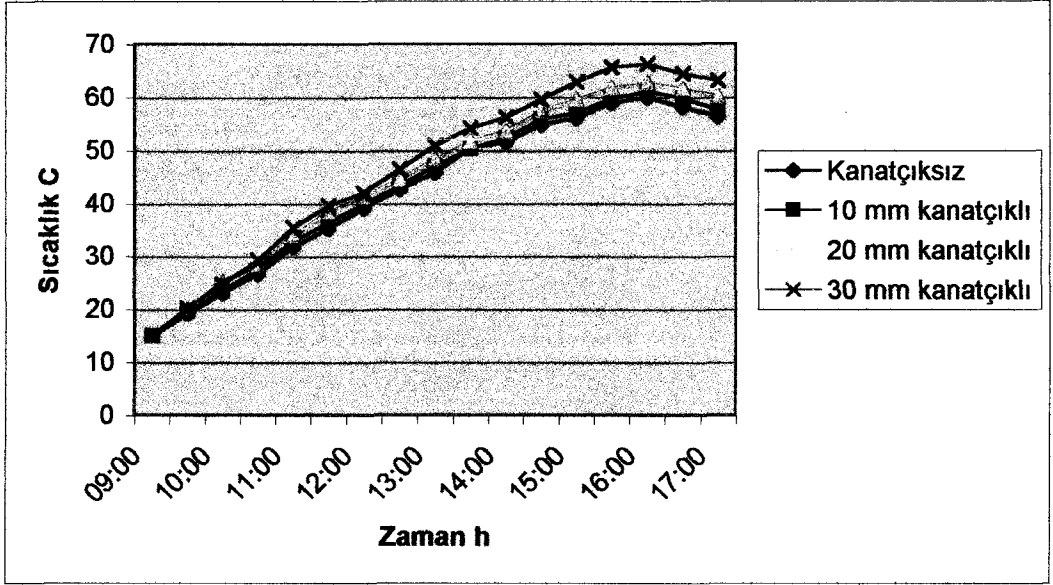
$$Q_{24} = 15 \times 4,18 \times (66,0 - 15) = 3197,7 \text{ kJ} \times 0,278 = 888,96 \text{ W/8h}$$

$$Q_{24} = 888,96 \text{ W/8h} \quad F_k = 0,21 \text{ m}^2 \quad I_{TOP} = 7005 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_{24} = 888,96 / (7005 \times 0,21) = 0,60$$

Çizelge 9.9. 01 Ağustos 2001 günü sıcak su hazırlama sistemlerinden ölçülen sıcaklık değerleri

SAAT	SICAKLIKLAR °C			
	Sıcaklık Ölçümü Alınan Sistemler			
	Kanatçiksız	10mm x 310mm	20mm x 310mm	30mm x 310mm
9:00	15,0	15,0	15,0	15,0
9:30	19,2	19,5	19,9	20,1
10:00	23,1	23,4	25,1	24,6
10:30	26,7	27,4	28,3	29,2
11:00	31,7	32,7	33,8	35,4
11:30	35,3	36,3	38,2	39,5
12:00	39,0	39,7	41,1	41,9
12:30	42,6	43,2	44,4	46,4
13:00	45,8	47,0	48,2	50,8
13:30	50,4	50,2	51,5	54,1
14:00	51,4	52,3	53,5	56,1
14:30	54,8	55,7	57,2	59,5
15:00	56,0	57,0	59,4	62,7
15:30	58,9	59,6	61,5	65,5
16:00	59,9	60,9	62,5	66,0
16:30	58,0	59,7	61,4	64,3
17:00	56,2	57,5	60,0	63,0



Şekil 9.6. 01 Ağustos 2001 gününe ait sıcaklık zaman grafiği

10. KANATÇIK HESAPLAMALARI

Kanatçık hesaplamalarında deneyin 1. günü için (23.07.2001) her bir kanattan geçen ısı miktarı ve sistemlerde kullanılan kanatçıkların kanat etkenlikleri teorik olarak hesaplanmıştır. Sonuç ve öneriler kısmında elde edilen bu teorik değerler ile yapılan deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Her bir sistemin hesaplamaları ayrı ayrı yapılmıştır.

10.1. 10 x 310 mm Kanatçıklı Sistem

Sistemde kullanılan eşanjör çapı için;

$$D = 4 + (0,25 \cdot 2) = 4,5 \text{ cm} = 0,045 \text{ m}$$

Kanadın çevre uzunluğu için Eş. 6.7.'den

$$P = 2 (t + w)$$

$$P = 2 (0,002 + 0,31) = 0,624 \text{ m}$$

Kanatın ısı geçişi yönünde kesit alanı için Eş. 6.8.'den

$$A = t \cdot w$$

$$A = 0,002 \cdot 0,31 = 0,00062 \text{ m}^2$$

Kanat malzemesinin ısı iletim katsayısı $k = 41,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ (28).

Hidrolik çap için Eş. 6.5.'den

$$D_h = 4A / \Ç = (D_d - D_i) = 0,25 - 0,045 = 0,205 \text{ m}$$

10 mm kanatçık için depo suyu sıcaklığı $T = 62,6 \text{ }^\circ\text{C} = 335,75 \text{ K}$

$$\rho = 982 \text{ kg/m}^3$$

$$C_p = 4,186 \text{ KJ / kgK}$$

$$k = 0,6565 \text{ W/mK}$$

$$\nu = 0,456 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\alpha = 0,1565 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Deneyin 1. günü için (23.07.2001) yapılan hesaplamalarda saat 16:00'da eşanjörde dolaşan su sıcaklığı 76,7 °C ve depo suyu sıcaklığı 62,6 °C 'dir. 62,6 °C referans sıcaklık kabul edilerek, $T_y = T_a - 2$ kabul edilerek:

$$\Delta T = (74,7 - 62,6) / 7 = 1,875 \text{ °C}$$

Doğal taşınımında sistemde kullanılan yatay silindir için Eş. 6.3.'den;

$$Gr = \frac{D_h^3 \cdot \beta \cdot g \cdot \Delta T}{\nu^2} = \frac{0,205^3 \cdot 1,9,81 \cdot (1,875)}{(0,456 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 335,75} = 1,035 \cdot 10^9$$

Prandtl sayısı için Eş. 6.6.'dan

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{0,456 \cdot 10^{-6}}{0,1565 \cdot 10^{-6}} = 2,913$$

Rayleigh sayısı için Eş. 6.2.'den

$$Ra = Gr \cdot Pr = 1,035 \cdot 10^9 \cdot 2,913 = 3,0149 \cdot 10^9$$

$3,0149 \cdot 10^9$ değeri için Çizelge 6.1.'den $c = 0,125$ ve $m = 0,333$ alınır.

Nusselt sayısı için Eş. 6.1.'den

$$Nu = c \cdot (Gr \cdot Pr)^m = 0,125 \cdot (3,0149 \cdot 10^9)^{0,333} = 179,27$$

$$Nu = \frac{hD}{k} = 179,27 = \frac{h \cdot 0,205}{0,6565}$$

$$h = 574,1 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Eş. 5.11.'den

$$m^2 \equiv \frac{hP}{kA_c} = \frac{574,1 \cdot 0,624}{41,0,00062} = 118 \text{ m}^{-1}$$

Kanatl kısımdan olan ısı geçişi (Q_k) için Eş. 5.18.'den

$$Q_k = q_f = \sqrt{hPkAc\theta} \frac{\sinh mL + (h/mk) \cosh mL}{\cosh mL + (h/mk) \sinh mL}$$

$$= \sqrt{574,1 \cdot 0,624 \cdot 41 \cdot 0,00062} (74,7 - 62,6)$$

$$\frac{\sinh 118,0,01 + (574,1/118,41) \cosh 118,0,01}{\cosh 118,0,01 + (574,1/118,41) \sinh 118,0,01} = 31,45,6 = 188,7 \text{ W}$$

Kanat etkenliği için Eş. 5.36.' dan

$$Lc^{3/2} (h / k \cdot A_p)^{1/2} = 0,011^{3/2} (574,1 / 41 \cdot 0,00062)^{1/2} = 0,17$$

10.2. 20 x 310 mm Kanatçıklı Sistem

Sistemde kullanılan eşanjör çapı için;

$$D = 4 + (0,25 \cdot 2) = 4,5 \text{ cm} = 0,045 \text{ m}$$

Kanadın çevre uzunluğu için Eş. 6.7.'den

$$P = 2 (t + w)$$

$$P = 2 (0,002 + 0,31) = 0,624 \text{ m}$$

Kanatın ısı geçişi yönünde kesit alanı için Eş. 6.8.'den

$$A = t \cdot w$$

$$A = 0,002 \cdot 0,31 = 0,00062 \text{ m}^2$$

Kanat malzemesinin ısı iletim katsayısı $k = 41,0 \text{ W/mK}$ (28)

Hidrolik çap için Eş. 6.5.' den

$$D_h = 4A / \Ç = (D_d - D_i) = 0,25 - 0,045 = 0,205 \text{ m}$$

$$\Delta T = (74,6 - 62,6) / 6,12 = 1,96 \text{ }^\circ\text{C}$$

Kullanma sıcak suyu 6,12 saatte 62,6 °C sıcaklığa ulaşmıştır.

Doğal taşınımında sistemde kullanılan yatay boru için Eş. 6.3.'den;

$$Gr = \frac{D_h^3 \cdot \beta \cdot g \cdot \Delta T}{\nu^2} = \frac{0,205^3 \cdot 1,9,81 \cdot (1,96)}{(0,456 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 335,75} = 1,0819 \cdot 10^9$$

Prandtl sayısı için Eş. 6.6.'dan

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{0,456 \cdot 10^{-6}}{0,1565 \cdot 10^{-6}} = 2,913$$

Rayleigh sayısı için Eş. 6.2.'den

$$Ra = Gr \cdot Pr = 1.0819 \cdot 10^9 \cdot 2,913 = 3,1517 \cdot 10^9$$

3,1517.10⁹ değeri için Çizelge 6.1.'den c = 0,125 ve m = 0,333 alınır

Nusselt sayısı için Eş. 6.1.'den

$$Nu = c \cdot (Gr \cdot Pr)^m = 0,125 \cdot (3,1517 \cdot 10^9)^{0,333} = 181,93$$

$$Nu = \frac{hD}{k} = 181,93 = \frac{h \cdot 0,205}{0,6565}$$

$$h = 582,64 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Eşitlik 5.11.'den

$$m^2 \equiv \frac{hP}{kA_c} = \frac{582,64 \cdot 0,624}{41 \cdot 0,00062} = 119,5 \text{ m}^{-1}$$

Kanatlı kısımdan olan ısı geçişi (Q_k)

$$Q_k = q_f = \sqrt{hPkA_c\theta} \frac{\sinh mL + (h/mk) \cosh mL}{\cosh mL + (h/mk) \sinh mL}$$

$$= \sqrt{582,64 \cdot 0,624 \cdot 41 \cdot 0,00062} (74,6-62,6)$$

$$\frac{\sinh 119,5 \cdot 0,02 + (582,64/119,5 \cdot 41) \cosh 119,5 \cdot 0,02}{\cosh 119,5 \cdot 0,02 + (582,64/119,5 \cdot 41) \sinh 119,5 \cdot 0,02} = 36,01 \cdot 6 = 216,06 \text{ W}$$

Kanat etkinliği için Eş. 5.36' dan

$$Lc^{3/2} (h/k \cdot A_p)^{1/2} = 0,021^{3/2} (582,64 / 41 \cdot 0,00062)^{1/2} = 0,46$$

10.3. 30 x 310 mm Kanatçıklı Sistem

Sistemde kullanılan eşanjör çapı için;

$$D = 4 + (0,25 \cdot 2) = 4,5 \text{ cm} = 0,045 \text{ m}$$

Kanadın çevre uzunluğu için Eş. 6.7.'den

$$P = 2(t + w)$$

$$P = 2(0,002 + 0,31) = 0,624 \text{ m}$$

Kanatın ısı geçişi yönünde kesit alanı için Eş. 6.8.'den

$$A = t \cdot w$$

$$A = 0,002 \cdot 0,31 = 0,00062 \text{ m}^2$$

Kanat malzemesinin ısı iletim katsayısı $k = 41,0 \text{ W/mK}$ (28)

Hidrolik çap için Eş. 6.5.'den

$$D_h = 4A / \text{Ç} = (D_d - D_i) = 0,25 - 0,045 = 0,205 \text{ m}$$

$$\Delta T = (74,4 - 62,6) / 5,46 = 1,96 \text{ }^\circ\text{C}$$

Kullanma sıcak suyu 5,46 saatte $62,6 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığa ulaşmıştır.

Doğal taşınımında sistemde kullanılan yatay silindir için Eş. 6.3.'den;

$$Gr = \frac{D_h^3 \cdot \beta \cdot g \cdot \Delta T}{\nu^2} = \frac{0,205^3 \cdot 1,9,81 \cdot (2,16)}{(0,456 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 335,75} = 1,19234 \cdot 10^9$$

Prandtl sayısı için Eş. 6.6.'dan

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{0,456 \cdot 10^{-6}}{0,1565 \cdot 10^{-6}} = 2,913$$

Rayleigh sayısı için Eş. 6.2.'den

$$Ra = Gr \cdot Pr = 1,19234 \cdot 10^9 \cdot 2,913 = 3,4733133 \cdot 10^9$$

$3,4733133 \cdot 10^9$ değeri için Çizelge 6.1.'den $c = 0,125$ ve $m = 0,333$ alınır

Nusselt sayısı için Eş. 6.1.'den

$$Nu = c \cdot (Gr \cdot Pr)^m = 0,125 \cdot (3,4733133 \cdot 10^9)^{1/3} = 187,92$$

$$Nu = \frac{hD}{k} = 187,92 = \frac{h \cdot 0,205}{0,6565}$$

$$h = 601,8 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Eş. 5.11.'den

$$m^2 = \frac{hP}{kA_c} = \frac{601,8 \cdot 0,624}{41 \cdot 0,00062} = 121,54 \text{ m}^{-1}$$

Kanatlı kısımdan olan ısı geçişi (Q_k)

$$Q_k = q_f = \sqrt{hPkA_c} \theta \frac{\sinh mL + (h/mk) \cosh mL}{\cosh mL + (h/mk) \sinh mL}$$

$$= \sqrt{601,8 \cdot 0,624 \cdot 41 \cdot 0,00062} (74,4 - 62,6)$$

$$\frac{\sinh 121,54 \cdot 0,03 + (601,8/121,54 \cdot 41) \cosh 121,54 \cdot 0,03}{\cosh 121,54 \cdot 0,03 + (601,8/121,54 \cdot 41) \sinh 121,54 \cdot 0,03} = 40,45 \cdot 6 = 242,7 \text{ W}$$

Kanat etkinliği için Eş. 5.36' dan

$$Lc^{3/2} (h/k \cdot A_p)^{1/2} = 0,031^{3/2} (601,8 / 41 \cdot 0,00062)^{1/2} = 0,84$$

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada güneş enerjili endirekt sistemlerde kanatçık kullanmanın uygunluğunu belirlemek için kolektör yüzey alanları, kullanma sıcak suyu hacimleri, eşanjör kapasiteleri ve diğer tüm özellikleri aynı olan, sadece kanatçık ölçüleri farklı olan dört adet sistemin performansları denenmiş ve karşılaştırma yapılmıştır.

Deneyin 1. günü için teorik olarak yapılan kanatçık hesaplamalarında kanat etkenlik değerleri 10 mm x 310 mm sistem için 0,17, 20 mm x 310 mm sistem için 0,46 ve 30 mm x 310 mm sistem için 0,84 olarak belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalarda 10 mm x 310 mm sistemde kanatçıktan aktarılan ısı teorik olarak 188,7 W, 20 mm x 310 mm olan sistemde kanatçıktan aktarılan ısı teorik olarak 216,06 W ve 30 mm x 310 mm olan sistemde kanatçıktan aktarılan ısı ise teorik olarak 242,7 W' dir. Buna karşın kanatçıksız sistem ile karşılaştırıldığında yapılan deney sonuçlarına göre 10 mm x 310 mm sistemin kanatçıklarından aktarılan ısı 26,24 W, 20 mm x 310 mm sistemin kanatçıklarından aktarılan ısı 55,87 W ve 30 mm x 310 mm sistemde kanatçıklardan aktarılan ısı 106,42 W olmuştur.

Kanat etkenliği kanat malzemesinin özelliklerine, kanatçık biçimine, yüksekliğine ve kanatçık malzemesinin ısı iletim katsayısına bağlıdır.

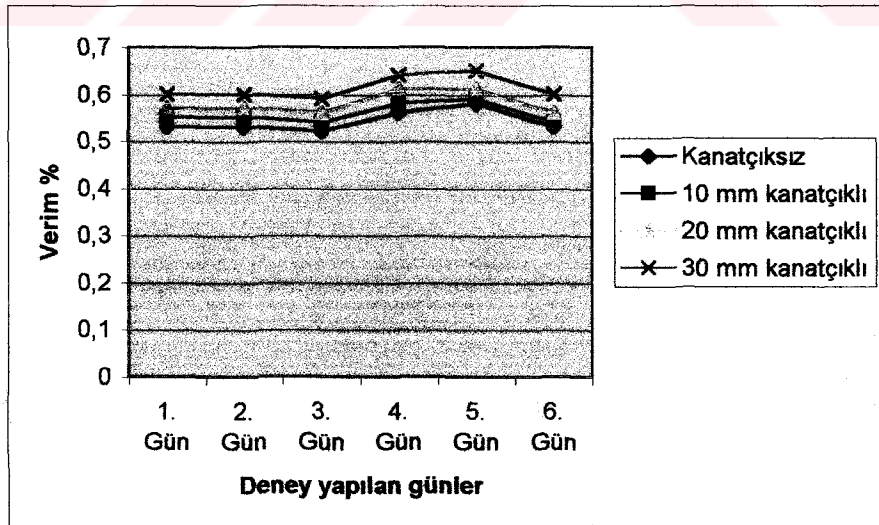
Yapılan deneyler sonucunda sistemlerin ortalama verimleri;

1. Kanatçıksız sistem \approx % 55
2. 10 x 310 mm kanatçıklı sistem \approx % 56
3. 20 x 310 mm kanatçıklı sistem \approx % 58
4. 30 x 310 mm kanatçıklı sistem \approx % 62

Sonuç olarak sistemlerin performansları incelendiğinde 30 mm x 310 mm kanatçıklı sistemin 20 mm x 310 kanatçıklı sisteme göre % 4 , 10 mm x 310 mm kanatçıklı sisteme göre % 6 ve kanatçıksız sisteme göre % 7 daha iyi verim gösterdiği görülmüştür. Bu durumda güneş enerjili indirekt sıcak su sistemlerde kanatçık kullanmanın verim açısından kaçınılmaz olduğu söylenebilir.

Çizelge 10.10. Sistemlerin deney yapılan günlere ait verim değerleri

TARİH	VERİMLER			
	Kanatçıksız	10 x 310 mm	20 x 310 mm	30 x 310 mm
23.07.2001	0,53	0,55	0,57	0,60
24.07.2001	0,53	0,55	0,57	0,60
26.07.2001	0,52	0,54	0,56	0,59
30.07.2001	0,56	0,58	0,61	0,64
31.07.2001	0,58	0,59	0,61	0,65
01.08.2001	0,53	0,54	0,56	0,60



Şekil 10.7. Sistemlerin verim-deney yapılan günler grafiği

Güneş enerjisi kullanıldığında tek ailelik müstakil bir evin çevreye yaydığı karbondioksit (CO₂) miktarı yılda 750 kg daha azalmaktadır. Birçok Avrupa ülkesi güneş enerjisinden yararlanmak için devlet teşvik programı uygulamaktadır. Örneğin Almanya'da hemen hemen tüm eyaletlerin ve devletin güneş enerjisinden yararlanmak için çok avantajlı teşvik fonları bulunmaktadır. Türkiye'de henüz teşvik programları uygulanmamaktadır. Ancak ülkemizin coğrafi konumu nedeniyle bütün illerde güneş ışınımı değeri oldukça yüksektir. Bu da amortizasyon sürelerinin kısa olmasını sağlamaktadır.

Günümüzdeki enerji darboğazı ve çevre sorunları gözönüne alındığında ülkemizde güneş enerjili sistemlere gerekli her türlü yatırım ve çalışmanın daha çok yapılması kaçınılmaz duruma gelmiştir.



KAYNAKLAR

1. Ekmekçi, İ., Dizdar, H., Özçelebi, S., Altuntop, N., Tekin, Y., İlbaş, M., Uzunoğlu, M. Yüksel, R. Ok, M., Alaçakır, F.B.T., Korucu, Y., Doğan, M., Güler, C., Akgül, M., “Kocaeli İli için bir güneş enerjili su ısıtma sistemi ve boyutlandırılması, Güneş enerjisi tesisatı kollektör ve boru bağlantılarında yapılan hataların ısı verime etkisinin deneysel incelenmesi, Güneş enerjisi ve kullanım alanları, Güneşi izleyen sistemin sabit sisteme göre kıyaslanması, Sanayileşme ve çevre sorunları, Enerji üretiminde odun ve tarımsal artıkların değerlendirilmesi“, *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi*, Kayseri, 2001, Kayseri, Bildiriler Kitabı, 35 - 42, 43 - 52, 89, 115 - 120, 245 - 246, 265, (2001).
2. Eğrican, N. A., Özil, E., Uyar, S.T., “Yenilenebilir enerji kaynakları, Güneş enerjisi teknolojisindeki gelişmeler”, *Sürdürülebilir Enerji Teknolojilerindeki Gelişmeler ve Türkiye’deki Uygulamaları Konferansı*, İstanbul, 11, 85 – 92, (1999).
3. Çakmanus, İ., “Türkiye’nin enerji problemleri ve çözüm önerileri, *Mühendis ve Makine*, sayı 492, 29 - 34, (2001).
4. Çıtıroğlu, A., “ Güneş enerjisinden yararlanarak elektrik üretimi”, *Mühendis ve Makine*, sayı 485, 32 - 37, (2000)
5. Korucu, Y., “Kendinden depolu kollektörler “, *E.İ.E. Bülteni*, sayı 161, 13-19, (1992).
6. Aras, H., “Kapalı devre bakır boru ve levhalı termosifon akışlı güneş toplacının ışınım ve ısı analizinin deneysel ve analitik araştırılması”. Doktora Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 59 – 60, (1996).

7. Ertunç, M., "Düzlemsel güneş kolektörlerinin performansına etki yapan parametreler". Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 24 – 25, 28 – 29., (1997).
8. İlhan, A., "Güneş enerjili sıcak sistemlerinin çalışma karakteristiklerinin deneysel araştırılması". Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 61 – 62, (1999).
9. Menlik, T., "Tabii sirkülasyonlu güneş enerjili sıcak su hazırlama tesislerinde direkt ve indirekt sistemlerin performanslarının karşılaştırılması". Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 44 – 45, (1999).
10. Kurtbaş, İ., "Kapalı devre güneş enerjisi sistemlerinde kullanılabilen arafaz elemanlarının araştırılması". Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 4 – 10, 18 – 29, 32, 39, (2000).
11. Bayram, A., "Farklı yapım özelliklerine sahip doğal dolaşimli güneşli su ısıtma sistemlerinin deneysel karşılaştırılması". Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 25 – 49, (2001).
12. Variyenli, H. İ., "Tabii sirkülasyonlu güneş enerjili indirekt sıcak su hazırlama sistemlerinde eşanjör kapasitesinin verime olan etkisi". Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 59, (2002).
13. Duffie, J. A., Beckman, W. A., "Solar Engineering of Thermal Processes", *A Wiley-Interscience Publication*, United States Of America, 1,4, (1980).
14. Wilson, J. I. B., "Solar Energy", *Wykeham Publications*, London, 2, (1979).
15. Schubert, R.C., Ryan, L.D., "Fundamentals of Solar Heating", *United States of America*, New Jersey, 1, (1981).

16. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, “Güneş Enerjisi”, *EİE.*, Ankara, 1 – 6, (2000).
17. Viessmann, “Planlama kılavuzu güneş enerjisi sistemleri ”, *Viessmann*, Kocaeli, 3, (2000).
18. Durdu, R., 1996, “Güneş enerjisinin yerleşim birimlerinde enerji ekonomisine katkısı”. Yüksek lisans tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 4-8, (1996).
19. Viessmann, “Güneş enerjisi”, *Viessmann*, Ankara, 2-3, (1997).
20. Aye, L., Chartes, W.W,S., Chaichana, C., “Solar heat pump systems for domestic hot water”, *Solar Energy*, 73 (3), 169, (2002).
21. Mohsen S.M., Akash A.B., “Evaluation of domestic solar water heating system in Jordan using analytic hierarchy process”, *Energy conversation management*, 38 (18), 1815, (1997).
22. Sayıgh A.A.M., “Solar energy application in buildings”, *Academic Press*, New York, San Francisco, London,139-140, (1979).
23. Özsinan, H., “Güneş enerjisi, uygulaması ve ekonomisi”. Yüksek lisans tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 25,26, (1992).
24. Uyarel, A. Y., Öz, E. S., “Güneş enerjisi ve uygulamaları”, *Emel Matbaacılık*, Ankara, 114-117, (1987).
25. Reddy, T.A., “The design and sizing of active solar thermal systems”, *Clarendon Press*, Oxford, 13, (1987).
26. Ward, D.S., Oberoi S.H., Weinstein D.S., “How to solve materials and design problems in solar heating and cooling”, *Noyes Data Corporation*, Park Ridge, New Jersey, 26, (1982).

27. Incropera F. P. , Dewitt, D.P., "Fundamentals of heat and mass transfer", **John Wiley Sons**, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 110-128, (1996).
28. Halıcı, F., Gündüz M., "Örneklerle ısı geçişi", **Burak Ofset**, Sakarya, 263-275, (2001).
29. Anderson D., Kulsam, A., "The case for solar energy investments", **The World Bank Technical Paper Number 279 Energy Series**, Washington, 1-3, (1995).
30. Türk Standartları Enstitüsü, "Güneş enerjisi güneş kolektörleri deney metodları", **TSE TS 4801**, Ankara, 6, (1999).
31. Ankara Kalaba Meteoroloji Genel Müdürlüğü, "2001 yılına ait yıllık güneşlenme, sıcaklık ve güneş ışınımı verileri ", **AKMM**, Ankara, (2001).

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Bolu'da doğdu. İlk, Orta ve Lise eğitimini Ankara'da tamamladı. 1996 yılında Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitim Bölümü Tesisat Anabilim Dalını kazandı. 2000 yılında mezun olduktan sonra aynı yılın eylül ayında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2001 yılının Ekim ayında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitim Bölümü Tesisat Eğitimi Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Halen Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesinde Araştırma Görevlisi olarak görevine devam eden Mustafa AKTAŞ, evlidir.

