

**TABİİ SİRKÜLASYONLU GÜNEŞ ENERJİLİ
ENDİREKT SICAK SU HAZIRLAMA SİSTEMLERİNDE
EŞANJÖR KAPASİTESİNİN
VERİME OLAN ETKİSİ**

126007

H. İbrahim VARİYENLİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
(MAKİNE EĞİTİMİ)**

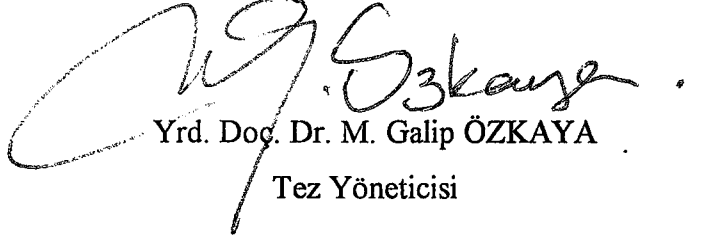
**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

126007

**TEMMUZ 2002
ANKARA**

H. İbrahim VARİYENLİ tarafından hazırlanan TABİİ SİRKÜLASYONLU GÜNEŞ ENERJİLİ ENDİREKT SICAK SU HAZIRLAMA SİSTEMLERİNDE EŞANJÖR KAPASİTESİNİN VERİME OLAN ETKİSİ adlı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.


Yrd. Doç. Dr. M. Galip ÖZKAYA
Tez Yöneticisi

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

Başkan : Doç. Dr. Hikmet DOĞAN




Üye : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin USTA

Üye : Yrd. Doç. Dr. Musa Galip ÖZKAYA



Üye :

**T.C. YÖKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Üye :



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

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. GÜNEŞ ENERJİSİ.....	5
2.1. Genel.....	5
2.2. Neden Güneş Enerjisi.....	6
2.3. Güneş Enerjisinden Yararlanılan Sistemler.....	8
3. GÜNEŞ ENERJİLİ SICAK SU HAZIRLAMA SİSTEMLERİ.....	9
3.1. Genel	9
3.2. Tabii Sirkülasyonlu Sistemler.....	9
3.2.1. Tabii dolaşımli sistemlerin başlıca bileşenleri.....	10
3.3. Düzlemsel Güneş Kollektörleri.....	10
3.4. Düzlemsel Güneş Kollektörlerinin Yapısı.....	12
3.4.1. Kollektör örtüsü.....	14
3.4.2. Yutucu yüzey.....	14
3.4.3. Akışkan taşıyan borular.....	15
3.4.4. Kollektör kasası.....	17
3.4.5. Depolama tankları.....	18
3.4.6. Boru devreleri.....	19
3.5. Tabii Dolaşımli Sistemlerin Çalışması.....	19
3.5.1. Açık (Direkt) devreli sistemler.....	21

3.5.2. Kapalı (Endirekt) devreli sistemler.....	21
4. LİTERATÜR TARAMASI.....	24
5. MATERYAL VE METOD.....	26
6. DENEYLERİN YAPILIŞI VE DENEY DÜZENEKLERİ.....	29
7. DENEYSEL SONUÇLAR.....	31
7.1. Enerji Hesapları.....	31
7.1.1. Sisteme verilen enerji.....	31
7.1.2. Sistemlerden elde edilen enerji.....	34
7.1.3. Sistemlerin verimi.....	36
7.2. Deneyin Veri Hesapları.....	36
7.2.1. Sisteme verilen enerji hesabı.....	36
7.2.2. Sistemden elde edilen enerji hesabı.....	38
7.2.3. Verim Hesabı.....	41
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	59
KAYNAKLAR.....	60
ÖZGEÇMİŞ.....	62

**TABİİ SİRKÜLASYONLU GÜNEŞ ENERJİLİ
ENDİREKT SICAK SU HAZIRLAMA SİSTEMLERİNDE
EŞANJÖR KAPASİTESİNİN
VERİME OLAN ETKİSİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

H. İbrahim VARİYENLİ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Temmuz 2002

ÖZET

Tabii sirkülasyonlu sıcak su hazırlama sistemlerinde dolaylı sistemlerin eşanjör kapasitelerinin verime olan etkisini inceleyen bu çalışma, bütün özellikleri aynı olan prototipleri hazırlanmış dolaylı dört sistemin performansları deneysel olarak incelenmiş ve karşılaştırmaları yapılmıştır. Karşılaştırma sonunda, 15 lt' lik eşanjör kapasiteli sistemin verimi % 41, 10 lt'lik eşanjör kapasiteli sistemin verimi % 44, 5 lt 'lik eşanjör kapasiteli sistemin verimi % 47 ve 2 lt 'lik eşanjör kapasiteli sistemin verimi % 38 olarak tespit edilmiştir. Bu veriler neticesinde 5 litre 'lik dolaylı ısıtmalı sıcak su hazırlama sisteminin diğer sistemlerin, ortalama verim sonuçlarına göre yaklaşık % 5 oranında daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.

Bilim Kodu	: 626.11.01
Anahtar Kelimeler	: Güneş Enerji, Eşanjör Kapasitesi, Verim.
Sayfa Adedi	: 62
Tez yöneticisi	: Yrd. Doç. Dr. M. Galip ÖZKAYA

**IN THE NATURAL CIRCULATION INDIRECT
HOT WATER PREPARING SYSTEMS BY SOLAR ENERGY
THE CAPACITIES OF THE HEAT EXCHANGER
EFFECTS OF THE PERFORMANCE**

(M. Sc. Thesis)

H. İbrahim VARIYENLİ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
İNSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

July 2002

ABSTRACT

This study examining the effect of the capacities of heat exchanger to performance in the natural circulation hot water preparing systems, indirect four systems the performance of indirect four systems, whole properties of these are the same were examined experimentally and compared. The result of comparing, these result were obtained; the heat exchanger capacity being 15 lt – 41 %, 10 lt – 44 %, 5 lt – 47 %, and 2 lt – 38 %. As a results of these data, indirect heating hot water preparing system, 5 lt, has better performance 5 % than the other systems average performance.

Science Code : 626.11.01
Key Words : Solar Energy, Exchanger Capacity, Performance
Page Number : 62
Adviser : Yrd. Doç. Dr. M. Galip ÖZKAYA

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli hocam Yrd. Doç. Dr. M. Galip ÖZKAYA 'ya, ihtiyacım olduğunda ilgisi ve desteği ile bana yardımcı olan Öğr. Gör. Tayfun MENLİK 'e, deney setlerinin hazırlanmasında bana yardımcı olan Yasin TOPBAŞ 'a, Yunus KAYA 'ya, Evren MAK 'a, Yusuf HAKVERDİ 'ye ve deneylerin yapılması sırasında bana yardımcı olan Hakan ERSOY 'a da teşekkürlerimi bir borç bilirim.



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.1. Dış ve iç depo boyutları.....	27
Çizelge 6.1. 15 Mayıs 2002 günü sıcak su hazırlama sistemlerinden ölçülen sıcaklık değerleri.....	30
Çizelge 7.1. Ankara – Kalaba Devlet Meteoroloji İstasyonu Ankara ilinin ortalama güneş ışınım şiddeti.....	31
Çizelge 7.2. Ankara – Kalaba Devlet Meteoroloji İstasyonu Ankara ilinin saatlik güneşlenme süresi.....	32
Çizelge 7.3. Ankara – Kalaba Devlet Meteoroloji İstasyonu Ankara ilinin günlük ortalama sıcaklıkları.....	32
Çizelge 7.4. Deney süresince tespit edilen maksimum sıcaklık değerleri.....	35
Çizelge 7.5. 15.05.2002 Gününe ait, sistemlerden ölçülen sıcaklık değerleri.....	40
Çizelge 7.6. 13.05.2002 Gününe ait, sistemlerden ölçülen sıcaklık değerleri.....	45
Çizelge 7.7. 14.05.2002 Gününe ait, sistemlerden ölçülen sıcaklık değerleri.....	48
Çizelge 7.8. 16.05.2002 Gününe ait, sistemlerden ölçülen sıcaklık değerleri.....	51
Çizelge 7.9. 17.05.2002 Gününe ait, sistemlerden ölçülen sıcaklık değerleri.....	54
Çizelge 7.10. 18.05.2002 Gününe ait, sistemlerden ölçülen sıcaklık değerleri.....	57
Çizelge 7.11. Deneylere ait veriler.....	58

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kollektöre gelen güneş ışıını.....	7
Şekil 3.1. Tabii dolaşımı güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemi.....	10
Şekil 3.2. Farklı kollektör tiplerinin uygulama alanları ve çalışma parametreleri.....	11
Şekil 3.3. Kollektör yüzeyine gelen güneş ışıınının geliş açısına bağlı olarak dağılması.....	12
Şekil 3.4. Farklı kollektörler için alan tanımları.....	13
Şekil 3.5. Sıvılı güneş kollektörünün kesiti.....	13
Şekil 3.6. Boru bağlantı şekilleri.....	16
Şekil 3.7. Depolama tankı.....	18
Şekil 3.8. Sifon olayı.....	19
Şekil 3.9. Tabii dolaşımı kapalı (endirekt) devreli güneşli su ısıtma sistemi.	22
Şekil.5.1. Deney için hazırlanan prototip sistem şeması.....	27
Şekil 6.1. Deney setlerinin görünüşü.....	29
Şekil 6.2. 15.05.2002 Günü yapılan ölçümlere göre sıcaklık – zaman grafiği..	30
Şekil 7.1. 15.05.2002 Günü yapılan ölçümlere göre sıcaklık – zaman grafiği..	41
Şekil 7.2. 13.05.2002 Günü yapılan ölçümlere göre sıcaklık – zaman grafiği..	45
Şekil 7.3. 14.05.2002 Günü yapılan ölçümlere göre sıcaklık – zaman grafiği..	48
Şekil 7.4. 16.05.2002 Günü yapılan ölçümlere göre sıcaklık – zaman grafiği..	51
Şekil 7.5. 17.05.2002 Günü yapılan ölçümlere göre sıcaklık – zaman grafiği..	54
Şekil 7.6. 18.05.2002 Günü yapılan ölçümlere göre sıcaklık – zaman grafiği..	58

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simge	Açıklama
ϕ	Enlem derecesi (°)
β	Işın toplayıcının yatayla yaptığı açı (°)
γ	Azimut açısı (°)
ω	Güneş saat açısı (°)
$\cos \theta$	Eğik düzlemin normali ile direk güneş radyasyonu arasındaki açı (°)
r_a	Eğik düzlemin çevresinin toplam güneş radyasyonu için yansıtma katsayısı
δ	Güneş deklinasyon açısı (°)
n	Yılın hesabı yapılan x. günün sayısı
m	Kütle (kg)
c	Özgül ısı (kJ/kg K)
Δt	Sıcaklık farkı (°C)
t_{son}	Çıkış suyu sıcaklığı (°C)
t_{ilk}	Giriş suyu sıcaklığı (°C)
η	Verim (%)
Q	Toplam ısı miktarı (W/m ² h)
T_1	Kullanma suyu depo üst sıcaklığı (°C)
T_2	Kullanma suyu depo orta sıcaklığı (°C)
T_3	Kullanma suyu depo alt sıcaklığı (°C)

V	Hacim (m^3)
L	Boy (m)
D	Çap (m)

Kısaltmalar	Açıklama
I_{TOP}	Eğik düzleme gelen güneş radyasyonu (W/m^2h)
I_{DIR}	Yatay düzleme gelen direkt radyasyon değeri (W/m^2h)
I_{DIF}	Yatay düzleme gelen difüz güneş radyasyonu (W/m^2h)
$YYRA_1$	Yatay yüzeye gelen radyasyon değeri (W/m^2h)
BUF	Bulanıklık faktörü
YYRA	Yeryüzü radyasyonu ($W/m^2gün$)
AÖRA	Atmosfer öncesi ortalama radyasyon değeri ($W/m^2gün$)

1. GİRİŞ

Günden güne artan sanayileşme ve bunun sonucunda ortaya çıkan makinalaşma, enerjiye olan ihtiyacı arttırmıştır. Özellikle 1950'lerden önce, kömür, enerji üretim ve tüketiminde önemli bir yer tutarken bu yıllardan sonra, Ortadoğu ve Güney Amerika'da bulunan zengin petrol yatakları sayesinde, petrol ön plana çıkmıştır. Petrolle rekabet edilememesi nedeniyle, çoğu ülkede kömür madeni kapanmıştır. Ancak petrol üreticisi Arap ülkelerinin petrol ihracatını kısıp, fiyatları artırmaları değişik enerjilerin kullanılmasını gündeme getirmiştir.

Her geçen yıl sürekli artan petrol fiyatlarının yanı sıra, dünya nüfusu da sürekli artmakta, bu da enerji ihtiyacını arttırmaktadır. 1975 yılında 4 milyar olan dünya nüfusu, bugün 6 milyarı geçmiştir. Daha hızlı kalkınma isteği ve buna paralel olarak artan enerji ihtiyacının yanı sıra, kullanılan fosil yakıtların atıklarının çevreye telafisi mümkün olmayan zararlar vermesi, alternatif yakıt arayışlarını arttırmıştır. Ayrıca, bugünkü tüketim oranları baz alınarak yapılan hesaplamalara göre, kömür 240, petrol 43 ve doğalgaz 67 yıl sonra tükenecektir. Bu durumda, kullanılmakta olan yakıtlara alternatif olabilecek, tükenme ihtimali daha az ve atıkları çevreye zarar vermeyecek enerji arayışına gidilmiştir. Bu çalışmalar sonucu, geliştirilen pek çok alternatif enerji sistemi vardır ve ülkeler enerji ihtiyaçlarının bir kısmını bu sistemlerle karşılamaktadır [1].

Yeryüzünden 150.10^6 km uzaklıkta bulunan güneş, nükleer yakıtlar dışında, dünyada kullanılan tüm yakıtların ana kaynağıdır. İçinde, sürekli olarak hidrojenin helyuma dönüştüğü füzyon reaksiyonları gerçekleşmektedir ve oluşan kütle farkı ısı enerjisine dönüşerek uzaya yayılmaktadır. Yeryüzüne ulaşabilen ışıının değeri bu kadar düşük olmasının nedeni, atmosferdeki CO₂, su buharı ve ozon gibi gazların ışıını absorbe etmelerinin yanı sıra, kat etmesi gereken yolun uzunluğudur. Dış yüzey sıcaklığı 6000 °K olarak kabul edilen ve bilinen en büyük cisim olan güneşin yaydığı ışıının yeryüzüne ulaşabilen miktarı % 70 kadardır. Bu eksilmeler ortaya çıkmadan önce, atmosferin dışında ışıının değeri 1367 W/m^2 dir ve bu değer güneş sabiti

olarak alınır. Pratik olarak, yeryüzüne ulaşan güneş ışıınımı değeri 1000 W/ m^2 olarak kabul edilmektedir [1].

Güneş enerjisi, daha çok binalarda ısıtma, soğutma ve sıcak su elde etmek için kullanılmaktadır. Sıcak su elde etmek amacıyla kullanım, en yaygın olan kullanım biçimidir. Isıtma amacıyla kullanım, ısıyı depolama tekniklerinin gelişimiyle daha verimli kullanılır hale gelecektir. Soğutma ise yıllık güneşlenme zamanının uzun olduğu bölgelerde verimli olmaktadır.

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

Güneş enerjisinden yararlanmak için kullanılan ısı uygulamaları 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 ışıınımı, odaklı toplayıcılarla toplanarak, sanayi için gerekli sıcak su veya buhar elde etmek için kullanılır .Genellikle bu tip toplayıcılarla, güneş ışıınımını sürekli olarak alabilmek için güneşi izleyen mekanizmalara gerek vardır. $300 \text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık değerinin üzerine çıkabilen, yüksek sıcaklık uygulamalarında ise; geniş bir alana gelen güneş ışıınımı bir noktaya odaklanarak, metal ergitme fırınları çalıştırabilir.

Teknolojik toplama başlığı altında kalan ikinci uygulama türü ise güneş pilleri olarak isimlendirilen fotovoltaik uygulamalardır. Üzerlerine düşen güneş pilleri, doğru akım üretirler. Bu piller, seri veya paralel bağlanarak, ürettikleri akım veya gerilim değeri yükseltilebilir. Üretilen akımı depolayabilmek için, bir akümülatöre gerek vardır. Güneş pilleri, uzay pilleri için geliştirilmeye

başlanmış; ancak, sonraki yıllarda, bilinen yollarla elektrik üretiminin güç olduğu ya da güç üretim merkezine uzak olan, deniz fenerleri, orman gözetleme kuleleri, çiftlik evleri, dağ evleri gibi yerlerde de kullanılmaya başlanmıştır.

Güneş enerjisinden ekonomik olarak yararlanabilmek için, (Güneş Kuşağı) da denilen, 45° kuzey - güney enlemleri arasında yer almak gerekmektedir. Yapılan ölçümler, güneşlenme zamanı ve ışıının şiddeti açısından, ülkemizin yüksek bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Ülkemizde, ortalama olarak, yılda 2600 saat güneşlenme zamanı, $0,15 \cdot 10^6$ cal/cm² yıl değerinde ışıının şiddeti olduğu bilinmektedir.

Çevre sorunlarına neden olmaması, temiz ve güvenilir olması ve tükenme olasılığının az olması gibi nedenlerle, güneş enerjisi, gittikçe daha çok önem kazanmaktadır. Örneğin, rüzgar enerjisi kullanımı, son on yılda, yaklaşık %25 oranında artarken, güneş pili kullanımı % 300 den fazla artmıştır. Önümüzdeki on yıl için artış oranları, rüzgar için % 45, güneş için ise % 800 olarak tahmin edilmektedir. Amerika Birleşik Devleti ve İsrail, 2000'li yıllarda, toplam enerji ihtiyacının % 20 kadarlık bir kısmını güneş enerjisinden karşılamayı hedeflemektedirler.

Artan sanayileşme ve konfor gereksinimleri, elektrik enerjisine olan talebi de artırmıştır. Artan talep sonucu, aranan alternatif elektrik üretim yöntemlerinden biri de güneş pillerinden yararlanmaktır. Güneş pilleri veya daha yaygın isimleriyle, fotovoltaiik piller, üzerlerine düşen güneş ışıını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren düzeneklerdir. Güneş pilleri, güneş ışıını doğru akım olarak elektrik enerjisine çevirirler. Elde edilen elektrik, doğru akım olarak kullanılabilirdiği gibi, alternatif akıma dönüştürülerek de kullanılabilir veya daha sonra kullanılmak amacıyla depolanabilir. Temel olarak, güneş pili; yakıtı güneş ışııı olan, hareketli parçaları olmayan ve çevreye zararlı atıkları içermeyen bir elektrik üretim düzeneğidir. Güneş ışıından her yerde yararlanmak olasıdır; ayrıca bu sistemler kolay taşınır, monte edilebilme özelliğine sahiptir.

Güneş enerjisinin gün geçtikçe artan kullanımında, güneş enerjisi ile çalışan sistemlerin verimliliğinin artırılması için araştırmalar cazip bir konum haline gelmiştir.

Bu çalışmada güneş enerjisi ile kullanma sıcak suyu hazırlayan sistemlerde eşanjör kapasitesinin verime olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, ısı dönüştürücü kapasiteleri farklı deney setleri tasarlanmış ve imal edilmiştir.



2. GÜNEŞ ENERJİSİ

2.1. Genel

Güneş, $1,39 \times 10^6$ km çapında, $2,2 \times 10^6$ ton ağırlığında, dünyanın yaklaşık 330 000 katı büyüklüğünde ve ortalama olarak $1,41 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğundaki sıcak gaz topluluğundan meydana gelmiştir.

Güneş çok sıcak gazlardan oluşan bir yıldızdır. Enerjisinin hidrojen atomunun helyuma dönüşmesi sonucu meydana geldiği ve sıcaklığı merkezde 20 000 000 °C 'yi bulduğu tahmin edilmektedir. Bu yüksek sıcaklık dört hidrojen çekirdeğinin birleşerek bir helyum çekirdeği oluşturması anında meydana gelir [1].

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ısıma enerjisidir. Güneş enerjisinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır.

Dünya ile güneş arasındaki mesafe 150 milyon km 'dir. Dünyaya güneşten gelen enerji, dünyada bir yılda kullanılan enerjinin 20 000 katıdır. Güneş 5 milyar yıl sonra tükenecektir [2].

Güneş ışınları her yöne düzgün bir şekilde dağılan bir enerji akımıdır. Bu ışınlardan dünya atmosferinin üst tabakasına $1,36 \text{ kW/m}^2$ 'lik bir ışıma gücü sürekli olarak düşer; bu değer, "Güneş Sabiti" olarak tanımlanır.

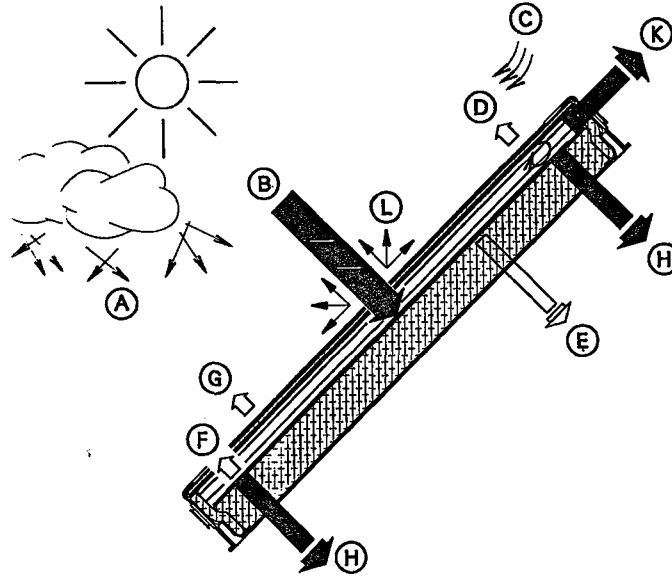
Güneş ışınları atmosferi geçerken, toz partiküller ve gaz moleküller tarafından yansıtılır, saptırılır ve absorbe edilirler. Bu da ışınların zayıflamasına neden olur. Güneş ışınlarının, atmosferi hiçbir engel olmadan geçen ve direkt olarak yeryüzüne düşen bileşeni "Direkt Işıma" olarak tanımlanır. Güneş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

Yeryüzüne düşen ışı nım Toplam ışı nım, E_g = direkt ışı nım + difüz ışı nım olarak tanımlanır. Bizim içinde bulunduğumuz enlemlerde toplam ışı nım, optimum şartlar altında (bulutsuz, açık havada, öğlen saatlerinde) maksimum 1000 W/m^2 'ye ulaşmaktadır. Güneş kollektörleri ile, kollektör tipine bağı lı olarak toplam ışı nım % 75 'e kadar olan bölümünden yararlanılabilir.

2.2. Neden Güneş Enerjisi

Güneş yeryüzünü milyarlarca yıldan beri ışık ve ısı ile beslemekte ve canlıların yaşamalarına olanak sağlamaktadır. Dünyanın var oluşundan beri güneşin ısısından yararlanmaktadır. Güneş, yaz aylarında binalarımızı doğrudan ısıtır.

Bugün, doğa milyonlarca sene boyunca topladığı bir yakıt stokuna sahibidir. Bu kaynakların idareli olarak kullanılması için ısı tekniğı sektörü tarafından tutarlı adımlar atılmıştır. Bu çalışmaların en önemlilerinden biri, kollektörler ile güneş enerjisinden direkt olarak yararlanmaktır. Yüksek kaliteli kollektörler ve bunlara uyumlu bir sistem tekniğı kullanarak güneş enerjisinden ekonomik olarak yararlanmak, bugün için artık bir hayal değil, günlük kullanımda kendini ispatlamış bir gerçektir. Devamlı artan yakıt fiyatları göz önüne alındığında, bir güneş enerjisi sistemine yapılan yatırım, ileriye dönük olarak yapılan gerçek bir yatırımdır. Güneş kollektörüne gelen güneş ışı nımı Şekil 2.1. 'de gösterilmiştir [3].



- | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| A: Gökyüzündeki difüz ışıınım | F: Absorberin termal radyasyonu |
| B: Direkt güneş ışıınımı | G: Cam kapağın termal radyasyonu |
| C: Rüzgar, yağmur, kar, konveksiyon | H: Kollektörün faydalı gücü |
| D: Konveksiyon (taşınım) kayıpları | K: Konveksiyon (taşınım) |
| E: Kondüksiyon (iletim) kayıpları | L: Refleksiyon (yansıma) |

Şekil 2.1. Kollektöre gelen güneş ışıınımı [3]

Güneş enerjisinin tercih edilmesinin bir çok sebebi vardır. Başlıcaları;

- ★ Tükenmeyen bir enerji kaynağı olması
 - ★ Gaz, duman, kükürt ve radyasyon gibi zararlı atıkların olmayışı
 - ★ Doğabilecek ekonomik bunalımlardan etkilenmemesi
 - ★ Mahalli uygulamalara elverişli olması
 - ★ İşletme masraflarının az olması
 - ★ Karmaşık teknolojiye ihtiyaç duyulmaması
 - ★ Çok geniş bir coğrafi alanda uygulanabilir olması
- gibi sıralanmıştır.

Bütün bu avantajları dikkate alınarak son yıllarda güneş enerjisi ile ilgili çalışma ve uygulamalara büyük önem verilmiştir.

2.3. Güneş Enerjisinden Yararlanılan Sistemler

Güneş enerjisinden yararlanılan sistemler kendi aralarında ısı uygulamalar ve fotovoltaik uygulamalar olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Isı uygulamalar güneş ısınımından direkt yararlanılan, fotovoltaik sistemler ise güneş enerjisini elektriğe çevirerek kullanılan sistemlerdir [4].

Aşağıda bu uygulamalar maddeler halinde sıralanmış, ikinci bölümde ise, bu çalışma ile ilgili olan güneş enerjisi ile sıcak su hazırlama sistemleri geniş olarak ele alınacaktır.

1- Isı uygulamalar:

- a) Sıcak su hazırlama,
- b) Evlerin ısıtılması,
- c) Sera ısıtması,
- d) Sebze, meyve kurutulması
- e) Soğutma işlemleri,
- f) Yüzme havuzlarının ısıtılması,
- g) Isı pompaları uygulaması,
- vb. sistemlerdir.

2- Fotovoltaik uygulamalar:

- a) Elektrik üretimi

3. GÜNEŞ ENERJİLİ SICAK SU HAZIRLAMA SİSTEMLERİ

3.1. Genel

Güneş enerjisinin en ekonomik ve en yaygın olarak kullanıldığı sistemlerin başında, sıcak su hazırlama sistemleri gelir. Güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemlerinin en büyük kullanım alanlarının başında da konutlar gelmektedir. Sistem, çatıya veya rahat bir şekilde gün boyu fazla güneş alabilecek yüksekçe bir yere, güney yönüne bakacak şekilde yerleştirilir. Güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemleri ile konut için gerekli olan toplam enerjinin % 12 'sini teşkil eden enerjinin temini sağlanabilir.

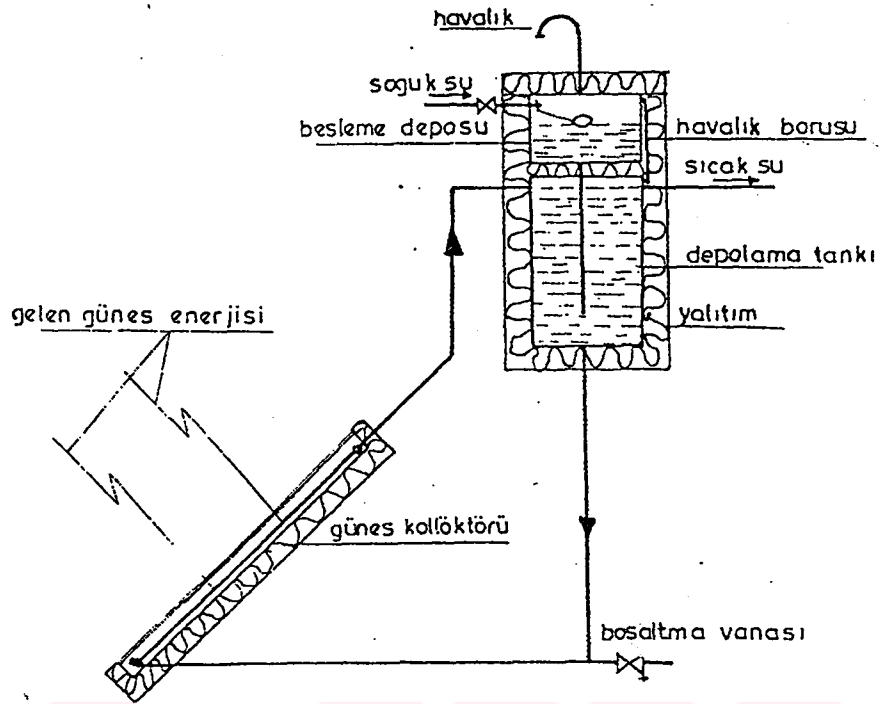
Güneş enerjisi ile sıcak su hazırlama sistemleri, hazırlanacak suyun kullanılma yeri ve amacına göre değişiklikler gösterir. Bunların başlıcaları, doğal dolaşımli sistemler ile pompalı sistemlerdir.

Bu çalışmada tabii sirkülasyonlu endirekt güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemlerinde eşanjör kapasitesinin verime olan etkisi üzerinde durulacağından, çalışmanın bundan sonraki kısımlarında tabii sirkülasyonlu endirekt sistemler geniş olarak ele alınıp incelenecektir.

3.2. Tabii Sirkülasyonlu Sistemler

Termosifonlu sistemler de denen bu tip sistemlerin sıcak su ihtiyacının fazla olmadığı durumlarda, bilhassa konutlarda kullanımları uygundur. Şekil 3.1'de bir tabii dolaşımli sistemin şematik resmi görülmektedir.

Tabii dolaşımli sistemler Şekil 3.1'de de görüldüğü gibi, çok az sayıda elemanın bir araya gelmesinden oluşan oldukça basit devrelerdir.



Şekil 3.1. Tabii dolaşımli güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemi [5]

3.2.1. Tabii dolaşımli sistemlerin başlıca bileşenleri

Doğal dolaşımli sistemler, bir kollektör veya kollektör grubu, besleme deposu ile bir depolama tankı ve borulardan meydana gelir.

3.3. Düzlemsel Güneş Kollektörleri

Güneş enerjisinden faydalanma kollektörlerle olmaktadır. Konutların sıcak su ve ısıtma sistemlerinde, yüzme havuzların ısıtılmasında ve endüstri için gerekli sıcak su elde etmede düzlemsel güneş kollektörleri kullanılır. Güneşten gelen güneş ışınımını ısı enerjisine dönüştürdükten sonra bünyesindeki akışkana ileten gereçlere “Güneş Kollektörü” adı verilir.

Yüzeye düşen güneş ışınlarından bir kısmı yüzey tarafından yutulur. Yutulan güneş ışınlarından akışkana ve çevreye ısı geçişi taşınım ile olur. Bunların arasındaki fark ise

faýdalanılan ısı olarak tanımlanır. Şekil 3.2.'de farklı kollektör tiplerinin uygulama alanları ve çalışma parametreleri verilmiştir.

		U_{eff} $W/m^2 K^{-1}$	Kollektör çalışma sıcaklığı	Uygulama alanı
Basit yutucu		0.90	20	15 - 25 C Yüzme havuzu
Düzlemsel güneş kolektörü		0.80	6	15 - 40 C Sıcak su
Seçici yüzeyli düzlemsel güneş kolektörü		0.80	4	15 - 40 C 40 - 70 C Sıcak su Yardımcı ısıtıcı
Seçici yüzeyli, geçirgen filmli düzlemsel güneş kolektörü		0.75	3	15 - 40 C 60 - 90 C Sıcak su Yardımcı ısıtıcı
Seçici yüzeyli vakum tüplü kolektör		0.65	2	60 - 90 C 80 - 130 C Yardımcı ısıtıcı Proses ısı
Vakum tüplü parabolik yansıtıcı kolektör		0.60	1	60 - 90 C 100 - 200 C Yardımcı ısıtıcı Proses ısı

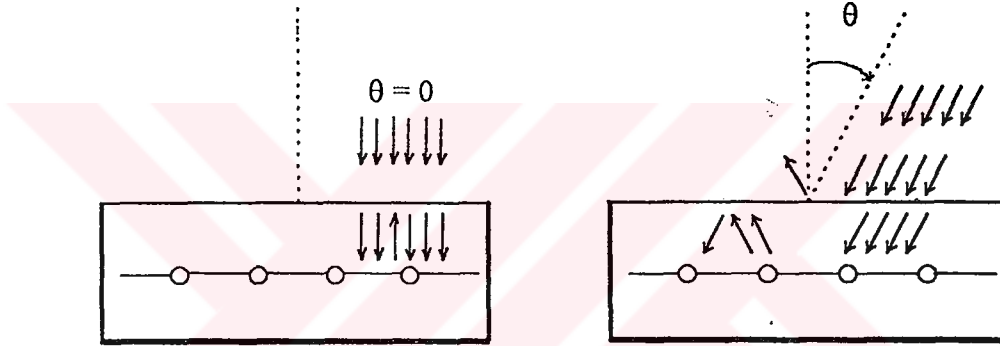
Şekil 3.2. Farklı kollektör tiplerinin uygulama alanları ve çalışma parametreleri [6]

Kollektörlerin verimlerini arttırmak için;

- Dışa taşınım ile ısı kaybının azaltılması
- Yüzeyin yutuculuğunun artırılması
- Akışkana ısı geçişinin yükseltilmesi gerekmektedir.

3.4. Düzlemsel Güneş Kollektörlerinin Yapısı

Kollektör dış yüzeyinden olan ısı kayıplarının sebebi, yüzeyle çevre arasındaki sıcaklık farkına bağlıdır. Hava rüzgarlı olduğu ve yüzey sıcaklığının arttığı zamanlarda kayıplar da artar. Bu yüzden dış yüzeydeki hava hareketini azaltmak için ışıyım geçiren saydam bir örtünün kullanılması, ısı kaybını düşürmek için gereklidir. Böylece aradaki havanın ısıl direnci dolayısıyla ısı kaybı azalır. Şekil 3.3 'de güneş ışıyımının geliş açısına bağlı olarak, düzlemsel güneş kollektöründe güneş ışıyımının dağılımı görülebilir.

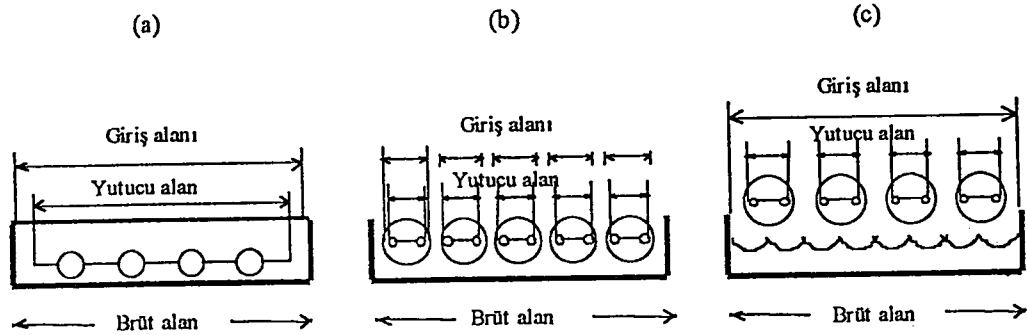


Şekil 3.3. Kollektör yüzeyine gelen güneş ışıyımının geliş açısına bağlı olarak dağılımı [6]

Güneş kollektörlerinde üç tip referans alanı tanımlanır:

- ★ Yutucu alan (A_a): Güneş ışıyımının yutulup, ısıya dönüştürülen alanın tamamıdır.
- ★ Giriş alanı (A_e): Yoğunlaştırılmamış güneş ışıyımının kollektöre ulaşırken içinden geçtiği en büyük izdüşüm alanıdır.
- ★ Brüt alan (A_g): Varsa, tespit malzemesi ile birlikte tamamının izdüşüm alanıdır.

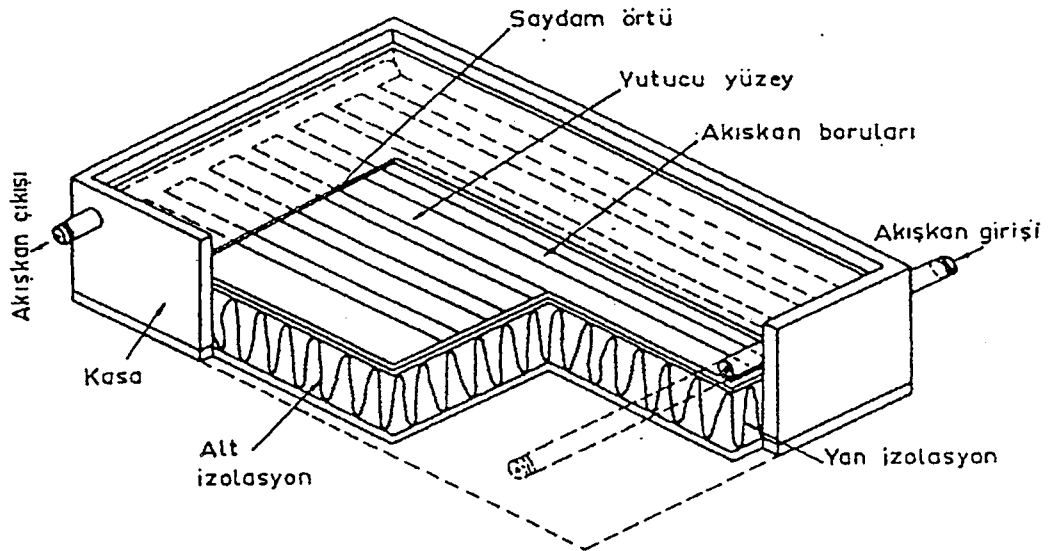
Farklı kollektörler için alan tanımları Şekil 3.4.'de gösterilmiştir.



- a) Düzlemsel güneş kolektörü
- b) Vakum tüplü kolektör
- c) Parabolik toplayıcı kolektör

Şekil 3.4. Farklı kolektörler için alan tanımları [6]

Düzlemsel güneş kolektörleri, güneş ışımasını ısı enerjisine dönüştüren basit ve yaygın olarak kullanılan araçlardan birisidir. Şekil 3.5’de görüldüğü gibi saydam örtü enerjiyi toplayan yutucu yüzey, yutucu yüzeye entegre edilmiş taşıyıcı borular, yatılım malzemesi ve kasa düzlemsel güneş kolektörünü oluşturan elemanlardır [6].



Şekil 3.5. Sıvılı güneş kolektörü [11]

Kollektörler, içlerinde dolaştırılan akışkan cinsine göre; sıvılı ve havalı kollektörler olarak ikiye ayrılır. Sıvılı tip kollektörlerin veriminin havalı kollektörlerden daha yüksek olduğu bilinmektedir. Sıvılı tip kollektörlerin yapımı kolay ve ucuzdur. Sıvının donma tehlikesi, korozyon ve sızdırma problemleri vardır.

Havalı kollektörler ise daha uzun ömürlüdür, ağırlıkça hafiftir. Hacim ısıtmasında uygun olmadığı gibi sıvılı kollektörlerdeki dezavantajların havalı kollektörlerde olmamasına rağmen yapımları daha zor, maliyetleri yüksektir. Bunun yanı sıra tozlanma ve sızdırma problemleri vardır.

3.4.1. Kollektör örtüsü

Üzerlerine düşen görünür ışınları geçirerek, kızılötesi ışınları geçirmeme ve emici plakadan olan radyasyonu dışarı bırakmayarak bir kısmını tekrar emici plakaya yansıtan yüzeye “Saydam Örtü” denir. Saydam örtünün amacı, güneş ışınlarını içeri alıp çevreye olan ısı kayıplarını azaltmaktır. Özellikle rüzgarlı bölgelerde taşınım ısı geçişi sıfıra yaklaşmaktadır.

3.4.2. Yutucu yüzey

Kollektörlerde güneş ışınlarını yutan ve ısıyı, borulardaki akışkana aktaran kısımdır. Yutucu yüzeyin öncelikle güneş ışınımını yutma oranının büyük ve uzun dalga boylu ışınımı yayıcılığının küçük olması gerekir.

Kollektörlerde yutucu yüzey malzemesi olarak genellikle bakır, alüminyum ve paslanmaz çelik kullanılır. Bakırın ısı iletim katsayısı yüksek olmasına rağmen, maliyeti bir hayli yüksektir. Çelik ise kolay temin edilebilir ancak korozyondan kolay etkilenmektedir. Bu yüzden yutucu yüzey olarak seçilecek malzemelerin seçiminde bu özellikler göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca lehim ve kaynak işçiliklerinin kolay yapılabilecek malzemelerden seçilmesi, işçiliği dolayısıyla maliyeti etkiler.

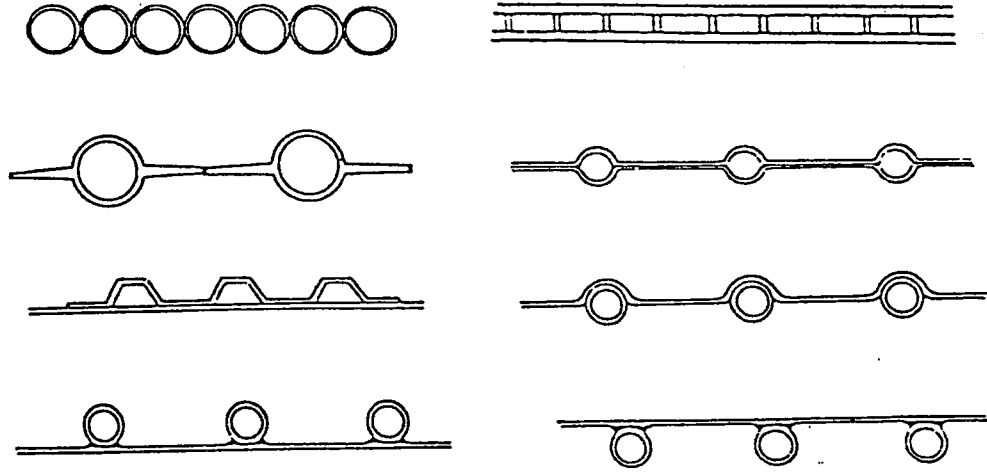
Yutucu yüzeylerde, belli bir dalga boyunda yansıtma ve yutma oranlarının toplamı birdir. Siyah yüzeyli kolektörlerin normal doğrultusundaki güneş ışınımını yutma ve uzun dalga boylu ışınımı yayma oranları 0,90/0,95 mertebesinde dir. Yüzeyin yutma oranı geliş açısına bağlı olarak değişir, bu değişim geliş açısının 50^0 değerine kadar çok yavaş daha büyük değerlerinde ise hızla azalmaktadır [6].

Siyah yüzey; ışınım için gerçek yutucudur, bütün dalga boylarındaki her açı altında gelen ışınımın tamamını yutar. Ancak yüzeyler her zaman ışınımın bir kısmını geliş açısına bağlı olarak yansıtır. İdeal yutucu yüzey ise kısa dalga ışınımın tamamını yutar ve uzun dalga ışınım için yayıcı özelliği olmayan yüzeylerdir. Kısa dalga boylu ışınımın tamamına yakını yutan ve uzun dalga boylu ışınımı yayıcılığı az olan yüzeylere seçici yüzey adı verilir.

3.4.3. Akışkan taşıyan borular

Yutucu yüzey, güneş kolektörlerinin en önemli parçasıdır. Kolektör ve sistemin verimliliği yutucu yüzeye bağlıdır. İyi bir güneş kolektörü sadece güneş ışığını yutmaz. Yuttuğu ısının büyük bir kısmını ısıtıcı akışkana geçirir. Sıvılı kolektörlerde, 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.

Yutucu yüzey, ısı iletim katsayısı yüksek olan malzemelerden yapılan kolektörlerde, borular levhaya kaynak, lehim veya yapıştırma yolu ile tutturulur. Şekil 3.6.' da kanat boru bağlantıları görülmektedir. Isı iletim katsayısı düşük malzemelerin kullanıldığı kolektörlerde borular arasında kanat bırakılmaz, kanallara bölünerek veya borular yan yana dizilerek yutucu yüzey meydana getirilir.



Şekil 3.6. Boru bağlantı şekilleri [6]

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 işçilikte fazlalaşır. 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.

Toplam ısı kayıp katsayısı arttıkça verimin küçüldüğü unutulmamalıdır. Bakır ve alüminyum kullanılan levhaların kanat verimi, 1 mm kalınlıktaki bakır kanatın veriminden daha yüksek olmaktadır. Kalınlığı 2 mm olan 14 cm uzunluğundaki alüminyum kanatın verimi ile aynı verimdeki 1 mm kalınlığındaki alüminyum kanatın uzunluğu 10.5 cm olmaktadır.

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 malzemeden tasarruf sağlanır, hem de işçilik azalır. Sürtünme kayıpları azalacağından tabii sirkülasyon çok olur, kireçlenme daha geç başlar. Bununla beraber, birim genişlikte kollektör için kullanılan boru sayısının azalmasıyla borular arası mesafe büyüyeceğinden kanat verimi küçülür. Kollektör borularının 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. Standartlarda kollektör kapasitesinin 2.4 lt/m^2 'den küçük seçilmesi önerilmektedir. Zira, kapasite büyük seçilirse birim kütledeki akışkana geçen faydalı ısı azalacağından sirkülasyon kötüleşir ve sistemin rejime girmesi gecikir.

Sonuç olarak, tabii sirkülasyonlu sistemlerde kullanılan kollektörlerde akışkanın dolaştığı borunun iç çapının 12 mm 'den büyük seçilmesi ve kollektör kapasitesinin de 1.8 lt/m^2 mertebesinde tutacak kadar küçük seçilmesi önerilmektedir [6].

3.4.4. Kollektör kasası

Düz güneş kollektörlerinin kasaları, genellikle alüminyumdan yapılmaktadır. Kullanılan diğer malzemeler, cam takviyeli plastik, polipropilen, PVC, galvanizli çelik ve paslanmaz çeliktir.

Kollektör kasası olarak kullanılan ekstrüzyon alüminyum ve paslanmaz çeliğin mekanik özellikleri ve atmosfer koşullarına dayanıklılıkları iyidir. Çeliğin mekanik özellikleri de iyi olmasına rağmen atmosfer şartlarına dirençli değildir. Korozyon nedeniyle tahrip olmaktadır. Bununla beraber, iyi kalite sıcak çekilmiş galvanizli sac kuru çevre ortamında 20 yıl kadar kullanılabilir. Kollektörlerin konulduğu yerler daha çok çatı gibi yüksek yerler olduğundan bakım gerektiren malzemeler tavsiye edilmemektedir.

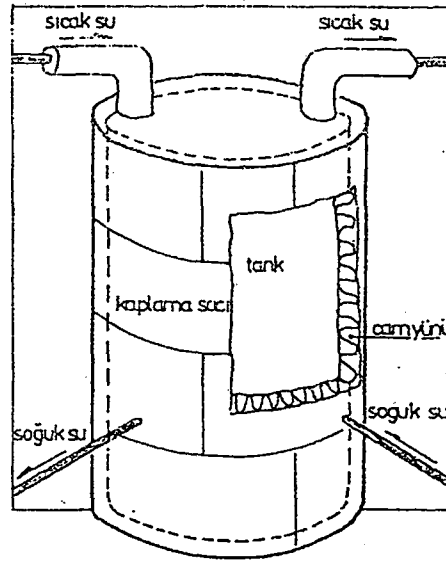
Polimerik malzemelerin bir çoğu alüminyum ve paslanmaz çelikten daha ucuzdur, fakat atmosferik koşullara dayanıklılıkları tam olarak denenmemiştir. Isıl genişleme katsayılarının yüksek olması, morötesi güneş ışınımından bozulmaları ve yanıcı olmaları önemli sakıncalarıdır. Propilen, PVC ve ABS' ye göre cam takviyeli plastik daha dayanıklıdır, fakat pahalıdır.

Tahta ve tahta esaslı malzemeler daha ucuz olmalarına rağmen dış atmosfere dayanıklı olmadıklarından tercih edilmemektedir [7].

3.4.5. 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 gereçlere “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 kollektörden en az 30 – 35 cm yukarı konulmaları gerekir. Şekil 3.7. 'de bir depolama tankı kesiti görülmektedir.



Şekil 3.7. Depolama tankı [11]

3.4.6. Boru devreleri

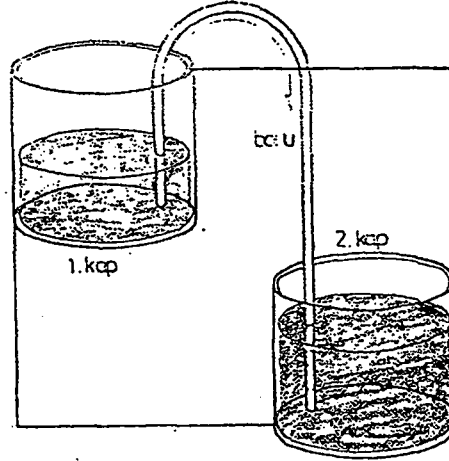
Tabii sirkülasyonlu sistemlerde dikkat edilecek diğer bir husus ise sistemde kullanılan boru çaplarının seçimidir. Sistem tabii sirkülasyonla çalıştığından sistemdeki suyun dolaşımı için yeterli güç düşük düzeylerde olabilir. Boru sisteminde fazla bağlantı elemanı ve küçük çaplı boru kullanılırsa akışa bir direnç oluşup sirkülasyon zorlanacak ve sistemin normal çalışması engellenecektir. Bu istenmeyen durumları engellemek için sistem yapılırken fazla bağlantı elemanı kullanılmamalı boru çapları 25 mm 'den küçük seçilmemelidir [5].

3.5. Tabii Dolaşımli Sistemin Çalışması

Tabii dolaşımli sistemler daha öncede bahsedildiği gibi, bir termosifon gibi çalışır. Sistem oluşturulduktan sonra sistemin çalışması için hiçbir ek enerjiye ihtiyaç duyulmaz.

Bilindiği gibi sifon bir borudan ibaret olup; sıvıları bir kaptan daha düşük seviyede olan ikinci bir kaba taşımaya yarar. Taşıma işlemi açık hava basıncının yardımıyla olur. Bir sifonda, hortum yada lastik borudaki hava emilerek vakum (düşük basınç)

oluşturulur ve sıvının akışı sağlanmış olur. Şekil 3.8’ de basit bir sifon sistemi görülmektedir.



Şekil 3.8. Sifon olayı [11]

Bu basit olay termosifon sistemli güneşli su ısıtıcısının nasıl çalıştığını açıklayabilir. Eğer borudaki hava boşaltılabilirse, yani; boruda bir emme (vakum), düşük basınç oluşturulursa, üst kaptaki sıvı atmosfer basıncının etkisiyle alttaki kaba akacaktır. Güneşli su ısıtıcısında, ısınarak kollektörden depoya, özgül ağırlığı farkından dolayı, giden sıcak su arkasında bir emme yaratır ve bu emme nedeniyle depolama tankının altındaki daha soğuk olan su kollektöre giderek ısınır [8].

Tabii dolaşımli güneşli su ısıtıcısında depo daima kollektör üst seviyesine yerleştirilmek zorundadır. Bu zorunluluk sistemin genel çalışma prensibi olan ısınan suyun yükselmesi kuralından, gece ve güneşin yetersiz olduğu günlerde sistemin ters çalışmasını engellemek içindir.

Hazırlanan bir sistem işletilmeye başladığı anda sistem şehir şebeke veya depo suyu ile doldurulacağından sistemin her noktasındaki su sıcaklığı eşittir. Bu yüzden depo ile kollektör arasında herhangi bir akış, dolaşım söz konusu değildir. Kollektör, güneşi görmeye başlayıp güneş radyasyonlarını almaya başladığı andan itibaren kollektördeki su ısınmaya başlar. Kollektörde ısınan suyun yoğunluğu (özgül

ağırlığı) düşeceğinden su kollektörün üst seviyesindeki depoya doğru yükselmeye, hareket etmeye başlar. Su yükselirken arkasından bir vakum oluşturacağından ve atmosfer basıncından dolayı doğal bir çevrim, dolaşım başlar. Bu dolaşım sistemden su kullanımı olduğu sürece ve kollektörle depo suyu sıcaklığı eşitleninceye kadar devam eder. Su sıcaklıklarında bir eşitlik olduğunda, gece veya güneş olmayan günlerde dolaşım durur, sistem çalışmaz. Bahsedilen bu ikinci durum deponun üst seviyeye yerleştirilmesindeki ikinci sebeptir. Eğer depo kollektörle aynı veya daha düşük bir seviyede olsa hem sistem istenilen verimde çalışmaz, hem de geceleri ve güneşin yetersiz olduğu günlerde kollektör yüzeyi depodan daha soğuk olacağından sistem ters çalışmaya başlar. Bu şekilde mevcut sıcak su soğutulmuş olur. Bu, enerjinin tekrar ortama yayılarak kaybı olacağından istenmeyen bir durundur.

Tabii sirkülasyonlu sistemler bulundukları iklim şartları, kullanım amaçlarına göre açık (direkt) ve kapalı (endirekt) devreli olarak yapılırlar.

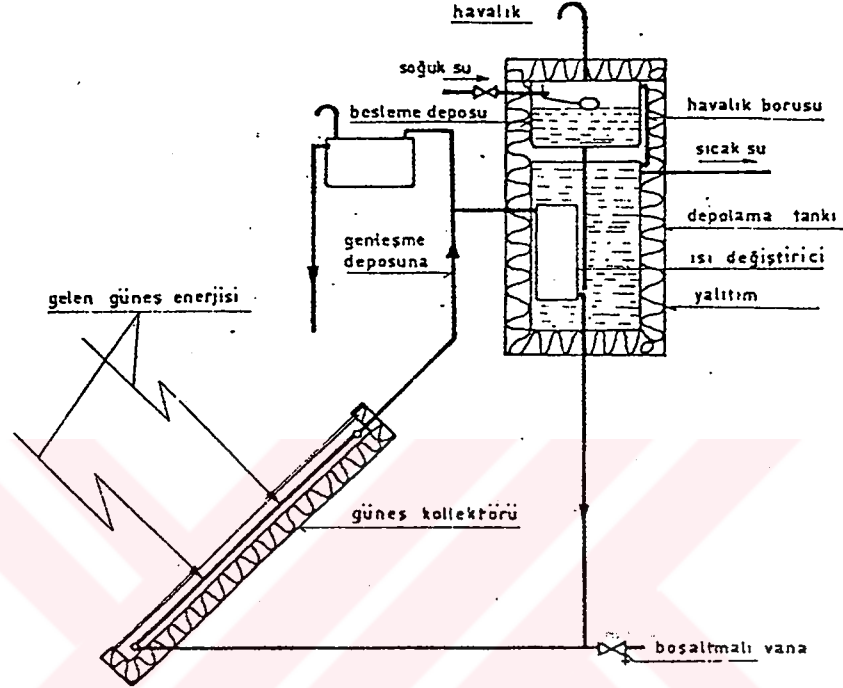
3.5.1. Açık (direkt) devreli sistemler

Şimdiye kadar bahsedilen tabii sirkülasyonlu sistemlerden genel olarak direkt sistemler anlaşılmalıdır. Tabii sirkülasyonlu direkt sistemle ilgili bir tasarım örneği Şekil 3.1. 'de görülmektedir.

3.5.2. Kapalı (endirekt) devreli sistemler

Bilhassa güneşli olmasına rağmen geceleri sıfırın altına düşen sıcaklığa sahip bölgelerde geceleyin donma tehlikesine karşı sistemin boşaltılması gerekir. Ancak sistemin her gece boşaltılması hem zor hemde istenmeyen bir durumdur. Donma tehlikesinin yanında sistemde devamlı olarak şehir şebeke ve başka bir depolama tankından gelen su kullanıldığından kollektör borularında kireçlenmeden ve tuz birikintilerinden dolayı çap daralmaları oluşacağından tabii sirkülasyonlu güneşli su ısıtma sistemleri kapalı endirekt olarak yapılmalıdır.

Şekil 3.9. 'da dolaylı ısıtmalı güneşli bir su ısıtma sistemi görülmektedir. Kullanma sıcak suyu depoda ikinci bir depo vasıtasıyla sağlanmaktadır. Depodaki ısıtma sistemi iki depodan meydana gelmektedir. Bu tiplere gömlekli tip eşanjör denmekle beraber, serpantinli tipleri de mevcuttur.



Şekil 3.9. Tabii dolaşimli kapalı (indirekt) devreli güneşli su ısıtma sistemi [5]

Şekil 3.9' da görüldüğü gibi, ısıtma devresinde ve ısınma devresinde farklı akışkanlar kullanılmaktadır. Bu sistemde ısıtma devresinde, donmaya karşı önlemler almak mümkündür. Isıtma devresi akışkanı donmaya karşı antifriz olabilir. Sistemin donmaya karşı korunumlu yapılmasının yanında kolektör borularındaki kireçlenmeyi önlemek amacıyla yapılıyorsa ısıtma devresinde normal su kullanılır. Sistemin ısıtma devresi ile ısınma devresinde farklı akışkan kullanıldığından kapalı bir devre olan ısıtma devresinde hep aynı su dolaşır. Isınan su yükselir ve depoya giderek iç depo çevresinde dolaşarak ısıyı depo içerisindeki suya bırakır ve tekrar kolektöre döner. Bu çevrim güneş aldığı sürece kendiliğinden devam eder [9].

Endirekt sistemlerin montajı sırasında bazı zorluklarla karşılaşacağı için sistem cebri (pompalı) akımlı yapılabilir. Bu durumlarda pompa kolektörden uzakta farklı bir yere (bina içine, özel bir kabine) konulabilir.

Endirekt sistemlerde kullanılan ısı değıştiricisinin tesirliliği birden küçük olduğundan akışkanın toplayıcıya giriş sıcaklığı açık devreli sisteme göre daha büyük ve dolayısıyla toplayıcı verimi daha küçüktür [10].



4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yapılan literatür taramasında, eşanjör kapasitesinin verime etkisi ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Güneş enerjisi sistemleri ile ilgili pek çok çalışma ve araştırma mevcuttur.sistemi meydana getiren diğer elemanlar incelenmiş, takipli ve takipsiz (sabit) düzlemsel güneş kolektörlerinin performansı karşılaştırılmış, değişik malzemelerden yapılmış olan düzlemsel güneş kolektörlerinin sıcak su üretim verimleri ölçülerek birbirleriyle kıyaslanmıştır.

M. ERTUNÇ 1997 yılının Ekim ayında Türkiye’de değişik malzemelerden yapılmış olan düzlemsel güneş kolektörlerinin performansları ile açık ve kapalı sistemlerde kolektör giriş-çıkış sıcaklıklarına ilaveten absorber ve cam sıcaklıkları ölçülerek ve sıcak su üretim verimleri kıyaslanmıştır. Çalışma sonunda, polipropilen absorberli kolektörlerin açık sistemlerde depo su sıcaklığının, alüminyum absorberli kolektör sisteminin depo su sıcaklığına göre daha yüksek olduğu sonucuna varmış [13].

F. ÜNSAÇAR ve Ö. F. TAŞER 1994 yılının Mayıs-Haziran ayları içerisinde Konya, Türkiye’de takipli kolektör ile takipsiz(sabit) kolektörlerin performansı karşılaştırılmış. Sistemlerde iki adet 50 kg kütlesinde ve 2m x 1m x 0,1m ölçülerinde düz yüzeyli kolektörler kullanılmış. Takipsiz kolektör yatayla 40° açı yapacak şekilde sabitlenmiş, diğeri ise sürekli olarak güneş ışınlarına dik olacak şekilde iki ekseninde hareket ettirilerek güneşi takip etmesi sağlanmıştır. Ölçümler, saat 07:48 ’den 18:48 ’e kadar her 12 dakikada bir alınmıştır. Deney sonucunda takipli kolektör ortalama % 88,39 daha fazla ısı tutumu sağlamıştır. Aynı ısı tutumu için ise, sabit kolektöre göre % 46,9 daha az kolektör alanı yeterli olmaktadır. Takipli kolektör 3 saat süre ile yüksek sıcaklık farkı sağlayabildiği halde takipli kolektör 8 saat süreyle yüksek sıcaklık farkı sağlayabilmiştir [12].

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

K. K. MATRAWY ve I. FARKAS 1996 yılının Nisan ayında 4m²’lik toplayıcı yüzey alanına ve 200 litrelik depolama tankına sahip, sistem kayıpları düşük olan tabii dolaşımli sistemde 26 günlük deney yapmışlar. Deney sonucunda, sistemin verimini % 49 olarak belirlemişler [14].

D. E. PRAPAS, S. PSİMMENSON, B. A. SOTİROPOULUS 1994 yılının Temmuz ayında, Yunanistan'da tabii dolaşimli endirekt ısıtmalı bir sistem ve birbirine seri bağlanmış aynı özelliklere sahip iki adet endirekt ısıtmalı sistemle bazı deneyler yapmışlar. Bu deneyler sonucunda yalnız çalışan endirekt ısıtmalı sistemin verimini % 43, birbirine seri bağlı iki endirekt ısıtmalı sistemin verimini % 45,5 olarak bulmuşlar [9].

T. MENLİK, 1999 yılının Ekim ayında tabii dolaşimli direkt ve endirekt iki ayrı sistem üzerinde performans deneyleri yapmıştır. Aynı özellikte, aynı şart ve ortamda yapılan deneyler sonucunda, direkt sistemin veriminin veriminin, endirekt sistemin verimine oranla % 7 daha yüksek olduğunu tespit etmiştir [11].

A. BAYRAM, 2000 yılının Ağustos ayında ışın toplayıcı ve ısı ileticileri birbirlerinden farklı direkt (açık) ve endirekt (kapalı) dolaşimli olarak çalışan altı adet sıcak su hazırlama sistemlerinin performansları karşılaştırılmış. Bütün sistemler aynı anda, aynı şart ve ortamda denenmiş. Yapılan deney sonucunda depo tip ısı soğurmalı sistem diğer sistemlerin ortalama verim sonuçlarına göre yaklaşık % 17 oranında daha iyi performans göstermiş. Ayrıca direkt dolaşimli sistemlerin endirekt dolaşimli sistemlere göre % 12 daha iyi verimli olduğu görülmüş [15].

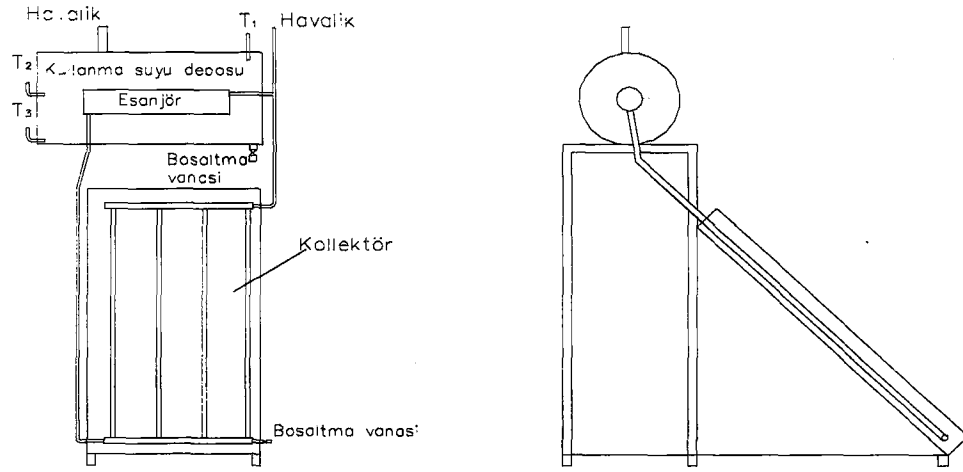
5. MATERYAL VE METOD

5.1. Sistemlerin Hazırlanması

Deney setleri, endirekt olmak üzere dört sistemden oluşmaktadır. Bu dört sistemin çalışma düzenleri ve şartları aynı olmakla birlikte, sadece eşanjör kapasiteleri farklıdır. Sistemler yapılırken her dört sistem için de aynı özelliklere sahip malzemeler kullanılmıştır.

Sistemlerin kollektörleri aynı yüzey alanına sahip olup 60 cm x 100 cm 'dir. Kollektörlerde kasa malzemesi olarak 0.5 mm'lik galvanizli sac, emici plaka olarak 1mm'lik siyah sac, kollektör borusu olarak 3/8" siyah boru, kollektör toplayıcı borusu olarak 3/4" siyah boru, örtü malzemesi olarak 2 mm cam ve emici plaka ile kasa arasında izolasyon malzemesi olarak 5 cm cam yünü kullanılmıştır. Deney setlerinin tümünde kollektör boruları 10 'ar cm aralıklarla kollektör toplayıcı boruları oksijen kaynağı ile birleştirilmiştir.

Sistemlerin depoları 2 mm'lik siyah sacdan imal edilmiştir. Depo imalatında yine oksijen kaynağı ile birleştirme yapılmıştır. Deney setlerinde eşanjör kapasiteleri 15 lt, 10 lt, 5 lt ve 2 lt. olarak imal edilmiştir. Deney setlerinde iç depolar (eşanjörler) silindirik depo şeklinde imal edilmiştir. Deney setlerinin iç depo (eşanjör) ve dış depo boyutları aşağıda tablo halinde verilmiştir. Deney setlerinin tümünde kullanma suyu hacmi 50 litre' dir. Deney için hazırlanan prototip sistem şeması Şekil 5.2.'de gösterilmiştir.



Şekil.5.1. Deney için hazırlanan prototip sistem şeması

Çizelge –5.1. Dış ve iç depo boyutları

		Kapasite V (Litre)	Boy L (cm)	Çap D (cm)
1.sistem	Dış depo*	65	60*118	37.2
	İç depo	15	30*82.3	25.2
2.sistem	Dış depo*	60	60*113	35.7
	İç depo	10	30*67.2	21.4
3.sistem	Dış depo*	55	60*108	34.2
	İç depo	5	30*47.8	15.2
4.sistem	Dış depo*	52	60*105	33.2
	İç depo	2	30*32	9.54

* Dış depo: iç depo + kullanma sıcak suyu hacmi toplamıdır.

Depoların ve bağlantı borularının izolasyonunda cam yünü kullanılmıştır. Depo izolasyonunda 5 cm, bağlantı borularının izolasyonunda 2,5 cm cam yünü kullanılmıştır. Cam yününün üzeri ambalaj naylonu ile sarılmıştır.

kollektörler 3 cm x 3 cm profilden yapılmış tezgahlar üzerine yekpare olarak yerleştirilmiştir. Kollektörler 45° eğimli olarak tezgahlara, tezgahlar da yerden 1,5 m yükseklikte güney yönüne bakan bir platform üzerine yerleştirilmiştir.

Sistemlerin su doldurma, boşaltma ağızları ve kollektör giriş ve çıkışları aynı şekilde ve aynı yerlerden yapılmıştır. Sistemlerin boru boyları ve bağlantı şekilleri aynı şekilde yapılmıştır.

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



6. DENEYLERİN YAPILIŞI VE DENEY DÜZENEKLERİ

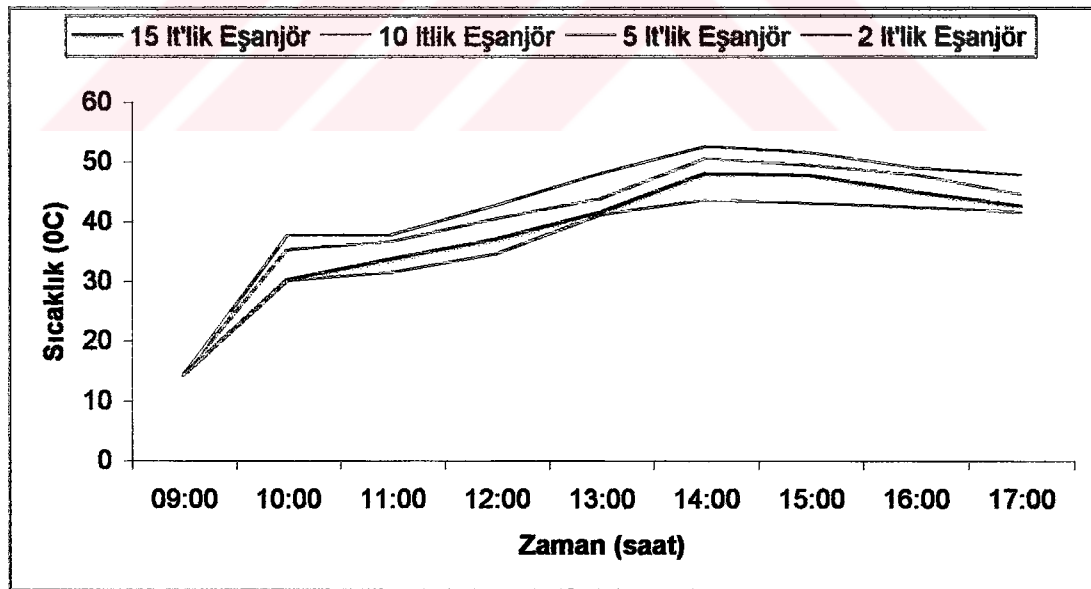
Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Tesisat Anabilim Dalı bahçesinde ışı ışın toplayıcı yüzeyler (kollektörler) yerden 1,5 m yükseklikteki bir platform üzerine güneye bakacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 6.1.). Havanın güneşli olduğu 13.05.2002 ile 18.05.2002 tarihleri arasında 6 gün süreyle deneyler yapılmıştır. Sistemlerin suları aynı anda ve saat 09:00'da doldurulmuştur. Ölçümler saat 10:00'da alınmaya başlayıp saat 17:00 'ye kadar her saat başı ölçüm yapılmıştır. Sıcaklıklar Demir-Konstant ısı çiftleri (termo kupllar) ile ölçülmüştür. Sıcaklık ölçü aleti olarak ELİMKO firmasının ürettiğı 12 kanallı elektronik sıcaklık ölçüm aleti kullanılmıştır. Ölçüm sonuçları çizelge 6.1'de ki gibi bulunmuştur.



Şekil 6.1. Deney setlerinin görünüşü

Çizelge 6.1. 15 Mayıs 2002 günü sıcak su hazırlama sistemlerinden ölçülen sıcaklık değerleri

SAAT	DEPO HACİMLERİ											
	15 Litrelik			10 Litrelik			5 Litrelik			2 Litrelik		
	SICAKLIKLAR											
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
09:00	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9
10:00	29,9	29,4	25	34,9	26,9	25,4	37,4	30,4	26,8	29,8	25,8	20,3
11:00	33,4	31,2	29,3	36,3	35,2	32,5	37,5	36,4	33,1	31,2	29,3	25,1
12:00	36,7	33,4	30,9	40,2	35,5	31,2	42,4	37,2	33,5	34,3	31,6	26,7
13:00	41,3	38,7	36,5	43,5	39,9	37,8	47,8	41,7	40,1	40,8	34,3	33,6
14:00	47,8	40,8	37,6	50,2	41,3	38,9	52,3	43,1	40,3	43,3	37	35,6
15:00	47,5	42,1	39,2	49,2	43,3	41,5	51,3	44,7	43,1	41,7	39,9	38,5
16:00	44,7	43,9	41,5	47,6	44,7	43,2	48,7	45,8	44,9	42,3	39,2	37,6
17:00	42,3	42,6	40,2	44,2	43,8	42,7	47,6	44,1	43,6	41,2	38,6	35,7



Şekil 6.2. 15.05.2002 Günü yapılan ölçümlere göre sıcaklık – zaman grafiği

7. DENEYSEL SONUÇLAR

7.1. Enerji Hesapları

7.1.1. Sisteme verilen enerji

Sistemde kullanılan ışın toplayıcı 0,6 m²'lik yüzey alanına sahip ve yatayla 45°'lik açı yapmaktadır. Güneşten elde edilen enerjinin bulunması için, kullanılan değerler Meteoroloji Ankara Bölge Müdürlüğü'nden alınmıştır. Güneş ışıınım değerleri Çizelge 7.1'de, Ankara ili saatlik güneşlenme süreleri Çizelge 7.2.'de, Ankara ili günlük ortalama sıcaklık değerleri Çizelge 7.3. 'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.1. Ankara – Kalaba Devlet Meteoroloji İstasyonu Ankara ilinin ortalama güneş ışıınım şiddeti

SAATLER	TARİHLER					
	13.05.2002	14.05.2002	15.05.2002	16.05.2002	17.05.2002	18.05.2002
04:00-05:00	0,15	0	0,10	0,20	0	0
05:00-06:00	3,60	4,0	7,20	4,80	4,80	4,80
06:00-07:00	16,80	19,20	18,60	22,20	20,40	18,60
07:00-08:00	34,20	34,80	39,60	40,20	37,80	33,60
08:00-09:00	49,80	48,00	49,20	54,00	50,40	49,20
09:00-10:00	61,80	63,60	52,80	64,20	31,80	61,20
10:00-11:00	67,80	67,20	74,40	73,80	43,20	61,20
11:00-12:00	67,20	55,20	80,40	77,40	86,40	63,60
12:00-13:00	61,20	60,60	77,40	78,00	66	66
13:00-14:00	61,80	53,40	70,20	73,80	66,60	65,40
14:00-15:00	54,00	23,40	65,40	44,40	48,60	53,40
15:00-16:00	32,40	15,00	49,20	52,80	43,80	51,60
16:00-17:00	15,00	09,60	30,60	25,20	38,40	36,60
17:00-18:00	9,00	5,40	18,00	9,00	15,20	21,60
18:00-19:00	2,50	0,40	3,60	1,35	2,80	7,20
TOPLAM	537,25 cal/cm ²	459,80 cal/cm ²	636,70 cal/cm ²	621,35 cal/cm ²	560,20 cal/cm ²	594 cal/cm ²

Çizelge 7.2. Ankara – Kalaba Devlet Meteoroloji İstasyonu Ankara ilinin saatlik güneşlenme süresi

SAATLER	TARİHLER					
	13.05.2002	14.05.2002	15.05.2002	16.05.2002	17.05.2002	18.05.2002
09:00-10:00	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0
10:00-11:00	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0
11:00-12:00	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9
12:00-13:00	0,8	0,8	1,0	1,0	0,9	1,0
13:00-14:00	0,8	0,6	1,0	1,0	0,9	1,0
14:00-15:00	0,9	0	1,0	1,0	0,9	1,0
15:00-16:00	0,3	0	1,0	0,5	1,0	1,0
16:00-17:00	0	0	1,0	0,3	1,0	1,0
TOPLAM	5,8	4,4	8	6,8	7,4	7,9

Çizelge 7.3. Ankara – Kalaba Devlet Meteoroloji İstasyonu Ankara ilinin günlük ortalama sıcaklıkları

TARİH	ORT. SICAKLIK °C
13.05.2002	16,4
14.05.2002	14,2
15.05.2002	15,6
16.05.2002	17,2
17.05.2002	18,6
18.05.2002	19,2

Işın toplayıcı yüzeyine gelen toplam güneş ışınlamından edinilen enerjiyi bulmak için;

$$I_{TOP} = [I_{DIR} \times R] + I_{DIF} \times \left[\frac{1 + \cos\beta}{2} \right] + [I_{DIR} + I_{DIF}] \times r_a \times \left[\frac{1 - \cos\beta}{2} \right] \quad (7.1.)$$

eşitliğinden yararlanılmıştır [10,17,18].

bu eşitlikte;

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

$$I_{DIR} = YYRA_1 - I_{DIF} \quad (7.2.)$$

$YYRA_1$ = Deneyin yapıldığı 09:00 ile 17:00 saatleri arasında yatay yüzeye gelen radyasyon değeri, W/m^2 8h (Çizelge 7.1.)

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

$$I_{DIF} = [1 - (1,097 \times BUF)] \times YYRA_1 \quad (7.3.)$$

BUF = Bulamıklık faktörü [5].

$$BUF = \frac{YYRA}{AÖRA} \quad (7.4.)$$

$YYRA$ = Deneyin yapıldığı gün için ortalama yatay yüzey radyasyon değeri, $Kcal/m^2$ gün [5].

$AÖRA$ = Mayıs ayı ortalama atmosfer öncesi radyasyon değeri, $Kcal / m^2$ gün [5].

r_a = eğik düzlem çevresinin toplam güneş radyasyonu için yansıtma katsayısı $\approx 0,2$ dir. [5].

$$R = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_2} \quad [15]. \quad (7.5.)$$

$$\begin{aligned} \cos\theta = & [\sin\delta \times \sin\phi \times \cos\beta] - [\sin\delta \times \cos\phi \times \sin\beta \times \cos\gamma] + \\ & [\cos\delta \times \cos\phi \times \cos\beta \times \cos\omega] + [\cos\delta \times \sin\phi \times \cos\gamma \times \cos\omega] + \\ & [\cos\delta \times \sin\beta \times \sin\gamma \times \sin\omega] \quad [15]. \end{aligned} \quad (7.6.)$$

$$\cos\theta_2 = [\sin\phi \times \sin\delta] + [\cos\phi \times \cos\delta \times \cos\omega] \quad [15]. \quad (7.7)$$

ϕ = Enlem derecesi (Ankara için 40°).

β = Işın toplayıcının yatayla yaptığı açı (45°).

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

ω = Saat açısı 12:00'den itibaren her saat için 15° , 14:00 için 30° alınmıştır).

$$\delta = 23,45 \times \sin \left[360 \times \frac{284 + n}{365} \right] \quad (7.8.)$$

δ = Deklinasyon açısı [15].

n = Hesabı yapılan gün (takvimde kaçınıcı gün ise...).

7.1.2. Sistemden elde edilen enerji

Eşanjör kapasiteleri farklı olarak tasarlanan güne enerji sistemleri, gün içinde güneşten gelen enerjinin bir kısmını suya iletebilmektedir. Deney süresince tespit edilen sıcaklıklar Çizelge 7.4. de gösterilmiştir. Hesap yapılırken bu sıcaklıklar dikkate alınmıştır.

Her sistemin doldurma suyu sıcaklıkları aynı, gün sonu su sıcaklıkları güneşten alınan radyasyon miktarına ve eşanjör kapasitelerine göre farklılık göstermektedir. Sistemlerde, giriş ve çıkış suyundaki sıcaklık farklılıkları güneşten kazanılan ısı miktarının tespitinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Bu amaçla;

$$Q = m \times c \times \Delta t \quad (7.9.)$$

m = Suyun kütleli debisi (50 lt/h)

c = Özgül ısı (4,18 kJ/kg K)

Δt = Sıcaklık farkı, ($t_{\text{son}} - t_{\text{ilk}}$).

eşitliği kullanılmıştır.

Çizelge 7.4. Deney süresince tespit edilen maksimum sıcaklık değerleri

Günler	15 Litrelik Eşanjör Sıcaklığı (°C)	10 Litrelik Eşanjör Sıcaklığı (°C)	5 Litrelik Eşanjör Sıcaklığı (°C)	2 Litrelik Eşanjör Sıcaklığı (°C)	Dış Hava Sıcaklığı (°C)	Giriş Suyu Sıcaklığı (°C)
13.05.2002	44,2	45,8	48,4	40,4	22,5	14,3
14.05.2002	38,5	39,8	41,5	35,2	25,6	14,3
15.05.2002	47,8	50,2	52,3	43,3	21,2	13,9
16.05.2002	44,7	46,7	50,1	43,3	24	14,2
17.05.2002	37,1	41,6	44,7	36,9	25,8	13,8
18.05.2002	44,3	46,3	49,7	44,3	25,5	13,8

7.1.3. Sistemlerin verimi

Sistemlerin verimleri, sistemlerin yapıldığı malzemeye, bulundukları enlem derecesine, eğimlerine, çevresiyle olan sıcaklık farklarına ve kullanıldıkları zamana bağlı olarak değişebilmektedir.

$$\eta = \frac{Q}{F_k \times I_{TOP}} \quad (7.10.)$$

eşitliği ile sistem verimi bulunabilmektedir. [5].

7.2. Deney Veri Hesapları

Altı gün süresince sıcaklık değerleri tespit edilen sistemlerin, performanslarının karşılaştırılması amacıyla bir dizi hesaplar yapılmıştır. Deneyin üçüncü günü (15.05.2002) için hesaplar ayrıntılı olarak işlenmiş olup, diğer günler için sadece bulunan sonuçlar Çizelge 7.5.'de tablo şeklinde verilmiştir.

7.2.1. Sisteme verilen enerji hesabı

15.05.2002 günü için ayrıntılı işlenen hesaplarda Meteoroloji İşleri Ankara Bölge Müdürlüğü rasat verilerine göre kollektör yüzeyine gelen güneş ışığının en yüksek değeri, saat 14:00'de, direk ışının $4328,5 \text{ W/m}^2\text{h}$ ve difüz radyasyon $1491,2 \text{ W/m}^2\text{h}$ olarak tespit edilmiştir. Bu değerler, yatay düzleme gelen güneş radyasyonudur. Sistemin ışın toplayan yüzeyi 45° 'lik açı yapmaktadır. 45° eğik yüzeye gelen güneş radyasyonunu bulmak için Eş. 7.1.'den yararlanılmıştır.

$$YYRA = 7404,8 \text{ W/m}^2\text{gün}$$

$$AÖRA = 10924,1 \text{ W/m}^2\text{gün}$$

$$BUF = 0,678$$

$$YYRA_1 = 5819,7 \text{ W/m}^2 \text{ 8h}$$

Eş. 7.3.'de yerine konulursa

$$I_{DIF} = (1 - 1,097 \times 0,678) \times 5819,7$$

$$= 1491,2 \text{ W/m}^2 \text{ 8h}$$

bulunur. Buna göre yataydaki radyasyon miktarı Eş. 7.2.'de

$$I_{DIR} = 5819,7 - 1491,4 = 4328,5 \text{ W/m}^2 \text{ 8h}$$

Olarak bulunur.

Deneyin yapıldığı gün 15.05.2002 olduğu için;

$$n = 135. \text{ gün}$$

$$\delta = 23,45 \times \sin [360 \times (284 + 135) / 365] = 18,79^\circ$$

olarak deklinasyon açısı bulunur.

$$\phi = 40^\circ$$

$$\beta = 45^\circ$$

$$\gamma = 0^\circ$$

$$\omega = 30^\circ$$

$$\cos \theta = 1,024$$

$$\cos \theta_2 = 0,663$$

Ve eş. 7.5.'den

$$\mathcal{R} = 1,544$$

bulunur. Bu sonuçlar Eş. 7.1.'deki 45° eğim açısı olan 1 m^2 'lik ışı yutucu yüzeyine gelen güneş radyasyon değeri;

$r_a = 0,2$ için;

$$I_{TOP} = (4328,5 \times 1,544) + 1491,2 \times (1 + \cos 45^\circ / 2) + (4328,5 + 1491,2) \times 0,2 \times (1 - \cos 45^\circ / 2)$$

$$I_{TOP} = 8126,5 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

Olarak alınmaktadır.

7.2.2. Sistemden elde edilen enerji hesabı

Dört farklı tipte tertip edilen sistemlerden, 15.05.2002 günü ve saat 14:00 'da elde edilen enerji için Eş. 7.9.'dan yararlanılmıştır. Toplu sonuçlar Çizelge 7.5.'de ki gibi tespit edilmiştir.

1. 15 lt'lik eşanjör kapasiteli kapalı devre sıcak su hazırlama sistemi:

15.05.2002 günü için sayısal verileri ve ısı hesabı aşağıda yapılan bu sistemin Sıcaklık–Zaman grafiği Şekil 7.1.'de verilmiştir.

$$m = 50 \text{ lt}$$

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

$$t_{ilk} = 13,9^\circ\text{C}$$

$$t_{son} = 47,8^\circ\text{C}$$

$$Q_9 = 50 \times 4,18 \times (47,8 - 13,9) = 7085,1 \text{ kJ/kg K} \times 0,278 = 1971,3 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

2. 10 lt'lik eşanjör kapasiteli kapalı devre sıcak su hazırlama sistemi:

15.05.2002 günü için sayısal verileri ve ısı hesabı aşağıda yapılan bu sistemin Sıcaklık–Zaman grafiği Şekil 7.1.'de verilmiştir.

$$m = 50 \text{ lt}$$

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

$$t_{\text{ilk}} = 13,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{son}} = 50,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{10} = 50 \times 4,18 \times (50,2 - 13,9) = 7586,7 \text{ kJ/kg K} \times 0,278 = 2110,8 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

3. 5 lt'lik eşanjör kapasiteli kapalı devre sıcak su hazırlama sistemi:

15.05.2002 günü için sayısal verileri ve ısı hesabı aşağıda yapılan bu sistemin Sıcaklık–Zaman grafiği Şekil 7.1.'de verilmiştir.

$$m = 50 \text{ lt}$$

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

$$t_{\text{ilk}} = 13,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{son}} = 52,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{11} = 50 \times 4,18 \times (52,3 - 13,9) = 8025,6 \text{ kJ/kg K} \times 0,278 = 2232,9 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

4. 2 lt'lik eşanjör kapasiteli kapalı devre sıcak su hazırlama sistemi:

15.05.2002 günü için sayısal verileri ve ısı hesabı aşağıda yapılan bu sistemin Sıcaklık–Zaman grafiği Şekil 7.1.'de verilmiştir.

$$m = 50 \text{ lt}$$

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

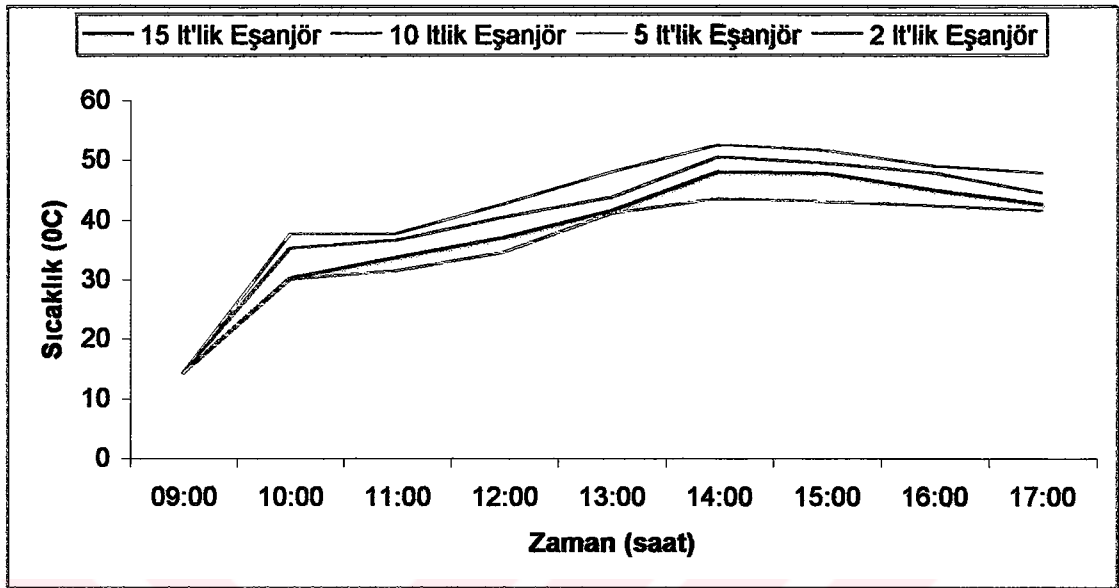
$$t_{\text{ilk}} = 13,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{son}} = 43,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{12} = 50 \times 4,18 \times (43,3 - 13,9) = 6144,6 \text{ kJ/kg K} \times 0,278 = 1709,6 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

Çizelge 7.5. 15.05.2002 Gününe ait, sistemlerden ölçülen sıcaklık değerleri

Eşanjör Kapasitesi	SAATLER								
	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
	SICAKLIKLAR								
15 Litrelik	13,9	29,9	33,4	36,7	41,3	47,8	47,5	44,7	42,3
10 Litrelik	13,9	34,9	36,3	40,2	43,5	50,2	49,2	47,6	44,2
5 Litrelik	13,9	37,4	37,5	42,4	47,8	52,3	51,3	48,7	47,6
2 Litrelik	13,9	29,8	31,2	34,3	40,8	43,3	41,7	42,3	41,2



Şekil 7.1. 15.05.2002 Günü yapılan ölçümlere göre sıcaklık – zaman grafiği

7.2.3. Verim hesabı

Dört farklı tipte tertip edilen sistemlerden, 15.05.2002 günü elde edilen hesap sonuçlarına göre verim hesabı için Eş. 7.10.'dan yararlanılmıştır ve sonuçlar Çizelge 7.6.'da ki gibi düzenlenmiştir.

1. 15.05.2002 gününe ait 15 lt'lik sistemin verim hesabı:

$$I_{TOP} = 8126,5 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$Q_9 = 1971,3 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$F_K = 0,6 \text{ m}^2$$

$$\eta_9 = 1971,3 / (8126,5 \times 0,6) = 0,40$$

2. 15.05.2002 gününe ait 10 lt'lik sistemin verimi:

$$I_{TOP} = 8126,5 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$Q_{10} = 2110,8 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$F_K = 0,6 \text{ m}^2$$

$$\eta_{10} = 2110,8 / (8126,5 \times 0,6) = 0,43$$

3. 15.05.2002 gününe ait 5 lt'lik sistemin verimi:

$$I_{TOP} = 8126,5 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$Q_{11} = 2232,9 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$F_K = 0,6 \text{ m}^2$$

$$\eta_{11} = 2232,9 / (8126,5 \times 0,6) = 0,46$$

4. 15.05.2002 gününe ait 2 lt'lik sistemin verimi:

$$I_{TOP} = 8126,5 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$Q_{12} = 1709,6 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$F_K = 0,6 \text{ m}^2$$

$$\eta_{12} = 1709,6 / (8126,5 \times 0,6) = 0,35$$

Tarih : 13.05.2002 Deneyin 1. Günü

$$YYRA = 6248,2 \text{ W/m}^2\text{gün}$$

$$AÖRA = 10924,1 \text{ W/m}^2\text{gün}$$

$$BUF = 0,572$$

$$YYRA_1 = 4898,6 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$I_{DİF} = 1824,8 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$I_{DİR} = 3074 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$n = 133. \text{ gün}$$

$$\delta = 18,29^\circ$$

$$\phi = 40^\circ$$

$$\beta = 45^\circ$$

$$\gamma = 0^\circ$$

$$\omega = 30^\circ$$

$$\text{Cos } \theta = 0,95$$

$$\text{Cos } \theta_2 = 0,832$$

$$\Re = 1,142$$

$$r_a = 0,2$$

$$I_{TOP} = 6447,4 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

Sistemlerden suya verilen enerji ve verim hesabı

1. 15 lt'lik su ısıtma sistemi:

$$m = 50 \text{ lt} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 14,3 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{son}} = 44,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_1 = 50 \times 4,18 \times (44,2 - 14,3) = 6249,1 \text{ kJ/kg K} \times 0,278 = 1738,7 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$Q_1 = 1738,7 \text{ W/m}^2\text{8h} \quad F_k = 0,6 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 6447,4 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_1 = 1738,7 / (6447,4 \times 0,6) = 0,44$$

2. 10 lt'lik su ısıtma sistemi:

$$m = 50 \text{ lt} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 14,3 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{son}} = 45,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_2 = 50 \times 4,18 \times (45,8 - 14,3) = 6583,5 \text{ kJ/kg K} \times 0,278 = 1831,7 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$Q_2 = 1831,7 \text{ W/m}^2\text{8h} \quad F_k = 0,6 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 6447,4 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_2 = 1831,7 / (6447,4 \times 0,6) = 0,47$$

3. 5 lt'lik su ısıtma sistemi:

$$m = 50 \text{ lt} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 14,3 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{son}} = 48,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_3 = 50 \times 4,18 \times (48,4 - 14,3) = 7126,9 \text{ kJ/kg K} \times 0,278 = 1982,9 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$Q_3 = 1982,9 \text{ W/m}^2\text{8h} \quad F_k = 0,6 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 6447,4 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_3 = 1982,9 / (6447,4 \times 0,6) = 0,51$$

4. 5 lt'lik su ısıtma sistemi:

$$m = 50 \text{ lt} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{ilk} = 14,3 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{son} = 40,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

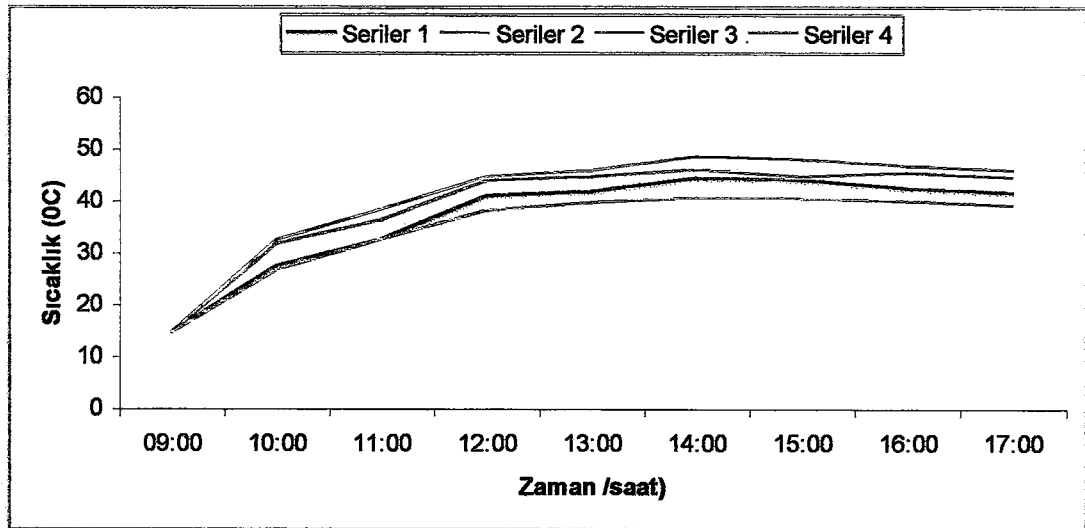
$$Q_4 = 50 \times 4,18 \times (40,4 - 14,3) = 5454,9 \text{ kJ/kg K} \times 0,278 = 1517,7 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$Q_4 = 1517,7 \text{ W/m}^2\text{8h} \quad F_k = 0,6 \text{ m}^2 \quad I_{TOP} = 6447,4 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_4 = 1517,7 / (6447,4 \times 0,6) = 0,39$$

Çizelge 7.6. 13.05.2002 Gününe ait, sistemlerden ölçülen sıcaklık değerleri

Eşanjör Kapasitesi	SAATLER								
	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
	SICAKLIKLAR								
15 Litrelik	14,3	27,2	32,4	40,8	41,6	44,2	43,8	42,2	41,4
10 Litrelik	14,3	31,5	36,1	43,7	44,5	45,8	44,4	45,2	44,3
5 Litrelik	14,3	32,2	38,2	44,5	45,7	48,4	47,8	46,5	45,7
2 Litrelik	14,3	26,4	32,4	37,9	39,5	40,4	40,2	39,8	38,9



Şekil 7.2. 13.05.2002 Günü yapılan ölçümlere göre sıcaklık – zaman grafiği

Tarih : 14.05.2002 Deneyin 2. Günü

$$YYRA = 5347,5 \text{ W/m}^2\text{gün}$$

$$AÖRA = 10924,1 \text{ W/m}^2\text{gün}$$

$$BUF = 0,489$$

$$YYRA_1 = 4047,1 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$I_{DIF} = 1876,1 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$I_{DIR} = 2171,1 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$n = 134. \text{ gün}$$

$$\delta = 18,54^\circ$$

$$\phi = 40^\circ$$

$$\beta = 45^\circ$$

$$\gamma = 0^\circ$$

$$\omega = 30^\circ$$

$$\cos \theta = 0,946$$

$$\cos \theta_2 = 0,833$$

$$\Re = 1,136$$

$$r_a = 0,2$$

$$I_{TOP} = 5072,1 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

Sistemlerden suya verilen enerji ve verim hesabı

1. 15 lt'lik su ısıtma sistemi:

$$m = 50 \text{ lt} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 14,3^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{son}} = 38,5^{\circ}\text{C}$$

$$Q_5 = 50 \times 4,18 \times (38,5 - 14,3) = 5057,8 \text{ kJ/kg K} \times 0,278 = 1407,2 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$Q_5 = 1407,2 \text{ W/m}^2\text{8h} \quad F_k = 0,6 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 5072,1 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_5 = 1407,2 / (5072,1 \times 0,6) = 0,46$$

2. 10 lt'lik su ısıtma sistemi:

$$m = 50 \text{ lt} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 14,3^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{son}} = 39,8^{\circ}\text{C}$$

$$Q_6 = 50 \times 4,18 \times (39,8 - 14,3) = 5329,5 \text{ kJ/kg K} \times 0,278 = 1482,8 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$Q_6 = 1482,8 \text{ W/m}^2\text{8h} \quad F_k = 0,6 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 5072,1 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_6 = 1482,8 / (5072,2 \times 0,6) = 0,48$$

3. 5 lt'lik su ısıtma sistemi:

$$m = 50 \text{ lt} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 14,3^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{son}} = 41,5^{\circ}\text{C}$$

$$Q_7 = 50 \times 4,18 \times (41,5 - 14,3) = 5684,8 \text{ kJ/kg K} \times 0,278 = 1581,7 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$Q_7 = 1581,7 \text{ W/m}^2\text{8h} \quad F_k = 0,6 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 5072,1 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_7 = 1581,7 / (5072,2 \times 0,6) = 0,51$$

4. 2 lt'lik su ısıtma sistemi:

$$m = 50 \text{ lt} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 14,3 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{son}} = 35,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

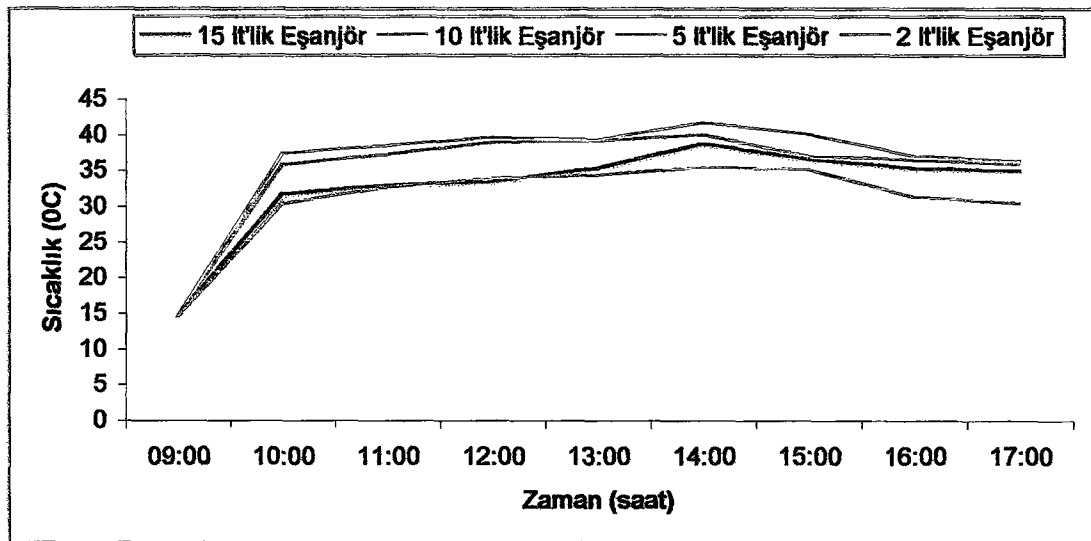
$$Q_8 = 50 \times 4,18 \times (35,2 - 14,3) = 4368,1 \text{ kJ/kg K} \times 0,278 = 1215,3 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$Q_8 = 1215,3 \text{ W/m}^2\text{8h} \quad F_k = 0,6 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 5072,1 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_8 = 1215,3 / (5072,1 \times 0,6) = 0,40$$

Çizelge 7.7. 14.05.2002 Gününe ait, sistemlerden ölçülen sıcaklık değerleri

Eşanjör Kapasitesi	SAATLER								
	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
	SICAKLIKLAR								
15 Litrelik	14,3	31,4	32,7	33,2	35,1	38,5	36,4	35,1	34,8
10 Litrelik	14,3	35,6	37	38,7	38,9	39,8	36,8	36,3	35,7
5 Litrelik	14,3	37,2	38,3	39,4	39,1	41,5	39,9	36,8	36,1
2 Litrelik	14,3	30,1	32,4	33,7	34,1	35,2	34,9	31,1	30,2



Şekil 7.3. 14.05.2002 Günü yapılan ölçümlere göre sıcaklık – zaman grafiği

Tarih : 16.05.2002 Deneyin 4. Günü

$$YYRA = 7226,3 \text{ W/m}^2\text{gün}$$

$$AÖRA = 10924,1 \text{ W/m}^2\text{gün}$$

$$BUF = 0,662$$

$$YYRA_1 = 5694,05 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$I_{DIF} = 1558,95 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$I_{DIR} = 4135,1 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$n = 136. \text{ gün}$$

$$\delta = 19.03^\circ$$

$$\phi = 40^\circ$$

$$\beta = 45^\circ$$

$$\gamma = 0^\circ$$

$$\omega = 30^\circ$$

$$\cos \theta = 0,94$$

$$\cos \theta_2 = 0,838$$

$$\Re = 1,122$$

$$r_a = 0,2$$

$$I_{TOP} = 7882 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

Sistemlerden suya verilen enerji ve verim hesabı

1. 15 lt'lik su ısıtma sistemi:

$$m = 50 \text{ lt} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 14,2 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{son}} = 44,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{13} = 50 \times 4,18 \times (44,7 - 14,2) = 6374,5 \text{ kJ/kg K} \times 0,278 = 1773,6 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$Q_{13} = 1773,6 \text{ W/m}^2\text{8h} \quad F_k = 0,6 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 7882 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_{13} = 1773,6 / (7882 \times 0,6) = 0,37$$

2. 10 lt'lik su ısıtma sistemi:

$$m = 50 \text{ lt} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 14,2 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{son}} = 46,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{14} = 50 \times 4,18 \times (46,7 - 14,2) = 6792,5 \text{ kJ/kg K} \times 0,278 = 1889,9 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$Q_{14} = 1889,9 \text{ W/m}^2\text{8h} \quad F_k = 0,6 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 7882 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_{14} = 1889,9 / (7882 \times 0,6) = 0,40$$

3. 5 lt'lik su ısıtma sistemi:

$$m = 50 \text{ lt} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 14,2 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{son}} = 50,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{15} = 50 \times 4,18 \times (50,1 - 14,2) = 7503,1 \text{ kJ/kg K} \times 0,278 = 2087,6 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$Q_{15} = 2087,6 \text{ W/m}^2\text{8h} \quad F_k = 0,6 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 7882 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_{15} = 2087,6 / (7882 \times 0,6) = 0,44$$

4. 2 lt'lik su ısıtma sistemi:

$$m = 50 \text{ lt} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{ilk} = 14,2 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{son} = 43,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

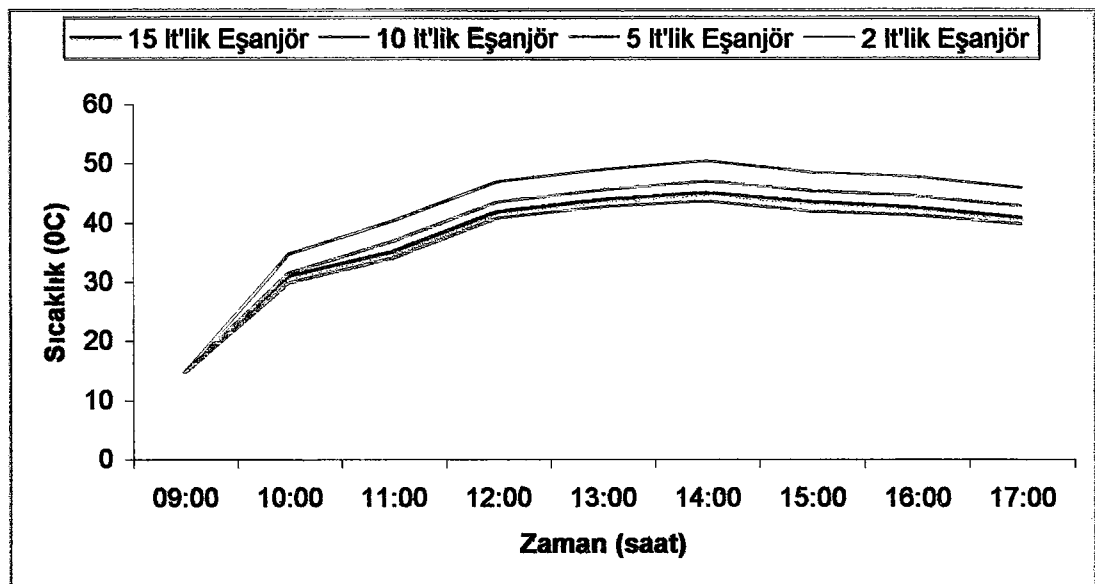
$$Q_{16} = 50 \times 4,18 \times (43,3 - 14,2) = 6081,9 \text{ kJ/kg K} \times 0,278 = 1692,2 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$Q_{16} = 1692,2 \text{ W/m}^2\text{8h} \quad F_k = 0,6 \text{ m}^2 \quad I_{TOP} = 7882 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_{16} = 1692,2 / (7882 \times 0,6) = 0,36$$

Çizelge 7.8. 16.05.2002 Gününe ait, sistemlerden ölçülen sıcaklık değerleri

Eşanjör Kapasitesi	SAATLER								
	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
	SICAKLIKLAR								
15 Litrelik	14,2	30,6	34,8	41,5	43,5	44,7	43,2	42,2	40,5
10 Litrelik	14,2	31,1	36,5	43,1	45,2	46,7	45,1	44,2	42,5
5 Litrelik	14,2	34,3	40	46,6	48,6	50,1	48,2	47,4	45,6
2 Litrelik	14,2	29,5	33,7	40,4	42,3	43,3	41,6	40,9	39,4



Şekil 7.4. 16.05.2002 Günü yapılan ölçümlere göre sıcaklık – zaman grafiği

Tarih : 17.05.2002 Deneyin 5. Günü

$$YYRA = 6515,1 \text{ W/m}^2\text{gün}$$

$$AÖRA = 10924,1 \text{ W/m}^2\text{gün}$$

$$BUF = 0,596$$

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

$$I_{DİF} = 1442,2 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$I_{DİR} = 2723,7 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$n = 137. \text{ gün}$$

$$\delta = 19,26^\circ$$

$$\phi = 40^\circ$$

$$\beta = 45^\circ$$

$$\gamma = 0^\circ$$

$$\omega = 30^\circ$$

$$\cos \theta = 0,94$$

$$\cos \theta_2 = 0,838$$

$$\Re = 1,122$$

$$r_a = 0,2$$

$$I_{TOP} = 5558,4 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

Sistemlerden suya verilen enerji ve verim hesabı

1. 15 lt'lik su ısıtma sistemi:

$$m = 50 \text{ lt} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{ilk} = 13,8 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{son} = 37,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{17} = 50 \times 4,18 \times (37,1 - 13,8) = 4869,7 \text{ kJ/kg K} \times 0,278 = 1354,9 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$Q_{17} = 1354,9 \text{ W/m}^2\text{8h} \quad F_k = 0,6 \text{ m}^2 \quad I_{TOP} = 5558,4 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_{17} = 1354,9 / (5558,4 \times 0,6) = 0,40$$

2. 10 lt'lik su ısıtma sistemi:

$$m = 50 \text{ lt} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{ilk} = 13,8 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{son} = 41,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{18} = 50 \times 4,18 \times (41,6 - 13,8) = 5810,2 \text{ kJ/kg K} \times 0,278 = 1616,6 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$Q_{18} = 1616,6 \text{ W/m}^2\text{8h} \quad F_k = 0,6 \text{ m}^2 \quad I_{TOP} = 5558,4 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_{18} = 1616,6 / (5558,4 \times 0,6) = 0,48$$

3. 5 lt'lik su ısıtma sistemi:

$$m = 50 \text{ lt} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{ilk} = 13,8 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{son} = 44,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{19} = 50 \times 4,18 \times (44,7 - 13,8) = 6458,1 \text{ kJ/kg K} \times 0,278 = 1796,8 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$Q_{19} = 1796,8 \text{ W/m}^2\text{8h} \quad F_k = 0,6 \text{ m}^2 \quad I_{TOP} = 5558,4 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_{19} = 1796,8 / (5558,4 \times 0,6) = 0,53$$

4. 5 lt'lik su ısıtma sistemi:

$$m = 50 \text{ lt} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{ilk} = 13,8 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{son} = 36,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

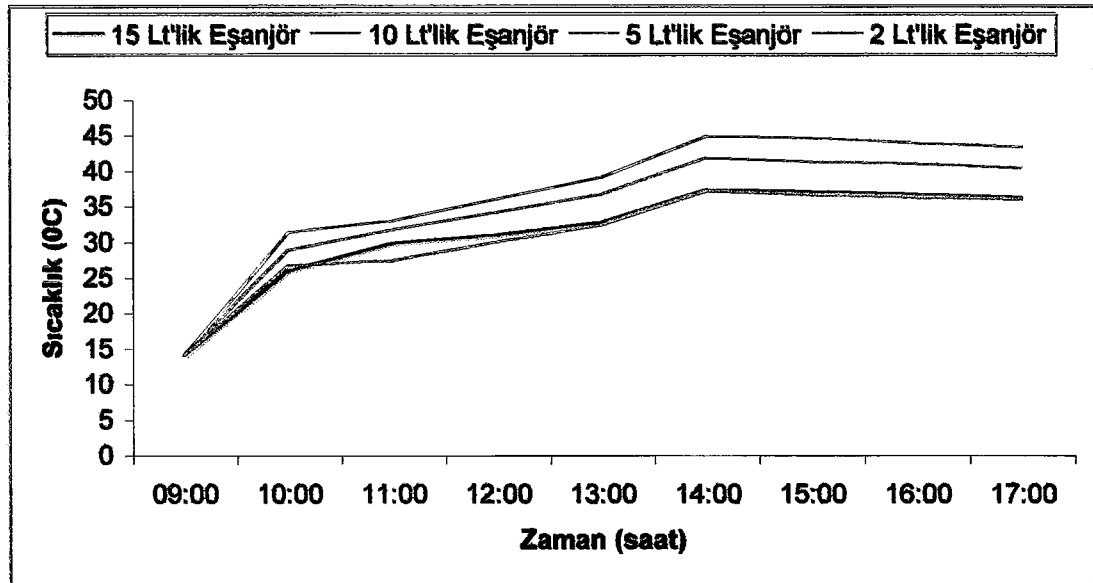
$$Q_{20} = 50 \times 4,18 \times (36,9 - 13,8) = 4827,9 \text{ kJ/kg K} \times 0,278 = 1343,3 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$Q_{20} = 1343,3 \text{ W/m}^2\text{8h} \quad F_k = 0,6 \text{ m}^2 \quad I_{TOP} = 5558,4 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_{20} = 1343,3 / (5558,4 \times 0,6) = 0,40$$

Çizelge 7.9. 17.05.2002 Gününe ait, sistemlerden ölçülen sıcaklık değerleri

Eşanjör Kapasitesi	SAATLER								
	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
SICAKLIKLAR									
15 Litrelik	13,8	25,7	29,6	30,8	32,5	37,1	36,8	36,5	36
10 Litrelik	13,8	28,6	31,5	33,9	36,5	41,6	41,1	40,8	40,2
5 Litrelik	13,8	31,1	32,8	35,8	38,9	44,7	44,4	43,7	43,1
2 Litrelik	13,8	26,4	27,2	29,8	32,1	36,9	36,4	36	35,7



Şekil 7.5. 17.05.2002 Günü yapılan ölçümlere göre sıcaklık – zaman grafiği

Tarih : 18.05.2002 Deneyin 6. Günü

$$YYRA = 6908,2 \text{ W/m}^2\text{gün}$$

$$AÖRA = 10924,1 \text{ W/m}^2\text{gün}$$

$$BUF = 0,632$$

$$YYRA_1 = 5338,2 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$I_{Df} = 1637,2 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$I_{DfR} = 3701 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$n = 138. \text{ gün}$$

$$\delta = 19,49^\circ$$

$$\phi = 40^\circ$$

$$\beta = 45^\circ$$

$$\gamma = 0^\circ$$

$$\omega = 30^\circ$$

$$\cos \theta = 0,938$$

$$\cos \theta_2 = 0,839$$

$$\Re = 1,118$$

$$r_a = 0,2$$

$$I_{TOP} = 7267,8 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

Sistemlerden suya verilen enerji ve verim hesabı

1. 15 lt'lik su ısıtma sistemi:

$$m = 50 \text{ lt} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 13,8 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{son}} = 44,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{21} = 50 \times 4,18 \times (44,3 - 13,8) = 6374,5 \text{ kJ/kg K} \times 0,278 = 1773,6 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$Q_{21} = 1773,6 \text{ W/m}^2\text{8h} \quad F_k = 0,6 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 7267,8 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_{21} = 1773,6 / (7267,8 \times 0,6) = 0,40$$

2. 10 lt'lik su ısıtma sistemi:

$$m = 50 \text{ lt} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 13,8 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{son}} = 46,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{22} = 50 \times 4,18 \times (46,3 - 13,8) = 6792,5 \text{ kJ/kg K} \times 0,278 = 1889,9 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$Q_{22} = 1889,9 \text{ W/m}^2\text{8h} \quad F_k = 0,6 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 7267,8 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_{22} = 1889,9 / (7267,8 \times 0,6) = 0,43$$

3. 5 lt'lik su ısıtma sistemi:

$$m = 50 \text{ lt} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 13,8 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{son}} = 49,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{23} = 50 \times 4,18 \times (49,7 - 13,8) = 7503,1 \text{ kJ/kg K} \times 0,278 = 2087,6 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$Q_{23} = 2087,6 \text{ W/m}^2\text{8h} \quad F_k = 0,6 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 7267,8 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_{23} = 2087,6 / (7267,8 \times 0,6) = 0,47$$

4. 5 lt'lik su ısıtma sistemi:

$$m = 50 \text{ lt} \quad c = 4,18 \text{ kJ / kg K} \quad t_{\text{ilk}} = 13,8 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{son}} = 44,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

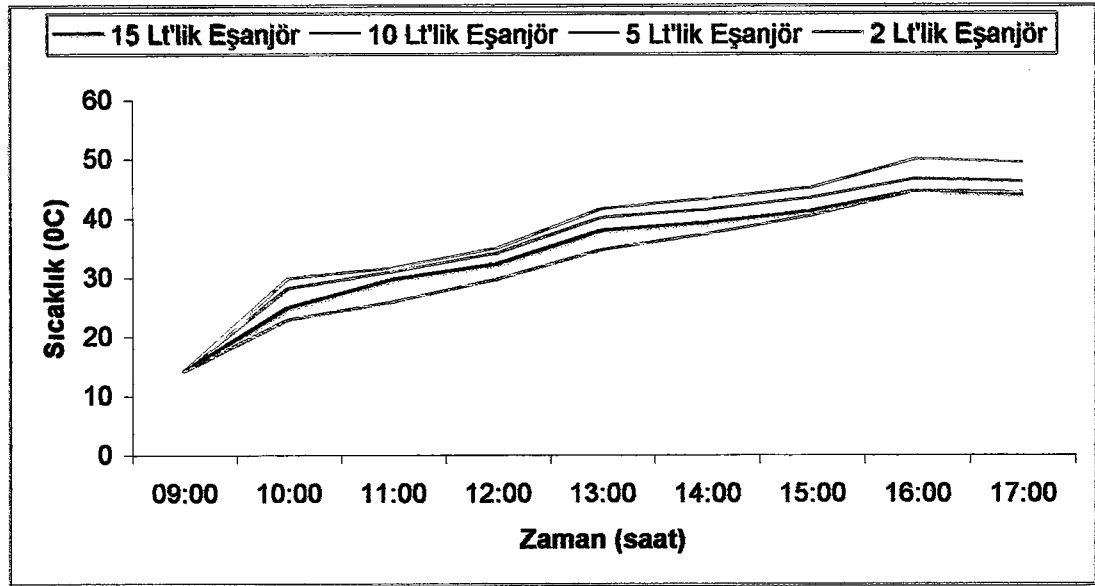
$$Q_{24} = 50 \times 4,18 \times (45,4 - 14,3) = 6604,4 \text{ kJ/kg K} \times 0,278 = 1773,6 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$Q_{24} = 1773,6 \text{ W/m}^2\text{8h} \quad F_k = 0,6 \text{ m}^2 \quad I_{\text{TOP}} = 7267,8 \text{ W/m}^2\text{8h}$$

$$\eta_{24} = 1773,6 / (7267,8 \times 0,6) = 0,40$$

Çizelge 7.10. 18.05.2002 Gününe ait, sistemlerden ölçülen sıcaklık değerleri

Eşanjör Kapasitesi	SAATLER								
	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
	SICAKLIKLAR								
15 Litrelik	13,8	24,6	29,4	32	37,6	44,3	43,6	40,8	38,9
10 Litrelik	13,8	27,8	30,7	33,8	39,7	46,3	45,8	43,1	41,1
5 Litrelik	13,8	29,6	31,3	34,7	41,3	49,7	49,1	44,8	42,9
2 Litrelik	13,8	22,5	25,6	29,4	34,3	44,3	44	40,1	36,9



Şekil 7.6. 18.05.2002 Günü yapılan ölçümlere göre sıcaklık – zaman grafiği

Çizelge 7.11. Deneylere ait veriler

TARİH	VERİMLER			
	15 Litrelik	10 Litrelik	5 Litrelik	2 Litrelik
13.05.2002	0,44	0,47	0,51	0,39
14.05.2002	0,46	0,48	0,51	0,40
15.05.2002	0,40	0,43	0,46	0,35
16.05.2002	0,37	0,40	0,44	0,36
17.05.2002	0,40	0,48	0,53	0,40
18.05.2002	0,40	0,43	0,40	0,40

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; ısıyı toplayıcı yüzeyleri ve kullanma sıcak suyu hacmi aynı, eşanjör kapasiteleri birbirlerinden farklı tabii dolaşımli dört adet sıcak su hazırlama sistemi aynı anda dolayısıyla aynı şartlarda denenerek performansları incelenmiştir.

Deneyler sonucunda ortalama verimler;

1. 15 lt'lik Dolaylı Sıcak Su Hazırlama Sistemi $\approx$ % 41
2. 10 lt'lik Dolaylı Sıcak Su Hazırlama Sistemi $\approx$ % 44
3. 5 lt'lik Dolaylı Sıcak Su Hazırlama Sistemi $\approx$ % 47
4. 2 lt'lik Dolaylı Sıcak Su Hazırlama Sistemi $\approx$ % 38

olarak tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, sistemlerin verimleri karşılaştırıldığında; kullanma suyu kapasitesi 50 lt ve eşanjör kapasitesi 5 lt olan sıcak su hazırlama sisteminin verimi diğer sistemlere göre yüksek çıktığından dolayı, bu sistemin kollektör devresinde dolaşan akışkan miktarı ile kullanma suyu depo hacmi arasında % 10 'luk bir oran çıkmaktadır. Kullanma suyu depo hacmi değiştiğinde, eşanjör kapasitesi ile kullanma suyu kapasitesi arasındaki % 10 'luk oran değişebilir.

5 lt'lik sistemin verimi % 47, 2 lt'lik sistemin verimi ise % 38 olarak tespit edilmiştir. Bu değerler göz önüne alındığında 2 lt'lik eşanjör ile 5 lt'lik eşanjör değerleri arasında verim değerinin yüksek çıkması söz konusu olabilir.

KAYNAKLAR

1. DERİŞ, N., Mak. Yük. Müh., 1979, Güneş enerjisi, 132 – 136.
2. Elektrik İşleri Etüt İdaresi, 2000, Güneş Enerjisi, 1 - 9.
3. VIESSMANN Planlama Kılavuzu, 2000, Güneş Enerjisi Sistemleri, 3-6.
4. Rapp, D., 1981, **Solar Energy**, pp 157 – 161.
5. UYAREL, A., Y., ÖZ, E., S., 1987, Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, 48 – 56, 104 – 110.
6. DİZDAR, H., 1998, Güneş enerjisi ve kollektör testleri, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 16 – 26.
7. ERTUNÇ, M., 1997, Düzlemsel güneş kollektörlerinin performansına etki yapan parametreler, Gazi üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 24 – 32.
8. Taff, P., D., N., 1988, **Solar Water Heater**, 183 – 188, 196 – 208.
9. PRAPAS, D., E., PSİMMENSON, S., SOTİROPOULUS, B., A., 1994, **Beneficial inter connection of two thermosiphon DHW solar systems**, **Applied Energy**, vol 49, pp 47 – 60, Greec.
10. KILIÇ, A., Dr. Müh. ÖZTÜRK, A., Doç. Dr., 1993, Güneş enerjisi.
11. MENLİK, T., 1999, Tabii sirkülasyonlu güneş enerjili sıcak su hazırlama tesislerinde direkt ve endirekt sistemlerin performanslarının karşılaştırılması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 44-45.
12. ÜNSAÇAR, F., TAŞER, F., Ö., 1994, Güneş takibinin kollektör performansına etkisi, 323-328.
13. ERTUNÇ, M., 1997, Düzlemsel güneş kollektörlerinin performansına etki yapan parametreler, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 87-88.

14. MATRAWY, K., K., FARKAS, I., 1996, **Solving of a model for solar water tanks**, **International jornal of ambient energy**, Egypt, Vol 17, N 2, pp 33 – 38.
15. BAYRAM, A., 2001, Farklı yapım özelliklerine sahip doğal dolaşımli güneşli su ısıtma sistemlerinin deneysel karşılaştırılması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 25-49.
16. DOĞAN, H., 1995, Isı borulu güneş kollektörü ile meyve ve sebze kurutulmasında önemli parametrelerin belirlenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 41-53.
17. ATAGÜNDÜZ, G., 1989, Güneş enerjisi temelleri ve uygulamaları, Ege Üniversitesi yayınları, No:2, İzmir.
18. TWIDELL, J., W., and A., D., WEIR, E., and F., N., 1986, **Renewable Energy Sources**, Span Ltd., London.

ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Kayseri’de doğdu. İlk, Orta ve Lise eğitimini Kayseri’de tamamladı. 1995 yılında Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitim Bölümü Tesisat Anabilim Dalını kazandı. 1999 yılının Haziran ayında mezun oldu. 1999 yılı Eylül ayında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2000 yılı Haziran ayında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitim Bölümü Tesisat Eğitimi Anabilim Dalı’nda Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Halen bu görevine devam eden H. İbrahim VARİYENLİ, evlidir.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ