

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

83952

**SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN KULLANILDIĞI ISI BORULU GÜNEŞ
KOLLEKTÖRÜNÜN KULLANILABİLİRLİĞİNİN DENEYSEL VE
TEORİK OLARAK ARAŞTIRILMASI**

Tahsin YÜKSEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA EĞİTİM ANABİLİM DALI

T.C. YÜKSEK LİSANS YÖNETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Bu Tez,Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından Oy Birliği / Oy Çokluğu
ile Başarılı / Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.

(İmza)
Danışman
Yrd.Doç.Dr. Mehmet ESEN

(İmza)
Üye

(İmza)
Üye

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

ÖZET**YÜKSEK LİSANS TEZİ****SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN KULLANILDIĞI ISI BORULU GÜNEŞ
KOLLEKTÖRÜNÜN KULLANILABİLİRLİĞİNİN DENEYSEL VE TEORİK
OLARAK ARAŞTIRILMASI****Tahsin YÜKSEL**

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Eğitimi Anabilim Dalı
1999, Sayfa:53

Bu çalışmada; güneş enerjisi ile su ısıtmada yeni bir yöntem olarak;ısı boruları içeren iki fazlı ve tabii dolaşımli güneş kollektörü incelenmektedir. Bu amaçla, iki fazlı bir güneş kollektörü imal edildi ve deneysel sonuçlar teorik sonuçlarla karşılaştırıldı. Değişik soğutucu akışkanlar kollektöre dolduruldu ve aynı şartlar altında denendi

Sistemin verimini belirleyen önemli fiziksel ve geometrik parametrelerin etkisi araştırılmış, elde edilen sonuçlar grafikler halinde verilmiştir. En yüksek kollektör verimi Freon 12 için elde edildi.

Anahtar Kelimeler: Isı Borusu, Güneş Kolektörü, İki Fazlı Güneş Kolektörü, Kaynama Sıvılı Güneş Kolektörü, Soğutucu Doldurmalı (Akışkanlı) Güneş Kolektörü

ABSTRACT

MASTER THESIS

**EXPERIMENTALLY AND THEORETICALLY INVESTIGATION OF
AVAILABILITY OF SOLAR COLLECTOR WITH HEAT PIPE USING
REFRIGERANT**

Tahsin YÜKSEL

Fırat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Education

1999, Page: 53

In this study, two-phase thermosyphon solar collector containing heat pipes as a new system of solar water heating has been investigated. For this purpose, a two-phase solar collector has been constructed, and the results of experimental studies have been compared with the theoretical results. Various refrigerants were filled into the collector, and tested under same conditions.

The effects of governing physical and geometric parameters on the efficiency of the collector are examined and the results are presented in graphical forms. The highest efficiency of collector was obtained for Freon 12.

Key Words: Heat Pipe, Solar Collector, Two Phase Solar Collector, Boiling Fluid Solar Collector, Refrigerant Charged (Fluid) Solar Collector

ÖNSÖZ

Enerji, günümüzde vazgeçilmez bir ihtiyaç haline gelmiştir. Her geçen gün ülke ve dünya nüfusunun artışı, çeşitli enerji türlerinin kullanımının bir miktar daha artışına sebep olmaktadır. Yine kullanılan bu enerji kaynaklarının bir kısmının gelecekte tükenebilir olmaları, bir kısmının elde edilme zorlukları ve bir kısmının da elde edilmesinin çok pahalıya mal olması, bunların yanı sıra elde edilen enerjinin nakledilebilme zorlukları, kişi ve çevre sağlığına olan sakıncaları gibi sebeplerle şu anda bilinmeyen veya bilindiği halde çok az kullanıma sahip olan enerji türlerine yönelmeye bizleri zorunlu kılmaktadır. Ayrıca kullandığımız enerjinin fiyatının kişilerin bütçesine getirdiği yük ise az değildir. Bunun gibi nedenlerden dolayı daha ucuz, daha temiz, daha verimli olan ve tükenme problemi olmayan enerji kaynağı güneşe yönelmemiz faydalı olacaktır.

Tüketilen enerji miktarı toplumlarda gelişmişlik seviyesinin bir göstergesi olarak yorumlanmaktadır. Bu aşamada klasik enerji kaynaklarının sakıncalarını ortadan kaldırmak için kullanımı gittikçe artan güneş enerjisine yönelmek önemli bir gelişme kabul edilebilir. Gelişmekte olan ülkelerde güneş enerjisinin yaygın olarak kullanılmasının bu ülkelerin gelişme çabalarına katkı sağlayacağı muhakkaktır. Dolayısıyla gelişmişlik seviyemizin yükseltilmesinde kullanmamız gereken güneş enerjisinin sağlayacağı katkıları küçümsememeliyiz.

Bu araştırmamız, güneş enerjisi uygulamalarından biri olan su ısıtmada kullanacağımız ısı borulu güneş kolektörleri hakkındadır. Isı borusu, çalışması, özellikleri, kullanılan akışkanlar, malzemeleri, çeşitleri ve yapılmış olan çalışmalardan söz edilmiştir. Ayrıca imal ettiğimiz bir ısı borulu kolektör (do-loop sistemi) sisteminde çeşitli çalışma sıvılarını aynı çalışma şartları altında deneyerek elde edilen değerler verilmiş ve yorumlanmıştır. Böylece yöremizde ısı borulu kolektörün çalışabilirliği ve bu esnada kullanılan sıvıların verimlerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın yapılması esnasında gerek hazırlık gerekse deney aşamasında yardımlarını ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Y. Doç. Dr. Mehmet ESEN 'e ve değerli hocam Y. Doç. Dr. Aydın DURMUŞ 'a ayrı ayrı teşekkür ederim. Deney setinin imalatında çok büyük yardımları olan Tunç Teknik Soğutma ve Çelik Eşya Sanayii sorumlu ve çalışanlarına ve aynı zamanda projemi destekleyen Fırat

Üniversitesi Araştırma Fonu İşletme Müdürlüğü'ne (FÜNAF) katkılarından dolayı ayrıca teşekkür ederim. Çalışmam esnasında yardım ve teşviklerini gördüğüm değerli hocalarıma ve arkadaşlarıma da burada teşekkürlerimi sunarım.

Tahsin YÜKSEL



T.C. YÜKSEKÖĞRETİM
DOKÜMANİASYON MERKEZİ

	Sayfa
ÖZET	II
ABSTRACT	III
ÖNSÖZ	IV
İÇİNDEKİLER	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ	X
SİMGELER LİSTESİ	XI
KISALTMALAR LİSTESİ	XII
1. GİRİŞ	1
1.1. Konunun Önemi	1
1.2. Çalışmanın Amacı	2
1.3. Niçin Isı Borusu	4
1.4. Isı Borusu	5
1.4.1. Isı Borusunun Çalışması	5
1.4.2. Isı Borusunda Bulunması Gereken Özellikler	9
1.4.3. Isı Borusu Malzemeleri ve Uyumlulukları	10
1.4.4. Fitil ve Bulunması Gereken Özellikler	11
1.4.5. Çalışma Akışkanları ve Sahip Olmaları Gereken Özellikler	11
1.5. Do-loop Sistemi (Dönüş Borulu Sistem)	13
1.6. Yutucu Yüzeyler (Emici Plakalar)	15
1.6.1. Yutucu Yüzey Kaplamaları	16
1.6.1.1. Seçici Yüzey	16
1.6.1.2. Siyah Boyalı Yüzeyler	17
2. LİTERATÜR TARAMASI	19
2.1. Genel	19
2.2. Yapılan Araştırmalar	19

2.3. Çeşitli Dizaynlar	23
2.4. Yapılmış Olan Bazı Çalışma Şekilleri	25
3. MATERYAL ve METOD	29
3.1. Deney Setinin Tasarımı	29
3.2. Deney Setinin İmal Edilmesi	29
3.3. Çalışma Prensibi ve Üstünlükleri	33
3.4. Deneylerin Yapılışı	33
3.5. Verim Hesabı	39
4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	49
5. ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR	52



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Isı borusu	5
Şekil 1.2. Yerçekimi takviyeli ısı borusu	6
Şekil 1.3. Isı borusunun çalışması	7
Şekil 1.4. Isı borulu güneş kollektörü	8
Şekil 1.5. Tek parça ısı borulu güneş enerjisi toplayıcısı	9
Şekil 1.6. Tam "Heat-Pipe" sistemi	13
Şekil 1.7. "Do-loop" sistemi	13
Şekil 1.8. Eşanjörü depo içinde ve tek bir borudan oluşan R11'li sistem	14
Şekil 1.9. Tek borulu R11'li sistem	15
Şekil 1.10. Seçici yüzeyin kollektör verimine etkisi	17
Şekil 1.11. Seçici yüzey verim ilişkisi	17
Şekil 2.1. R11 ve glikol-su karışımli sistemlerde su ve levha sıcaklığı	20
Şekil 2.2. R11 ve glikol-su karışımli sistemlerde toplanan enerji ve bunların oranı	21
Şekil 2.3. Kollektör boyunca levha, boru ve akışkan doyma sıcaklığı	22
Şekil 2.4. İki fazlı güneş kollektörlerinde cevap verme zamanı	22
Şekil 2.5. Eşanjörü kollektör üst toplayıcı boru içinde olan R11'li sistem	23
Şekil 2.6. Eşanjörü depo içinde olan R11 'li sistem	24
Şekil 2.7. Eşanjörü depo içinde ve tek bir borudan oluşan sistem	24
Şekil 2.8. Açık sistem güneşli su ısıtıcısı	25
Şekil 2.9. Kapalı sistem güneşli su ısıtıcısı	25
Şekil 2.10. HİTGİ güneşli su ısıtıcısı	26
Şekil 2.11. Isı borulu güneş kollektörü ile sıcak su hazırlama sistemi	26
Şekil 2.12. Yatay kondenserli ısı borusu	26
Şekil 2.13. Serpantinli ısı borusu	27

Şekil 2.14a. Çok toplayıcılı ısı borusu güneş enerjisi modeli	27
Şekil 2.14b. Tek parça ısı borusu güneş enerjisi toplayıcısı	27
Şekil 2.15. Tabii dolaşımlı sistem şema ve kesitleri	28
Şekil 2.16. R11 kullanılan iki fazlı güneş kolektörü modeli	28
Şekil 3.1. Soğutucu akışkanla çalışan güneş kolektörü	30
Şekil 3.2a. Birinci gün plaka sıcaklıkları	35
Şekil 3.2b. Birinci gün depo su sıcaklıkları	35
Şekil 3.3. Plaka sıcaklıklarının değişimi (3.10.1998)	41
Şekil 3.4. Depo su sıcaklıklarının değişimi (3.10.1998)	41
Şekil 3.5. Boru sıcaklıklarının değişimi (3.10.1998)	42
Şekil 3.6. En yüksek su sıcaklık farkının elde edildiği gün için sıcaklık değişimi	42
Şekil 3.7. 500 W/m^2 sabit ışıınım değeri için verim eğrileri	44
Şekil 3.8. 1000 W/m^2 sabit ışıınım değeri için verim eğrileri	44

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1. Isı borusu malzemeleri ile çalışma akışkanlarının uyumluluk verileri	10
Tablo 1.2. Isı borularında kullanılan bazı akışkanlar ve özellikleri	12
Tablo 3.1. Birinci gün deney sıcaklıkları (15.09.1998)	34
Tablo 3.2. Sistemlerdeki depo su sıcaklıkları ve basınç değişimleri (Akışkanlar yaklaşık 150 gr) 6 Ekim 1998	37
Tablo 3.3. Freon 12'li sistemdeki 3 günlük depo su sıcaklıkları ve basınç değişimleri (Akışkan yaklaşık 100 gr)	38
Tablo 3.4. Değişik günlerde yapmış olduğumuz deneyler sonucunda depo su sıcaklıkları	38
Tablo 4.1. En yüksek su sıcaklık farkları, gaz basınçları ve kollektör verim değişimleri	50
Tablo 4.2. Toplam (2 gün üst üste) en yüksek su sıcaklık farkları değişimi	50

SİMGELER LİSTESİ

A_c	:Kollektör yüzeyi (m^2)
c_p	:Suyun özgül ısısı ($kJ/kg^\circ C$)
ΔT	:Sıcaklık farkı ($^\circ C$)
I	:Günlük 38° eğik yüzeye gelen güneş radyasyonu (W/m^2)
η	:Verim (%)
m	:Kütle (kg)
V	:Depodaki su hacmi (m^3)
ρ	:Yoğunluk (kg/m^3)
k	:Isı iletim katsayısı (W/m^2K)
L	:Uzunluk (m)
q	:Saydam örtüye gelen güneş ışıınımı (W/m^2)
t	:Zaman
Q	:Üst örtüden geçerek yutucu levha ve borulara gelen ışıınım
Q_o	:Kollektör saydam örtüsüne gelen güneş ışıınımı
Q_y	:Yararlı ısı
Q_k	:Kayıp ısı
$\alpha\tau$	:Yutma – geçirme çarpımı
T	:Sıcaklık ($^\circ C$)
T_a	:Emici plaka sıcaklığı ($^\circ C$)
T_d	:Dış sıcaklık ($^\circ C$)
T_u	:Çevre hava sıcaklığı ($^\circ C$)

KISALTMALAR LİSTESİ

diğ.	:diğerleri
do-loop	:Dönüş borulu sistem
FÜNAF	:Fırat Üniversitesi Araştırma Fonu
HİTĞİ	:Her iklim tipi güneşli su ısıtıcısı
R11	:Freon 11
R12	:Freon 12
R22	:Freon 22
R113	:Freon 113
R114	:Freon 114
R134a	:Freon 134a
R502	:Freon 502

1. GİRİŞ

1.1. Konunun Önemi

Günümüz artık enerji ve tasarruf devri olma yolundadır. En az ve ucuz enerji ile en fazla kazanç sağlamaya çalışılmaktadır. Bildiğimiz ve kullandığımız enerji kaynaklarının çoğunluğu ya çok pahalı ya tükenebilir ya da elde edilmesi zor olan enerji türlerindendir. Bunların yanında hem ucuz hem her zaman bulunabilen hem de her alanda kullanılabilen bir enerji kaynağı mevcuttur. Bu enerji kaynağı güneştir. Güneş enerjisi bedava, temiz, yenilenebilen, depolanabilen, yerel uygulamalara uygun ve karmaşık bir teknoloji gerektirmemesi, nakil probleminin olmayışı, bakım masraflarının az olması gibi sebeplerden dolayı üzerinde durulması gereken ve üzerinde çalışılan bir enerji kaynağıdır. Binaların ısıtılmasında, elektrik elde edilmesinde, su ısıtmada, damıtmada, kurutmada, soğutmada ve benzeri alanlarda mevcut uygulama örnekleri vardır.

Dünyada tüketilen enerjinin % 90'ına yakını fosil kaynaklardan temin edilmektedir. Fosil kaynaklar içerisinde de en çok kullanılanı petroldür. Fosil yakacaklar, bugünkü oranda kullanılmaya devam edilirse yakın gelecekte tükenmeye başlayacaktır. Dünya hidrolik potansiyelinin sadece çok az bir miktarından (% 3'ü kadarından) faydalanılmasına rağmen hidrolik santrallerinin ilk tesis masrafları fazladır ve yapımı için uzun süre gereklidir. Ayrıca verimli toprakların çoğu baraj göl sahası altında kalmaktadır. Nükleer enerjinin üretilen toplam enerji içindeki payı son yıllarda artmaya başlamıştır. Birim enerji maliyeti düşüktür, ancak yakıtın temin edilme ve nükleer radyasyon gibi çevre problemleri mevcuttur (Kılıç ve Öztürk, 1983). Özellikle en fazla oranda günlük hayatta kullanılan kömür, elektrik ve petrol fiyatları her geçen gün biraz daha artmaktadır. Bu kaynakları özellikle düşük ve orta gelirli kesimin fazla bir şekilde kullandığını hesaba katarsak, bu kişilere mali yönden oldukça yük fazla getirmektedir. İşte bu fiyat artışları, elde edilme zorlukları, tükenebilir olmaları yeni ve ucuz enerji kaynaklarını kullanmaya bizleri yöneltmiştir. Ayrıca bu kaynaklar kişi ve ülke ekonomimiz yönünden son derece önem arz etmektedir. Bu özelliklere sahip olan enerji kaynağı yine güneştir.

Daha önce de bahsettiğimiz gibi;

- ucuz,
- her zaman bulunabilen,
- her yerde kullanılabilen,
- temiz,
- çevreyi kirletmeyen,
- depolanabilen,
- fazla bir bakım gerektirmeyen,
- karmaşık bir teknoloji istemeyen,
- fiyat artış problemi olmayan,
- kolayca faydalanılabilen,
- tükenmeyen,
- dışa bağımlı olmadığından doğabilecek ekonomik bunalımdan bağımsız

enerji kaynağı güneştir. Ülkemizde de bu enerji kaynağından faydalanabilmekteyiz. Güney illerimiz neredeyse dört mevsim güneş görmektedir, bu da yukarıda saydığımız avantajlardan bu süre zarfında faydalanmak demektir. Fakat diğer bölgelerimiz güneşi belirli zamanlarda görmesine rağmen kullanım oranı her geçen gün biraz daha artırılmalıdır.

1.2. Çalışmanın Amacı

Konumuz itibariyle güneş enerjisinden yararlanarak sıcak su elde etme sistemleri üzerinde duracağız. Yakın zamana kadar belki günümüzde de su dolu kaplar güneşe konularak su ısıtılmakta, bu şekilde güneş enerjisinden faydalanılmaktadır. Fakat günümüzde mevcut olan yapay düzenekler daha da geliştirilerek güneş enerjisinden su ısıtmada daha verimli şekilde faydalanılmaktadır. Yapılan araştırmalarla en verimli sistem bulunmaya çalışılmaktadır.

Güneş kolektörleri güneş enerjisini yapılan düzenekler sayesinde ısı enerjisi şeklinde toplayan bir tür ısı değiştiricileridir. En çok kullanılan düz levha tipi güneş kolektörüdür. Sıcak su elde edilmesi kapalı ve açık olmak üzere iki ayrı sistemle yapılabilmektedir. Açık sistemlerde kullanılan su direkt olarak kolektör içerisinden geçmektedir. Ancak;

- a) Don tehlikesinden dolayı soğuk bölgelerde kullanılması sakıncalıdır. Bunun için bu cihazları kış aylarında kullanamayız.
- b) Korozyon ve kireçlenme sakıncalarından dolayı fazla uzun ömürlü olmamaktadırlar.

Bu gibi sakıncaları ortadan kaldırmak için kapalı sistemler geliştirilip kullanılmaya başlanılmıştır. Bu sistemler ile donma, korozyon ve kireçlenme problemleri bertaraf edilmesine rağmen, verimin açık sistemlerinkinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte kullanılan sistemlerde ısı transfer sıcaklığının düşük olması, suyun en yüksek sıcaklığa çıktıktan sonra ters yönde sirkülasyon olması ve geceleri sıcaklık düşmesi sebebiyle sıcak olan suyun soğuk olan kollektöre doğru ters yönde sirkülasyonuna imkan tanımaktadır. Açık ve kapalı sistemlerin sakıncalarını ortadan kaldırmak için değişik sistemler ve akışkanlar üzerinde durulmuştur. Bu incelemeler sonucu "Heat Pipe" prensibinden yararlanılarak iki fazlı güneş kollektörleri üzerinde çalışmalara başlanılmıştır.

Kapalı sistem güneş kollektörlerinde amaç sıcak su elde etme sistemlerini kış aylarında da en verimli seviyede tutmaktır. Çalışmalar devam etmekte olup, değişik dizaynlar ve değişik akışkanlar kullanılması sonucu maksimum verimin elde edilmesi hedeflenmiş bulunmaktadır. Bu amaçla çalışmalarımızda bu konuya ağırlık verildi ve soğutucu akışkanların kullanıldığı ısı borulu güneş kollektörünün kullanılabilirliğinin deneysel ve teorik olarak araştırılması konusu ele alındı. Böylece, özellikle kış aylarında donma probleminin önüne geçilerek, bu aylarda da verim düzeyinin en üst seviyeye çıkarılabilmesi için uygun akışkan kullanılarak en az enerji düzeyinde dahi en fazla verim elde edilmesi hedeflenmiştir.

Enerji ihtiyacımızın karşılanmasında güneş enerjisinin kullanımı bazı alanlarda önemli kazançlar sağlayacaktır. Bu hususla;

- Hava kirliliği,
- Çevre kirliliği ve doğanın korunması,
- Döviz giderlerinin azalması,
- Dış ve iç piyasa rekabeti ve bunlara ilave olarak ekonomik refah düzeyinin artması vb..

şeklinde özetlenebilir.

1.3. Niçin Isı Borusu

Tasarlanan ve imal edilen güneş kolektörlerinde genellikle amaç suyu ısıtmaktır. Bu esnada hem ısıtan hem de ısıtılan sıvı su olabileceği gibi ısınan ve ısıtan sıvılar farklı da olabilir. Isı borusu prensibinde de en az iki adet aynı veya değişik sıvılar kullanılarak sistem çalıştırılmaktadır. Bu sistemde genellikle ısıtılan sıvı su, ısı borusu içerisindeki akışkanlar ise su veya faz değiştiren maddeler olabilmektedir. Faz değiştiren akışkanlar ile donma probleminin önüne geçilebilmekte ve en az enerji ile çok kısa süre zarfında yüksek ısı nakil olayı gerçekleştirilebilmektedir. Hazırlanan tezde ısı borulu kolektör yerine bazı kısımlarda *iki fazlı kolektör* terimi kullanılabilecektir.

Kapalı devre güneş kolektörleriyle don, korozyon ve kireçlenme problemlerinin önüne geçilebilmektedir. Fakat verimleri daha düşüktür. Kapalı devreli güneş kolektörlerinin verimi, açık devreli güneş kolektörlerinde ulaşılan verimin %70'ini ancak bulmaktadır (Akyurt, 1984). İki fazlı güneş kolektörleriyle ulaşılan verim klasik açık ve kapalı devre güneş kolektörlerinkinden daha büyüktür. Bunun sebebi tamamen buharlaşma-yoğuşma gizli ısısının terki prensibine göre çalışması ve bu durumda ısı transferi katsayılarının büyük olmasıdır (Büyükalaca, 1986).

İki fazlı güneş kolektörlerinde kolektör üzerine güneş ışınımı gelince çalışma akışkanı sıvı fazdan buhar fazına geçer. Akışkan kendi buhar basıncı ile su deposu içerisindeki eşanjöre doğru hareket eder. Burada ısısını veren akışkan sıvı faza geçer, yerçekimi tesiriyle tekrar kolektöre döner ve çevrim bu şekilde devam eder. İki fazlı güneş kolektörlerinde kullanılacak akışkanlarda;

- Uygun donma noktası,
- Çalışma bölgesindeki buhar basınçlarının çok yüksek olmaması,
- Yüksek gizli ısı,
- Yüksek ısı iletim katsayısı,
- Düşük sıvı ve buhar viskozitesi,

gibi özellikler aranır. Isı transfer olayı, iki fazlı güneş kolektörlerindeki ısı transferinde kullanılan gazların özgül ısıları düşük olduğundan, daha ziyade buharlaşma ve yoğuşma gizli ısılarıyla gerçekleşir. Soğutucu akışkanların özgül ısıları suyun özgül ısısının yaklaşık $\frac{1}{4}$ 'ü kadardır. Bu yüzden sıvı çok çabuk olarak buharlaşma sıcaklığına kadar ısınıp buharlaşabilir. Bu, iki fazlı güneş kolektörünün reaksiyon zamanını kısaltır.

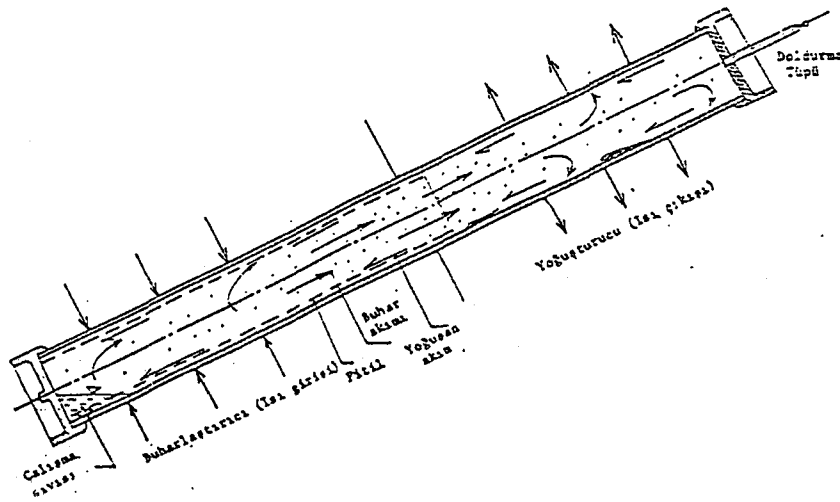
Kollektör üzerine enerji gelmediğinde kollektör basıncı ve sıcaklığı eşanjör basınç ve sıcaklığına yaklaşık olarak eşittir (Büyükalaca, 1987).

Buraya kadar saymış olduğumuz avantajlardan dolayı soğutucu akışkan ile çalışan ısı borulu güneş kollektörünün Elazığ'da kullanılabilirliğini araştırmaya karar verdik. Ayrıca yapılan bu çalışma Fırat Üniversitesi Araştırma Fonu İşletme Müdürlüğü (FÜNAF) tarafından 308 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Yapılan çalışmada, güneşli günlerde sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar deneyler gerçekleştirilmiş ve gün boyunca sıcaklıklar ve ısıtım değerleri ölçülmüştür.

1.4. Isı Borusu

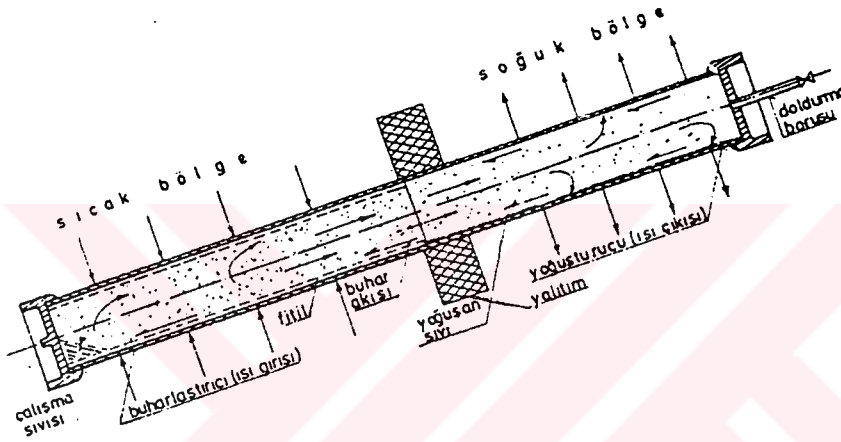
1.4.1. Isı Borusunun Çalışması

Isı borusu, esas itibari ile havası alınmış, içinde az miktarda çalışma sıvısı bulunan, iki ucu kapatılmış bir borudan ibarettir (Şekil 1.1.). İçine konulmuş olan az miktardaki çalışma sıvısı uygun bir fitil yardımıyla kap sınırları içinde sirküle eder. Fitil, hazne cidarına, çalışma sıvısının akışını düzenlemek için yerleştirilir.



Şekil 1.1. Isı borusu

“Enerji, buharlaştırıcı (evaporatör) bölgesine uygulandığı zaman bir kısım sıvı buharlaşır ve kısa bir süre sonra haznenin tamamı saf buharla doymuş hale getirilir. Sistemden ısı çekildiği için, yoğusturucu (kondenser) bölgesinde, boru cidarı daha soğuk olacağı için orada buharın bir kısmı yoğuşur. Açığa çıkan yoğuşma ısısı kondüksiyonla, ısıtılacak akışkana nakledilir. Daha sonra yoğuşan sıvı zerrecikleri yerçekimi yardımıyla ısı borusu içinde evaporatöre doğru damla damla geri akar ve (Şekil 1.2) böylece çevrim tamamlanır” (Akyurt, 1984).



Şekil 1.2. Yerçekimi takviyeli ısı borusu

Sirkülasyon devam ederken çalışma sıvısı açığa çıkan yoğuşma gizli ısısını ısıtılmak istenen bölgeye verir ve burada yoğuşur. Buradan evaporatör bölgesine dönerken istenilen işlemi yapmış olacaktır. Bu işlem sonucunda su, güneş enerjisi kullanılarak kulanma ısısına dönüştürülmüştür.

İyi tanzim edilmiş bir ısı borusunun naklettiği ısı, aynı çaptaki dolu bakır çubuğun boyu doğrultusunda naklettiği ısıнын birkaç bin katına eşit olmaktadır (Dunn ve Ready , 1982; Doğan’ dan 1987).

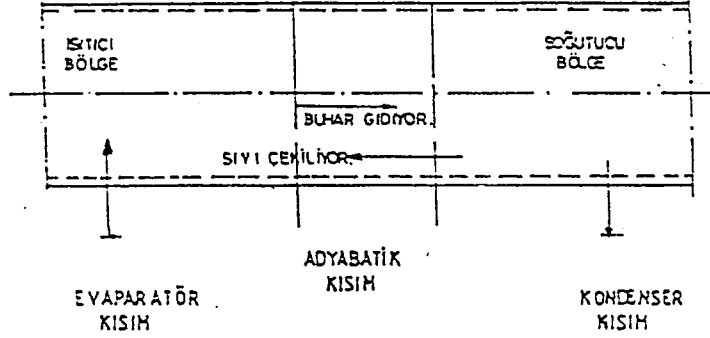
Isı borusu aşağıda belirtilen tipik özelliklerinden dolayı güneşli su ısıtıcılarında ısı transfer aracıdır.

-Uygun çalışma sıvıları ile $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ çalışma alanı için elverişlidir.

-Isı borusu aslında sürekli sıcaklıkta çok yüksek eksenel ısı akışlarında ele alınabilir.

-Ters yönde akış ısı borusunda mümkün değildir. Bu özelliğinden dolayı depolama tankından geri (tekrar) sirkülasyon kayıpları en aza indirgenir.

-Isı borusu basittir, sağlamdır ve güvenlidir. Hareketli bölümleri yoktur ve sessiz çalışır.



Şekil 1.3. Isı borusunun çalışması

Isı borusu (Şekil 1.3), evaporatör (buharlaşma bölgesi), kondenser (yoğuşma bölgesi) ve ara bölge adı verilen adyabatik kısımlardan oluşur.

Isı borusu içerisine yaklaşık olarak boru hacminin 1/3 oranında çalışma sıvısı doldurulur. Uyarel' in doktora tezinde naklettiği gibi çalışma sıvısı miktarını ısı gücüne tesirini, Streltsov ve diğerleri araştırmışlardır. Sonuçta, fitili ıslatacak ve doyuracak miktardan % 10 fazla sıvının en uygun olacağını söylemişlerdir. Yerçekimi takviyeli ısı borusunda ise sıvı fazlalığının menfi tesiri olmadığı, aksine 20 mm' den büyük çaplarda, buharlaştırıcı hacminin % 25' inin sıvıyla doldurulması halinde verimin artacağı tespit edilmiş ve James, % 30 dan % 50' ye kadar sıvıyla doldurulan ısı borularının iyi neticeler verdiğini bildirmiştir (Uyarel, 1984).

Isı borusunun verimli bir şekilde çalışabilmesi için boru içerisindeki hava vakumlanır ve bu vesile ile boru içinde sadece çalışma sıvısı bulunur. Bu şekilde, oluşturulan plaka üzerine tespit edilmiş ısı boruları alttan ve yanlardan yalıtılmış bir kaset içerisine yerleştirilmiştir. Ön kısım ise saydam bir madde olan genellikle cam ile kapatılır. Yoğuşma bölgesi ise ısıtılacak bölgeyle irtibatlı hale getirilmiştir.

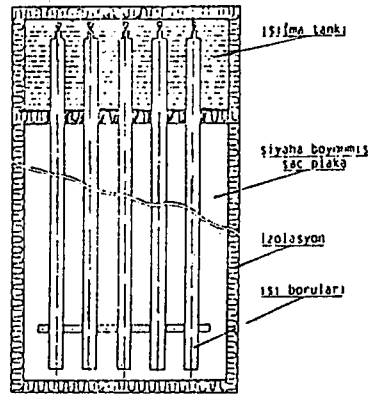
Isı borusunun çalışmaya başlaması esnasında boru içindeki buhar hızının ses hızına yaklaşması ve bu suretle boğulmaya sebep olarak ısı nakil kapasitesini sınırlaması

mümkündür. Keza üst çalışma sıcaklığında kondenser yönündeki buhar akımının, aksi yönden gelen sıvı akımını beraberinde sürükleyerek evaporatörün kurumasına sebep olması da beklenebilir (Akyurt ve diğ., 1981).

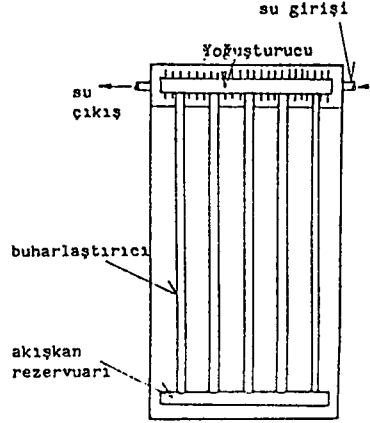
Isı kaynağından (örneğin güneşten) evaporatör bölgesine gelen ısı kesilinceye kadar işlem, sürekli olarak sirküle eder. Isı borusu ısı kaynağını gördüğü çok kısa bir süre içinde dahi çalışmaya başlar.

Şekillerde (Şekil 1.4. ve Şekil 1.5.) görüldüğü gibi tek bir ısı borusu ile sistem kurulabileceği gibi, birden fazla boru bir plaka üzerinde belirli aralıklarla yerleştirilerek de sistem tesis edilebilir. Bu sistemi oluşturan borular birbirlerinden bağımsız olabileceği gibi kondenser bölgesinde büyük çaplı bir boru ile birbirleriyle irtibatlı hale getirilebilirler. Isı borusu çalışma prensibine en uygun olanı boruların bağımsız olarak çalışmasıdır. Sebebi; her hangi bir boruda (ısı borusunda) vakum kaçağı, delinme vs. gibi bir olay olması halinde bile, arızalı boru dışında sistem devreden çıkmaz ve diğer ısı boruları ile sistem çalışmasına devam ederek ısı transferi sağlanmış olur.

Tek bir ısı borusu ile fazla miktarda sıcak su elde etmek için boru boylarının çok uzun tutulması uygun değildir (ortalama 80-125 cm). Zira ısı borusunun boyunun çok uzun olması halinde, evaporatör bölgesinden kondenser bölgesine olan mesafe artacağından bazı hallerde kondenser bölgesine buhar gitmeden yoğunlaşma başlayabilir, bu şekilde istenilen verim elde edilemez (Demir, 1992).



Şekil 1.4. Isı borulu güneş kollektörü



Şekil 1.5. Tek parça ısı borulu güneş enerjisi toplayıcısı

Bir çok ısı borusunu emici plaka üzerine yerleştirmekten gaye, yaygın olarak gelen güneş enerjisinden daha fazla istifade ederek (daha fazla güneş radyasyonu alınarak) çok miktarda sıcak su elde etmektir.

1.4.2. Isı Borusunda Bulunması Gereken Özellikler

İyi bir ısı borusu aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır.

- En az et kalınlığında maksimum basınca dayanıklı olmalı,
- Isı iletim özelliği fazla olmalı, çabuk ısınabilmeli,
- Akışkana (ve fitile) uyumlu olmalı,
- İyi vakumlanmış olmalı,
- Sıcaklık değişimlerinden etkilenmemeli,
- İçerisindeki sıvıyla kimyasal reaksiyona girmemeli,
- Boru boyunca sıcaklık homojen kalmalı,
- Çalışma ve reaksiyon zamanı kısa olmalı,
- Mümkün olduğunca estetik ve yekpare olmalı,
- Boru iç yüzeyi (fitilli olmayan tiplerde) mümkün olduğunca kanallı ve pürüzsüz olmalı,

- Yoğuşan akışkanları yerçekimi etkisi ile evaporatör bölgesine taşımaya elverişli olmalı,
- Aynı çaptaki bakır boru çubuğun boyu doğrultusunda nakledebildiği ısıнын bin mislini aynı yönde nakledebilmelidir.

Tablo 1.1. Isı borusu malzemeleri ile çalışma akışkanlarının uyumluluk verileri

Isı Borusunun Malzemesi	Çalışma Akışkanları			
	Su	Aseton	Amonyak	Metanol
Bakır	ÖG	ÖG	UD	ÖG
Alüminyum	GÜB	ÖL	ÖG	UD
Paslanmaz Çelik	GÜY	UO	ÖG	GÜY
Nikel	UO	UO	ÖG	ÖL

ÖG : Geçmiş uygulamalara göre önerilebilir.
 GÜB : Bütün sıcaklıklarda gaz üretimi
 GÜY : Yüksek sıcaklıklarda gaz üretimi (Oksitlenme mevcutsa)
 UD : Uygun değil
 UO : Uygun olabilir
 ÖL : Literatüre göre önerilebilir.

1.4.3. Isı Borusu Malzemeleri ve Uyumlulukları

Isı borusu malzemesi olarak bakır, alüminyum, paslanmaz çelik, nikel, yumuşak demir gibi malzemeler kullanılabilmektedir. Ancak bu malzemeler kullanılırken gerek çalışma akışkanı ile uyumluluğu gerekse bulunabilirlikleri ve imalat zorlukları göz önünde tutulmalıdır. Tablo 1.1' de bazı akışkanlarla boru malzemelerinin uyumlulukları verilmiştir.

Paslanmaz çelik su tipi ısı borularında 150 °C ve daha yüksek sıcaklıklarda hidrojen gazı üretilmesi sorunuyla karşılaşıldığı bilinmektedir (Akyurt ve diğ., 1981). Bakır ve amonyak özellikle sistemde hava kalması halinde uygun bir çalışma çifti oluşturmaz ve sistemde sabunlaşma gözlenir.

1.4.4. Fitol ve Bulunması Gereken Özellikler

Fitol, ısı borusu içerisinde buharlaşma bölgesi ile yoğunlaşma bölgesi arasında, yoğunlaşmış sıvıyı kondenser bölgesinden evaporatör bölgesine taşımaya yarayan elemandır. Bu iki bölge arasında çalışma akışkanının iletilmesini temin edecek kapılar basıncın oluşturulması asıl amaç olarak istenmektedir. Fitol ayrıca çalışma akışkanının tüm buharlaştırıcı yüzeyine dağıtımını sağlayabilmelidir. Fitol malzemesi çok ince dokunmuş değişik malzemelerden (örneğin bakır, pirinç, nikel, alüminyum, paslanmaz çelik) olabileceği gibi değişik standartlarda elekler, lifli malzemeler, sinter döküm malzemeler, ince akış kanalları bu amaçla kullanılan fitil yapılarındandır (Dunn ve Ready, 1982; Chi 1976; Güngör' den 1988).

Isı borusunda kullanılan iyi bir fitilde aşağıdaki özelliklerin bulunması gerekir. Bunlar;

- Akışkan ve duvar malzemesi ile uyumlu olmalı,
- Yüksek sıcaklıklarda yapısı bozulmamalı,
- Sürtünme katsayısı düşük olmalı, kaygan olmalı, pürüzlü olmamalı,
- Sıcaklık değişimlerinde şekil bozukluğu olmamalı,
- Emici ve tutucu özelliği bulunmamalı,
- Sıcaklık değerlerini tutabilmeli,
- İçerisindeki viskoz kuvveti yenebilmeli,
- Sıvıya aksiyel hız verebilmeli,
- Isı borusu ile uygun çap ve ölçüde bulunmalıdır.

1.4.5. Çalışma Akışkanları ve Sahip Olmaları Gereken Özellikler

Çalışma akışkanının görevi, evaporatör bölgesinden aldığı ısıyı kondenser bölgesine çok hızlı bir şekilde iletmektir. Bu işlemi gerçekleştirebilmesi için, belirli özelliklere sahip olmalıdır. Kullanılacak akışkan vakumlanmış ısı borusu içerisine boru hacminin yaklaşık 1/3 'ü oranında doldurulur ve fitil ıslaklığını sağlayabilmesi için de bir miktar daha ilave edilir (fitilli tiplerde). Isı borusu içerisine doldurulan akışkan miktarı üzerine yapılmış olan araştırmalarda ısıtma veriminin miktarla değiştiği

belirlenmiştir. Isı borusu içinde kullanılabilecek bazı çalışma akışkanları Tablo 1.2’de verilmiştir.

Tablo 1.2. Isı borularında kullanılan bazı akışkanlar ve özellikleri

Çalışma akışkanı	Kaynama Noktası (Atm. Basınçta °C)	Donma Noktası (°C)	Kritik Özellikler		Kullanım Bölgesi (°C)
			Sıcaklık (°C)	Basınç (bar)	
Su	100	0	374.15	221	30-200
Metanol	65	-97.8	240.1	79.77	10-130
Etanol	78.6	-117.3	243.2	63.94	0-130
Amonyak	-33	-78	133.65	116	(-60)-100
Aseton	57	-95	235	47.57	0-120
Freon-11	23.82	-111	198	44.06	(-40)-20
Freon-12	-29.79	-158	112.1	41.13	(-40)-100
Freon-21	8.92	-135	178.5	51.68	(-40)-120
Freon-22	-41		98.29	43.32	
Freon-113	47.57	-35	214.1	34.37	(-10)-100
Freon-114	3.77	-94	145.7	32.59	(-40)-120
Freon-134a	-26.5	-101	101.1	40.64	
Freon-502	-45.4		86.26	40.72	
Pentan	28	-130	193.85	29.3	(-20)-120
Heptan	98	-90	264.55	26.2	0-150
Flutec PP2	76	-50			10-160
Flutec PP9	160	-70			0-225
Helyum	-269	-272			(-271)-(-269)
Nitrojen	-196	-210			(-203)-(-160)
Thermeks	257	12			150-395
Merkür	361	-39			450-900

Sıcak su elde etme sistemlerinde kullanılacak çalışma akışkanlarının bazı özelliklere sahip olması gerekir. Bunlar ;

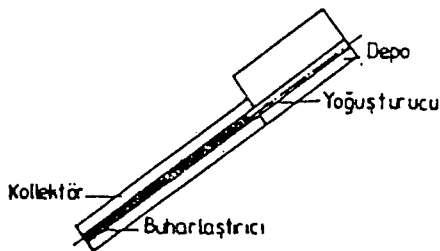
- Çalışma akışkanının kritik özellikleri, çalışma bölgesinin dışında olmamalıdır.
- Atmosferik basınçta kaynama noktası 100 °C den daha az olmalıdır.
- Çalışma akışkanının gizli ısı (buharlaşma ısısı) kapasitesi yüksek olmalıdır.
- Çalışma akışkanı, ısı borusuyla (varsa fitil malzemesiyle) uyum göstermelidir.
- Çalışma akışkanı yüksek ısıl iletkenliğe sahip olmalıdır.
- Çalışma akışkanı fitil malzemesini ıslatabilmelidir.
- Çalışma akışkanının, çalışma sıcaklıkları bölgesinde çok yüksek buhar basınçları olmalıdır.
- Çalışma akışkanı, bu sıcaklık bölgesinde ısıl kararlı olmalıdır.

- Çalışma akışkanının sıvı ve buhar durumundaki kinematik viskoziteleri düşük olmalıdır.
- Çalışma akışkanının yüksek yüzey gerilimi bulunmamalıdır.
- Çalışma akışkanının donma noktası uygun olmalıdır.
- Kolay temin edilebilmeli ve ucuz olmalıdır.
- Yanma ve patlama tehlikesi olmamalıdır.
- Zehirli olmamalıdır.

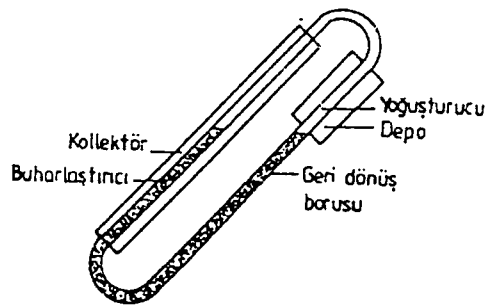
1.5. Do- Loop Sistemi (Dönüş Borulu Sistem)

İki fazlı güneş kolektörlerinde, su ısıtma prensipleri genel olarak iki kısımda toplanabilir. Birinci tip şimdiye kadar bahsettiğimiz tam “Heat-Pipe” sistemidir. Bu sistemde (Şekil 1.6) ısı borusunun alt kısmı bir kolektör olup, burada güneş enerjisi ile ısı taşıyıcı akışkan buharlaşmakta ve borunun depo içinde kalan kısmında bu akışkan yoğunlaşarak gizli ısını ısıtılacak suya vermektedir. Yoğuşan sıvı aynı ısı borusu içinden tekrar borunun alt kısmına yerçekimi etkisiyle geri dönmektedir.

İkinci tip ise Şekil 1.7’de gösterilen sistemdir. Bu sistemde ısı taşıyıcı akışkan önce kolektörde buharlaşmakta, buharlaşan akışkan depodaki boruda yoğunlaşarak gizli ısını depodaki suya aktardıktan sonra, bir boru ile alttan kolektördeki boruya geri dönmektedir. Böylece ısı taşıyıcı akışkan sistemde bir dönüş do-loop yapmaktadır (Yılmaz ve Büyükalaca, 1987).

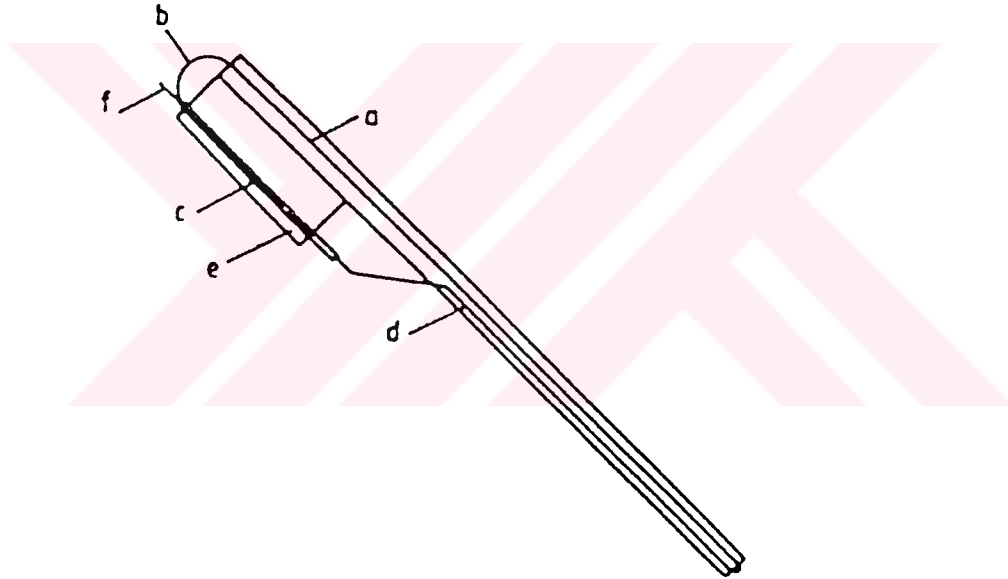


Şekil 1.6. Tam “Heat-Pipe” sistemi



Şekil 1.7. “Do-Loop” sistemi

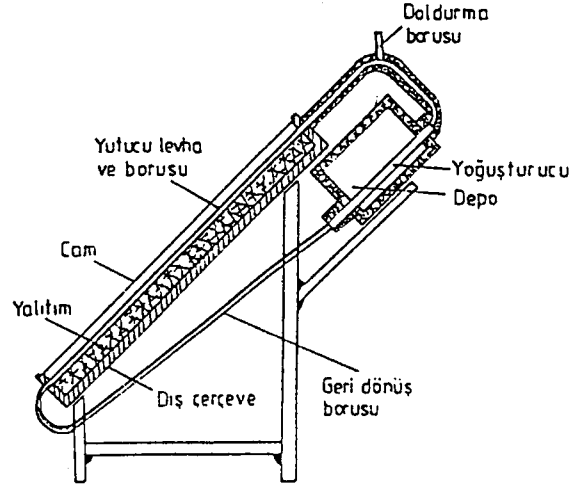
Şekil 1.8'deki sistem hem görünüm, hem verim hem de imalat yönünden uygun olabilecek bir sistem olarak tasarlanmıştır. Burada buharlaşma borusu a'dan çıkan buhar b borusu ile e' deki c eşanjör borusuna girmekte, bu kısımda yoğunlaştıktan sonra d borusu ile kollektör altına dönmektedir. Depo doğrudan kollektör altına yerleştirildiğinden karşıdan bakıldığında sadece kollektör görülmektedir. a, b, ve d boruları aynıdır. Burada depo uzunluğu kollektör uzunluğunun $1/3$ 'ü olarak alınmıştır. R11 kullanılarak yapılan deneylerde, açık termosifonlu sistemler ile eş düzeyde



Şekil 1.8. Eşanjörü depo içinde ve tek bir borudan oluşan R11' li sistem

sonuçlar elde edilmiştir (Yılmaz ve Büyükalaca, 1987). Yılmaz ve Büyükalaca tarafından açıklandığı gibi bu çeşit kollektörün şimdiye kadar yapılan çalışmalarda en yüksek verimle çalıştığı gözlemlenmiştir.

Bu sistemin benzeri bir çalışmayı Yılmaz ve Büyükalaca tek borulu bir devrede R11 ile denemiştir (Şekil 1.9).



Şekil 1.9. Tek borulu R11' li sistem

1.6. Yutucu Yüzeyler (Emici Plakalar)

Güneş ışımasını yutan ve ısıyı borularda dolaşan akışkana aktaran yutucu yüzey (levha), güneş kolektörlerinin esas parçalarından birisidir. Işınımı yutarak ısınan yüzeyin, ısıyı temas halindeki akışkana iyi bir şekilde iletmesi için ısı iletim katsayısının yüksek olması, ısı geçişinin çabuk olması için de ince olması istendiğinden yutucu yüzey olarak metal levhalar kullanılmaktadır. Ayrıca imalat kolaylığı, elde edilebilme imkanları, kolay işlenebilirliği, korozyona direnci ve fiyatı yutucu yüzeyin seçimine tesir eden faktörlerdir.

Bakır, alüminyum, çelik ve paslanmaz çelik gibi metaller en çok kullanılan yutucu yüzey malzemeleridir. Isı iletim katsayısı yüksek olan bakır ve alüminyum genellikle tercih edilir. Yutucu yüzeylerin ömürleri iç ve dış korozyon ile sınırlıdır. Çelik korozyona müsait, alüminyum ise az korozyona müsaittir. Bakır ise daha avantajlı olmaktadır. Boru ile emici plaka aynı malzemedan yapılmalıdır.

Akışkanın dolaştığı borular arasındaki mesafe, kullanılan malzemenin özelliklerine bağlı olarak yeterli ısı geçişini sağlayacak şekilde tespit edilir. Levha ile boruların birbirleriyle iyi birleşmesi ısı geçişin o oranda iyi olması demektir. Ayrıca yutucu yüzey kaplamaları burada büyük önem taşımaktadır.

1.6.1. Yutucu Yüzey Kaplamaları

Güneş kollektörlerinde kullanılan yutucu yüzey malzemelerinin ışıınımı yutma oranı düşük olduğundan, üst yüzey genellikle güneş ışıınımı yutuculuğu büyük olan bir malzeme ile kaplanır. Bunlar seçici (sellektif) kaplama ve siyah boyalı (seçici olmayan) kaplamalardır.

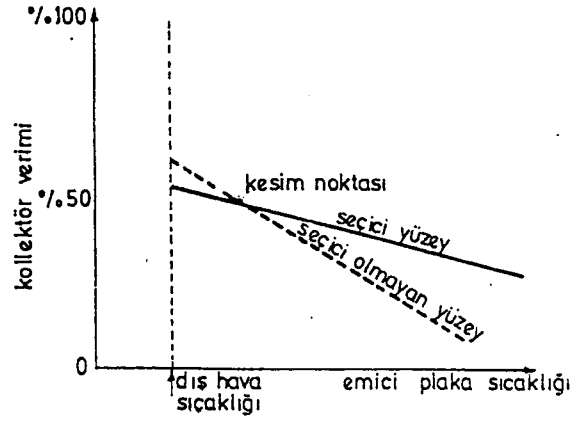
1.6.1.1. Seçici Yüzey

İdeal siyah yüzey ışıınım için gerçek yutucudur. Bütün dalga boylarında her açı altında gelen ışıınımın tamamını yutar. Ancak, gerçek maddeler (yüzeyler) ışıınımın bir kısmını geliş açısına bağlı olarak yansıtır , tamamını yutmazlar.

Seçici yüzeyler, emici plakanın elektroliz ya da vakum yöntemiyle kaplanmasıyla elde edilir; seçici olmayan kaplamalara göre daha pahalı ve ömürleri daha kısadır. Oksitlenme ve yüzeyin yapısındaki değişmeler sebebiyle optik özelliklerinde zamanla bozulmalar gözlenmiştir. Seçici yüzeyler, sıcaklık yükselmesinde daha az radyasyon yayarlar. Bu, kollektör verimliliğini yükseltir. Pratik bir seçici yüzey; parlak metal zemini, çok ince siyah metalik oksit tabakası ile kaplamakla elde edilir. En iyi seçici yüzey % 95 emiciliği ve % 10 ısı neşrediciliği olan yüzeydir. Çelik ve bakır üzerine yapılan krom kaplama ile elde edilen seçici yüzeylerin sıcaklığa ve neme karşı dirençleri iyi olduğundan mevcut seçici yüzeylerin en iyisi olarak gösterilmiştir (Uyarel ve Öz, 1987).

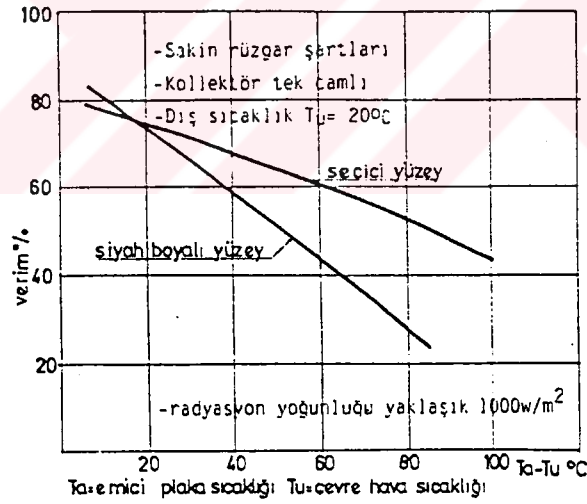
1.6.1.2. Siyah Boyalı Yüzeyler

Siyah boyalı yüzeylerin güneş ışıınımını yutma oranları yüksek olduğu gibi neşretme oranları da yüksektir (yutma oranları 0.90-0.98 ve neşretme oranları 0.85-0.92 mertebelerindedir). Konutlarda sıcak su temini için seçici olmayan kaplamalar (siyah boyalı) daha uygun görülmektedir. Fakat yüksek çalışma sıcaklıklarında seçici yüzeylerin toplam verimleri daha iyidir.



Şekil 1.10. Seçici yüzeyin kolektör verimine etkisi (Uyarel,1987)

Şekil 1.10 'da yüksek sıcaklıklarda seçici yüzeyin daha yüksek kolektör verimine etkisi gösterilmiştir. Şekil 1.11 'de seçici yüzey verim ilişkisi ayrıca gösterilmiştir.



Şekil 1.11. Seçici yüzey verim ilişkisi (Uyarel,1987)

Siyah boyalı kaplamaların ömürleri seçici yüzeylere göre daha fazladır. 200 °C yutucu yüzey sıcaklığına kadar dayanıklıdırlar. Uzun süre sıcaklık ve güneş ışınımının tesiriyle optik özelliklerindeki değişme çok düşüktür.

İyi bir yutucu yüzeyden aşağıdaki özellikler beklenir;

1- Üzerine gelen görünür ışınların hemen hemen hepsini absorbe etmeli, bir başka deyişle çok siyah olmalıdır. Güneş ışınlarını emiciliği % 95'in üzerinde olmalıdır.

Emici yüzeyin ışığı yayması düşük olmalıdır.

2- Bazı hallerde çift camlı kollektörlerde çok yüksek sıcaklığa dayanabilmelidir.

3- Oldukça değişik şartlara maruz kalabileceğinden bu şartlar altında uzun ömürlü olmalıdır. Yıllar sonra rengi değişmemeli ya da soyulmamalıdır. Zarar verilmeden temizlenmeye uygun olmalıdır.

4- Kollektöre ilave masraflar gerektirmemelidir.

Koyu renkli diğer boyalar da (yeşil, kahverengi vb.) estetik amaçlarla kullanılabilir. Güneş ışınlarını emiciliği çok az da olsa artırma, güneş kollektörlerinin verimliliğini önemli ölçüde etkileyen bir faktördür.

Genel olarak seçici yüzeyli tek camlı bir kollektörün performansının, çift camlı siyah boyalı kollektörün performansına denk olduğu ifade edilmektedir (Uyarel ve Öz, 1987).

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Genel

Isı borusu üzerine ilk patent 1944'de verildi. Isı borusu uzay araştırmaları ve nükleer endüstride kullanılmaya başlanılan altmışlı yıllara kadar bilinmeyen oranda kaldı. Kısa süre sonra, artık ısı kullanımında, termoiyonik dönüştürücülerde ve elektrik devre elemanlarının soğutulmasında yaygın olarak kullanılmaya başlandı (Akyurt, 1984). Bu süre zarfında yayılan uygulamalarla, fırınlarda, pişiricilerde, plastik ekstrüzyon makinalarında, enjeksiyon kalıp cihazlarının soğutulmasında, döküm makinalarında, elektrik motorlarında, atık ısı geri kazanımı için ısı değiştirgeçlerinde (Güngör, 1987), yolların don tehlikesine karşı korunarak buzlarının eritilmesi işleminde sondaj kuyularında kullanılan elmas uçlarının soğutulmasında, tahıl kurutulmasında, zift eritilmesinde, açık denizlerdeki şamandıra buzlarının eritilmesi vb. yerlerde kullanıldı.

Jeotermal enerjiden yararlanırken sorun olan kireçlenme, yeryüzüne nakil edilme vb. sorunları elimine etmek bakımından, jeotermal enerji kaynaklarından ısı çekme cihazı olarak bile düşünülen (Akyurt, 1983; Güngör' den 1988) ısı borusu, güneş enerjisinin mutfağa sevk edilmesinde, ortam ısıtmada ve güneş enerjisi toplayıcılarında da yaygın uygulama örneklerine sahiptir.

2.2. Yapılan Araştırmalar

Günümüze kadar gerek ülkemizde, gerekse diğer ülkelerde ısı boruları birçok alanda uygulamaya konulmuştur. Bunların bir kısmını şöyle izah edebiliriz.

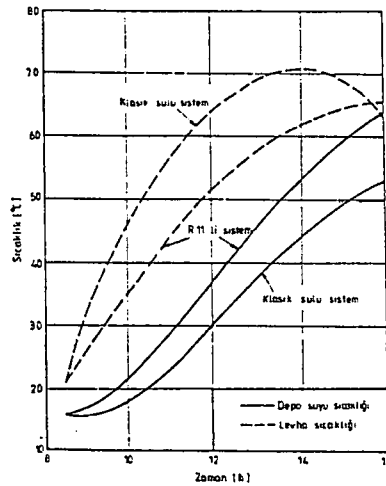
Isı borusun güneş kolektörlerine ilk uygulaması Bienert ve Wolf (1976) tarafından yapıldı. Düzlem kolektörün ısı boruları buharlaştırıcı ve kolektörün tepesine yerleştirilen su manifoldu ise yoğusturucu görevini yapmıştır. Elde edilen sonuçlar kesin ve iyimser değildi. Ramsey (1976) parabolik toplayıcıda, seçici yüzeyli ısı borusunda 300 °C' de % 50 kolektör verimi elde etmiştir (Akyurt, 1984).

İki fazlı güneş kolektörleri üzerine kapsamlı ilk araştırma Soin ve diğerleri (1979) tarafından yapılmıştır. Petrol eteri ve aseton akışkanları kullanılarak elde ettikleri

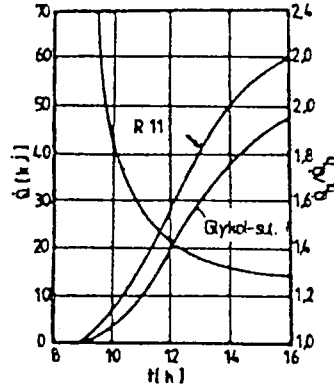
kollektör verimini kollektör içindeki sıvı seviyesine bağlı olarak tespit etmişlerdir ve yaptıkları yayında bu karşılaştırmayı göstermişlerdir.

Dowing ve Waldin (1980) tarafından bildirildiği gibi R11 'li iki fazlı güneş kollektörleri ile eşanjörlü (glikol-su karışımı sistem) güneş kollektörleri deneysel olarak karşılaştırılmış ve R11 kullanılan kollektör veriminin yaklaşık % 35 daha büyük olduğu sonucuna varılmıştır. Soğutucu akışkanlar olarak kullanılan freon gazlarının iki fazlı sistemlerde kullanılıp kullanılmayacağını araştırmış ve bu soğutucuların kullanılabilirliğini ortaya koymuşlardır. İfade etmiş oldukları gibi faz değiştiren sıvıların ısı kapasitesi suyunkinin yaklaşık dörtte biridir. Bu yüzden sıvı, buharlaşma sıcaklığına oldukça çabuk erişir. Sonuçta iki fazlı sistemin su sıcaklığı daha çabuk artmış ve verim daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca R11, R12, R113 ve R114 soğutucularının kıyaslanmasını vermişlerdir.

Bottum (1981), R11 'li ve glikol-su karışımı sistemleri incelemiştir. Şekil 2.1 'de her iki sistemdeki sıcak su ile kollektör levha sıcaklığı gösterilmiş ve Şekil 2.2. 'de ise toplanan enerji ile her iki sistemde toplanan enerjilerin oranı zamanın fonksiyonu olarak çizilmiştir. R11 kullanılan kollektör verimin şekillerden de anlaşıldığı üzere kapalı sisteme nazaran günün erken saatlerinde yaklaşık % 100, geç saatlerde de % 28 daha yüksek olduğu gösterilmiştir. Günün erken saatlerindeki bu yüksek oran (iyilik), R11 'li sistemin, buharlaşma – yoğuşma esasına göre çalıştığından gelen güneş ışınlamını hemen iletebilmesinden kaynaklanmaktadır. Su ısıtmanın yanı sıra ortam ısıtma işleminin de yapılmasını bildirmiştir. Burada pasif ve aktif olarak sistemin çalışmasının ifade etmiştir.



Şekil 2.1. R11 ve glikol su karışımı sistemlerde su ve levha sıcaklığı

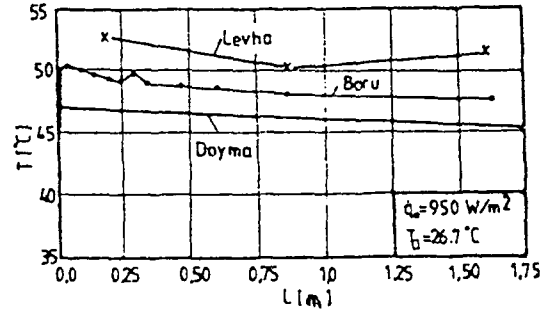


Şekil 2.2. R11 ve glikol-su karışımı sistemde toplanan enerji ve bunların oranı

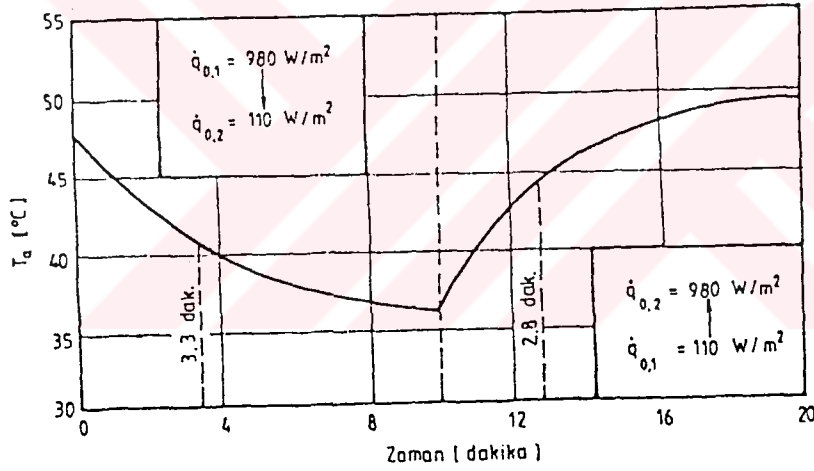
Sert iklimin hakim olduğu bölgelerde, güneş kolektörlerinin geliştirilmesini amaçlayan bir çalışma, Cidde' deki King Abdulaziz (KAAU) Üniversitesinde, bir ekip tarafından ele alınmıştır (Akyurt, 1984). HİTGİ olarak adlandırılan geliştirilmiş su ısıtıcısının tabii dolaşımli açık ve kapalı sistemlerle kıyaslanması yapılmıştır. HİTGİ'nin % 50 daha yüksek bir verimle çalıştığı bildirilmiştir. Ayrıca ticari olarak imal edilmesi halinde, HİTGİ maliyetinin, diğer sistemlerden daha yüksek olması beklenmemektedir (Uyarel, 1984).

İki fazlı güneş kolektörleri üzerine teorik ve deneysel bir çalışma Al-Tamimi ve Clark (1984) tarafından yapılmıştır. Bu araştırmacılar iki fazlı güneş kolektörü verimlerinin kapalı devre sistemlerine göre yaklaşık iki kat daha iyi olduklarını belirlemişlerdir. Deneylerinde akışkan (ısı taşıyıcı) olarak R11 kullanmışlardır. Ayrıca Şekil 2.3.' de gösterildiği gibi kolektörlerde boru ve levha sıcaklığını kolektör boyunca ölçmüşlerdir. Bu şekilde ayrıca doyma sıcaklığı da gösterilmiştir. Doyma sıcaklığı ile levha sıcaklığı farkının ortalama 4 °C ile 6 °C arasında olduğu görülmektedir. Kolektör başı ile sonunda sıcaklık farkları ortaya göre fazladır. Buhar oranın başta çok az veya sıfır, sonda ise aşırı fazla olmasından dolayı ısı transferi katsayısı başta ve sonda orta kısma göre daha küçük ve dolayısıyla sıcaklık farkı da yüksektir. Ayrıca güneş kolektörü sık sık bulutlanma vb. sebeplerle değişken güneş ışığına maruz bırakılmaktadır, bu işlem sonucu çalışma süresini 3,3 dakika ve tekrar ani güneşlenmedeki cevap verme süresini ise 2,8 dakika olarak tespit etmişlerdir. Şekil 2.4.

'de kolektörlerin dinamik cevap verme karakteristikleri ile ilgili araştırma sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Kollektör boyunca levha, boru ve akışkan doyma sıcaklığı.



Şekil 2.4. İki fazlı güneş kolektörlerinde cevap verme zamanı

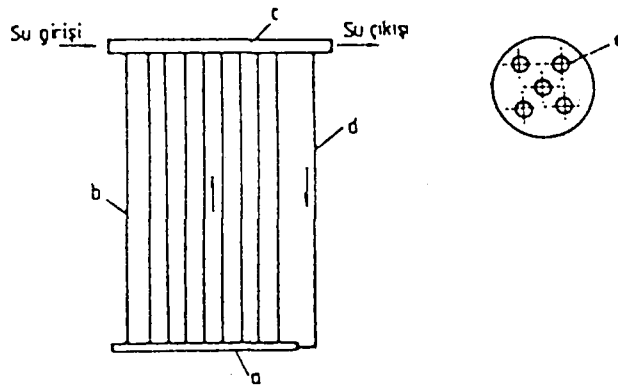
Doğal şartlarda denenen iki fazlı bir güneş kolektörü ile bir güneş simülatörü ve elektrikli bir ısıtma kullanılarak yapılan testlerin bir karşılaştırmasını Fanney ve Terlizzi (1985) yapmıştır. Soğutucu doldurmalı güneşli ev tipi sıcak su sistemleri olarak adlandırılan bu sistemleri dış ortamda ve iç ortamda denemişlerdir. Bu sistemlerde elde edilen verim eğrilerinin kapalı devre kolektörlerdeki verim eğrilerine benzer olduğunu ifade etmişlerdir. İki fazlı güneş kolektörleri için ASHRAE standart 109 test metodunun izahını Spears ve Waldin (1984) ile Youngblood (1984) vermiştir.

İki fazlı güneş kollektörlerinin teorik bir modeli ve R11 kullanılarak yapılan deneysel bir çalışma Büyükalaca (1987) tarafından yapılmıştır. Yapılan modellemede güneş ışıyım şiddeti, ortam sıcaklığı, üstten konveksiyonla toplam ısı transfer katsayısı gibi dış ortam şartları ile toplayıcı boru çapları, borular arası mesafeler, levha malzemesi ısı iletim katsayısı, levha kalınlığı, alttan toplam ısı transfer katsayısı, boru malzemesi ısı iletim katsayısı ve boru cidar kalınlığı gibi parametrelerin verime etkisi incelenerek verimli bir kollektörün nasıl yapılacağı hakkında sonuçlar verilmiştir. Yine yapmış olduğu değişik çalışmalarda farklı depo yüksekliğinin verime katkısını incelemiştir. Sonuç olarak, bu kollektörlerin soğuk bölgelerde başarılı olarak kullanılabileceğini belirtmiştir.

Güngör (1988), model bir ısı borulu güneş enerjili toplayıcıda değişik akışkanlar, değişik fitil malzemeleri, değişik miktarlardaki çalışma akışkanlarını kullanarak deneysel olarak en uygun çalışma koşullarını araştırmıştır.

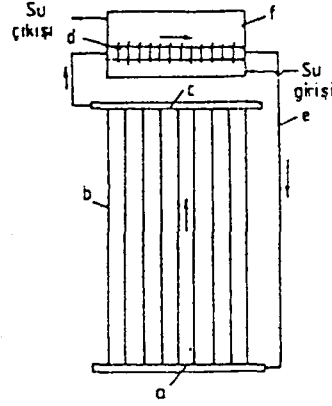
2.3. Çeşitli Dizaynlar

Isı borusu ile yapılmış ve yapılabilecek çalışmalarda çeşitli kollektör dizaynları mümkündür. Gerek kullanılan akışkanlar ve özellikleri, gerekse estetik görünümleri bu kollektörlerin geleceğini parlak kılmaktadır.



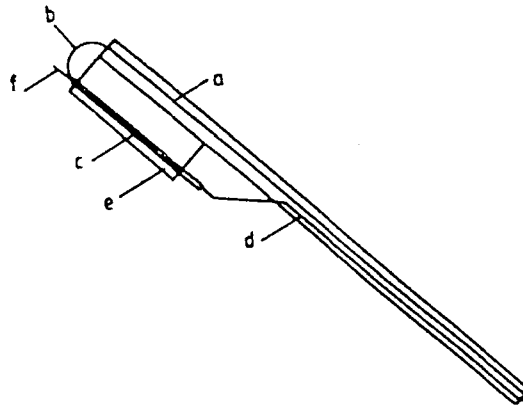
Şekil 2.5. Eşanjörü kollektör üst toplayıcı borusu içerisinde olan R11' li sistem

Şekil 2.5 'de gösterilen sistem R11 kullanılarak denenmiş ve tatmin edici sonuçlar alınmıştır (Yılmaz ve Büyükalaca, 1987). Yukarıdaki şekilde boru çapları; $a=1/2"$, $b=1/4"$, $c=2"$, $d=1/4"$ ve $e=3/8"$ dir.



Şekil 2.6. Eşanjörü depo içinde olan R 11'li sistem

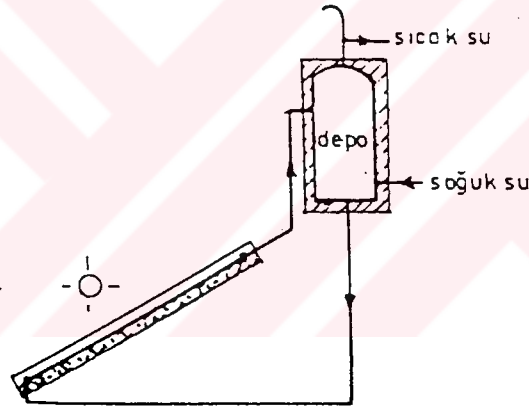
Şekil 2.6 'deki sistemin önceki sistemden farkı üst toplayıcı borusunun (c) sıvı deposu (a) gibi olması ve eşanjörünün (d) ("1" kanatlı) depo içinde bulunmasıdır. Yoğuşan buhar geri dönüş borusu (e) ile alt toplayıcı boruya (a) geri dönmektedir. Yapılan deneylerde eşanjörün depo içerisinde alt kısma yerleştirilmesi sonucunda (alttan 3 cm yükseklikte) en iyi sonuç alınmıştır (R11 'le). Bu şekildeki sistemlerde yapılan deneylerde verimin açık normal termosifonlu sistemlere yaklaştığı görülmüştür.



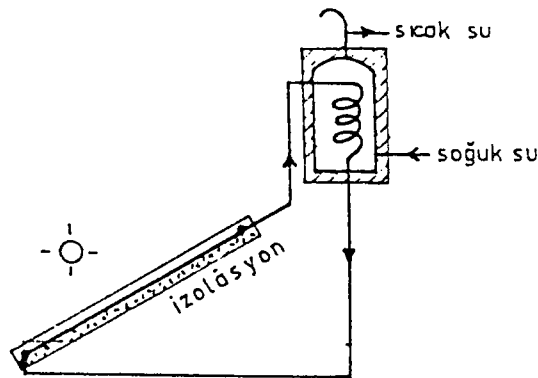
Şekil 2.7. Eşanjörü depo içinde ve tek bir borudan oluşan R11'li sistem.

Şekil 2.7 'de görülen sistem hem görünüm, hem verim hem de imalat yönünden daha uygun olabilecek bir sistem olarak gösterilmiştir. Isı borusunda (a) oluşan buhar, buhar borusu (b) ile depodaki (e) eşanjör (c) borusuna ("1" kanatçiksız) girmekte, burada yoğuştuğundan sonra geri dönüş borusu (d) ile kollektör altına dönmektedir. Depo kollektör altına yerleştirildiğinden, karşıdan bakıldığında sadece kollektör kısmı görülmektedir. a, b, ve d boruları aynıdır. Bu şekilde kaynak yerleri en aza indirilmiştir. Depo uzunluğu kollektör uzunluğunun 1/3 'ü kadar alınmıştır. R11 kullanılarak yapılan deneylerde açık termosifonlu sistemler ile eş düzeyde sonuçlar elde edilmiştir (Yılmaz ve Büyükalaca, 1987).

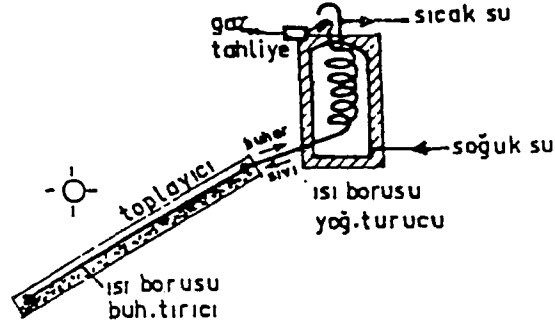
2.4. Yapılmış Olan Bazı Çalışma Şekilleri



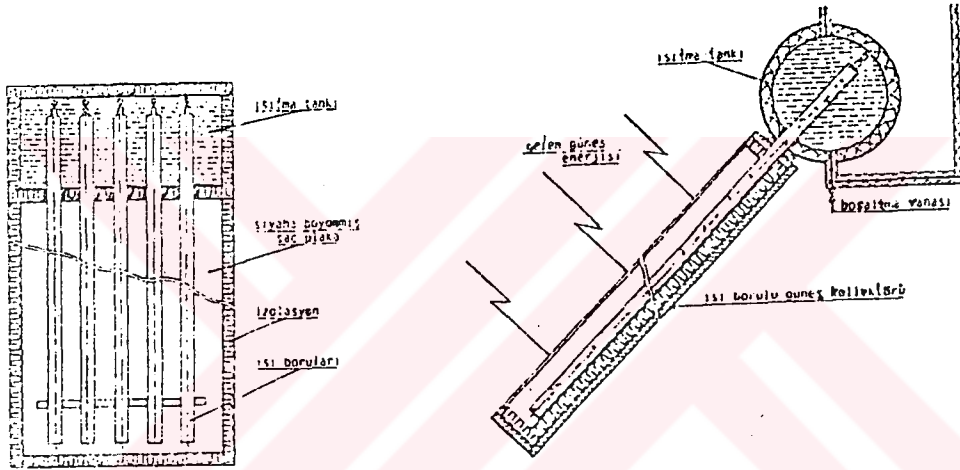
Şekil 2.8. Açık sistem güneşli su ısıtıcıları



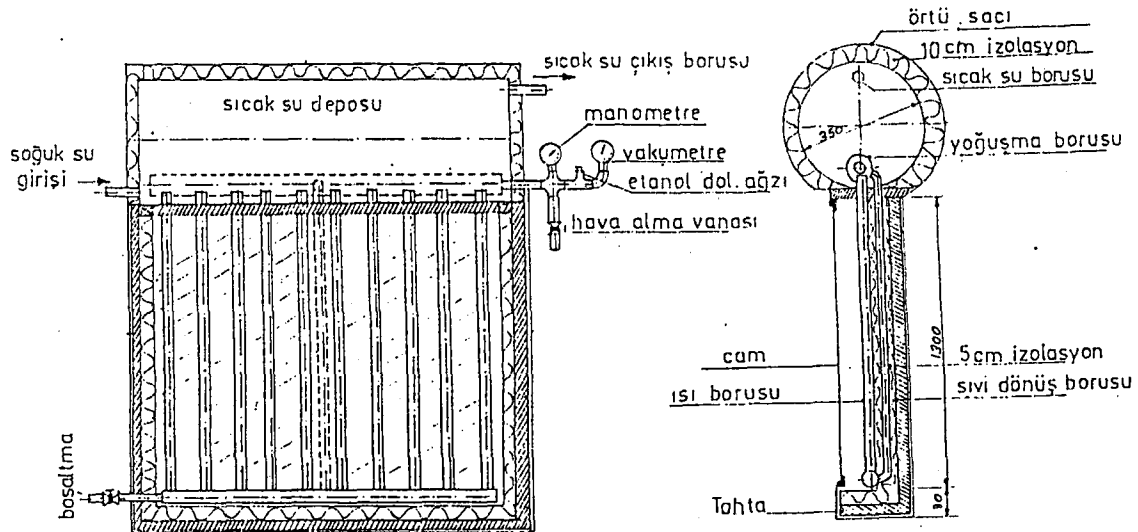
Şekil 2.9. Kapalı sistem güneşli su ısıtıcısı



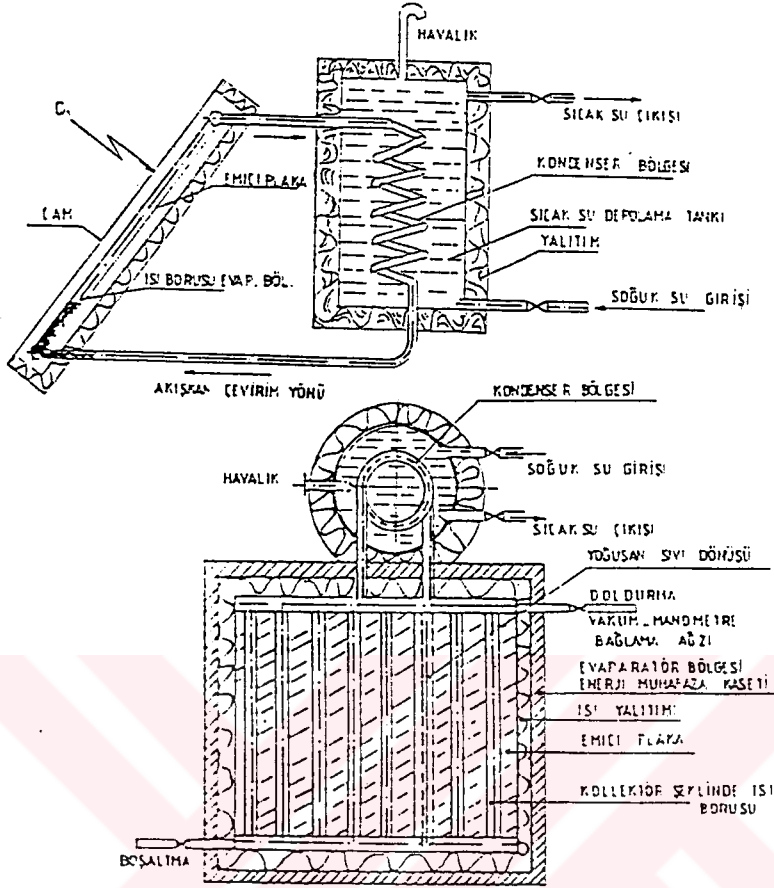
Şekil 2.10. HITGİ güneşli su ısıtıcısı



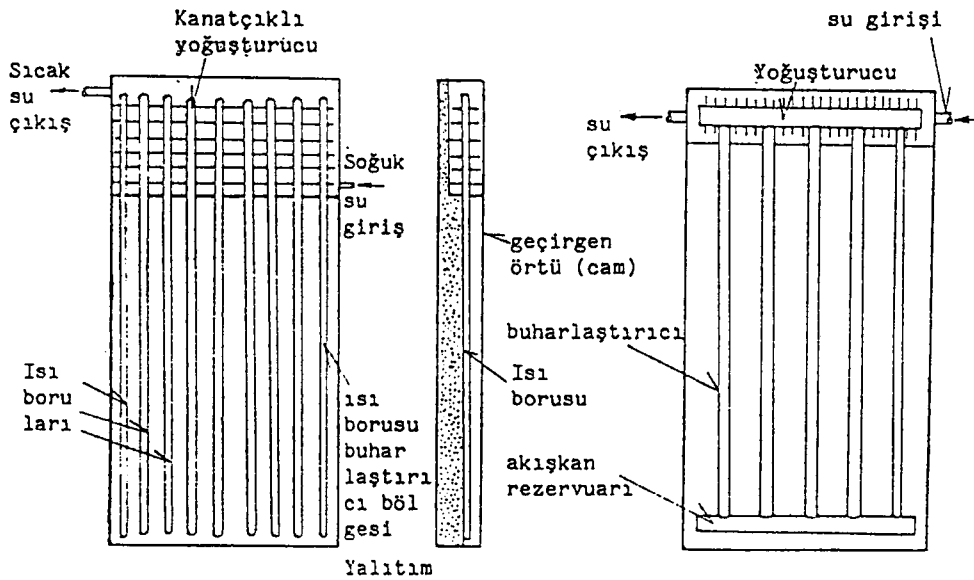
Şekil 2.11. Isı borulu güneş kollektörü ile sıcak su hazırlama sistemi



Şekil 2.12 . Yatay kondenserli ısı borusu

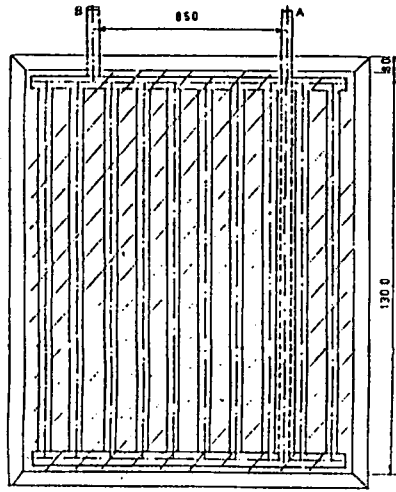


Şekil 2.13. Serpantinli ısı borusu

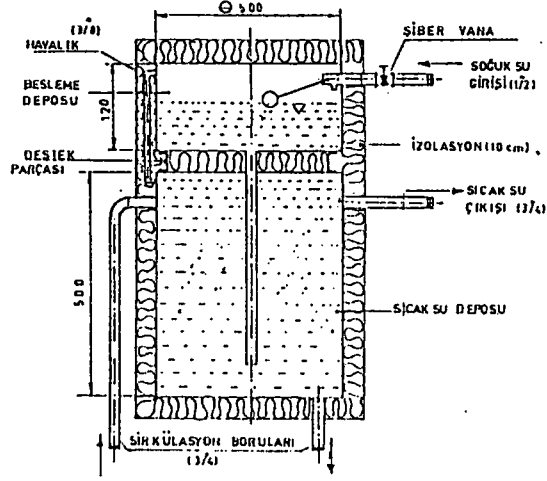


Şekil 2.14a. Çok toplayıcı ısı borulu güneş enerjisi modeli

Şekil 2.14b. Tek parça ısı borulu güneş enerjisi toplayıcısı

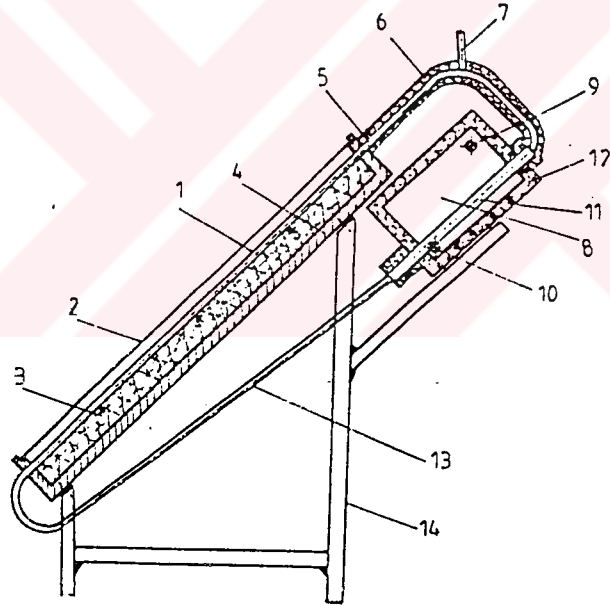


A) TABİİ DOLAŞIMLI SİSTEMİN KOLLEKTÖR DETAYI



B) TABİİ DOLAŞIMLI SİSTEMİN DEPO ŞEMASI

Şekil 2.15. Tabii dolaşimli sistem şema ve kesitleri



- | | |
|--------------------------------------|---|
| 1. Toplayıcı levhası ve borusu | 8. Depo |
| 2. Üst örtü | 9. Su doldurma borusu |
| 3. Cam yünü | 10. Su boşaltma borusu |
| 4. Toplayıcı dış çerçevesi | 11. Eşanjör |
| 5. Toplayıcı eşanjör bağlantı borusu | 12. Cam yünü |
| 6. Cam yünü | 13. Sıvı soğutucu akışkan geri dönüş borusu |
| 7. Soğutucu akışkan doldurma borusu | 14. Gövde |

Şekil 2.16. R11 kullanılan iki fazlı güneş kollektörü modeli

Yukarıda verilen dizaynlar bugüne kadar yapılmış olan bazı çalışmaların basit olarak verilmiş şekilleridir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Deney Setinin Tasarımı

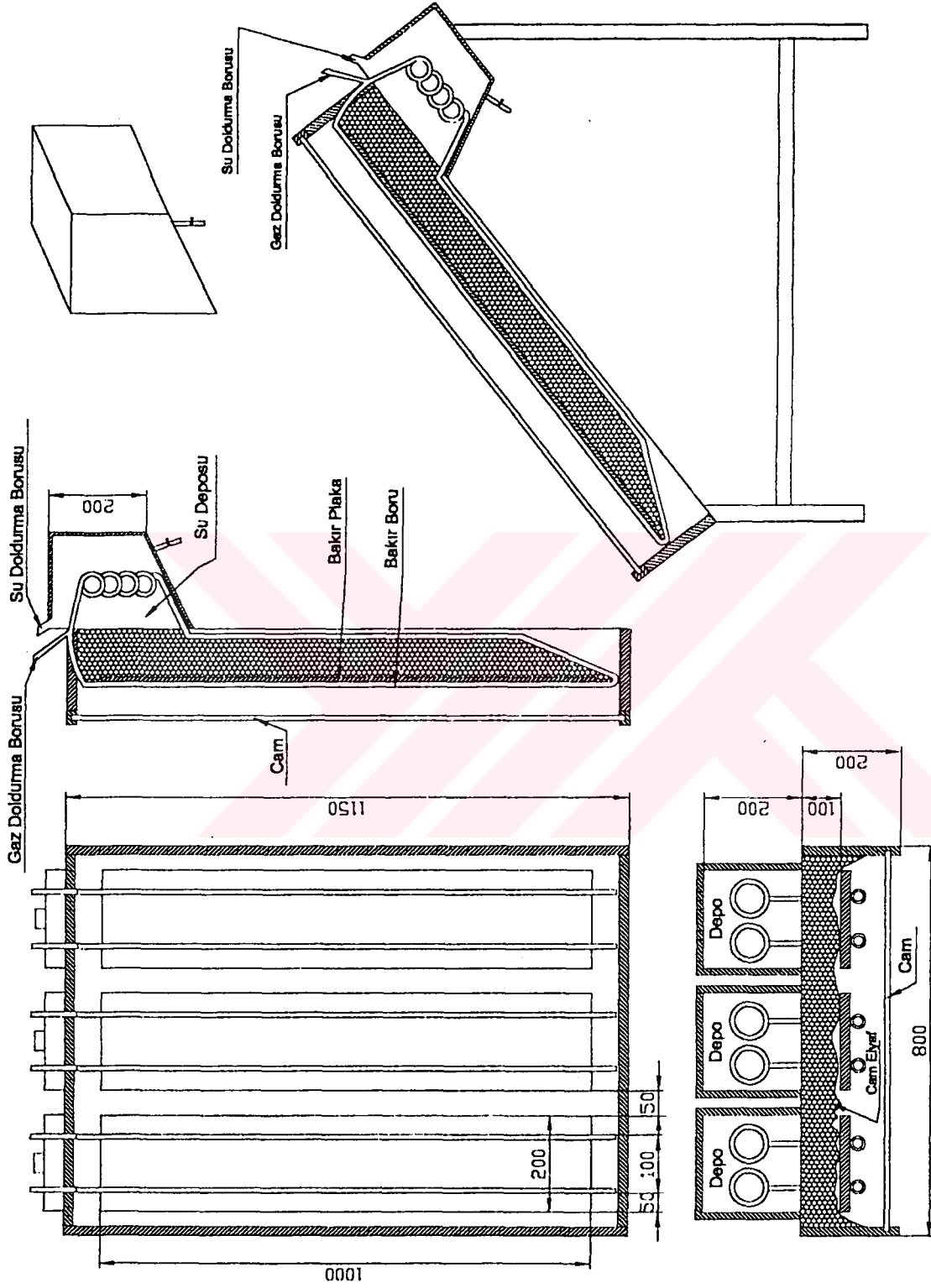
Bu tasarım düşünülürken göz önüne alınan hususların başında ; bölgemizde rahat kullanıma sahip olabilmesi için don olayından etkilenmemesine dikkat edildi. Bu sayede dört mevsim kullanılabilir. Ayrıca boru cidarlarında oluşabilecek kireçlenme, gece ters sirkülasyon olması gibi hususlar ısı borusu sayesinde bertaraf edilerek verimin artırılması düşünülmüştür. Bu gaye ile, tabii dolaşımli sistemlerin dezavantajlarını ortadan kaldırmak, her mevsim çalışabilecek, ucuz imalata sahip ve bölgemizde çalışmasını gözlemleyebileceğimiz ısı borulu kollektör imal edilmeye karar verildi.

Yapmış olduğumuz ısı borusu ve ısı borulu kollektörler üzerine olan literatür taraması sonucunda yer çekimi tesirli ve do-loop (dönüş borulu) sistemleri ile ilgili bilgiler elde edilmiştir. Isı borusu malzemeleri, fitiller, emici plakalar, akışkanlar, bu malzemeler ve sıvıların uyuşmaları ve sistemlerin çalışması üzerine yapılan incelemeler neticesinde, do-loop sistemi ile çalışan sistemi imal etmenin en uygun olacağı kararına varılmıştır. Yine bu literatür taraması sonucunda sistemimiz tasarlanmıştır. Malzemeler temin edildikten sonra deney setinin imalatı üniversite dışında bir atelyede gerçekleştirildi. Yerleştirilen termoelemanlarla (bakır-konstantan) deney esnasındaki çeşitli noktaların sıcaklık değişimleri ölçülerek kaydedilecektir. Ayrıca sistemlerin çalışması esnasındaki basınçlar da ölçülerek kaydedilecektir.

3.2. Deney Setinin İmal Edilmesi

İlk aşama olarak, tabii dolaşımli sistemin dezavantajları sebebi ile hem verimin yüksek olması, hem estetik görünümünün iyi olması, hem de imalat rahatlığı düşünülerek “do-loop” sistemi imal edilmeğe karar verildi.

Sistemimizde değişik soğutucu akışkanlarını aynı çalışma şartları altında (ışınım, dış hava sıcaklığı, ortam, kollektör vs.) aynı anda deneyerek kullanılabilirliklerini araştırmak ve verimlerini tespit ederek en verimli olanı bulmak amaçlanmıştır.



Şekil 3.1. Soğutucu akışkanla çalışan güneş kolektörü

Bu amacı gerçekleştirmek için üç adet deney setini aynı (emici plaka-ısı borusu grupları) kollektör kasası içine yerleştirildi. Şekil 3.1 'de deney seti imalat resimleri görülmektedir. Evaporatör bölgesini oluşturmak için 0.8 mm kalınlığındaki bakır plakayı 200 x 1000 mm ebatlarında üç adet olarak kesildi. Kestiğimiz her plakaya kordon çekme makinası ile toplam 2 adet kordon (oluk) çekildi. Her boru için toplam 10 mm kanat genişliği düşünüldü ve bu şekilde oluşturuldu. Evaporatör bölgesinin fazla uzun olması halinde oluşan buharın yoğunlaşmaya başlaması yapılan literatür taraması sonucunda tespit edildiği için evaporatör uzunluğunu 1000 mm olarak tasarlandı. Her 3 plakaya çekilen kordonlara ¼" çapındaki (6.32 mm) bakır borular her iki kenarları boyunca gümüş kaynağı ile kaynatıldı. Böylelikle bakır plakanın (kanat) enerjisi oluşturulan ısı borusuna daha iyi bir şekilde aktarılmaktadır. Bu plakaları birbirine temas etmeyecek şekilde daha sonra oluşturduğumuz kollektör kasası içerisine yerleştirildi. 800 x 1150 x 200 mm ebatlarında 0.50 mm 'lik galvanizli sacdan kollektör kasasını oluşturuldu ve belirli yerlerden kollektör kasası delinerek evaporatör boru çıkışı ve geri dönüşü sağlandı. Bu şekilde oluşturduğumuz kollektör kasasının alt kısmı ve yan tarafları 50 ~ 100 mm 'lik cam elyafı ile yalıtıldı. Daha sonra önceden imal ettiğimiz evaporatör kısımlarını kollektör kasası içerisine yerleştirildi. Böylece kollektörümüzün görünen kısmı tamamlandı.

Kondenser (yoğusturucu) bölümünü oluşturmak için 3 adet emici plakaya karşılık 3 adet su deposu imal edildi. 0.50 mm 'lik galvanizli sacdan her biri 10 lt hacmindeki su depolarının saclarını kenarları boyunca lehimlendi. Su ısıtma işlemini gerçekleştirebilmek için aynı ısı borusu malzemesinden (bakır) ve aynı çaplı (1/4") olan borulardan kangallar imal edildi. Kondenserin ısı transfer yüzeyi bu şekilde artırılarak kısa sürede yoğunlaşma amaçlanmaktadır ve dolayısıyla kısa sürede en fazla ısı enerjisi elde edilmeye çalışılmaktadır. Toplam 6 adet su ısıtma kangalı her su deposuna 2 adet gelecek şekilde , depoların kollektör altına bakan kapaklarına yerleştirildi. Bu kapaklar daha sonra su deposuna kenarları boyunca lehimlendi. Yamuk şeklindeki su depolarının su doldurma ve su boşaltma muslukları da kenarlarından daha önce delinen yerlere monte edildi. Su depolarından çıkan bakır borularının yukarı (kollektör yukarısına) gelen kısımlarını matkapla delerek gaz dolumu için yaptığımız dolum borularını buralara bağlandı. Gaz dolumu için aldığımız supapları 150 mm boyundaki ve ¼" çapındaki bakır borulara gümüş

kaynağı ile kaynatıldı. Bu dolum borularını depolardan çıkan ve daha önce deldiğimiz kısımların üzerine gelecek şekilde gümüş kaynağı ile kaynatılarak su ısıtma depolarımız da hazırlanmış oldu. Hazırlanan 3 adet su deposunu, her sisteme 1 su deposu gelecek biçimde borularını gümüş kaynağı ile kaynatıldı. Bütün depoları yaklaşık 50 mm 'lik cam yünü ile yalıtıktan (birbirlerinden bağımsız) sonra, önceden 0.50 mm kalınlığında galvanizli sacdan imal ettiğimiz dış koruyucu parçayı depoları örtecek biçimde kollektöre kenarları boyunca vida ile vidalandı.

Kollektör bölgesi üzerine güneş ışınlarının dik olarak gelebilmesi için Elazığ'ın enlem derecesi göz önüne alınarak yaz ve kış şartlarında çalışması dikkate alınarak kollektör yaklaşık 38 derece güneye eğimli olacak biçimde bir sehpa üzerine oturtuldu.

Oluşturduğumuz sistemimizdeki sıcaklık değişimlerini görebilmek için her evaporatör ve kondenser grubuna 5 ayrı noktadan olmak üzere toplam 15 noktadan sıcaklık ölçümü için termoeleman bağlantısı yapıldı. Sıcaklık ölçümü için Cu-Const (bakır-konstant) termoelemanları kullanıldı ve ölçümlerde dijital sıcaklık okuma aygıtından yararlanıldı.

Termoelemanları yerleştirme işleminin ardından kollektör plaka yüzeyleri mat siyah boya ile boyandı. Kollektör üst örtü malzemesi olarak 4 mm kalınlığındaki cam, kollektör kasasına sürgülü olarak takılarak etrafından hava sızmamaları için macunlanmıştır.

Sistemin çalışması esnasında borulardaki basınç değişimlerini görebilmek için yüksek basınç manometrelerinin dış kısmına teflon sarılarak yüksek basınç hortumlarına bağlandı ve gaz dolumundan sonra deney setine takılmaya hazır hale getirildi.

Son olarak ise, her boruya belirli miktarlarda (ağırlık olarak ~50,100,150 gr) ve yapılan literatür taraması neticesinde çok az kullanılan veya hiç kullanılmayan freon gazları sırasıyla Freon 22 , Freon 12 , Freon 134a (daha sonra Freon 134a yerine Freon 502) dolduruldu. Boruları, çalışma esnasında en yüksek verimleri alabilmek için vakum motoru ile vakumladıktan hemen sonra, saydığımız bu gazlar sırayla dolduruldu ve önceden hazırladığımız yüksek basınç manometrelerini yüksek basınç hortumları aracılığıyla boruların gaz doldurma supaplarına gelecek şekilde bağlandı. Böylece deney setimiz deneye hazır hale getirilmiştir. Su depolarına su doldurularak deneylere başlanmıştır.

3.3. Çalışma Prensibi ve Üstünlükleri

Deney setimiz do-loop (dönüş borulu) sistemi ile su ısıtma şeklindedir. Çalışma prensibi ısı borusu ile aynı tarzdadır. Tek kollektör kasası içine yerleştirilmiş 3 adet kollektör biriminin evaporatör bölgelerine gelen güneş ışınları farklı kollektör birimlerindeki farklı çalışma sıvılarını buharlaştırdıktan sonra, buharlaşan çalışma sıvıları kondenserde yoğunlaşarak burada yoğunlaşma gizli ısılarını bırakacaktır. Yoğunlaşan çalışma sıvıları geri dönüş boruları ile tekrar evaporatör bölgesine geri dönecektir. Bütün özellikleri aynı olan 3 adet kollektör biriminin sadece çalışma sıvıları farklı olacaktır. Her üçü de vakumlanmış borulara doldurulan çalışma sıvılarımız, deney seti üzerine güneş ışınları geldiği sürece buharlaşıp yoğunlaşarak (kondenserde) ısı transferi sağlanmış olacaktır.

Kondenser kısmı su deposu içerisine yerleştirilmiş olduğundan bu bölgedeki yoğunlaşma gizli ısısından faydalanılarak depolardaki sular ısıtılmış olur. Kondenserdeki ısı transferinin iyi olması için boru boyları bu kısımda uzun tutulmuştur. Yaptığımız deneyler sonucunda Freon 12 kullandığımız sistemimizde su sıcaklığı 86 °C 'ye kadar yükselmiştir.

“Do-loop” sistemini kullandığımız ısı borulu sistem, diğer sistemlere nazaran fazla bir işçilik gerektirmemektedir. Çok çabuk rejim haline geçebilmekte, düşük sıcaklıklarda bile ısı nakledebilmektedir. İmalatı basit olup, montaj mahalline özel bir konstrüksiyon gerektirmez. Isı borusu malzemesine uygun çalışma sıvısı seçildiğinde, ısı borusunda aşınma ve paslanma söz konusu olmaz. Bu özelliği ile uzun süre emniyetle ve bakım gerektirmeden kullanılabilir. Ayrıca estetik görünümü, veriminin yüksek olması, düşük sıcaklıklarda donmaması gibi nedenler ısı borusunun üstünlükleri arasında sayılabilir.

3.4 Deneylerin Yapılışı

Deneyler 15.9.1998 – 8.10.1998 tarihleri arasında, Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitim Böl. arkasındaki alanda yapıldı. Deney seti burada gölgeleme faktöründen uzak bir yere ve kolektör yatayla 38° açı yapacak biçimde yerleştirildi.

Tablo 3.1. Birinci gün deney sıcaklıkları (°C)
(15.09.1998)

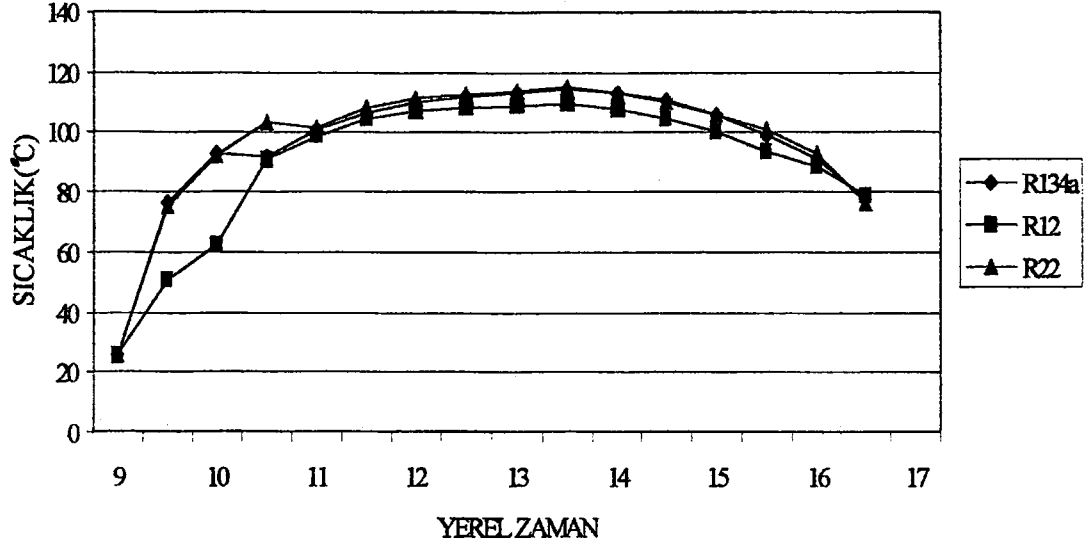
Saat		R134a	R12	R22
9 ⁰⁰	1	25.2	25.2	25.2
	2	25.8	25.8	25.8
	3	25.8	25.8	25.8
9 ³⁰	1	29.2	28.2	25.6
	2	76.4	50.9	75.4
	3	79.7	61.3	87.8
10 ⁰⁰	1	32.6	35.1	27.6
	2	93	62.6	92.3
	3	98.6	75	105.1
10 ³⁰	1	33	41	30
	2	91.6	90.8	103.4
	3	107.5	83	92
11 ⁰⁰	1	35.3	46.5	31.3
	2	101	98.7	101.3
	3	118	91.7	120.9
11 ³⁰	1	36.2	54.8	32.2
	2	106.4	104.6	108.1
	3	123.5	103.3	126.5
12 ⁰⁰	1	38.3	59.2	33.8
	2	109.9	107	111.2
	3	127.1	109.4	129.5
12 ³⁰	1	38.2	63.2	34.8
	2	111.8	108	112.4
	3	126.2	114	129

Saat		R134a	R12	R22
13 ⁰⁰	1	38	67.3	35.8
	2	112.9	108.8	113.5
	3	125.8	119.1	128
13 ³⁰	1	37.7	71.3	36.8
	2	114.5	109.6	114.7
	3	125.5	123.2	127.7
14 ⁰⁰	1	37.3	73.7	37.8
	2	113.2	107.8	113.3
	3	128.3	122	123
14 ³⁰	1	38.6	76.4	39.4
	2	110.6	104.8	110.2
	3	122.4	117.2	115.6
15 ⁰⁰	1	38	75.8	39
	2	105.6	100.4	105.5
	3	116	112.5	103.3
15 ³⁰	1	38.1	76.4	39.6
	2	98.9	93.6	101.1
	3	106.3	104	99.5
16 ⁰⁰	1	38	74.6	38.6
	2	91	88.9	92.7
	3	97.3	95.5	88.9
16 ³⁰	1	38	72.8	38.9
	2	77.5	78.6	76.4
	3	85.2	81.8	72.5

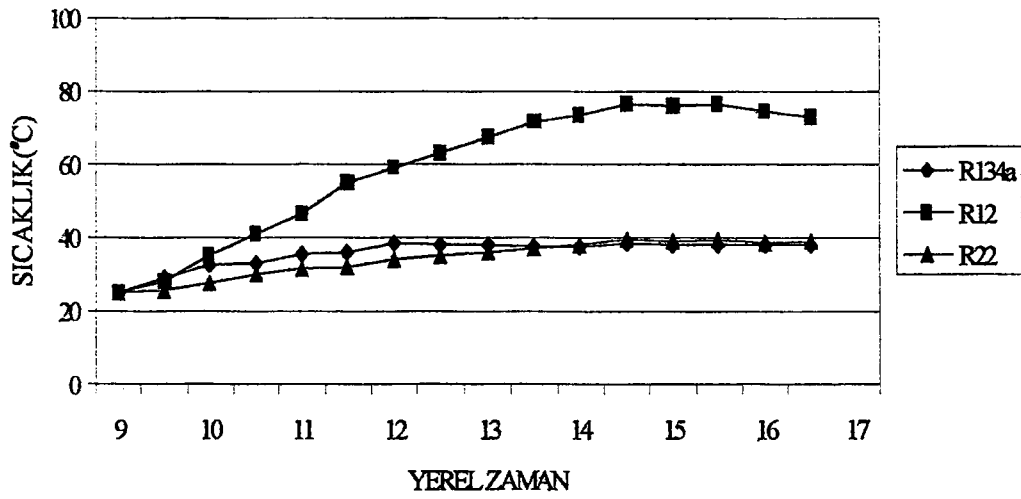
1. Depo su sıcaklığı
2. Levha sıcaklığı
3. Boru sıcaklığı

Evaporatör ve depo su sıcaklıkları, yerleştirilmiş olan termoelemanlar vasıtasıyla ölçüldü ve deneyler sabah saat 8³⁰ 'dan akşam 16³⁰ 'a kadar belirli (eşit) zaman dilimlerinde kaydedildi.

Isı boruları içerisine konulan çalışma sıvıları vakumsuz olarak doldurulduğunda, çalışma esnasında depoların içerisindeki suların sıcaklığı çok az artmıştır . Bu nedenle bütün borular vakum motoru ile vakumlandıktan sonra içlerine çalışma sıvıları ağırlık olarak (~50,100,150 gr) belirli miktarlarda dolduruldu . Sistemlerin çalışması esnasındaki vakum-basıncı görebilmek için vakummetreler bağlandı . Gaz dolumu esnasında sistemlerin çalışmaması için evaporatör bölümü örtülerek kapatıldı . Şekil 3.1 'de deney setinin şekli gösterilmiştir.



Şekil 3.2a. Birinci gün plaka sıcaklıkları



Şekil 3.2b. Birinci gün depo su sıcaklıkları

Deneyin birinci günü için sıcaklık ölçüm cihazından alınan sıcaklık değerleri Tablo 3.1 'de verilmekte olup değerler her 30 dakikada bir kayıt edilmiştir . Yine birinci gün elde edilen deney sonuçlarından Şekil 3.2.a 'da plaka sıcaklıkları , Şekil 3.2.b 'de depo suyu sıcaklıkları gösterilmiştir. Plaka sıcaklıkları gün boyunca birbirine yakın sıcaklıklarda değişmektedir. Fakat Freon 12 dolu olan sistemin plaka sıcaklığı diğerlerinden daha düşüktür .

Buna rağmen depo suyu sıcaklıkları aynı şekilde değişmemektedir . Freon 134a ve Freon 22 dolu olan sistemlerde su sıcaklığı yaklaşık 25.2 °C 'den 40 °C 'ye çıktığı halde Freon 12 dolu olan sistemde ise su sıcaklığı 25.2 °C 'den 76 °C 'ye çıkmıştır . Diğer günlerde de yapılan deneylerde yine Freon 12 dolu olan sistemlerdeki su sıcaklığı en yüksek ölçülmüştür . Sabah saatlerinden itibaren su sıcaklığı yavaş, plaka ve boru sıcaklığı hızlı bir şekilde artmıştır . Su ,boru ve plaka sıcaklığı yükselmiştir . Ancak plaka ve boru sıcaklıkları saat 13⁰⁰ civarında en yüksek sıcaklıklara çıkmakta , bu saatten sonra hem plaka , hem de boru sıcaklıkları düşmeye başlamaktadır . Buna karşın su sıcaklığı bu saatten sonra da yükselmeye devam etmiştir ve en yüksek sıcaklığına saat 15⁰⁰ civarında ulaşmıştır. Bu saatten sonra su sıcaklığı da düşmeye başlamaktadır . Plaka sıcaklıklarının hızlı yükselmesi, suyun sıcaklığının geç yükselme ve geç soğumaya başlaması termal yük ile açıklanabilir. Bu sebeple depodaki su sıcaklığı yavaş .yavaş yükselmekte ve geç soğumaya başlamaktadır. Bu olaylar aşağıdaki açıklamadaki gibi izah edilebilir.

Sistemimiz bir gün boyunca susuz olarak çalıştırılmış ve çıkan sonuçlar şu şekilde yorumlanmıştır. Sabah saatlerinde, kondenser sıcaklığının evaporatör sıcaklığını takipteki gecikmesinin birinci sebebi, çalışma akışkanının ön ısınması ve termal yüküdür. İkinci sebep ise kondenserin termal yükü ile açıklanabilir. Kondenser başlangıçta ısı depolamakta ve sıcaklık belli bir seviyeye geldikten sonra, evaporatör sıcaklığına yakın bir değerde değişmektedir. Öğleden sonra kondenserdeki termal yük sebebiyle sıcaklık düşüşü, evaporatör sıcaklığı düşüşüne göre biraz gecikmektedir.

Deneyler süresince sistemlerimizden su çekmedik. Ancak değişik miktarlarda çalışma akışkanlarını sırasıyla borulara doldurduk. Yaklaşık olarak 50 gr, 100 gr ve 150 gr olarak doldurduğumuz Freon 502, Freon 12 ve Freon 22 gazlarını aynı şartlar altında denendi. Hepsinde de en yüksek su sıcaklığını Freon 12 ile elde edildi, dolayısıyla en yüksek verimi de bu gaz ile sağladık. Bu deneyler esnasında borulardaki basınç

değişimlerini de gözlemledik. Sistemimizde en iyi ve uyumlu çalışma Freon 12 ile elde edildi. Freon 502 doldurulan çalışma akışkanının basıncı çok çabuk yükselmekte ve deneylerin sonuna doğru kısımda yaklaşık olarak 150 gr olan bu çalışma sıvısı basıncının çok çabuk ve aşırı şekilde yükseldiği görüldü. Çalışma esnasında bir miktar çalışma sıvısı boşaltmamıza rağmen ısı borularının birisinin basıncı 35 Bar 'ı geçerek patlamıştır. Freon 22 doldurulan (~ 150 gr) sistemde basınç yüksek olmasına rağmen (~ 28 Bar) su sıcaklığı Freon 12 dolu olan sistemin sıcaklığına ulaşamamıştır. Freon 12 olan sistemin basıncı en fazla ~ 27.9 Bar 'a çıkmıştır ve su sıcaklığı en fazla 71 °C olarak ölçülmüştür. Tablo 3.2 'de (~ 150 gr) depo su sıcaklıkları ve sistem basınçları verilmiştir.

Sonuçta Freon 12 dolu olan sistemimizde (~ 100 gr) basınç en fazla 28 Bar 'a ulaştı ve ölçmüş olduğumuz su sıcaklığı ise 86.2 °C 'dir. Dolayısıyla en yüksek sıcaklığı ve verimi bu sistemde görmüş olduk, yine bu sistem ile bir günlük su sıcaklık farkı 56 °C olarak tespit edilmiştir. Diğer sistemler ile bu denli büyük bir fark elde edilememiştir.

Değişik miktarlarda doldurmuş olduğumuz çalışma akışkanları ile değişik sonuçlara ulaşılmıştır. Bu nedenle her sistem için en verimli olacak çalışma akışkanı miktarı ancak yapılacak deneylerle belirlenebilir.

Tablo 3.2. Sistemlerdeki depo su sıcaklıkları ve basınç değişimleri (Akışkanlar yaklaşık 150gr)
6 Ekim 1998

Saat	Depo Su Sıcaklıkları (°C)			Basınçlar (Bar)		
	R502	R12	R22	R502	R12	R22
8 ³⁰	20.3	23.7	21.8	15	13	11.5
9 ⁰⁰	24.1	29.3	26.3	20	15	13.5
10 ⁰⁰	34.6	40	36.6	25	15	17
11 ⁰⁰	42.5	49.2	46.6	29	21	21.1
12 ⁰⁰	49.5	57.2	54.6	32	22	24.2
13 ⁰⁰	54.4	64.4	60.8	34	27	28.1
14 ⁰⁰	62	69	65	35	27.5	28.3
15 ⁰⁰	65.6	71.3	64.3	-	21.5	26.2
16 ⁰⁰	61.1	66.6	60.8	-	19	21
Sıc. Farkı	45.3	47.6	43.2	-		

Yukarıdaki tablodan da anlaşılabileceği gibi depodan su çekilmeyen ilk günde (sabah 8³⁰ ile akşam 16³⁰ arasında) suyun sıcaklığında en yüksek farka ulaşılmıştır. Diğer günler bu fark düşmektedir. Ancak depolardan su çekilmediği halde ısıtım miktarındaki değişimler (düşmeler) sebebiyle diğer günlerdeki sıcaklık farkı fazla olmamaktadır. Bunun yanı sıra su sıcaklığı diğer günler daha yüksek çıkmaktadır (2.10.98 ile 5.10.98 arası). Görüldüğü gibi en yüksek 56 °C 'lik sıcaklık farkı Freon 12 kullanılan sistemde elde edilmiştir. Deneyin seyrinde de Freon 12 kullanılan sistem en yüksek sıcaklık farklarını vermektedir.

Tablo 3.3. Freon 12 'li sistemdeki 3 günlük depo su sıcaklıkları ve basınç değişimleri (Akışkan yaklaşık 100gr)

Saat	Depo Su Sıcaklığı (°C)			Basınç Değişimi (Bar)		
	2.10.98 1. Gün	3.10.98 2. Gün	4.10.98 3. Gün	2.10.98 1. Gün	3.10.98 2. Gün	4.10.98 3. Gün
8 ⁰⁰ -9 ⁰⁰	23.6	40.5		7	11	7
9 ⁰⁰ -10 ⁰⁰	35.8	48.7	39.9	10.5	14	9
10 ⁰⁰ -11 ⁰⁰	49.8	59.8	49	15.2	17.4	14
11 ⁰⁰ -12 ⁰⁰	62.2	72	62	19.1	22	18.2
12 ⁰⁰ -13 ⁰⁰	72.7	79.6	72.6	22	25.4	22
13 ⁰⁰ -14 ⁰⁰	77.4	83.1	78.2	25	28	25
14 ⁰⁰ -15 ⁰⁰	79.6	85	82.4	24.8	28.2	26.2
15 ⁰⁰ -16 ⁰⁰	76.4	85.5	84	21.9	27	24.8
16 ⁰⁰ -17 ⁰⁰	74	82.5	80.6	19.7	24.2	23

Tablo 3.4. Değişik günlerde yapmış olduğumuz deneyler sonucunda depo su sıcaklıkları (°C)

Tarih	R134a			R12			R22		
	En düş.	En yük.	Fark	En düş.	En yük.	Fark	En düş.	En yük.	Fark
15.9.98	25.2	38.2	13	25.2	76.4	51.2	25.2	39.6	14.4
22.9.98	25.8	38.4	12.6	26.3	76	49.7	25.8	35.8	10
28.9.98	23.5	36.5	12.6	27.1	73.6	46.5	23.9	35.5	11.6
Gaz 100gr.		R502			R12			R22	
2.10.98	22.4	31.8	9.4	23.6	79.6	56	24	64.6	40.6
3.10.98	28.2	46.7	18.5	40.5	86.2	45.7	41.3	73.7	32.4
4.10.98	34.4	49.7	15.3	39.9	84	44.1	44.6	75.7	31.1
5.10.98	36.3	50.4	14.1	41.8	85.5	43.7	47.1	75.9	28.8
Gaz 150gr.	20.3	65.6	45.3	23.7	71.3	47.6	21.8	65	43.2

Gaz miktarının artırılması bilhassa Freon 502 ve Freon 22 kullanılan sistemde su sıcaklığının daha yüksek çıkmasına sebep olmuştur. Fakat Freon 502 kullanılan sistemin basıncı hızlı ve aşırı yükselerek (35 Bar 'ı geçerek) boru patlamasına yol açmıştır. Freon 12 kullanılan sistemde ise gaz miktarının artırılmasının olumlu etkisi olduğu halde, bir miktar daha artırıldığında fazla olumlu bir etki görülmemiştir. Bu esnada sistem basıncı en fazla 27.9 Bar 'a kadar yükselmiştir. Burada güneş ışınımının etkisi de unutulmamalıdır. Işınım miktarının artması sistemleri olumlu yönde etkilemiştir. Sistemlerimiz içerisinde en yüksek sıcaklık farkı, dolayısıyla verim Freon 12 doldurulan sistemde elde edilmiş (~ 100 gr) bulunmaktadır. Plaka sıcaklıkları ise genelde Freon 12 kullanılan sistemde daha düşük, diğer sistemlerde ise daha yüksek ölçülmüş bulunmaktadır. Boru sıcaklıkları ölçümünde de Freon 12 kullanılan sistem sıcaklıkları daha düşük çıkmıştır. Freon 502 ve Freon 22 kullanılan sistemlerde boru sıcaklıkları daha yüksek ölçüldü ve bu değer yaklaşık 130 °C 'ye kadar çıktı. Plaka sıcaklıkları boru sıcaklıklarından daha düşük ölçülmekle beraber boru sıcaklıklarına yakın değerlerde takip etmiştir. Boru ve plaka sıcaklıkları arasındaki fark 0 °C olmamakla beraber 20 °C 'ye kadar çıkmıştır.

3.5. Verim Hesabı

Deneyler esnasında elde edilen ısıtım değerleri ve depo su sıcaklıkları kullanılarak her üç soğutucu akışkan için verim hesabı yapıldı. Deney sonuçları sabah saat 8³⁰ ile akşam 16³⁰ saatleri arasında her yarım saatte bir alındı. Alınan değerler ile birim yüzeye (m²) 'ye gelen güneş ısıtım değerleri kullanılarak kollektör yüzeylerine gelen net ısı enerjisi miktarı tespit edilmiştir. Toplam günlük güneş ısıtım değerleri solarmetre ile ölçüldü. Karşılaştırma yapmak için Elazığ Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden de ısıtım değerleri temin edilmiştir. Verim hesabında aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır.

$$\eta = \text{Alınan net ısı enerjisi} / \text{Gelen net ısı enerjisi}$$

$$\eta = \frac{m \cdot C_p \cdot \Delta T}{A_c \cdot I} = \frac{\rho \cdot V \cdot C_p \cdot \Delta T}{A_c \cdot I}$$

η = Verim (%)

m = Depolardaki su miktarı (kg, 10 kg sabit)

I = Günlük 38° eğik yüzeye gelen güneş radyasyonu (W/m²)

ΔT = Sıcaklık farkı (°C)

A_c = Kollektör (evaporatör) yüzeyi (m², 0.2 m² sabit)

C_p = Suyun özgül ısısı (kJ / kg °C)

V = Depodaki su hacmi (m³)

ρ = Yoğunluk (kg/m³)

Yukarıdaki formül ile depo su sıcaklıkları farkının en yüksek olduğu gün (3.10.1998) için verim hesabı yapıldı. Bu gün için Şekil 3.3 'de plaka sıcaklıkları, Şekil 3.4 'te depo su sıcaklıkları ve Şekil 3.5 'da boru sıcaklıklarının zamanla değişimleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca Şekil 3.6 ile su sıcaklık farkının en fazla olduğu gün (2.10.1998) elde edilen depo su sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir.

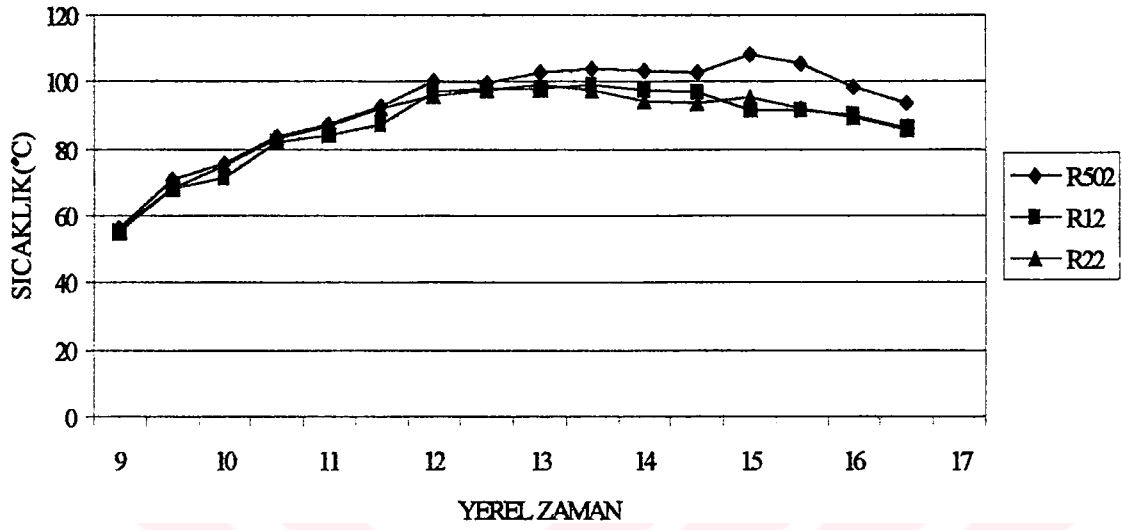
Freon 12 için en yüksek sıcaklık farkı 56 °C $\eta = \% 52$

Freon 502 için en yüksek sıcaklık farkı 45.3 °C $\eta = \% 50$

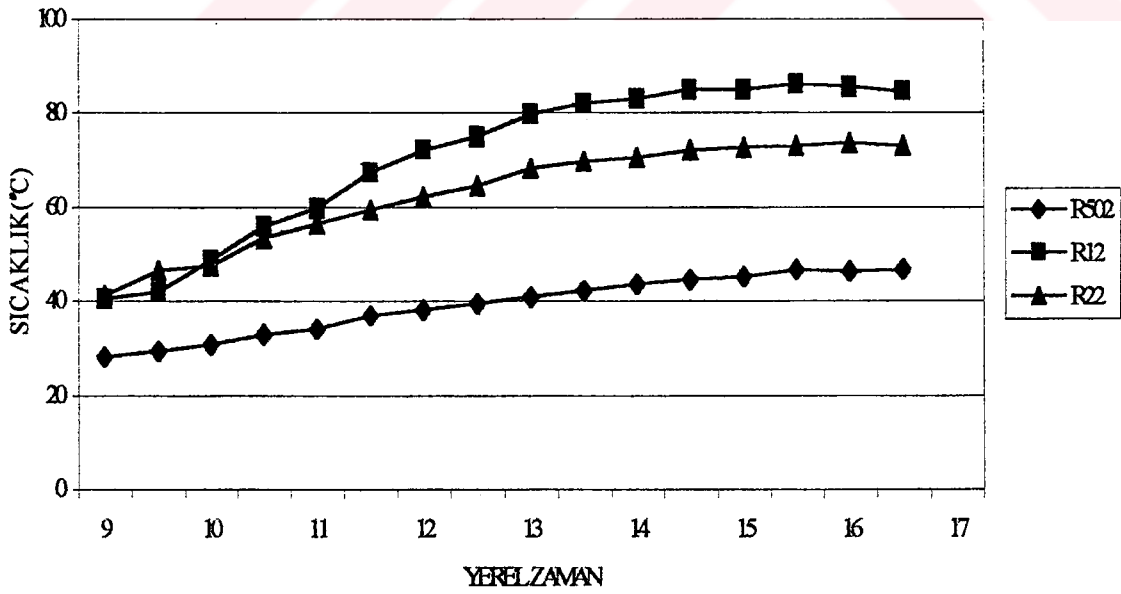
Freon 22 için en yüksek sıcaklık farkı 43.2 °C $\eta = \% 47$

En yüksek değerlerin elde edildiği günler için değerler şekillerle (Şekiller 3.3, 3.4, 3.5 ve 3.6) gösterilmiştir. Ayrıca elde edilen verilerle verilmiş olan verim formülü kullanılarak sistemlerin bu günler için verimleri burada tespit edilmiştir.

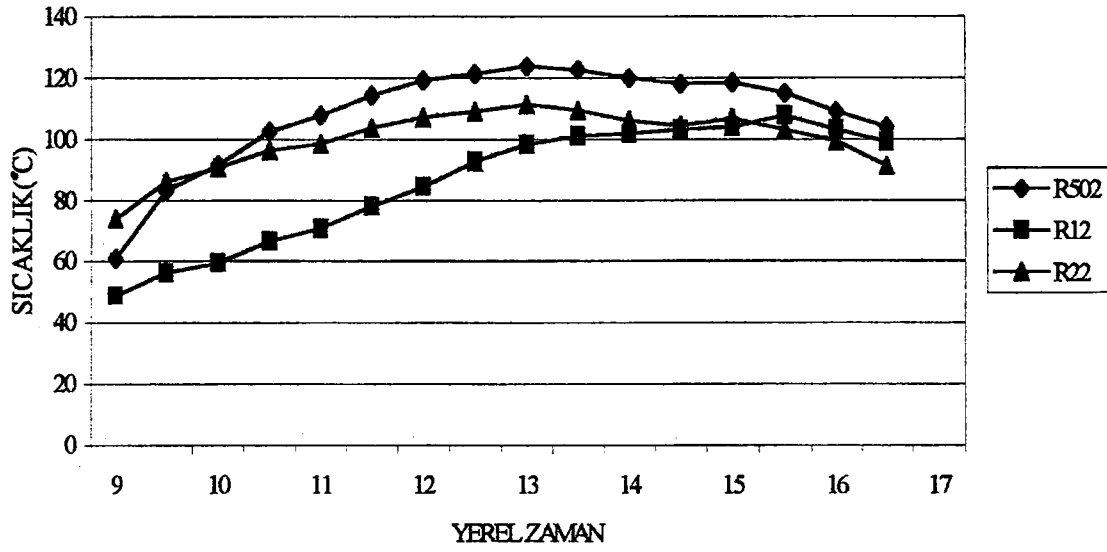
Teorik çalışmada ise yazılmış olan bilgisayar programı ile verim belirlenebilir. Verimi etkileyen faktörleri şöyle sıralayabiliriz. Bunlar; güneş ışınım şiddeti, ortam sıcaklığı, üstten konveksiyonla toplam ısı transferi katsayısı, boru çapı, borular arası mesafe, boru malzemesi ısı iletim katsayısı, boru cidar kalınlığı, levha ısı iletim katsayısı, levha kalınlığı ve alttan toplam ısı transferi katsayısı gibi değerlerdir. Bu değerler programa yüklenerek değişik akışkan sıcaklıklarında değişik verim değerlerini elde etmek mümkün olmaktadır.



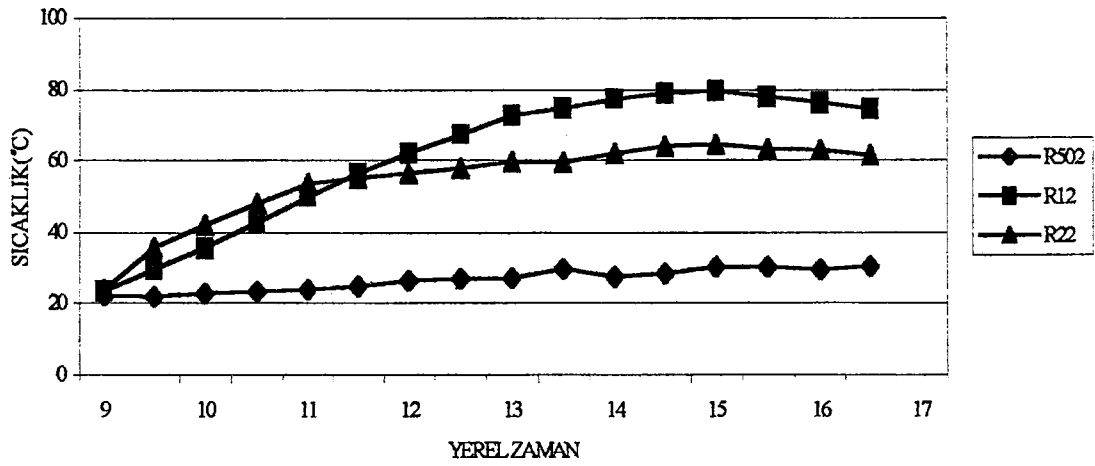
Şekil 3.3. Plaka sıcaklıklarının değişimi (3.10.1998)



Şekil 3.4. Depo su sıcaklıklarının değişimi (3.10.1998)



Şekil 3.5. Boru sıcaklıklarının değişimi (3.10.1998)



Şekil 3.6. En yüksek su sıcaklık farkının elde edildiği gün için sıcaklık değişimi (2.10.1998)

Kollektör verimi; ısı taşıyıcı akışkana geçen yararlı enerjinin, toplayıcı yüzeyine gelen güneş enerjisine oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu tanımlamaya göre kollektör verimi η ; Q_y ısı taşıyıcı akışkana geçen yararlı ısı, Q_o kollektör saydam örtüsüne gelen güneş ışıını, Q üst örtüden geçerek yutucu levha ve borulara gelen ışıını olmak üzere

$$\eta = \text{Alınan net enerji} / \text{Gelen net enerji}$$

$$\eta = Q_y / Q_o$$

şeklinde yazılır. Ayrıca Q ile Q_o arasında şu bağıntı da bulunmaktadır.

$$Q = (a \tau) Q_o$$

Yutucu levha ve borular tarafından yutulan ısı ile kayıp ısı arasındaki fark ısı taşıyıcı akışkana geçen ısı olarak alınmaktadır.

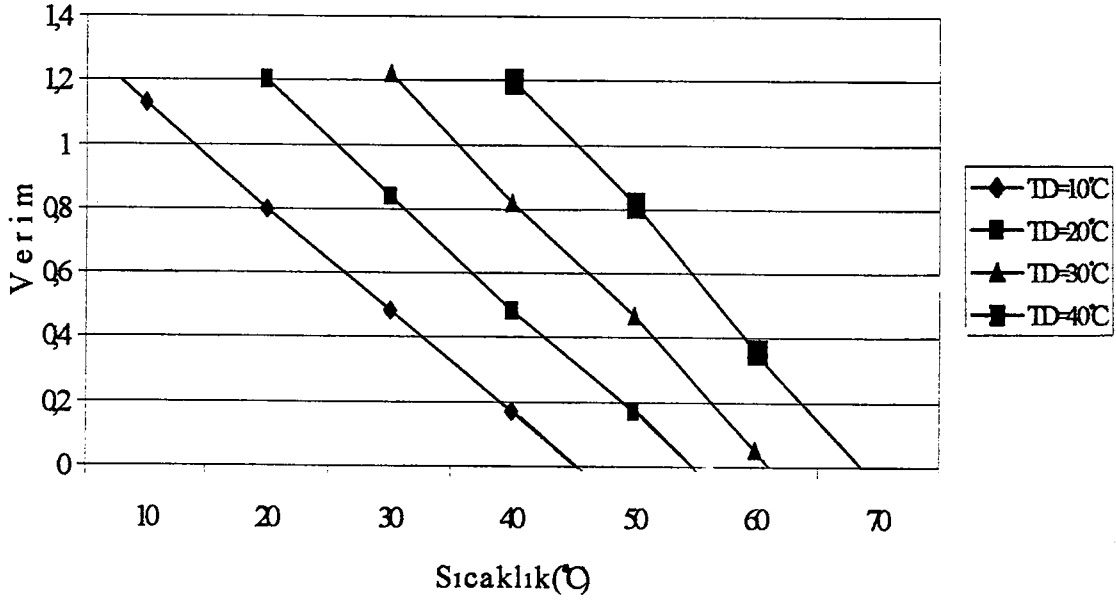
$$Q_y = Q - Q_k$$

Kullanılacak bilgisayar programı ile verimi hesaplayabilmek için formülümüz şu hale gelmiş bulunmaktadır.

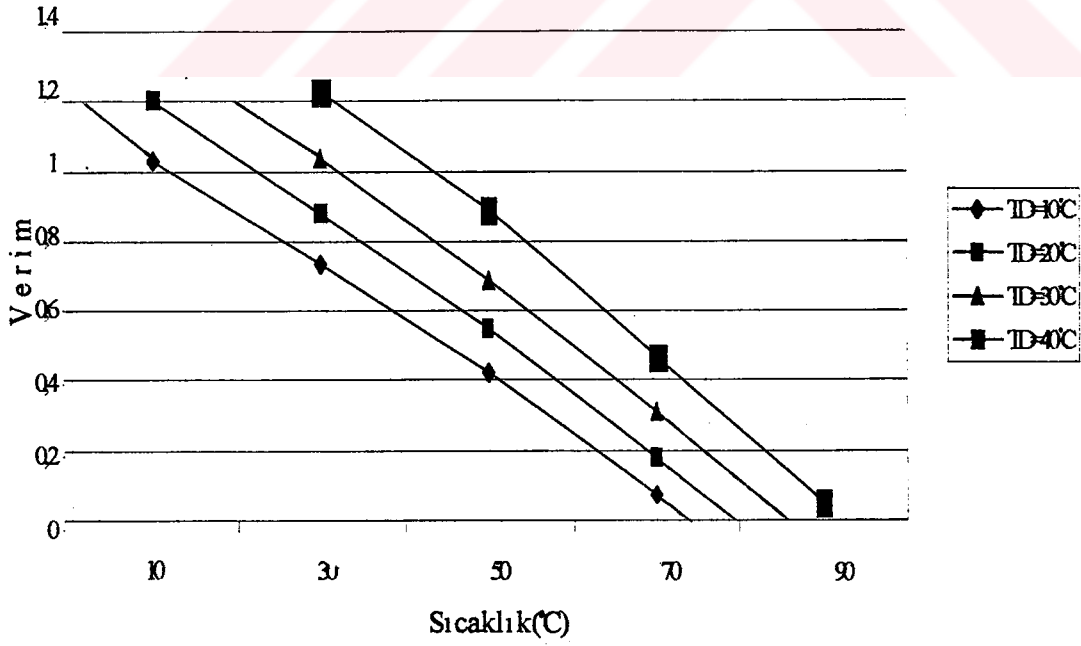
$$\eta = (Q - Q_k) / Q_o$$

Kollektörümüzde levha kalınlığı ve ısı iletim katsayısı, boru çapı, boru cidar kalınlığı, borular arası mesafe, boru ısı iletim katsayısı ve diğer ısı iletim katsayıları sabittir. Deney anında değişen güneş ışıını şiddeti ve ortam sıcaklığı, teorik olarak da hesaplandığında, bu değerlerin yükselmesiyle daha yüksek verim sonuçlarını tespit edebiliriz. Çalışmamızda bu değerleri değiştirerek geçmiş çalışmalarla benzer değerler tespit edilmiş bulunmaktadır.

Teorik olarak plaka kalınlığının artması, boru cidar kalınlığının artması, boru çapının büyük olması, borular arası mesafenin azalması, ısı iletim katsayılarının artması verimi olumlu yönde etkileyen unsurlar olarak belirlenmiş bulunmaktadır. Ancak sayılan bu unsurlar bir kollektörde sabit kalacağı için dış ortam şartlarının değişmesi verimi her an etkilemektedir. Dış ortam şartları iyileştikçe verim o oranda artmaktadır. Aksi halde verim de düşmektedir. Teorik çalışma sonucunda aşağıdaki şekillerde de görüldüğü gibi (Şekil 3.7 ve Şekil 3.8) 500 ve 1000 W/m² 'lik ışıını değerleri için verim grafikleri elde edilmiştir.

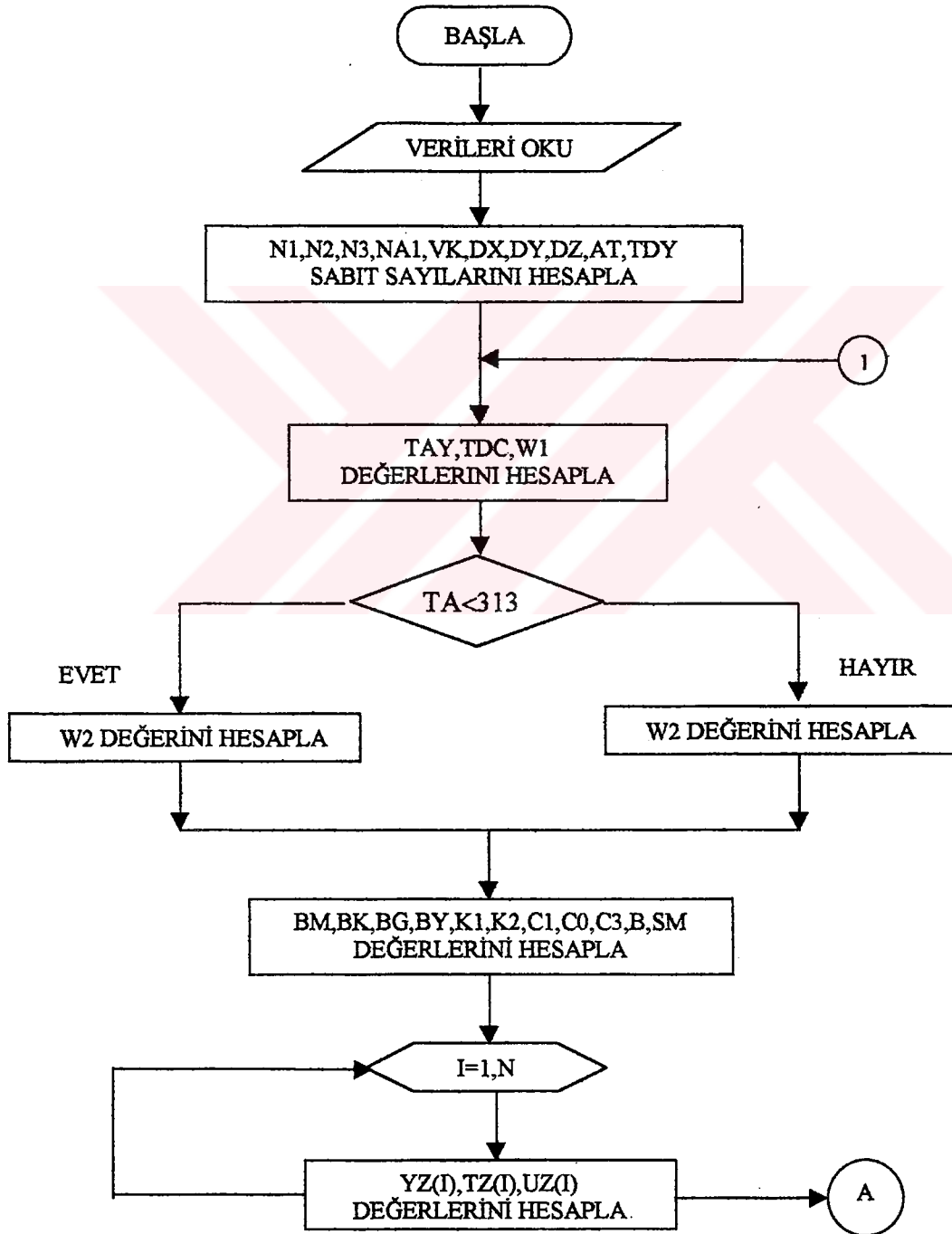


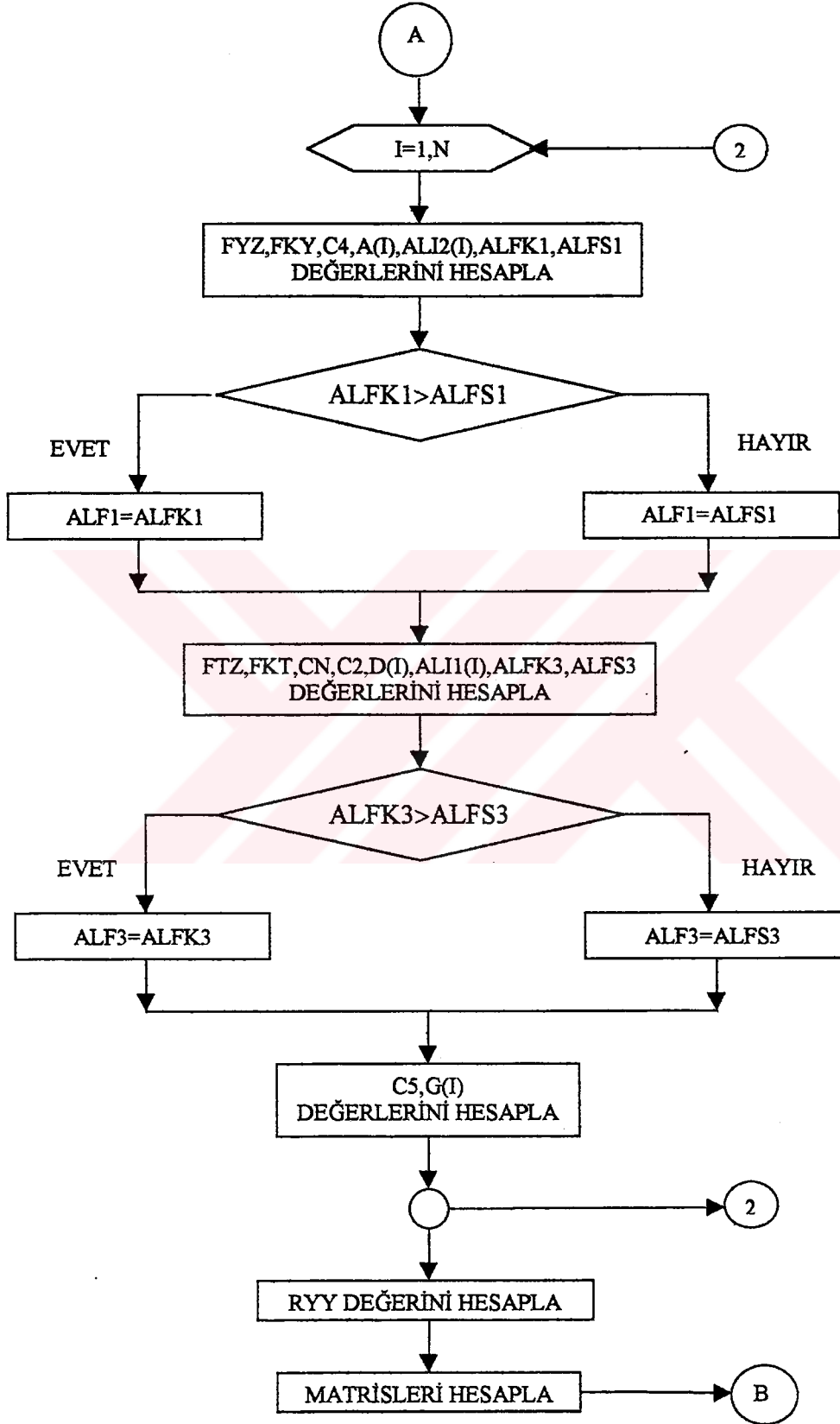
Şekil 3.7. 500 W/m² sabit ışıınımdaki verim eğrileri

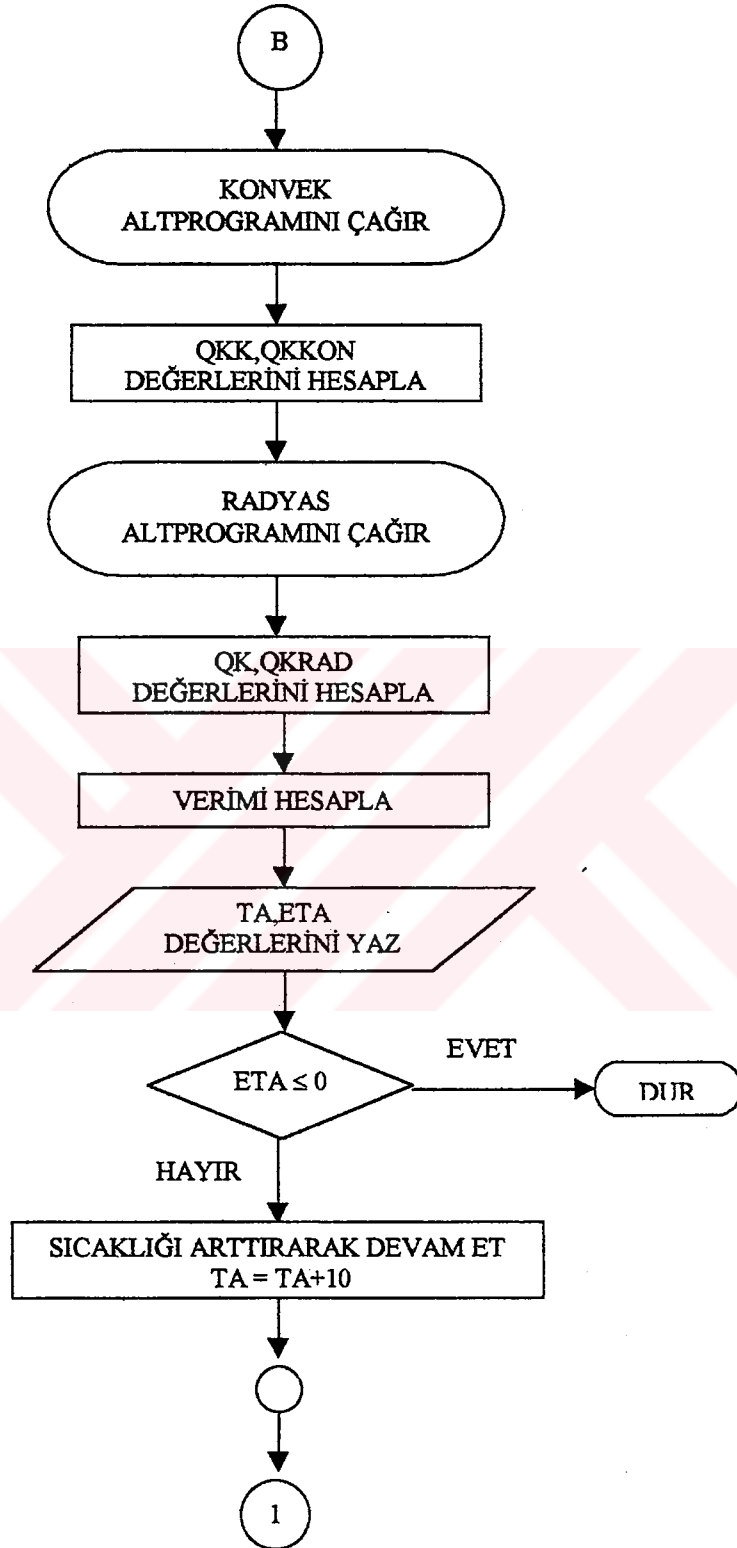


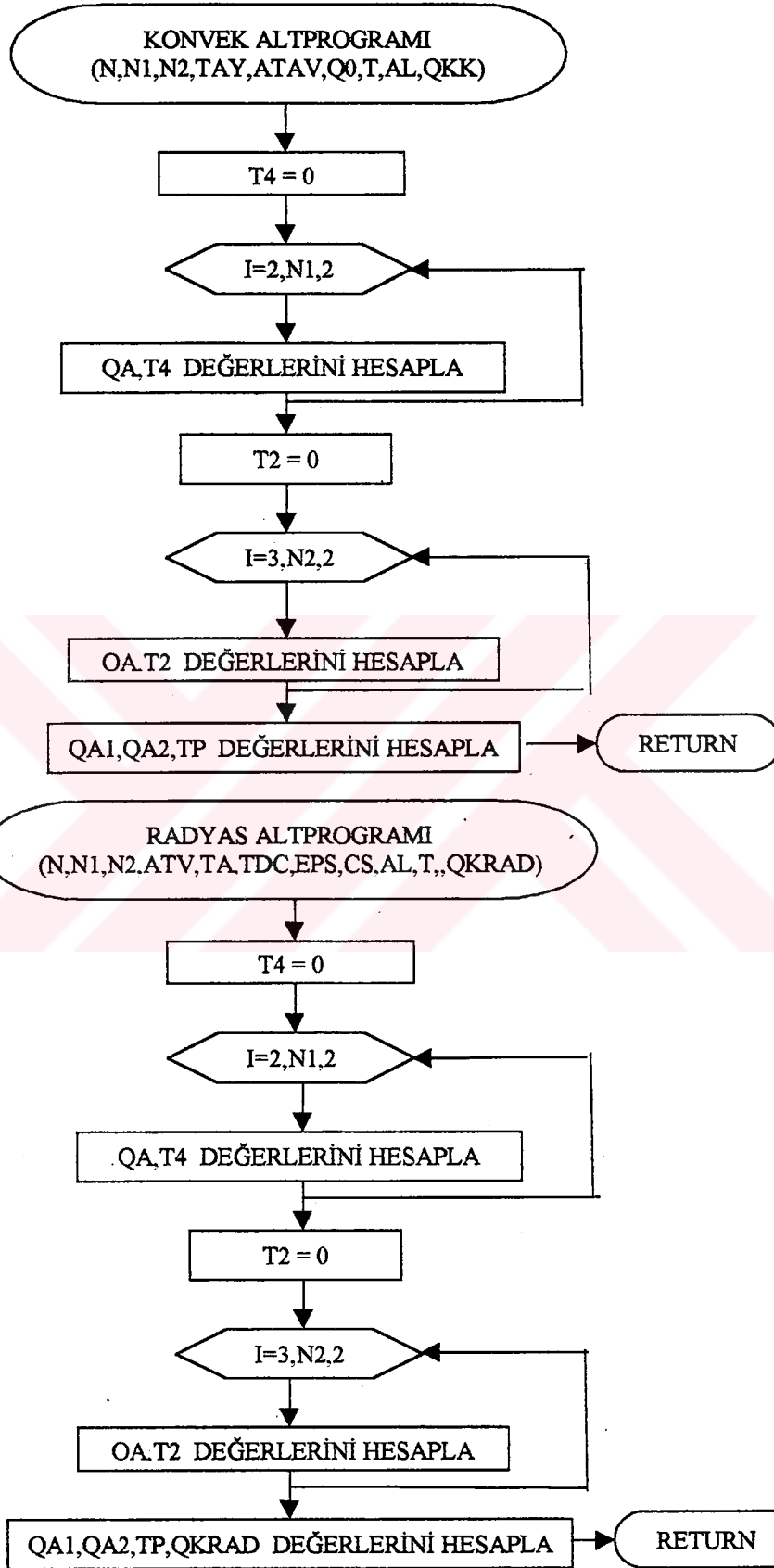
Şekil 3.8. 1000 W/m² sabit ışıınımdaki verim eğrileri

Böylece, programa girilecek olan değerler ile verim sonuçları her parametre için ortaya çıkar. Bu simülasyon programını basit bir akış şeması ile aşağıdaki şekilde ifade edebiliriz:









4- SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Kollektörümüzde kullandığımız ısı borulu tip güneşli su ısıtıcısında kullanılan çalışma sıvısı , suyu çok çabuk ve daha yüksek sıcaklıklara ısıtabilmiştir . Bunu reaksiyon zamanının kısa olması , tesirli ısı nakletmesi ve gizli ısının transferi esasına göre çalışan ısı borusunun avantajlarından temin edilebilmekteyiz . Burada kullanılan çalışma sıvısı , sistemin verimini doğrudan etkilemiştir ve elde edilen verimler bunun en gerçekçi göstergesidir .

Tek kollektör kasası içerisine yerleştirdiğimiz her biri 0.2 m² kollektör alanına sahip ve 10 litre depo hacminde olan 3 ayrı ısı borulu kollektör sisteminde deney süresi içerisinde en yüksek sıcaklık farkı (bir günlük) Freon 12 'li sistemde 56 °C, Freon 22 'li sistemde 43.2 °C ve Freon 502 'li sistemde ise 45.3 °C olarak elde edilmiştir. Sistemlerden su çekilmeden devam edilen deneylerde Freon 12 'li sistemde ikinci gün sonunda 86.2 °C 'ye ulaşıldı. İki günde ulaşılan toplam sıcaklık farkı en yüksek Freon 12 'li sistemle elde edildi ve bu farklar toplamı 62.6 °C olarak tespit edilmiştir. Deney süresi içerisinde en yüksek sıcaklık farkları hep Freon 12 'li sistemde elde edilmiştir. Dolayısıyla en yüksek verime Freon 12 ile ulaşılabilmiştir. Bunun yanı sıra gaz miktarları değiştirildiği haldeki en yüksek sıcaklık farklarına (Tablo 3.4) yine Freon 12 'li sistemde ulaşılabilmiştir. Sıcaklık farklarının en yüksek olduğu günler için yapılan performans hesabında Freon 12 ile % 52, Freon 502 ile % 50 ve Freon 22 ile % 47 'lik değerler elde edilmiştir. Tablo 4.1 ve Tablo 4.2 'de verim değişimleri gösterilmiştir.

Bu çalışmalar ışığında ısı borulu sistemlerimiz içerisinde Freon 12 ile en yüksek sıcaklık değerleri elde edilmiş ve beraberinde en yüksek verim değerlerine ulaşılmıştır. Böylece, içerisinde soğutucu akışkan bulunan ısı borulu kollektörleri yöremizde de rahatlıkla kullanabileceğimiz ortaya çıkmıştır. Bu verimlilik kullanılan çalışma sıvılarının özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

Deneylerimizde geçmişte yapılmış olan çalışmalarda elde edilen verilerdeki gibi hızlı sıcaklık yükselme değerleri elde edilmiştir. Sistemin dinamik tepki süresi Al-Tamimi ve Clark (1984)'in makalesinde belirttiği gibi çok kısadır. "Do-loop" sisteminin işçiliği ve imalatı rahattır, Yılmaz ve Büyükalaca 'nın (1987) belirtildiği gibi sistemimizde de yüksek verime ulaşılmıştır. Isı transferi işlemi duyulur ısıya nazaran daha ziyade gizli ısı ile meydana geldiği için bu sistem daha tesirli bir sistemdir.

Tablo 4.1. En yüksek su sıcaklık farkları, gaz basınçları ve kolektör verim değişimleri

	Su sıcaklığı (°C)			En yüksek basınç (Bar)	Verim
	En düşük	En yüksek	Fark		
Freon 12	23.6	79.6	56	~25	% 52
Freon 502	20.3	65.6	45.3	~35	% 50
Freon 22	21.8	65	43.2	~28	% 47

Tablo 4.2. Toplam (2 gün üst üste) en yüksek su sıcaklık farkları değişimi

	Su sıcaklığı (°C)			Verim
	En düşük	En yüksek	Fark	
Freon 12	23.6	86.2	62.6	% 62
Freon 502	20.3	65.6	45.3	% 50
Freon 22	24	75.9	51.9	% 53

Ters akıma müsaade etmediği için ise gece kayıpları en az düzeydedir. Hava şartları iyi olduğu takdirde sistemimizde de çok yüksek sıcaklıklara çıkılabileceği görülmüştür.

Hava şartları deneyimizin 2. gününden itibaren bozulduğu için sistemimizde daha yüksek değere ulaşamamıştır. İkinci gün sonunda elde edilen toplam en yüksek sıcaklık farkı ile sistemimizin (Freon 12 'li) verimi % 62 'ye kadar ulaşmıştır. Bundan sonraki günlerde değişik miktarlarda doldurulan sistemler denendi ve değişik sonuçlara ulaşıldı.

5. ÖNERİLER

Yaptığımız çalışmayla değişik sonuçlara ulaştık . Farklı miktarlarda konulan çalışma sıvılarıyla farklı deney neticeleri elde ettik . Buradan hareketle , her sistem için en verimli çalışma sıvısı miktarı, yapılacak diğer bir çalışmayla tespit edilebilir . Sistem boyutları değiştirilerek yıl boyunca yapılacak olan deneylerle sistemin verimi ve avantajları daha detaylı incelenebilir ve imalatı daha basit, daha kullanışlı sistemler geliştirilebilir . Değişik çalışma sıvıları denenerek kullanılabilirlikleri, verimleri ve malzeme uyumlulukları araştırılabilir . Kondenser kısmındaki imalat zorluklarını ortadan kaldırmak için ve bu kısımdaki ısı transferini iyileştirme üzerine çeşitli çalışmalar yapılabilir . Günlük hayatta daha yaygın kullanım alanları düşünülebilir .



KAYNAKLAR

- Akyurt , M., 1984,Development of heat pipes for solar water heaters .Solar Energy , 32,5, 625-631.
- Akyurt, M. , Çimenoglu, M. ve Uyarel , A.Y.,1981,Güneşli su ısıtıcılarına ısı borusu . 3. Ulusal Isı Kongresi Bildiri Kitabı , 149-163.
- Al-Tamimi , A.I .and Clark , J.A ., 1984, Thermal performance of a solar collector contaning a boiling fluid (R11) . ASHRAE Transactions , 90,1,687-696.
- Bottum, E.W.,1981,Refrigerant charged phase change , solar water and space heating systems. ASHRAE Transactions , 87,2,397-404.
- Büyükalaca ,O.,1987,İki fazlı güneş kollektörünün incelenmesi. Yük .Lis.tezi ,Ç.Ü.Fen Bil.Enst. , Adana ,150 s.
- Demir , M.A ., 1992, Isı borulu güneşli su ısıtıcılarında değişik ısı taşıyıcı akışkanlar kullanarak verimlerin karşılaştırılması . Yük .Lis . tezi , G.Ü.Fen Bil.Enst., Ankara ,81 s.
- Doğan,H.,1987,Isı borusu yardımı ile güneşli su ısıtma sistemi. G.Ü.Tek.Eğt.Fak.Dergisi, 1,1,121-126.
- Downing , R.C.and Waldin ,V.H., 1980, Phase – change heat transfer in solar hot water heating using R-11 and R-114. ASHRAE Transactions , 86,1 , 848- 856.
- Fanney, A.H. and Terlizzi, C.P., 1985, Testing of refrigerant – charged solar domestic hot water systems. Solar Energy, 35/4, 353-366.
- Güngör, A., 1987, Düzlemsel güneş enerjisi toplayıcılarında ısı borusu uygulamaları ve prototip bir toplayıcının geliştirilmesi üzerine deneysel çalışmalar. 6. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi Bildiri Kitabı, 539-547.
- Kılıç,A. ve Öztürk, A., 1983, Güneş enerjisi. Kipaş dağıtımcılık, İstanbul, 330s.
- Soin, R.S., 1979, Performance of flat plate solar collector with fluid undergoing phase chance. Solar Energy, 23, 69-73.
- Spears, R.P. and Waldin, V.H., 1984, ASHRAE 109-A Test standart for two- phase collectors. ASHRAE Transactions, 90,1, 697-708.
- Uyarel, A.Y., 1984, Isı borusu prensibinin güneşli su ısıtıcılarına ve damıtmaya uygulanması. Doktora tezi, İ.T.Ü. Fen. Bil. Enst., İstanbul, 130 s.

- Uyarel, A.Y., 1985, Her iklim tipi güneşli su ısıtıcısı (HİTĞİ). Isı bilimi ve tekniği dergisi, 8.1, 23-26.
- Uyarel, A.Y ve Öz, E.S., 1987, Güneş enerjisi ve uygulamaları. Birsen Yayınevi, Kod no : 0029, Ankara, 239 s.
- Uyarel, A.Y., Doğan, H. ve Yılmaz ve S., 1989, Isı borulu güneşli su ısıtıcısının deneysel incelenmesi. G.Ü. Tek. Eğit. Fak. Dergisi, 2,2, 45-53.
- Yılmaz, T., Büyükalaca, O. ve Aydın, K., 1987, İki fazlı, eşanjörlü, enjektör veya mamut pompalı güneş enerjisi sistemi. Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 2, 1, 291-301.
- Yılmaz, T. ve Büyükalaca, O., 1987, Soğutucu akışkanlı güneş kollektörleri .6. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi Bildiri Kitabı, 530-538.
- Yılmaz, S., 1988, Güneş enerjili ısı borusuyla sıcak su üretimi. Yüksek Lisans tezi, G.Ü. Fen Bil. Enst., Ankara, 44 s.
- Youngblood, W.W., 1984, On the laboratory testing of boiling liquid collectors. ASHRAE Transactions, 90, 1, 709- 719.

ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında Elazığ'da doğdu. İlk öğrenimini Elazığ Harput'ta, orta öğrenimini Elazığ Endüstri Meslek Lisesinde iyi derece ile tamamladı. 1989 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği Bölümüne burslu olarak girdi. 1993 yılında bu bölümden mezun oldu. Aynı yıl Elazığ Endüstri Meslek Lisesinde Motor Öğretmeni olarak göreve başladı. Askerlik hizmetinden sonra görevine devam etti ve halen aynı kurumda Teknik Öğretmen olarak çalışmaktadır.

