

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

DÜZ GÜNEŞ KOLLEKTÖRLÜ AÇIK VE KAPALI DEVRELİ
GÜNEŞ ENERJİLİ SICAK SU SİSTEMLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI

Kemal ÇOMAKLI

Yönetici: Doç.Dr. Bedri YÜKSEL

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

Konutlarda ısınma ve sıcak su ihtiyacı için harcanan enerji giderleri her geçen gün artmaktadır. Kullanılan bu enerji de fosil kökenli yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil kökenli yakıtların Türkiye rezervleri azdır ve yakın gelecekte tükeneceği tahmin edilmektedir. Bundan dolayı ucuz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç vardır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en ucuz ve en ekonomik olanı güneş enerjisidir.

Güneş enerjisinin en basit ve en yaygın kullanımı konutlarda sıcak su üretimidir. Sıcak su ihtiyacı için gerekli enerji aylara göre fazla değişmemektedir. Enerji ihtiyacının az ve gerekli sıcaklığın düşük olmasından dolayı kollektör alanı azdır ve sistem elemanları basittir. Bu özelliklerden dolayı, sıcak su sistemlerinde güneş enerjisinin kullanımı avantajlı olmaktadır.

Türkiye'nin batı bölgelerinde bu sistemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat bölgemizde kışın çevre sıcaklığının çok düşük olması ve donma tehlikesinden dolayı henüz uygulama alanı bulamamıştır. Bu sebeple yapılan bu çalışmada bölgemizde güneş enerjili sıcak su sistemlerinin uygulanabilirliği araştırılmıştır.

Bunun için kapalı devreli ve açık devreli olmak üzere iki sistem kurulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda her iki sistemin verimleri hesaplanıp karşılaştırılmıştır. Yazın yapılan bu çalışmada iki kollektör ile her gün yaklaşık 65 °C civarında 200 lt sıcak su elde edilmiştir.

SUMMARY

Energy expenses for heating and supplying hot water in residences tend to increase. This energy is provided originally from fossil fuel and those have very limited recourses in Turkey and a mater of fact that they will be used up in the near future. Thus, it is needed to obtained cheap and renewable energy sources. Solar energy is one of the most inexpensive and economic among renewable energy sources.

The most simple and widespread use of solar energy is the production of hot water. The required energy for hot water do not show much change with months. The collector area is small and system elements are simple, because of the low energy and temperature requirements . Due to these advantages of using solar energy for hot water systems has been quite economic.

This system are widely used in the west regions of Turkey . However, low temperature in winter and danger of freezing, it has not found any usage in our region. In this study, therefore the applicability of solar energy in hot water systems is investigated in our region. For this , two systems, including open and closed cycle have been constructed. Capacities of systems were calculated and compared with experimental results. In this study, 200 lt hot water at 65°C was provided each day by using two collector.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamı yönlendiren ve çalışmamın her aşamasında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli hocam Doç.Dr. Bedri YÜKSEL'e yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Deney düzeneğinin kurulmasına yardım eden bölüm başkanımız Doç.Dr. Ömer ÇOMAKLI' ya ve çeşitli yayın ve dökümanları sağlayan ve bilgilerinden yararlandığım bölümümüz öğretim üyelerinden Yrd.Doç.Dr. Kadir BİLEN' e teşekkür ederim.

Güneş enerjisi konusunda yaptığımız bu çalışmaya özel önem ve destek veren üniversitemiz rektörü Prof.Dr. Erol Oral beye ayrıca teşekkür ederim.

Deney düzeneğimiz kurulmasına katkıda bulunan bölümümüz araştırma görevlisi arkadaşlarıma ve bölümümüz teknisyenlerine teşekkür ederim.

ERZURUM 1997

Kemal ÇOMAKLI

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	i
SUMMARY.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SEMBOLLER.....	vi
1.GİRİŞ.....	1
2.MATERYAL ve YÖNTEM.....	18
2.1.Deney Düzenegi.....	18
2.2. Deney Düzeneginde Kullanılan Elemanlar.....	20
2.2.1. Düz Güneş Kollektörleri.....	20
2.2.1.a. Üst Saydam Örtü.....	21
2.2.1.b. Yutucu Plaka.....	23
2.2.1.c. Yalıtım ve Kasa.....	24
2.2.2. Sirkülasyon Pompaları.....	26
2.2.3. Eşanjör	26
2.2.4. Ölçüm Elemanları.....	27
2.2.4.a. Sıcaklık Ölçümü.....	27
2.3.4.b. Güneş Işımmının ölçülmesi.....	28
2.3.4.c. Debinin Ölçülmesi.....	29

2.3.7. Sıcak Suyun Depolanması.....	30
2.4. DeneYlerin Yapılışı.....	30
3. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRMESİNDE KULLANILAN FORMÜLLER	32
3.1. Eğik Yüzeye Gelen Toplam Işınım.....	32
3.2. Kollektör Tarafında Tutulan ısı.....	35
3.3. Sıcak Su Sistemlerinin Verimleri.....	37
3.4. Sıcak Su Sistemlerinin Ekserji Verimleri.....	37
4.SONUÇLAR.....	39
5.TARTIŞMA ve ÖNERİLER.....	82
6. KAYNAKLAR.....	86

SİMGE VE KISALTMALAR

- A_T : Kollektör alanı (m^2)
 C_p : Kollektörde dolaşan akışkanın özgül ısısı (Joule/kgK)
 F_R : Kollektör verim faktörü
 H_b : Dik düzleme gelen direkt radyasyonu (W/m^2)
 H_T : Eğik yüzeye gelen toplam radyasyon (W/m^2)
 I_{ADT} : Atmosfer dışı toplam radyasyon (W/m^2)
 I_{YT} : Yatay yüzeye gelen toplam radyasyon (W/m^2)
 I_b : Yatay yüzeye gelen radyasyonun direkt bileşeni (W/m^2)
 I_d : Yatay düzleme gelen radyasyonun direkt bileşeni (W/m^2)
 K_T : Bulanıklık faktörü
 m_s : Kollektörde dolaşan akışkanın debisi (kg/sn)
 R_b : Eğik düzleme gelen direkt güneş ışınımının, yatay düzleme gelen direkt güneş ışınımına oranı
 Q_A : Kollektör tarafında, güneş ışınlarından alınan enerji (W)
 Q_L : Kollektörün çevresine kaybettiği ısı (W)
 Q_U : Kollektörden alınan faydalı ısı (W)
 U_L : Kollektör toplam ısı kayıp katsayısı
 α : Güneş yükseklik açısı
 β : Kollektör eğim açısı
 δ : Deklinasyon açısı
 ϕ : Yörenin enlem derecesi
 ω : Güneş saat açısı
 θ : Güneş ışınlarının eğik yüzeyin normali ile yaptığı açı
 θ_z : Güneş ışınlarının yatay yüzeyin normali ile yaptığı açı
 $\tau\alpha$: Yutma geçirme çarpımı

- η : Verim
- T_{AG} : Açık devreli sistemin kollektör giriş sıcaklığı
- $T_{AÇ}$: Açık devreli sistemin kollektör çıkış sıcaklığı
- T_{AD} : Açık devreli sistemin depo giriş sıcaklığı
- T_{AY} : Açık devreli sistemin kollektör yüzey sıcaklığı
- T_{KG} : Kapalı devreli sistemin kollektör giriş sıcaklığı
- $T_{KÇ}$: Kapalı devreli sistemin kollektör çıkış sıcaklığı
- T_{KD} : Kapalı devreli sistemin depo sıcaklığı
- T_{KY} : Kapalı devreli sistemin kollektör yüzey sıcaklığı
- $T_{EÇ}$: Kapalı devreli sistemin su tarafı eşanjör çıkış sıcaklığı
- T_{EG} : Kapalı devreli sistemin su tarafı eşanjör giriş sıcaklığı
- $T_{Ç}$: Çevre sıcaklığı
- a.depo : Açık devreli sistemin deposu
- a.yüzey: Açık devreli sistemin yüzeyi
- k.depo : Kapalı devreli sistemin deposu
- k.yüzey: Kapalı devreli sistemin

1.GİRİŞ

İş yapabilme yeteneği olarak tarif edilen enerji insanların vazgeçilmez yaşam unsurlarındandır. Toplumların, hayat standardı yükseldikçe enerji tüketimleri de artmaktadır. Dolayısıyla fert başına tüketilen enerji toplumların gelişmişliğinin bir göstergesi olmaktadır. İnsanlar ilk önce ısınmak için enerjiye ihtiyaç duymuşlar, sonra ilerleyen teknoloji karşısında enerjinin değişik türlerini de kullanmaya başlamışlardır.

İnsanların kullandığı enerji kaynağı teknolojik gelişmelere göre değişmiştir. Önceleri odun gibi yakacaklar kullanılırken daha sonra kömür ve yakın tarihte petrol ve doğal gaz kullanılmaya başlanmıştır. Yine yakın tarihimizde hidrolik enerji, nükleer enerji ve diğer enerji kaynakları kullanılmaya başlanmıştır (Kılıç, 1983).

Enerji kaynaklarını birincil enerji kaynakları ve ikincil enerji kaynakları olarak ikiye ayrılmaktadır. Birincil enerji kaynakları fosil kökenli yakıtlardan (odun, kömür, petrol, doğal gaz vs) oluşmaktadır. İkincil enerji kaynakları ise güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerjisi gibi yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarıdır.

Dünyada tüketilen enerjinin % 90' nı fosil kaynaklardan kömür, petrol, doğal gaz elde edilmektedir. Bunun büyük kısmını da petrol oluşturmaktadır. Petrolün de yakın gelecekte tükenmeye başlayacağı tahmin edilmektedir (Kılıç, 1983). Dünya enerji tüketiminde büyük payı olan petrolün 1986 rezervinin 697,4 milyar varil aynı senedeki tüketimin 20,246 milyar varil olduğu dikkate alınrsa petrolün ömrü hakkında fikir edinmek mümkün olabilir.

Tüketilen enerjinin bir kısmını oluşturan hidrolik enerjisi için santrallerin yapımı zaman gerektirmekte ve ilk yatırım maliyetleri yüksek olmaktadır. Özellikle, sadece elektrik üretimi için kurulan santrallerin ekonomik olmadığı, sulama ve enerji üretimli santrallerin kurulmasında ekonomik olduğu belirtilmektedir. Ayrıca her yerde ve bölgede kullanımı sınırlı olması bu enerjinin kullanımını sınırlamaktadır.

Birincil enerji kaynaklarının artan tüketime paralel olarak azalması ve 1973' de yaşanan petrol krizinden sonra ilgili araştırmacıları alternatif enerji kaynaklarına yönelmiştir. Bu krizden sonra dünyada enerji sektöründe temel felsefe petrol ikame ve petrol tüketimini azaltacak enerji tasarrufu yönünde olmuştur.

Dünya bankasının verdiği rakamlara göre 2025 yılında dünya nüfusu yaklaşık 8,3 milyar olacaktır (Atagündüz,1989). Artan nüfusla birlikte dünyada enerji ihtiyacı oldukça artacaktır. Bunun için araştırmalar yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde yoğunlaşmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında ise nükleer enerji , rüzgar enerjisi , jeotermal enerji ve güneş enerjisi gelmektedir.

Nükleer enerji nükleer yakıtlardan elde edilmektedir. Bu yakıtların reaksiyonları sonucunda ortaya çıkan radyasyon ve atık maddelerinin çevreye ve insan sağlığına tehlike oluşturması, ayrıca nükleer santrallerin yüksek maliyetli oluşları bu enerjinin kullanımını sınırlamaktadır.

Jeotermal enerji, yer kabuğu içerisinde basınç altında sıkışmış sıcak suların ihtiva ettiği enerjidir. Jeotermal enerji dünyanın her yöresinde olmadığından bu enerjinin kullanımı da sınırlıdır.

Rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi, güneş ve dünya var oldukça kullanılabilir enerji türleridir. Atmosferin farklı ısınmasından alçak ve yüksek basınç alanları oluşması sonucunda rüzgar oluşur. Rüzgar kinetik enerjiye sahip olduğundan bu enerjiden mekanik enerji ve dolayısıyla diğer enerji türleri de elde edilmektedir. Bu enerjinin kaynağı da güneştir. Bunlardan anlaşılacağı üzere en kullanışlı enerji türü güneş enerjisidir.

Güneş dyamıza ve diğer gezegenlere enerji veren sonsuz enerji kaynağıdır. Termonükleer bir reaktör olan güneşin birim alanından birim zamanda çeşitli dalga boylarında 62 MW/m^2 enerji yayılmakta ve bu miktarın milyarda biri yer yüzüne gelmektedir (Tanes, 1982).

Güneş enerjisinin diğer enerji türlerine göre üstünlükleri şunlardır (Kılıç,1984 ve Atagündüz, 1989).

Bol ve tükenmeyen enerji kaynağıdır.

Temiz enerji türüdür.

Yerel uygulamalar için elverişlidir.

Karmaşık teknolojiye gerek yoktur. (bazı sistemler hariç)

İşletme masrafları çok azdır.

Fakat bunların yanında, birim yüzeye gelen güneş ışınımı az olduğundan büyük yüzeylere ihtiyaç vardır. Işınım sürekli olmadığından enerjinin depolanması gerekmektedir. Bazı güneş enerji sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerinin fazla oluşları güneş enerjisinin dezavantajlarını oluşturmaktadır.

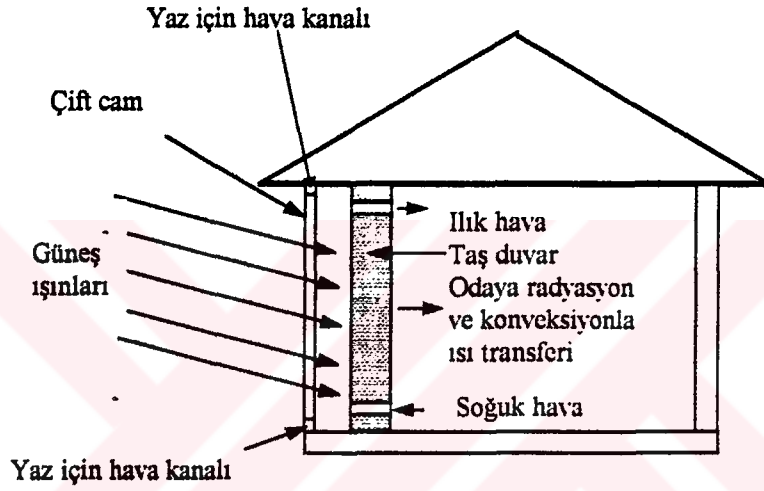
Güneş enerjisinden çok çeşitli şekillerde faydalanılmaktadır. Sıcak su üretiminden tatlı su üretimine, buhar üretiminden elektrik üretimine, ısıtmadan soğutmaya birçok şekilde güneş enerjisinden faydalanılmaktadır. Bu konulardaki araştırmalar sürdürülmekte ve hatta bu amaçla güneş enerjisi enstitüleri kurulmuş ve kurulmaktadır.

Enerji kaynağı olarak güneş enerjisini kullanan çeşitli enerji sistemleri mevcuttur. Bunlara kısaca değinmek yerinde olacaktır. Güneş enerjili sistemler, aktif sistemler ve pasif sistemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Pasif sistemler herhangi bir hareketli mekanik aksam kullanmadan güneş enerjisini ısıya çeviren sistemlerdir. Pasif sistemler yazın en az ısıyı kışın ise en fazla ısıyı binaya kazandıracak şekilde yapılırlar. Bu sistemlerde enerji kazancı direkt, indirekt ve ayrımlanmış kazanç olmak üzere üç şekilde olur (Keçecioğlu, 1989).

Direkt kazançta , güneş ışınları geniş camlı pencerelerden geçerek ısıtılan hacim içerisine doğrudan girmesiyle olur. İndirekt kazançta ise ısıtılan hacim ile güneşe bakan cam arasında ısı depolayan bir duvar olmasıdır. Bunun en açık örneği Michel- Trombe

duvardır (Şekil 1.1). Bu sistemde ısıtılacak hacmin güney tarafı kalın taş duvarla yapılır ve üzeri güneşi iyi absorblaması için siyaha boyanır. Sera etkisi olması içinde bu duvarın önü camla kaplanır. Güneş ışınları camdan geçerek cam ve duvar arasındaki havayı ısıtır. Isınan bu hava duvarın üstündeki kanal tarafından içeri alınır. Ayrımlanmış kazançta ise sera içerisinde ısıtılan hava bina içerisine alınır. Pasif sistemler herhangi mekanik aksam gerektirmediğinden ekonomik avantajı olduğu söylenebilir.



Şekil 1.1 Güneş enerjisinin pasif uygulaması (Michel - Trombe duvarı)

Aktif sistemlerde; güneş ışınları ile bu enerjinin kullanıldığı sistem arasında çeşitli araç ve gereçler kullanılmaktadır. Ayrıca bu sistemlerin çoğuna dışarıdan bir iş girişi olmaktadır. Bu sistemlerin bir kaçı şöyle sıralanabilir.

- Güneş enerjisi ile elektrik üretimi
- Güneş enerjili kurutma sistemleri
- Güneş enerjili damıtma sistemleri
- Güneş enerjili soğutma sistemleri
- Güneş enerjili sıcak su üretme sistemleri
- Diğer uygulamalar

Güneş enerjisi ile elektrik üretimi iki şekilde olur. Birincisi güneş ışınları odaklamalı kollektörler vasıtasıyla herhangi bir yerde toplanır ve o noktanın sıcaklığı yükseltilir. Yüksek sıcaklıktaki bu noktadan su geçirilerek buharlaşması sağlanır. Elde edilen bu buhar türbin jeneratör sisteminden geçirilerek elektrik üretilir. İkinci yöntemde ise direkt olarak elektrik üretimidir. Bu sistemler, üzerlerine güneş ışınımı düştüğü zaman elektrik üreten ve fotovoltaik esasa göre çalışan güneş pilleridir.

Güneş pilleri yarı iletken teknolojisine göre çalışırlar. Fazla elektron bulunduran (n-tipi) yarı iletken ile fazla boşluk bulunduran (p- tipi) yarı iletkenler yan yana getirildiği zaman tek bir kristal meydana getirmesi ve fazla elektronların boşluklara atılmasıyla doğru akım meydana gelir. Hücreler birbirlerine seri ve paralel bağlanarak akım ve gerilim artırılabilir (Kılıç, 1993). Güneş pillerinin verimleri düşüktür(% 5 - % 20). Teknolojileri zor maliyetleri ise pahalıdır. Genellikle fazla güç gerektirmeyen sistemlerde , uzay teknolojisinde ve elektrik ulaştırılması zor olan yerlerde kullanılırlar.

Güneş enerjili kurutma sistemleri, çeşitli orman ürünleri veya çeşitli gıda ürünlerinin kurutulmasında kullanılır. Çoğunlukla kereste kurutulmasında kullanılmaktadır. Bu sistemler iki şekilde olabilir. Birincisi sera içerisine konan keresteler direkt güneş ışınımı ile kurutulur. İkinci şekilde ise kollektörlerde ısıtılan hava kereste fırınından içeri gönderilir ve içerideki nemli hava ise vantilatör yardımı ile kollektöre gönderilerek tekrar ısıtılır. Böylece içerideki kerestenin nemi alınarak kurutma sağlanır.

Deniz suyunun damıtılması ile ilgili birçok güneş enerjisi çalışmaları yapılmıştır. Güneş enerjisi ile damıtıcıların temel prensibi, cam yüzeyi ile su yüzeyi arasındaki doymuş buhar basıncı arasındaki farktan kaynaklanan damıtılmış su çıkışıdır. Deniz suyunun arıtılması kurak bölgelerde önemli teknoloji gerektirir. Bunların içinde yaygın olarak kullanılan ve gelişmiş metot destilasyon işlemidir. Ters osmosis ve elektro diyaliz özellikle düşük tuz içerikli suların tuzunun giderilmesi kullanılan bu yöntem büyük kapasitedeki tesisleri için ekonomiktir (Dunn, 1986). Güneş enerjisiyle su destilasyonunun prensibi sera etkisine dayanır. Basit tip bir su damıtıcının, tabanında güneş ışığını absorblaması için siyah bir tabaka, üstte ise hava sızdırmaz cam kapak bulunur. Cam kapak toplama kabına doğru

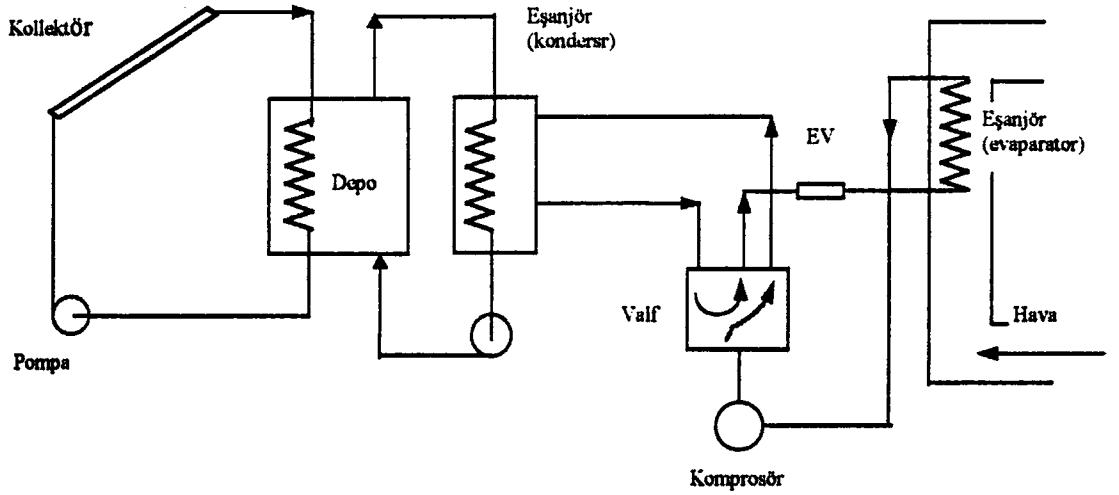
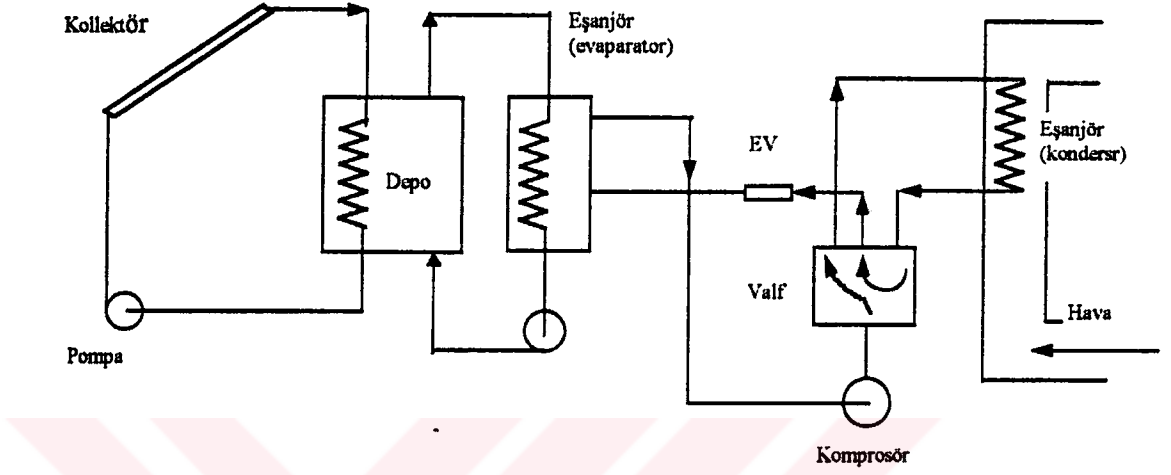
eğimlidir. Cam kapaktan geçen güneş ışınları su ve siyah tabaka tarafından yutulur. Yutulan enerji havuzdaki tuzlu suyu ısıtır ve bu tuzlu su buharlaşır. Su buharınının bir kısmı cam yüzeyinde yoğunlaşır ve cam yüzeyinden aşağı doğru kayarak toplama kabında toplanır (Söhmen, 1995).

Basit güneş enerjili damıtıcıların su debileri düşüktür. Su çıkışını artırmak için damıtıcıya düzlemsel güneş kolektörleri bağlanabilir. Güneş enerjisinin klasik tatlı su üretiminde yardımcı enerji kaynağı olarak kullanılması önemli bir ekonomi sağlar. 1985 den sonra bu konuda yapılan çalışmalar artırılmıştır (Uyarel, 1987).

Güneş enerjisinin kullanıldığı bir başka önemli alan soğutmadır. Özellikle bu sistemler hem ısıtma hem de soğutma için çok amaçlı kullanılabilir. Bu sistemlerin esası soğurmalı çevrime dayanmaktadır. Bu çevrimde amonyak-su çözeltisine ısı güneş enerjisinden verilmektedir. Yaklaşık 50 °C de buharlaşarak ayrılan amonyak buharı diğer bir kaptan yoğunlaştırılmakta ve sonra genişletilmektedir. Burada su absorblayıcıdır. Genişleyen amonyak ısı çekerek buharlaşırken çevreden ısı çekmekte ve dolayısıyla çevreyi soğutmaktadır. Güneş enerjili soğutma sistemleri buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerine göre pahalıdır. Bu sistemlerin benzeri sistemlerle ısıtma yapmak da mümkündür. Şekil 1.2 da hem soğutma hem ısıtma sistemlerinin şekli görülmektedir.

Ayrıca güneş enerjisinden yararlanılarak, geleceğin yakıtı olarak nitelendirilen hidrojen de üretilebilir. Suyun elektrolizi, hibrit elektoliz-termo kimyasal işlemlerle suyun ayrışması, teknolojileri geliştirilmiştir (Kılıç, 1993)

Yukarıda saydığımız uygulama alanları güneş enerjisinin en çok uygulama alanlarından. Bu uygulamalardan başka güneş ocakları, güneş fırınları, güneş enerjili buhar üreteçleri, güneş pompaları ve foto sentetik uygulamalar da mevcuttur.



Şekil 1.2 Güneş enerjili ısı pompası sistemi a) Isıtma modeli b) Soğutma modeli

Enerji konusunda dünyanın yaşadığı sıkıntıları ülkemiz de fazlasıyla yaşamaktadır. Ülkemizde üretilen enerjinin büyük kısmı ithal edilmektedir. Bundan dolayı dış ülkelere büyük miktarda döviz ödemekteyiz. Ülkemizin petrol rezervleri yönünden fakir oluşu bu durumu meydana getiren en önemli sebeplerdendir. Tablo 1.1 ve 1.2 de Türkiye' nin enerji üretimi ve tüketimi yıllara göre değişimi görülmektedir. Tablolardan görüleceği gibi endüstrileşme hayat standardının yükselmesi ve artan nüfus paralelinde enerji tüketimi giderek artmaktadır. Bu nedenle ithal enerji miktarların da aynı oranda Türkiye' nin enerji açığı gittikçe artmaktadır. Son yıllarda hızlı endüstrileşme, hayat standardının yükselmesi gibi nedenlerden dolayı Türkiye' nin enerji tüketimi süratle artmıştır. Dolayısı ile ithal ettiği enerji miktarı da aynı ölçüde artmıştır.

Enerji ithalatını azaltmak ve dışa bağımlılığı aza indirmek için yerli kaynaklarımızı en iyi şekilde kullanmalıyız. Bundan dolayı ülkemiz için de güneş enerjisi önem kazanmaktadır. Türkiye dünyanın bir çok ülkesine göre fazla güneş ışınımı alması, Türkiye' yi bu konuda avantajlı yapmaktadır. Enerji ihtiyacının yarısından fazlasını ithal eden ülkemizin bir çok yöresinde bolca bulunan güneş enerjisinden en iyi şekilde yararlanması gerekir.

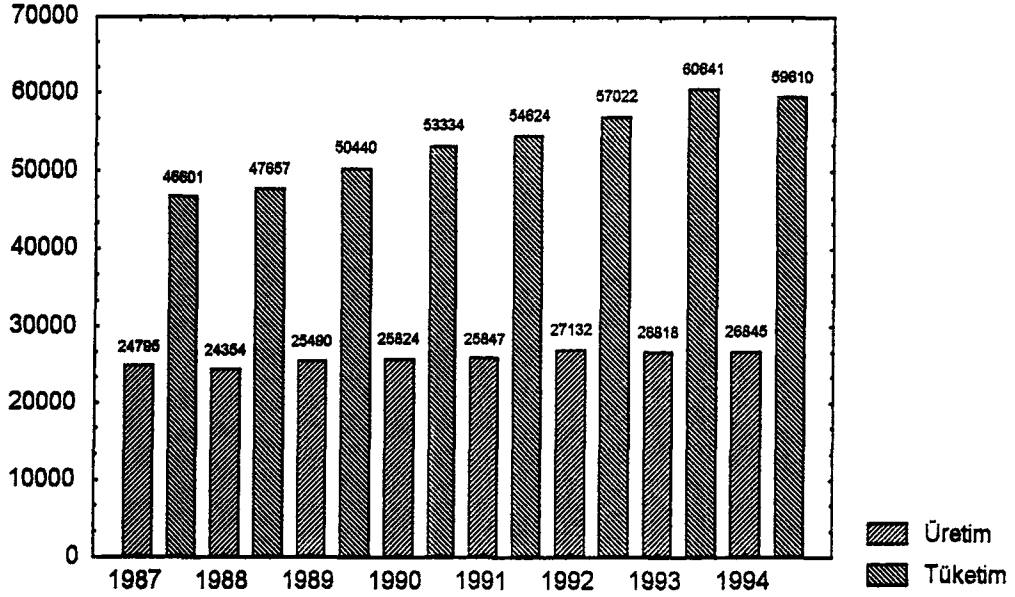
Fakat bu imkanlara karşılık Türkiye' nin birincil enerji tüketiminde güneş enerjisinin payı 1993 yılı itibariyle ancak % 0.6 seviyesindedir. Aynı yıldaki birincil enerji üretim ve tüketim değerlerine bakıldığında 34 milyon TEP (ton eşdeğer petrol) enerji açığının görülmesine karşılık güneş enerjisi üretimi ve tüketimi sadece 38 bin TEP' dir. Ayrıca son yıllarda güneş enerjisi üretiminde azalma görülmektedir (E.İ, 1994)

Tablo 1.1 Türkiye'nin Enerji Üretimi (Milyon ton eşdeğer petrol) (D.İ.E 1995)

	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Üretim	24795	24354	25490	25824	25847	27132	26818	26845
Taş Kömürü	2111	2212	2027	2080	1827	1727	1722	1636
Linyit	9827	8603	10564	9524	9117	10299	9790	10409
Asfaltit	271	268	179	119	60	92	37	-
Doğal gaz	270	90	158	193	185	180	182	182
Petrol	2762	2692	3020	3902	4674	4495	4087	3871
Hidrolik	1600	2490	1542	1991	1950	2285	2921	2629
Odun	5308	5313	5345	5361	5391	5421	5451	5482
Hay. ve Bit atık.	2586	2614	2580	2548	2530	2512	2494	2475
Jeotermal	50	59	54	69	70	60	67	68
Diğer	10	13	21	37	43	61	67	92

Tablo 1.2 Türkiye'nin Enerji Tüketimi(Milyon ton eşdeğer petrol)(D.İ.E 1995)

	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Tüketim	46601	47657	50440	53334	54624	57022	60641	59610
Taş Kömürü	4404	5204	4722	6150	6501	6243	5837	5512
Linyit	9189	7932	10207	9765	10572	10743	9918	10334
Asfaltit	271	268	176	123	60	85	44	-
Doğal gaz	669	1115	2878	3110	3827	4197	4630	4928
Petrol	22301	22590	22865	23901	23315	24865	28412	27198
Hidrolik	1600	2490	1542	1991	1950	2285	2921	2629
Odun	5308	2513	5345	5361	5391	5421	5451	5482
Hay. ve Bit atık.	2586	2614	2580	2548	2530	2512	2494	2475
Jeotermal	50	59	54	69	70	60	67	68
Diğer	10	13	21	37	43	61	67	92
İthalat Miktarı	49	33	48	15	65	16	18	29
İhracat Miktarı	-	-	-	78	44	27	51	49



Şekil 1.3 Yıllara göre Türkiye'nin enerji üretimi ve tüketimi

Ülkemizde güneş enerjisinin en yaygın kullanıldığı sistemler sıcak su elde etme sistemleridir. Elde edilen sıcak su ya hacim ısıtılmasında veya çeşitli yerlerde temiz sıcak su olarak kullanılır. Bu sistemler güneş enerjili sistemler içerisinde en ekonomi olan sistemlerdir. Ülkemizde genellikle batı ve güney bölgelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğu Anadolu bölgesinde kış aylarının uzun oluşu ve sistemlerde kullanılan suyun donma tehlikesinden dolayı henüz uygulama alanı bulamamıştır.

Sıcak su kullanımı insanların vazgeçilmez ihtiyaçlarındadır. Her, zaman kullandığımız sıcak su için harcadığımız enerji konutlarda kullanılan enerjinin yaklaşık 1/10 mertebesinde dir. Sıcak su elde etmek için genellikle gaz, fuel oil , odun ve elektrik kullanılmaktadır. Son zamanlarda güneş enerji potansiyeli büyük olan ülkelerde konutların sıcak su ihtiyaçlarının büyük bir kısmı güneş enerjisi ile enerjisinden sağlanmaktadır (Kılıç 1993).

Yapılan araştırmalara göre Türkiye ile Amerika Bileşik Devletleri'nde kullanılan yıllık toplam enerjinin % 4' ü kullanma suyu ısıtılması için harcanmaktadır. Bunun değeri günlük 1,5 milyon varil petrol değeridir (Mahçuhan 1994). Güneş enerjisi kullanılarak bu değer %1 oranında dahi azaltılmış olursa daha az fosil yakıt tüketilecek ve bundan

dolayı çevre daha az kirletilmiş olacaktır. Türkiye’de de aynı durum göz önüne alınırsa güneş enerjisinin önemi daha iyi anlaşılmış olacak ve bu konuda gerek yetkili yöneticiler, gerekse araştırmacılar tarafından gereken önemi göstereceklerdir.

Güneş enerjili sistemlerin verimleri çeşitli parametrelere bağlıdır. Sistemde kullanılan kollektörler, kollektör malzemeleri, sistemde dolaşan akışkanın debisi ve deponun büyüklüğü, sistemlerin verimlerini etkileyen parametrelerdir. Düzlemsel güneş kollektörlerinin verimlerini artıran parametreler konusunda yapılan çalışmalardan elde edilen bir kaç sonucu şöyle sıralayabiliriz.

Kollektörlerde saydam örtü olarak kullanılan camlardan ışık geçirgenliği %85 olan pencere camı yerine, ışık geçirgenliği % 90 olan su beyazı cam kullanıldığında kollektör veriminde % 5.4’lük bir artış sağlanabilir (Tırıs, 1996). Kollektörlerde boru sayısı ve boruların yutucu plakaya birleştirme şeklide önemlidir. Yapılan karşılaştırmalı bir çalışmada boru sayısının 10 ve boruların yutucu plakaya ortada tespit edilmesi durumunda verimin en yüksek olacağı görülmüştür (Husain, 1990).

Özellikle bu çalışmalarda, güneş enerjisi yardımcı enerji kaynağı olarak kullanılmıştır. Bu sistem en fazla ısıtma amaçlı kullanılır. Ülkemizde bu konuda Karadeniz bölgesinde yapılan bir çalışma bu amaca yöneliktir. Yapılan bu çalışmada düz güneş kollektörlerine, ısı pompası ve enerji deposu eklenerek sistemde hem ısıtma hem kurutma hem de iklimlendirme yapılabilmektedir (Çomaklı, 1990).

Bir çalışmada tek depolu açık devreli sistemlerin verimlerinin kapalı devreli sistemlerin verimlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Aynı çalışmada 41 adet kollektör kullanılarak kurulan sistemde, birim kollektör alanından günde 4.5 ile 5.4 MJ enerji elde edilmiştir (Löf, 1983).

Doğal dolaşımli güneş enerjili sıcak su sistemleri ucuz olukları için tek daireler için önerilmiş; büyük tesisler ve otel gibi yerlerde ise pompalı sistemler önerilmiştir

(Varol,1994 ve Kaptan,1993). Burada bu anlatılan sistemlerden bahsetmek yerinde olacaktır.

Güneş enerjisinden sıcak su elde etmek için geliştirilen sistemleri şöyle sıralaya biliriz.

-Sirkülasyon şekline göre

-Tabii (doğal) dolaşım (pompasız)

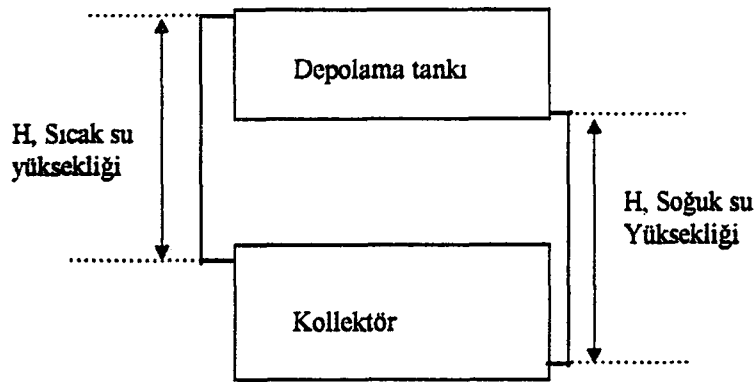
-Zorlanmış dolaşım (pompalı)

-Devre şekline göre

-Açık devreli

-Kapalı devreli

En çok kullanılan sıcak su sistemleri tabii (doğal) dolaşım (pompasız) sistemlerdir. Bu sistemler termosifon tipi olarak da adlandırılırlar. Özellikle konutlarda kullanılırlar. Kollektör ve depolardan oluşmaktadır (Şekil 1.4).



Şekil 1.4 Doğal dolaşım sistemde etken basıncın oluşumu

Sistemin tabii dolaşım olabilmesi için depo ile kollektör üst seviyesi arasında yaklaşık 45 cm yükseklik olması gerekir. Suyu sistemde dolaştıran basınç sıcak suyun ve soğuk suyun

yoğunluk farklarından meydana gelir. Kollektörde ısınan suyun yoğunluğu düşer. Daha soğuk olan depodaki suyun yoğunluğu ise bundan büyüktür. Dolayısıyla soğuk su kollektördeki suyun yerini alır. Böylece bu dolaşım kollektördeki su sıcaklığı ile depodaki su sıcaklığı arasındaki fark kapanıncaya kadar devam eder.

Yükseklığe bağlı olarak sıcak suyun statik basıncı ile soğuk suyun statik basınçları şöyledir;

$$P_{si} = h \cdot \rho_{si} \quad 1.1$$

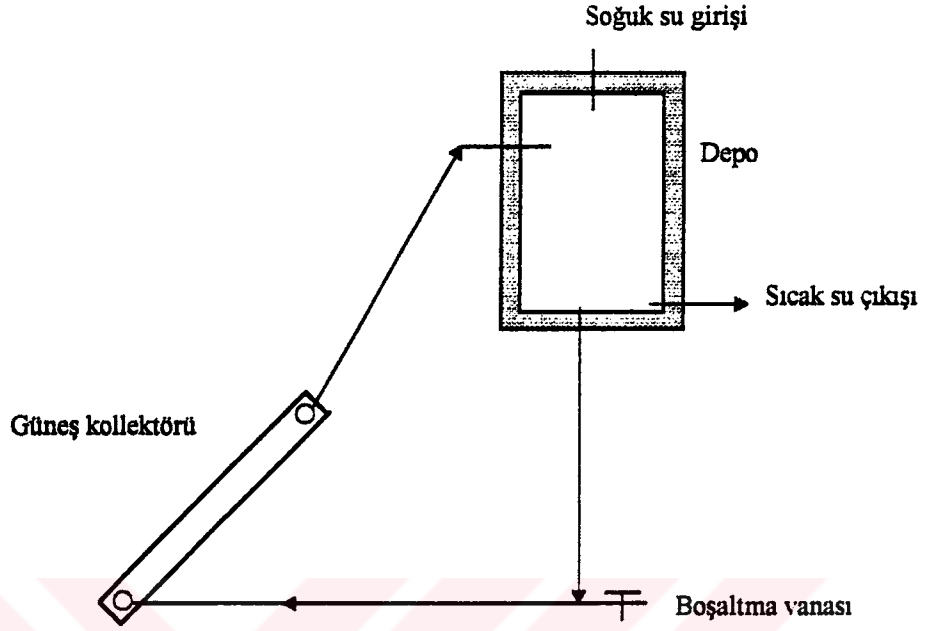
$$P_{so} = h \cdot \rho_{so} \quad 1.2$$

Soğuk suyun yoğunluğu büyük olduğundan $P_{so} > P_{si}$ dir. Bu iki basınç arasındaki fark etken basınçtır. Bunun değeri de

$$P_e = P_{so} - P_{si} = h \cdot \rho_{so} - h \cdot \rho_{si} = h (\rho_{so} - \rho_{si}) \quad 1.3$$

eşitlikten görüldüğü gibi dolaşımı sağlayan (P_e) basıncı kollektör ile depolama tankı arasındaki yükseklik (h) ile depoya giden ve gelen, sıcak ve soğuk suların yoğunlukları arasındaki farka bağlıdır. Dolaşımı sağlayan bu basıncın fazla olması için mümkün olduğu kadar fazla boru bağlantılarından , yatay borulardan ve özel direnç elemanlarından kaçınılmalıdır.

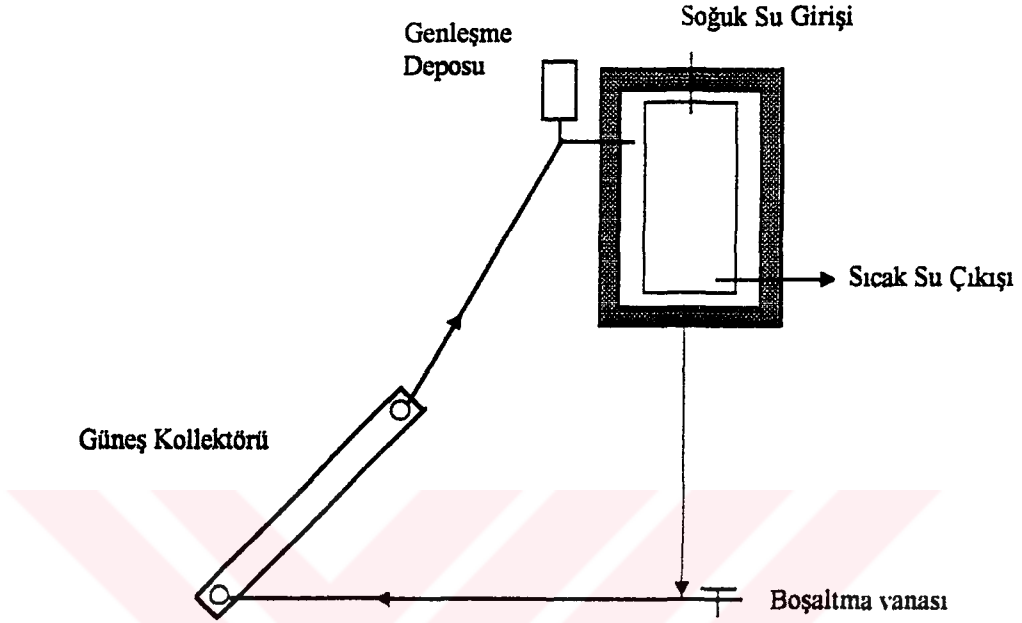
Tabii dolaşımli sistemler açık devre ve kapalı devre olmak üzere iki şekilde yapılabilir. Açık devreli sistemlerde kollektörde ısınan su depoda toplanır (Şekil 1.5). Buradan da kullanım yerlerine gönderilir. Kollektörde dolaşan su ile kullanılan su aynı olan bu sistemlerde depoda eksilen su yerine şebekeden soğuk su girişi olur. Bu sistemler yaz aylarında ve donma tehlikesi olmayan yerlerde kullanılır.



Şekil 1.5 Açık Devreli Doğal Dolaşımli Sistem

Kapalı devreli tabii dolaşımli sistemlerde ise kolektörden dolaşan sıcak ısı taşıyıcı akışkan depo içerisindeki bir eşanjörden geçirilerek ısısı kullanılacak suya aktarılır. Soğuyan bu akışkan tekrar kolektöre gider. Kapalı devrelerde kullanılan bu akışkan hem sistemi donmaya karşı korumuş olur hem de kolektördeki kireçlenmenin önüne geçilmiş olur (Şekil 1.6).

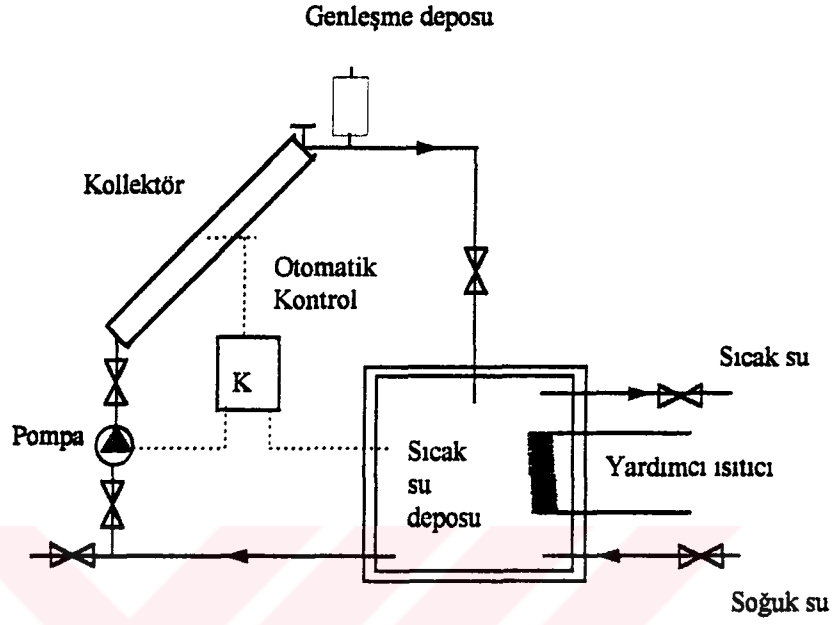
Tabii dolaşımli sistemlerin bir çok avantajları vardır. Tabii olduğundan pompa gerekmez bundan dolayı dışarıdan ilave güç girişi de yoktur. Güneş olduğunda sistem kendiliğinden çalışır. Kontrola gerek olmadığından sistemin maliyeti ucuzdur. Bunun yanında dezavantajları da vardır. En başta sıcak su üretim kapasitesi azdır. Depo kolektörden üste olması gerektiğinden yapım zorluğu ve konstrüksiyon zorlukları vardır.



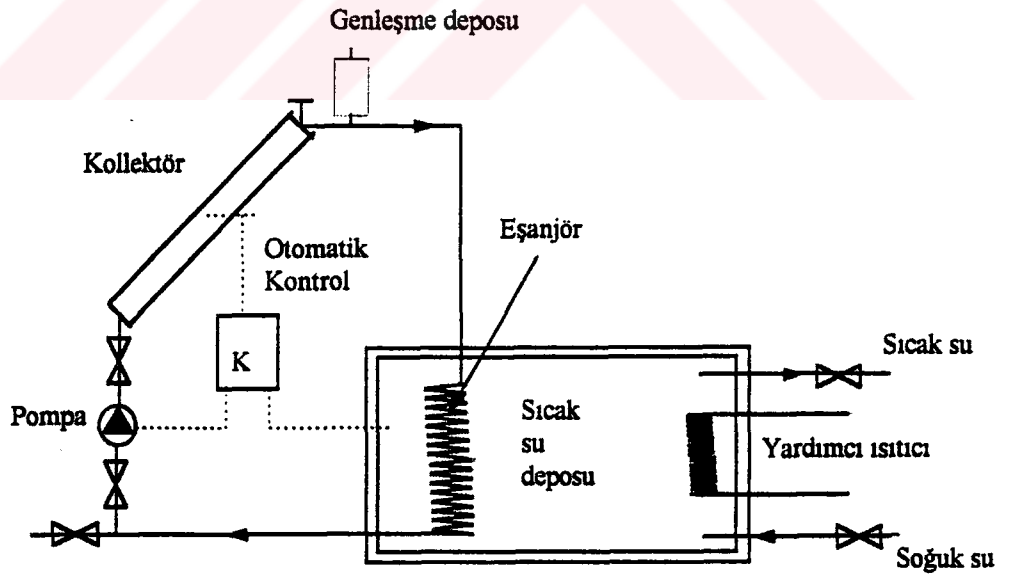
Şekil 1.6 Kapalı devreli doğal dolaşimli sıcak su sistemi

Pompalı sistemlerde genel olarak , pompa, kollektör , eşanjör (kapalı sistemler için) ve kontrol elemanları mevcuttur. Bu sistemlerde akışkanın sistemde dolaşmasını sirkülasyon pompaları sağlamaktadır. Pompalı sistemler de kapalı devreli ve açık devreli olmak üzere iki şekilde olabilir (Şekil 1.7 ve 1.8).

Bu sistemlerde pompa otomatik olarak kumanda edilebilir. Buda diferansiyel termostat yardımıyla yapılmaktadır. Termostat ucunun biri kollektör yüzeyine diğeri ise depoya bağlanır. İki uç arasındaki sıcaklık farkına göre pompa çalışır veya durur. Geceleri ve güneşin etkisi olmadığı gündüzleri kollektör yüzey sıcaklığı, depolama tankında ki su sıcaklığından daha düşük olacağından pompa çalışmaz. Güneş olduğu zaman diferansiyel termostatın her iki ucu arasındaki sıcaklık farkı yükseleceğinden pompa çalışacaktır. Böylece pompalı sistemler otomatik olarak kumanda edilebilmektedir.



Şekil 1.7 Açık devreli pompalı sıcak su sistemi



Şekil 1.8 Kapalı devreli pompalı sıcak su sistemi

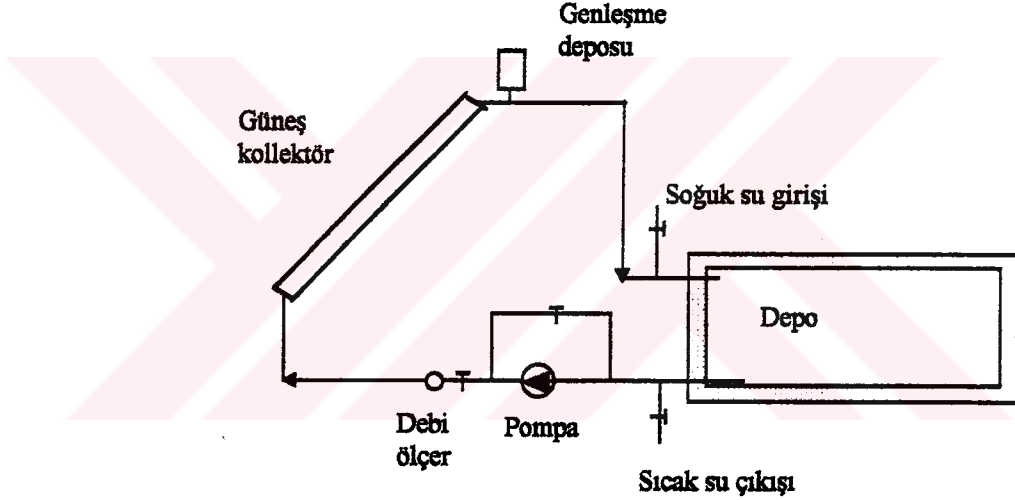
Bölgemizde de ısınma ve sıcak su için hayli enerji harcanmaktadır. Genellikle katı yakıt kullanılarak elde edilen enerji hem pahalı hem de önemli ölçüde çevre kirliliğine yol açmaktadır. Bu sebepler düşünüldükten sıcak suyun güneş enerjisi ile karşılanması için bu çalışmaya başlanmıştır.



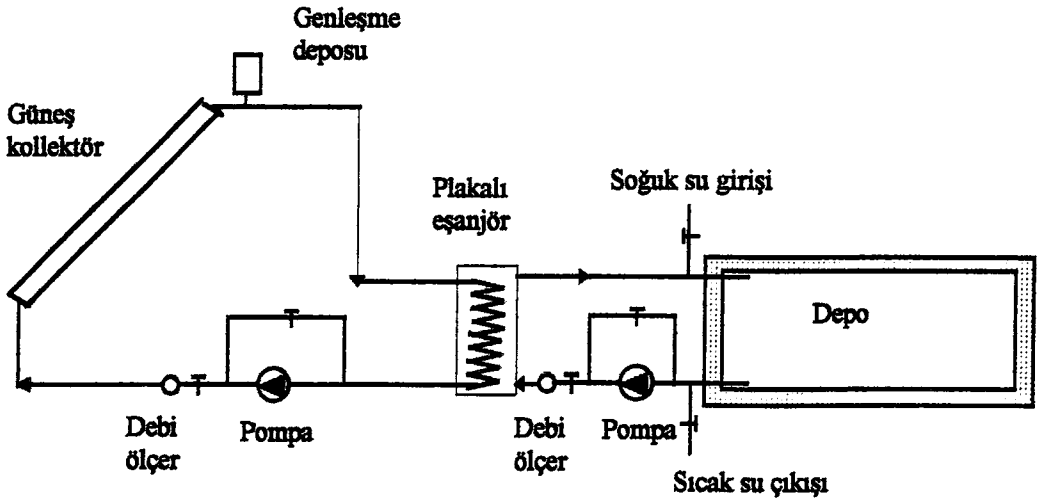
2. MATERYAL ve METOD

2.1. Deneý Düzenegi

Deneý düzenegi Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde kurulmuştur. Kapalı ve açık devreli olmak üzere iki sistemde oluşmaktadır. Kapalı sistem, iki adet kollektör, iki adet sirkülasyon pompası, bir adet eşanjörden, bir adet depo; açık sistem ise iki adet kollektör, bir adet sirkülasyon pompası, bir adet depo ve her iki sistemin sıcaklıklarının ölçümü için, ölçüm elemanlarından oluşur (Şekil 2.1 ve 2.2).



Şekil 2.1. Açık devreli pompalı sıcak su sistemi



Şekil 2.2. Kapalı devreli çift pompalı sıcak su sistemi

Deney düzeneği tek konutun sıcak suyunu karşılayacak şekilde düşünülmüş ve buna göre malzemeleri seçilmiştir. Boyutlandırma Makine mühendisleri odasının 122 nolu yayınına ve TS 3817' göre yapılmıştır. Hesaplama yöntemi aşağıda anlatılmıştır.

Güneşten yararlanarak sıcak su üretilen sistemlerde yer alan düz toplayıcı boyutlandırılması bazı değişkenlere bağlıdır. Bunlar :

- Kullanılacak kollektörlerin uzun dönem verimleri
- Uygulama yapılacak yerin iklimsel koşulları
- Isıtılması istenen suyun miktarı
- Suyun ısıtılması istenen sıcaklığı
- O yörenin güneş verileri

Sıcak su uygulamalarında % 100 üretim amaçlanmaz. Eğer amaçlanırsa güneşle ısıtmayı ekonomik olarak yapılamaz bir duruma getirir.

Boyutlandırma da aşağıdaki formüller kullanılabilir.

Sıcak su için gerekli ısı

$$Q_d = M_w \cdot C_p \cdot (T_w - T_f) \quad (\text{kcal / gün}) \quad 2.1$$

Eğik toplayıcı yüzeyine gelen ışınım ortalaması

$$H_T \quad (\text{Eşitlik 3.9 denklemleri ile hesaplanır}) \quad (\text{kcal / m}^2 \cdot \text{gün})$$

Sistemden elde edilen yararlı ısı

$$Q_N = H_T \cdot \eta_k \cdot \eta_m \quad (\text{kcal / m}^2 \cdot \text{gün}) \quad 2.2$$

Gerekli toplayıcı alanı

$$F_k = Q_d / Q_N \quad (\text{m}^2) \quad 2.3$$

Sıcak su deposu hacmi

$$V_d = 0,06 \cdot F_k \quad (m^3) \quad 2.4$$

Su dolaşım pompasının debisi

$$q = F_k \quad (lt / dk) \quad 2.5$$

Burada kullanılan M_w ısıtılacak su miktarı (lt/gün), C_p suyun özgül ısısı, T_w erişilmesi istenen su sıcaklığı, T_f ortalama şebeke suyu sıcaklığıdır(MMO).

2.2.Deney Düzenindeki Elemanlar

2.2.1. Düz Güneş Kollektörleri

Düz güneş kolektörleri, güneş ışınımını toplayan ve ısı enerjisine dönüştüren gereçlerdir. Güneş enerjisinden aldığı enerjiyi herhangi bir akışkana aktarır. Güneş enerjisinden ekonomik şekilde yararlanmada kullanılan düz güneş kolektörleriyle olmaktadır. Daha öncede bahsedildiği gibi konutların sıcak su ihtiyaçlarının karşılanmasında, ısıtma, soğutma ve kurutma sistemleri için gerekli sıcak su genellikle düz güneş kolektörleriyle elde edilmektedir.

Düz güneş kolektörleri, sistemde dolaştırılan akışkan cinsine göre sıvılı veya havalı olarak iki guruba ayrılır (Şekil 2.1). Sıvılı kolektörlerde genellikle su veya antifriz-su karışımı kullanılır. Sıvılı kolektörlerin verimleri havalı kolektörlerin verimlerinden daha yüksektir.

Genel olarak düz güneş kolektörlerinin aşağıda belirtilen avantajları vardır (Kılıç 1983).

Konstrüksiyonları daha basittir.

Yayılı ışımmdan daha fazla faydalanırlar.

Montajları daha kolaydır.

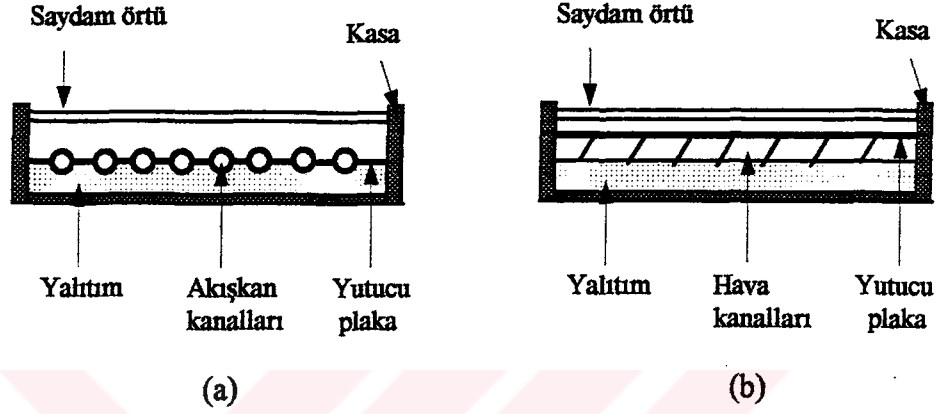
Tesisatta kullanılan elemansayısı daha azdır.

Daha mukavemetli ve daha uzun ömürlüdür.

Nakliyesi kolaydır.

İşletme masrafları daha azdır.

Bu sebeplerden dolayı düz güneş kolektörleri pratikte çok kullanılmaktadır.



Şekil 2.3. a) Sıvılı düz güneş kolektörü b) Havalı düz güneş kolektörü

Düz güneş kolektörleri, üstten alta doğru, cam veya fiberglastan yapılan üst örtü, cam ile yutucu plaka arasında yeterince boşluk, kolektörlerin en önemli parçası olan yutucu plaka, arka ve yan yalıtım ve bütün bu bölümleri içine alan bir kasadan oluşur.

2.2.1.a. Üst Saydam Örtü

Üst saydam örtünün amacı güneş ışınlarını içeri alıp çevreye olan ısı kayıplarını azaltmaktır. Bu iki şekilde olur. Birincisi, kısa dalga boylu ışınları geçirerek, uzun dalga boylu ışınları geçirmeme özelliği nedeniyle. Üzerine gelen kısa dalga boylu güneş ışınları yutucu plakaya ulaştırır ve buradan yansıyan uzun dalga boylu ışınları geçirmeyerek tekrar yutucu plakaya yansıtırlar (sera etkisi). İkincisi örtü malzemesi, rüzgar ve tabii konveksiyonla olan ısı kayıplarını önleyerek yutucu plakanın soğumasını önemli ölçüde düşürür (Uyarel, 1987).

En çok kullanılan örtü malzemesi camdır. Camlar dalga boyu 0,3 ile 3.0 μm olan güneş ışımının büyük bir kısmını geçirir ve yutucu plakadan neşredilen uzun dalga boylu (3.0-

50 μ m) ışınları geçirmez. Güneş ışınlarından etkilenmedikleri gibi yüksek sıcaklıklara da dayanıklıdırlar.

Camların ışınları geçirme oranı kollektör verimini etkilemektedir. Geçirme oranı, bileşimindeki demir oksit miktarına bağlıdır. Demir oranının artmasıyla geçirme oranı azalır. Cam tarafından tutulan ışık miktarı artar (Tırıs, 1996). Dolayısıyla saydam örtü için demir oksit miktarı % 0.05 az olan camlar tercih edilir.

Üst saydam örtü olarak plastik malzemelerde kullanılmaktadır. Plastik malzemeler kısa dalga boylu ışınları geçirme oranı yüksektir, fakat yutucu plakadan geri yansıyan uzun dalga boylu ışınlarında geçirdiklerinden, yutucu yüzey tarafından neşredilen ışınının örtü malzemesini geçerek dışarı çıkmasından dolayı plastik örtüler kollektör verimini azaltır. Bu sebeplerden dolayı saydam örtüsü cam olan kollektörler kullanılır. Bazı plastik esaslı saydam malzemelerin ve değişik camların özellikleri tablo 2.1.'de görülmektedir.

Tablo 2.1. Bazı saydam örtülerin özellikleri (Kılıç 1983).

	kalınlık (mm)	kırma indisi	güneş ışınımı geçirme oranı 0.2-4.0 μ m	neşredilen ışınım geçirme oranı 3.0-50 μ m	dayanıklılığı ($^{\circ}$ C)
Lexan	3.2	1.58	0.73	0.02	120-130
Arcylic	3.2	1.49	0.80	0.02	80-90
Teflon, PVF	0.13	1.34	0.90	0.26	200
Tedlar, PVF	0.10	1.45	0.88	0.21	110
Mylar	0.13	1.65	0.80	0.18	150
Sunlite	0.64	1.54	0.75	0.08	90
Düzgün cam	3.2	1.52	0.79	0.02	730
Temper cam	3.2	1.52	0.79	0.02	230-260
Su-beyazı cam	3.2	1.50	0.92	0.02	200

2.2.1.b. Yutucu Plakalar

Yutucu plaka kollektörün en önemli bölümüdür. Güneş ışınları yutucu plaka tarafından tutularak ısıya dönüştürülür ve bu ısı akışkana aktarılır. Bakır, çelik, alüminyum, sac, plastik vb. ısı iletkenliği yüksek malzemelerden yapılır.

Akışkan taşıma kanalları, yutucu plaka üzerine roll-band, ekstrüzyon, presleme, kaynak, lehim gibi işlemlerle, ortasında, üstünde veya altında olacak şekilde imal edilir (E.İ.T).



Şekil 2.4. Yutucu plaka - boru birleştirme şekilleri

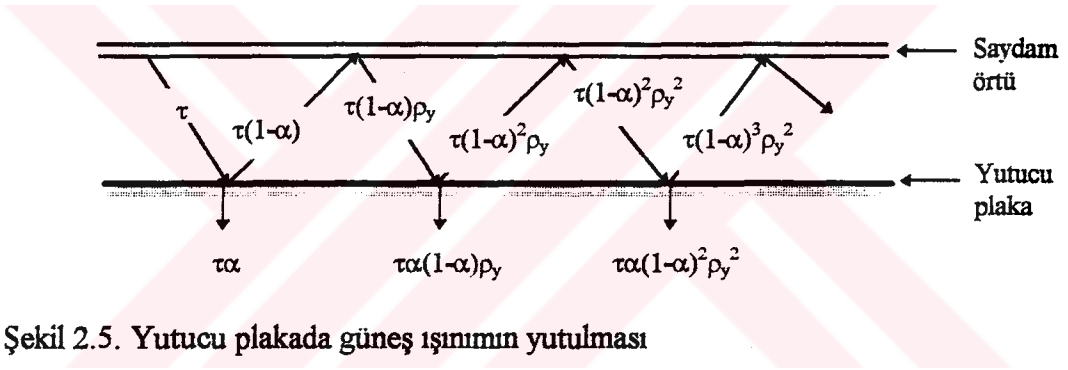
Yutucu plaka her şeyden önce güneş ışınımını yutma oranı büyük ve uzun dalga boylu ışınımı neşretmesi küçük olması gerekir. Işınımı yutarak ısınan levhanın, ısıyı, temas halindeki akışkana iyi bir şekilde iletmesi için, ısı iletim katsayısı yüksek malzemeler ve levhalar mümkün olduğunca ince yapılır (Kılıç, 1983). Yutucu plaka kalınlığının bakır için 0.3 - 2.5 mm, alüminyum için 1.5 - 2.5 mm olması istenir (TS 1989).

En ideal yutucu plaka seçici yüzeylerdir. Kısa dalga boylu ışınımın (0.3 - 3.0 μ m) tamamına yakını yutan ve uzun dalga boylu ışınım neşrediciliği az olan yüzeylere seçici (selektif) yüzey adı verilir. Seçici yüzeyler, uzun dalga boylu ışınımı neşretme oranı düşük metaller, güneş ışınımını yutma oranı büyük bir madde ile kaplanarak elde edilir. Pratikte daha çok siyah krom ve siyah nikel kaplamalar yapılmaktadır (Kılıç, 1983).

Son yıllarda kollektör firmaları yurt dışından plastik yutucu plaka ithal etmektedirler. Bu plakalar düşük sıcaklık uygulamaları için uygundur. Plastiklerin ısı iletim katsayılarının düşük olmasından dolayı, yutucu plaka ve akışkan arasındaki ısı transferide düşük olur

ve buda kollektör verimi düşür. Ayrıca maliyetleri de yüksektir. Bundan dolayı plastik örtülerin kullanımı dezavantajlı olmaktadır. (Tırıs, 1995).

Kollektörlerde saydam örtü ve yutucu plakanın yutma ve geçirme katsayıları, yutma ve geçirme çarpımı olarak hesaplanır. Saydam örtüyü geçerek yutucu yüzey üzerine gelen güneş ışınımının bir kısmı yansıtılır. Yansıyan ışınım, saydam örtünün alt kısmına gelir ve bir kısmı geçerken bir kısmı yeniden yüzey üzerine yansır. Bu olay böylece devam eder . Şekil 2.5'den levha tarafından yutulan ışınımın kesri



Şekil 2.5. Yutucu plakada güneş ışınımının yutulması

$$(\tau\alpha) = \tau\alpha \sum_{n=0}^{\infty} [(1-\alpha)\rho_y]^n = \frac{\tau\alpha}{1-(1-\alpha)\rho_y} \quad 2.13$$

Elde edilir. Burada $(\tau\alpha)$ değerine yutma- geçirme çarpımı denir. $(\tau\alpha)$ çarpımı kollektör verimini etkilemektedir.

2.2.1.c. Yalıtım ve Kasa

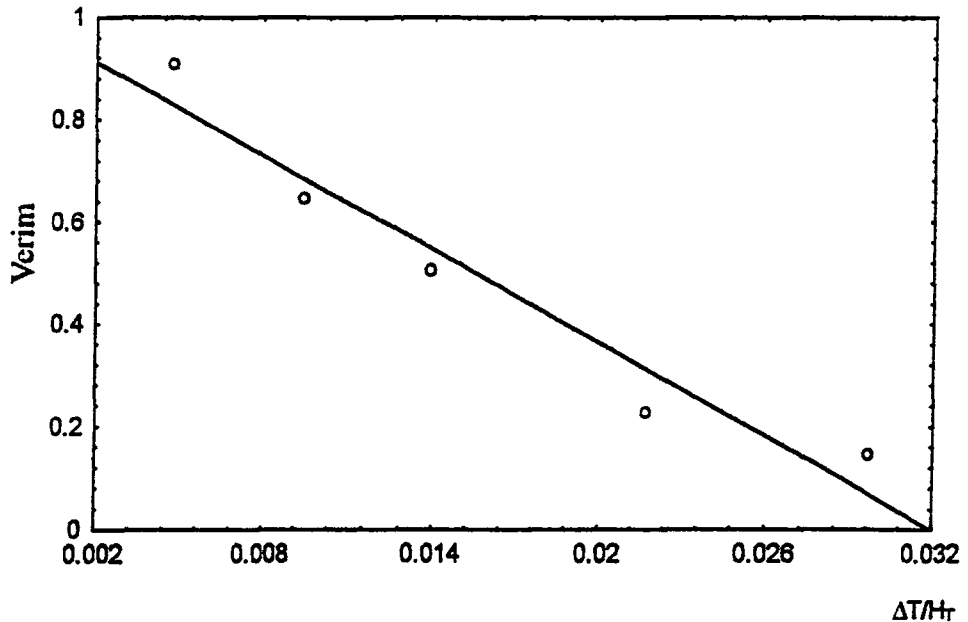
Kollektörlerin güneş ışını almayan alt ve yan kısımları ısı kayıplarını önlemek için yalıtılır. Yalıtım malzemesi olarak cam yünü, stropor ve poliüretan kullanılır. Yalıtım malzemesinin kalınlığı, kollektörün ağırlığı, maliyeti, boyutları ve en önemlisi ısı kayıp katsayısı göz önüne alınarak seçilir.

Yalıtım ve kollektörün diğer parçalarını korumak için kasa yapılır. Kollektör kasaları genellikle metaldendir ve hafif olması için çoğunlukla alüminyum levha kullanılır.

Bizim deneyimizde kullanılan düz güneş kollektörleri Makine- Kimya Endüstrisi tarafından yapılmıştır. Yutucu plaka ve kasa alüminyumdan yapılmıştır. Bu kollektörlerde ısı taşıyıcı akışkan olarak hem su hemde don önleyicili akışkanlar kullanılabilmektedir. Teknik özellikleri;

Yutucu yüzey	: Alüminyum üzeri siyah boya kaplanmıştır
Boru sayısı	: 9
Net yutucu yüzey alanı	: 1,8 m ²
Cam kalınlığı	: 4 mm
Su hacmi	: 5 lt
Ağırlık	: 47 kg
Boş iken çıkabileceği maksimum sıcaklık	: 200 ⁰ C

Kullanılan kollektörlerin TS 3680 de belirtilen kurallara göre verim eğrisi daha önce bulunmuş ve aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.6. Deney düzeneğinde kullanılan kollektörlerin verim eğrisi

2.2.2. Sirkülasyon Pompaları

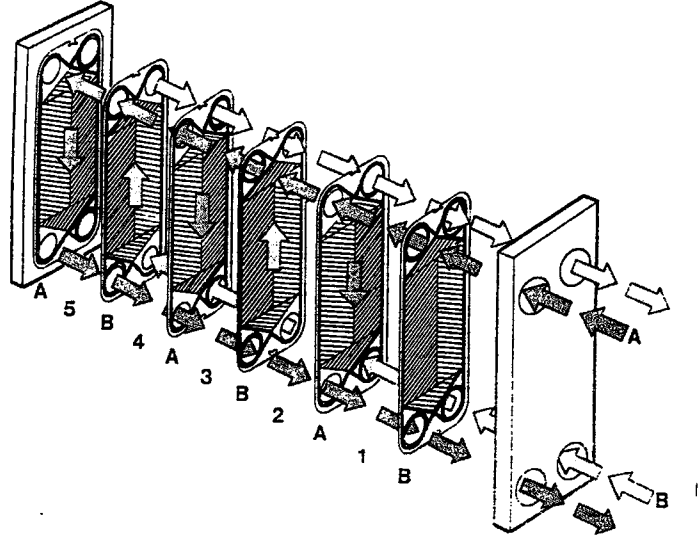
Sirkülasyon pompaları olarak Alarko firmasının PVO25 model radyal pompaları kullanılmıştır. Kat kaloriferleri için kullanılan bu pompalar üç kademeli yapılmıştır. Bu sayede devir sayısı artırılıp azaltılarak debi ayarlanabilmektedir. Diğer özellikler aşağıda verilmiştir.

Çalışma sıcaklık aralığı	: +1- +110°C		
Çalışma ortam sıcaklığı	: 40°C' ye kadar		
Maksimum servis basıncı	: 10 bar		
Su glikol karışı	: en fazla % 50 glikol		
Devir sayısı aralığı	: 1250 d/d	1750d/d	2250d/d
Harcadığı enerji	: 40W	62W	83W
Çektiği akım	: 0,19A	0,32A	0,38A
Giriş voltajı	: 230		

2.2.3. Eşanjör (kapalı sistem için)

Kapalı sistem için plakalı eşanjör kullanılmıştır. Plakalı eşanjör yan yana dizilmiş plakalardan oluşur(Şekil 2.6). Bir plaka grubu yan yana sıkıştırıldığında köşelerdeki delikler, ortamı, giriş bağlantısından, plakalar arasındaki dar geçişlere dağıtıldığı plaka grubuna götüren kesintisiz tüneller veya manifoldlar meydana gelir. Plakalardaki conta yerleşiminden ve "A" ve "B" plakalarının değişimli konmasından dolayı iki sıvı değişimli geçişlere girer, başka bir deyişle sıcak sıvı tek geçişlere, soğuk sıvı ise çift geçişlere girer.

Böylece ortamlar ince bir metal duvar ile ayrılmış olur. Eşanjör girişinde plaka boyunca geçiş süresince sıcak akışkan ısısının bir bölümünü soğuk akışkana verir. Nihayetinde bu ısı değişimi bütün plakalar arasında devam eder. Sonunda, eşanjör çıkışında sıcak akışkan soğurken soğuk akışkan ısınır. İnce plakalar sayesinde iyi bir verim elde edilmiş olur. Deneyde kullanılan plakalı eşanjörün malzemesi paslanmaz çelik olup 10 adet plaka kullanılmıştır.



Şekil 2.7. Plakalı eşanjörde, plakaların görünümü

2.2.4. Ölçüm Elemanları

2.2.4.a Sıcaklık Ölçümü

Deneyleerde tek kanallı sıcaklık ölçüm cihazı kullanılmıştır. Sistemdeki tüm kanalların sıcaklıklarını okumak için termokupllar ile sıcaklık ölçerin arasına on kanallı kanal seçici konulmuştur. Sıcaklık ölçer, kanal seçici ve temokupl telleri bir bütün olarak kalibrasyonları yapılmıştır.

Sıcaklık ölçüm cihazının teknik özellikleri;

%0,1 okuma hassasiyeti

0,1 °C / 0,1 °F ölçüm

yüksek okunaklı çok veri göstergesi

Parlak likit kristal göstergesi

Kolay kalibrasyon

İleri özelliklerde kutu, düzenleme (yuvarlama), tepe ve dip değerleri tutma, alarm, kalibrasyon

Yazıcı girişi

Alarm sinyal çıkışı

2.2.4.b. Güneş Işınımının Ölçülmesi

Yatay yüzey üzerindeki toplam güneş ışınımı (direkt ve yayılan) ölçmek için Weathertronic star piranometre kullanılmıştır. Star piranometrenin 12 adet V şeklinde sektörlerle sahip olan bir alıcı elemanı vardır. Bu alıcı elemana toplam 72 adet termokupl bağlanmıştır. Sektörler bakırdan yapılmış ve alıcı yüzey değişken olarak yutma özelliği yüksek olan siyah ve yansıtıcılığı yüksek olan beyaz boya ile boyanmıştır. Yani 6 sektör siyah 6 sektör ise beyazdır. Kullanılan beyaz boya hemen mükemmel bir yansıtıcı yüzey sağlamaktadır.

Sensör güneş ışınına maruz kalınca siyah ve beyaz sektörler arasında sıcaklık farkı oluşmaktadır. Çünkü siyah yüzeyler ışınımı yutar beyaz sektörler ise ışınımı yansıtmaktadır. Beyaz sektörler cihazın referans noktaları olarak kullanılmaktadır. Siyah yüzeyin sıcaklığının artmasıyla kaybettiği ısı miktarı ışınım ile kazandığı ısı miktarına eşit oluncaya kadar yükselmektedir. Sıcaklıktaki bu yükseliş sadece ışınımın bir fonksiyonu olmaktadır. Bu nedenle verilen bir sıcaklık farkı için ısı kayıp miktarı, çevre sıcaklığı ve rüzgar hızına bağlıdır. Sıcaklıktaki yükselmenin sadece ışınım şiddetiyle orantılı olması için muhafaza içindeki konveksiyonla ısı kayıpları minimuma indirilmiştir. Yüksek yansıtıcı dış yüzey ve muhafazanın kütlesi muhafazayı yavaşça değişen üniform bir sıcaklıkta tutar. Böylece çıkış voltajı güneş ışınımıyla orantılı olmaktadır. Piranometrenin özellikleri ve şekli aşağıda verilmiştir.

Spektral cevap aralığı	0,3- 3,0 mikron
Hassasiyet	yaklaşık mV/gm cal/cm ² -dk
İmpedans	32 ohm

Termokupllar	72 adet bakır- kostant
sıcaklık katsayısı	% 0,025 / °C
Zaman sabiti	4 saniye
Cam küre	7cm çaplı kristal cam
Ebat	135mm çap - 90 mm yükseklik



Şekil 2.8. Piranometre

2.2.4.c. Debi Ölçülmesi

Her bir sistemin debileri su sayacı ve kronometre kullanılarak ölçülmüştür. Belli bir miktarda (hacimsel olarak) akışkanın geçmesi için gereken süre kronometreden okunmuş ve daha sonra hacimsel debi kütleli (kg/sn)'ye çevrilmiştir. Kullanılan sayaçların özellikleri,

TS 824

Tip	: ÇSKG
Minimum debi	: 1.5 m ³ /h
Maksimum debi	: 3 m ³ /h
Basıç	: 1 bar
Hassasiyet	: 1/10

2.2.5. Sıcak Suyun Depolanması

Gün boyunca kollektörde ısınan su, bir depoda toplanmaktadır. Depo hacmi iki kollektör için TS'de belirtilen standartlar aralığına göre seçilmiştir. Depodan çevreye olan ısı kayıplarını azaltmak için deponun çevresi bölümümüzde mevcut olan 5cm kalınlığında alüminyum folya kaplı, cam yünü ile yalıtılmıştır. Açık sistemde mevcut sıcak su hacmi (kollektörler ve borular dahil) 220 litre ve kapalı sistemde bu miktar 190 litre olmaktadır.

2.3. Deneylerin Yapılışı

Deney düzeneği kurulup hazırlandıktan sonra kollektör açısı ölçülmüş ve 30°C olarak tespit edilmiştir. Kollektörler paralel bağlanarak deneylere başlanmıştır. Açık devreli sistemde ve kapalı devreli sistemin her iki devresinde, ısı taşıyıcı akışkan olarak su kullanarak deneyler yapılmıştır.

Daha sonra kapalı devreli sistemin kapalı devre tarafına su ve antifriz karıştırılarak konulmuştur. Bu karışım pompanın özelliklerine göre %50 su ve % 50 antifriz (etilen glikol)' den oluşmaktadır. Bu sayede kollektörde dolaşan akışkanın donma sıcaklığı -35 °C' ye kadar düşürülmüştür.

Yine aynı sistemlerin kollektörleri seri bağlanarak deneyler yapılmıştır. Bu sayede paralel bağlı kollektör sistemi ile seri bağlı kollektör sistemleri arasında karşılaştırma yapma imkanı elde edilmiştir.

Yapılan tüm deneylerde her iki sistemin, kollektör giriş, kollektör çıkış, kollektör yüzey ve depo sıcaklıkları ve kapalı sistemin depo tarafı eşanjör giriş ve çıkış sıcaklıkları, çevre sıcaklığı, güneş ışınımı ve debiler ölçülmüştür.

Ölçüm sonuçları tablolara kaydedilerek kalibrasyonda elde edilen sonuçlara göre yeniden düzenlenmiştir. Bu tablolar sonuç kısmında verilmiştir.

Buraya, ağustos ayı ve eylül ayının başlangıcında yapılan deneyler içerisinde doğru ve tam olarak ölçüm yapılan günlerin ölçüm sonuçları alınmıştır. Bu günler,

- 12.08.1997 (kapalı devre akışkanı su)
- 13.08.1997 (kapalı devre akışkanı su)
- 14.08.1997 (kapalı devre akışkanı su)
- 15.08.1997 (kapalı devre akışkanı su)
- 17.08.1997 (kapalı devre akışkanı %50su %50 antifriz)
- 18.08.1997 (kapalı devre akışkanı %50su %50 antifriz)
- 20.08.1997 (kapalı devre akışkanı %50su %50 antifriz)
- 21.08.1997 (kapalı devre akışkanı %50su %50 antifriz)
- 30.08.1997 (kollektörler seri ve paralel bağlı)
- 01.09.1997 (kollektörler seri ve paralel bağlı)

3. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILAN FORMÜLLER

Güneş enerjili sıcak su sistemlerinde kullanılan önemli konu sistemin veriminin belirlenmesidir.

Verim = sistemin aldığı enerji / sistemden çekilen enerji

Sistemin aldığı enerjiyi, kollektör üzerine düşen güneş ışınım miktarı oluşturmaktadır. Sistemden alınan enerjide kollektörlerin suya verdiği enerjidir. Bunlar için geliştirilen formüller aşağıda kısaca anlatılmıştır.

3.1. Eğik Yüzelere Gelen Toplam Işınım

Daha önce anlatıldığı gibi yatay yüzeye gelen güneş ışınım miktarı ışınım ölçerlerden alabiliyoruz. Fakat eğik yüzeylere gelen ışınımların hesaplanması gerekir. Bunun için çeşitli formüller geliştirilmiştir (Kılıç, 1983).



Şekil 3.5. Yatay ve eğik yüzeye gelen güneş ışınım açıları

Eğik yüzeylere gelen toplam ışınımın hesaplanabilmesi için :

Yörenin enlem derecesi (ϕ)

Yatay yüzeye gelen toplam radyasyon (I_{YT})

Hesaplamanın yapıldığı gün için deklinasyon açısı (δ)

Güneş saat açısı (ω)

Güneş yükseklik açısı (α)

Atmosfer dışı toplam radyasyon (I_{ADT})

Bulanıklık faktörü (K_T)

Dik bir düzleme gelen direkt radyasyon (H_b)

Yatay düzleme gelen radyasyonun direkt bileşeni (I_b)

Yatay düzleme gelen toplam radyasyonun difüz bileşeni (I_d)

Eğik düzleme gelen direkt güneş ışınımının , yatay düzleme gelen direkt güneş ışınımına oranı (R_b)

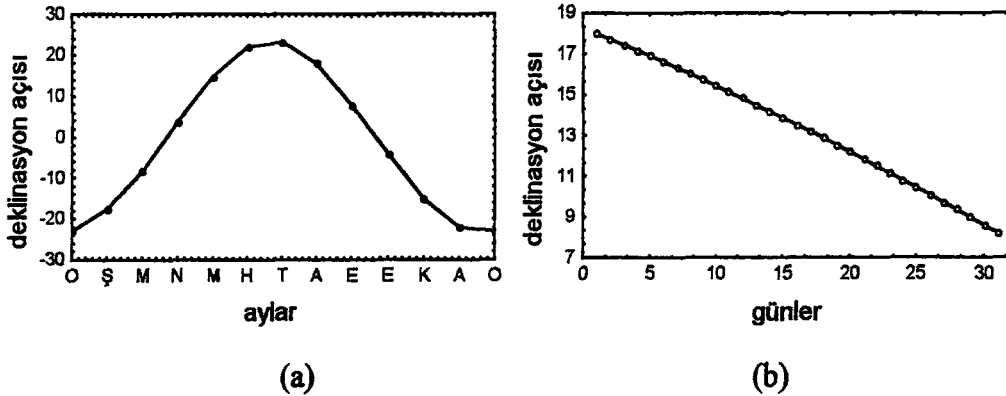
önceden bilinip hesaplanması gerekir. Bunları şöyle hesaplayabiliriz.

Yörenin enlem derecesi o yöreye ait haritalardan bulunabilir. Yatay yüzeye gelen toplam radyasyon ya önceden hazırlanmış tablodan veya ışınım ölçerden okunabilir.

Deneilerin yapıldığı gün için deklinasyon açısı:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left[\frac{360 \cdot (n + 284)}{365} \right] \quad 3.1$$

bağıntısından hesaplanır(Kılıç, 1983). n: 1 Ocaktan itibaren gün sayısı



Şekil 3.6 Deklinasyon açısının, a) yıl boyunca b) ağustos ayı boyunca değişimi

Güneş saat açısı, göz önüne alınan yerin boylamı ile güneşi dünya merkezine birleştiren doğrunun, yani güneş ışınlarının belirttiği boylam arasındaki açıdır. Saat açısı güneş

boylamının göz önüne alınan yerin boylamı ile aynı olduğu “güneş öğlesi” nden itibaren ölçülür. Öğleden önceleri (-), öğleden sonraları (+) işareti alınır. Bilindiği gibi her 15° saat açısı (boylam farkı) zaman olarak 1 saate tekabül eder (Kılıç, 1983).

Tablo 3.1. Güneş saat açıları

yerel saat	8	9	10	11	12	13	14	15	16
öğlen zamanı									
saat açısı (ω)	-60°	-45°	-30°	-15°	0°	15°	30°	45°	60°

Güneş yükseklik açısı bölgenin yatay düzlemi ile güneşin herhangi bir anda bulunduğu noktaya doğru var sayılan çizgi arasındaki açıdır (Uyarel, 1987).

Şöyle hesaplanır.

$$\sin\alpha = \sin\phi \cdot \sin\delta + \cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega \quad 3.2$$

Atmosfer dışı toplam radyasyon ise

$$I_{ADT} = 1353 \cdot \left[1 + 0,034 \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot n}{365}\right) \right] \cdot (0,9972 \cdot \cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega + \sin\phi \cdot \sin\delta) \quad 3.3$$

şeklinde hesaplanır. Burada 1353 W/m² değeri dünya atmosferi dışındaki radyasyon değeridir ve güneş sabiti olarak adlandırılır.

Bulanıklık faktörü K_T şöyle hesaplanır.

$$K_T = \frac{I_{YT}}{I_{ADT}} \quad 3.4$$

Güneş ışınlarının dik bir düzleme gelen direkt radyasyonu;

$$H_b = -520 + 1800 K_T \quad 3.5$$

Yatay düzleme gelen radyasyonun direkt bileşeni;

$$I_b = H_b \cdot \sin\alpha \quad 3.6$$

Yatay düzleme gelen toplam radyasyonun difüz bileşeni;

$$I_d = I_{YT} - I_b \quad 3.7$$

Eğik düzleme gelen direkt güneş ışımının yatay düzleme gelen direkt güneş ışınımına oranı;

$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega + \sin(\phi - \beta) \cdot \sin\delta}{\cos\phi \cdot \cos\omega \cdot \cos\delta + \sin\phi \cdot \sin\delta} = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad 3.8$$

şeklinde hesaplanır. Yukarıdaki hesaplar yapıldıktan sonra eğik yüzeye gelen veya güneye bakan kollektör yüzeyine gelen toplam ışınım şöyle hesaplanır.

$$H_T = I_b \cdot R_b + I_d \frac{(1 - \cos\beta)}{2} + (I_b + I_d) \cdot (1 - \cos\beta) \cdot \frac{\rho}{2} \quad 3.9$$

ρ : yüzey yansıtma katsayısı ($\rho=0,2$) (Bilen, 1996).

3.2. Kollektör Tarafından Tutulan Isı

Kollektör tarafından tutulan ısı iki yöntemle hesaplanabilir. Birinci yöntemde kollektörde dolaşan suyun giriş çıkış sıcaklıkları ve debisi ölçülerek kollektörden çekilen faydalı ısı bulunur. Bizde hesaplarımızda bu yöntemi kullanacağız. Faydalı ısı;

$$Q_U = m.c_p.(T_f - T_g) \quad 3.10$$

şeklinde bulunabilir. İkinci yöntemde ise kolektör enerji dengesi yazılarak hesaplanabilir. Enerji dengesi,

$$Q_U = Q_A - Q_L \quad 3.11$$

dir. Burada Q_A kolektör tarafından yutulan ısıdır ve

$$Q_A = H_T.(\tau\alpha).A_T \quad 3.12$$

formülünden hesaplanır. Q_L kolektörün tüm yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybıdır ve

$$Q_L = U_L.A_T.(T_y - T_o) \quad 3.13$$

dir. Dolayısı ile kolektörde kazanılan enerji,

$$Q_U = H_T.(\tau\alpha).A_T - U_L.A_T.(T_y - T_o) \quad 3.14$$

şeklinde hesaplanır. Bir çok durumda kolektörün yutucu yüzey ortalama sıcaklığını tespit etmek güç olabilir. Bunun için verim faktörü olan F_R kullanılır. Verim faktörü, gerçek faydalı enerjinin, toplayıcı yüzeyinin tamamının akışkan giriş sıcaklığına eşit olduğunda tutulacak faydalı enerjiye oranı olarak tanımlanır (Yüksel, 1992).

Formül olarak

$$F_R = \frac{H_T.(\tau\alpha) - U_L.(T_f - T_o)}{H_T.(\tau\alpha) - U_L.(T_g - T_o)} \quad 3.15$$

şeklinde ifade edilir. Kolektörde tutulan faydalı ısı ise

$$Q_U = F_R \cdot A_T \cdot (H_T \cdot (\tau\alpha) - U_L \cdot (T_g - T_o)) \quad 3.16$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

3.3.Sıcak Su Üretim Sistemlerin Verimleri

Açık devreli sistemin verimi

$$\eta = \frac{Q_U}{A_T \cdot H_T} \quad 3.17$$

Buradaki Q_U 3.10 eşitliğinden hesaplanır.

Kapalı devreli (antifrizli) sistemin verimi

$$\eta = \frac{Q_s}{A_T \cdot H_T} \quad 3.18$$

şeklinde. Buradaki Q_s kullanma suyunun eşanjörde antifrizden aldığı ısıdır.

$$Q_s = m_s \cdot C_{ps} \cdot (T_{sç} - T_{sg}) \quad 3.19$$

Ayrıca sistemlerin günlük ortalama verimleri aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$\eta_T = \frac{m_T \cdot C_{Ps} \cdot (T_{son} - T_{ilk})}{A_T \int_{t_1}^{t_2} H_T} \quad 3.20$$

3.4.Sıcak Su Sistemlerinin Ekserji Verimleri

Ekserji, verilen şartlardaki bir sistemin, çevresiyle aynı şartlara getirilmesinde elde edilebilen en büyük iştir. Ekserji verim ifadesi genel tanım olarak,

$\eta_{EK} = \text{Ekserji çıkışı} / \text{Ekserji girişi}$

şeklinde ifade edilmektedir.

a) Güneş enerjili açık devreli pompalı sıcak su sistemlerinin ekserji verimleri,

$$\eta_{EKA} = \frac{Q - T_0 \cdot m_s \cdot C_p \cdot \ln\left(\frac{T_C}{T_G}\right)}{W + H_T \cdot A_T \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_Y}\right)} \quad 3.21$$

b) Güneş enerjili kapalı devreli sıcak su sistemlerinin ekserji verimleri,

$$\eta_{EKK} = \frac{Q - T_0 \cdot m_s \cdot C_p \cdot \ln\left(\frac{T_{SÇ}}{T_{SG}}\right)}{W + H_T \cdot A_T \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_Y}\right)} \quad 3.22$$

bağıntıları ile hesaplanır (Ayhan, 1990).

4. SONUÇLAR

Deneilerin yapılışında ölçülen değerler tablolar halinde verilmiştir. Tablolara kapalı ve açık devreli sistemlerde ölçülen sıcaklık değerleri (kollektör giriş, çıkış, yüzey ve depo sıcaklıkları), ortalama debi değerleri, çevre sıcaklığı ve yatay yüzeye gelen toplam ışıınım kaydedilmiştir. Ayrıca kollektör yüzeyine(eğik yüzey) gelen toplam ışıınım değerleri 3.9 denklemi ile hesaplanarak tabloya kaydedilmiştir.

Sistemlerin anlık verimleri hesaplanırken, açık sistem için 3.17 ve kapalı sistem için 3.18 denklemi kullanılmıştır. Yine bu sistemlere ait ekserji verimleri de 3.21 ve 3.22 denklemleri ile hesaplanmıştır. Ekserji verimi hesaplanırken sisteme verilen iş, açık devre için pompanın ikinci kademedeki gücü ve kapalı devre için bu sistemde kullanılan iki pompanın ikinci kademedeki güçlerinin toplamı alınmıştır. Ayrıca güneş ışıınının günün saatlerine göre değişiminin fonksiyonu belirlenip bu fonksiyon deney yapılan saatler arasında integre edilerek günlük toplam ışıınım hesaplanmıştır. Yine sistemlerden alınan günlük toplam enerji hesaplanarak sistemlerin günlük ortalama verimleri bulunmuştur.

Yukarda anlatılan hesapların sonuçları deney yapılan günler için grafikler halinde verilmiştir. Bu grafiklerde her iki sistemin verimleri, ekserji verileri ve sitemlerde ölçülen depo sıcaklıkları, kollektör yüzeyi sıcaklıkları ve çevre sıcaklığı karşılaştırılmıştır.

Deney yapılan günlere ait tablo ve grafik numaraları aşağıda verilmiştir.

<u>Deney yapılan gün</u>	<u>Tablo no</u>	<u>Grafik no</u>
12 .08.1997	Tablo 4.1	Şekil 4.1, 4.2, 4.3, 4.4
13.08.1997	Tablo 4.2	Şekil 4.5, 4.6, 4.7, 4.8
14.08.1997	Tablo 4.3	Şekil 4.9, 4.10, 4.11, 4.12
15.08.1997	Tablo 4.4	Şekil 4.13, 4.14, 4.15, 4.16
17.08.1997	Tablo 4.5	Şekil 4.17, 4.18, 4.19, 4.20
18.08.1997	Tablo 4.6	Şekil 4.21, 4.22, 4.23, 24

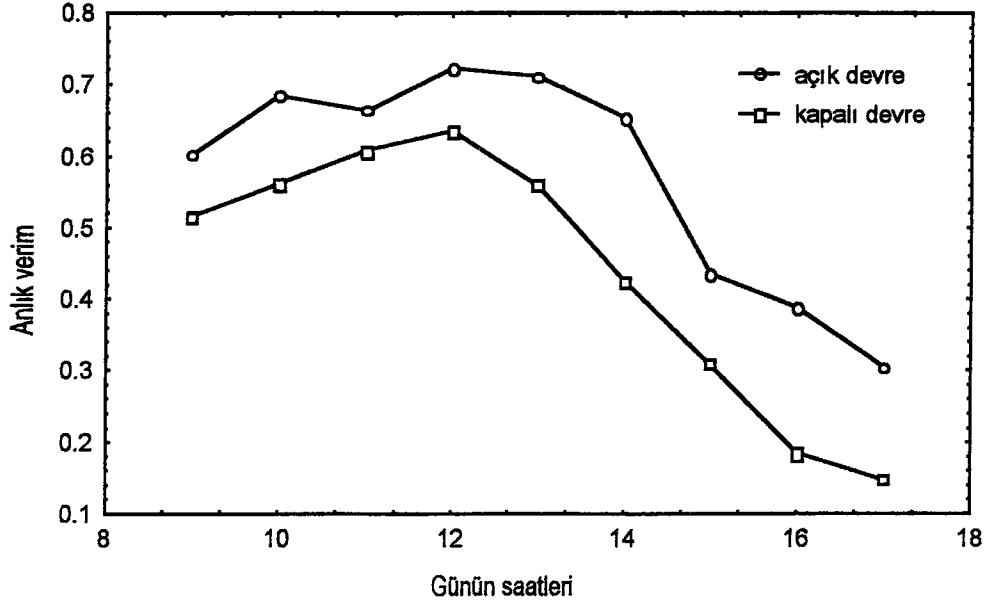
20.08.1997	Tablo 4.7	Şekil 4.25, 4.26, 4.27, 4.28
21.08.1997	Tablo 4.8	Şekil 4.29, 4.30, 4.31, 4.32
30.08.1997	Tablo 4.9	Şekil 4.33, 4.34, 4.35, 4.36
01.09.1997	Tablo 4.10	Şekil 4.37, 4.38, 4.39, 4.40

Sistemlerden alınan günlük toplam enerji ve günlük ortalama verimde şekil 4.41 ve 4.43 de verilmiştir.

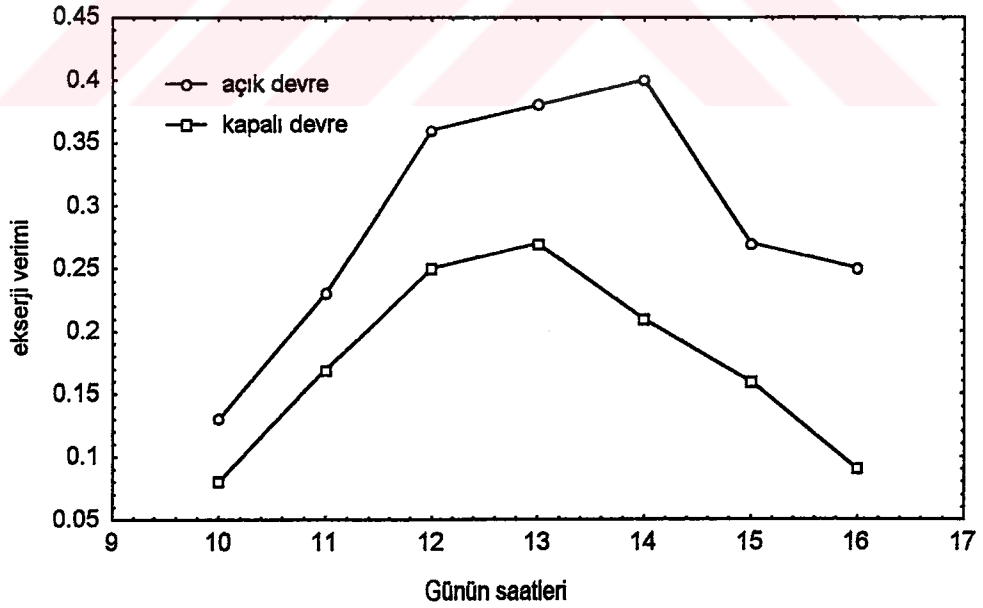


Tablo 4.1. 12.08.1997 tarihinin ölçüm sonuçları

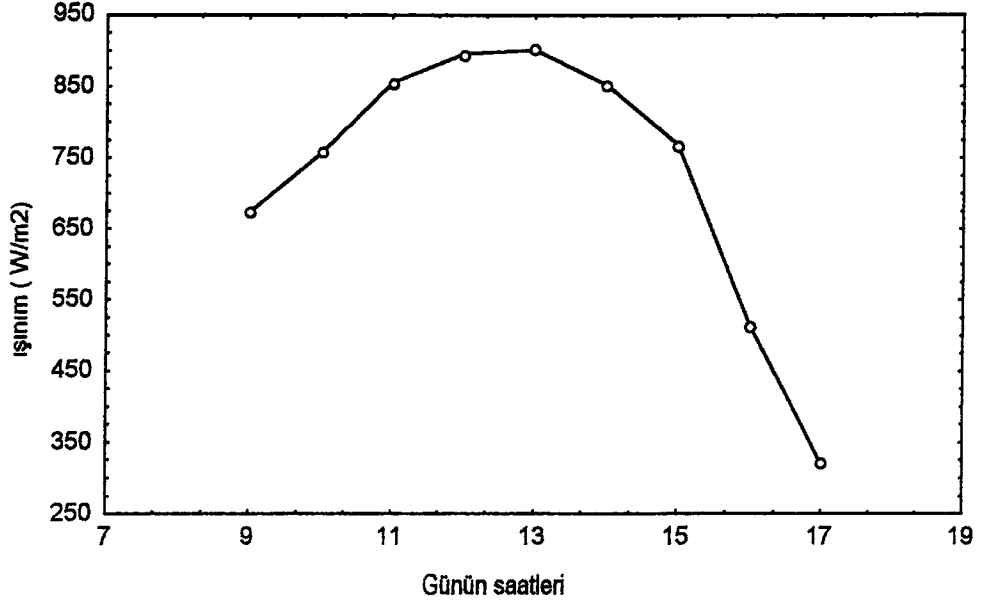
Açık devre								
saat	T _{AG} (°C)	T _{AÇ} (°C)	T _{AD} (°C)	T _{AY} (°C)	m _s kg/sn	T _Ç (°C)	I _{YT} W/m ²	H _T W/m ²
9, ⁰⁰	18,7	22,1	18,8	29,8	0,103	20,4	657	673,5
10, ⁰⁰	24,3	29,5	25,1	38,5	0,086	25,2	724	757,6
11, ⁰⁰	32,7	36,3	32,8	49,3	0,136	24,6	807	855,9
12, ⁰⁰	41,8	45,9	42,2	58,1	0,136	24,3	840	895
13, ⁰⁰	47,1	51,7	49,5	64,2	0,12	26,1	847	901,9
14, ⁰⁰	53,1	57,1	54,8	66,1	0,12	28,7	808	852,4
15, ⁰⁰	56,9	59,3	57,8	68,9	0,12	27,8	725	768,85
16, ⁰⁰	57,3	59,9	58,6	64,0	0,066	27,4	527,4	513,9
17, ⁰⁰	56,3	57	57,2	62,0	0,12	24,3	376,8	320,9
Kapalı sistem								
saat	T _{KG} (°C)	T _{KÇ} (°C)	T _{KD} (°C)	T _{EG} (°C)	T _{EÇ} (°C)	T _{KY} (°C)	m _s kg/sn	m _A kg/sn
9, ⁰⁰	21,6	23,4	19	18,3	20,5	28,1	0,136	0,086
10, ⁰⁰	26,8	32,5	26,2	24,8	27,5	36,5	0,136	0,086
11, ⁰⁰	33,6	40	33,5	32,2	35,5	45,6	0,136	0,086
12, ⁰⁰	41,5	48,2	41,3	40,1	43,7	58,3	0,136	0,086
13, ⁰⁰	46,8	53,3	47,7	46,4	49,6	61,0	0,136	0,086
14, ⁰⁰	51,3	56,3	51,4	51,4	53,7	64,3	0,136	0,086
15, ⁰⁰	52,9	56,7	55,6	54,4	55,9	65,5	0,136	0,086
16, ⁰⁰	53,8	56,6	57	54,9	55,5	63,4	0,136	0,086
17, ⁰⁰	51,8	52	56,1	53,2	53,5	55,3	0,136	0,086



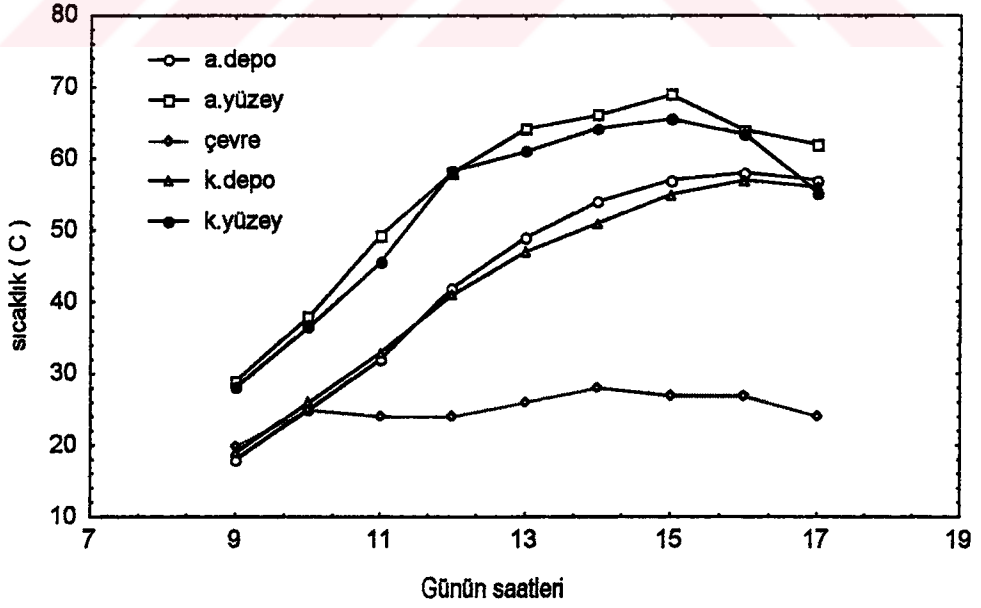
Şekil 4.1 Açık ve kapalı devreli sistemlerin verimlerinin günün saatlerine göre değişimi (12.08.1997)



Şekil 4.2 Açık ve kapalı devreli sistemlerin ekserji verimlerinin günün saatlerine göre değişimi (12.08.1997)



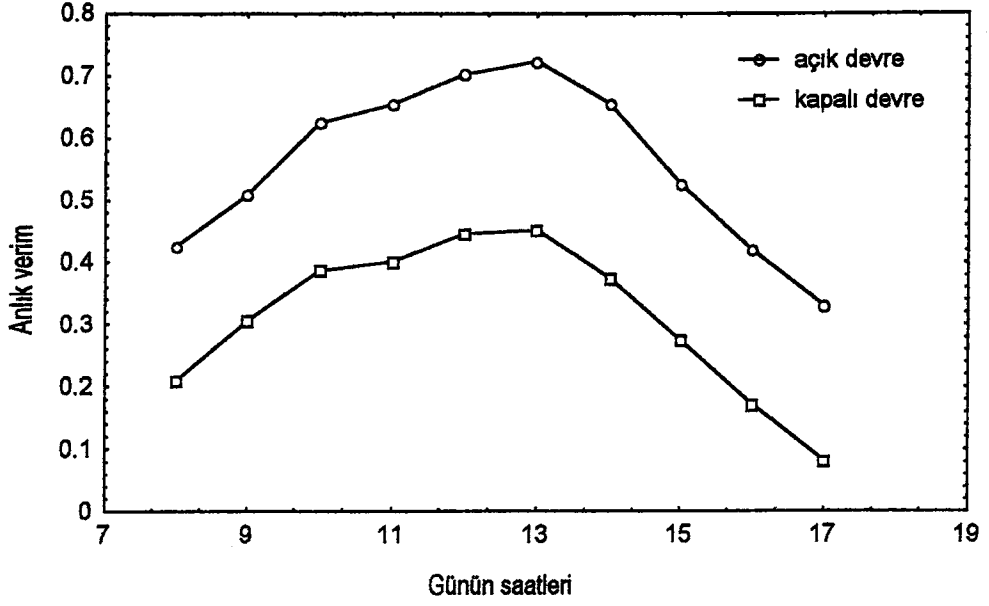
Şekil 4.3 Güneş ışınımının günün saatlerine göre değişimi (12.08.1997)



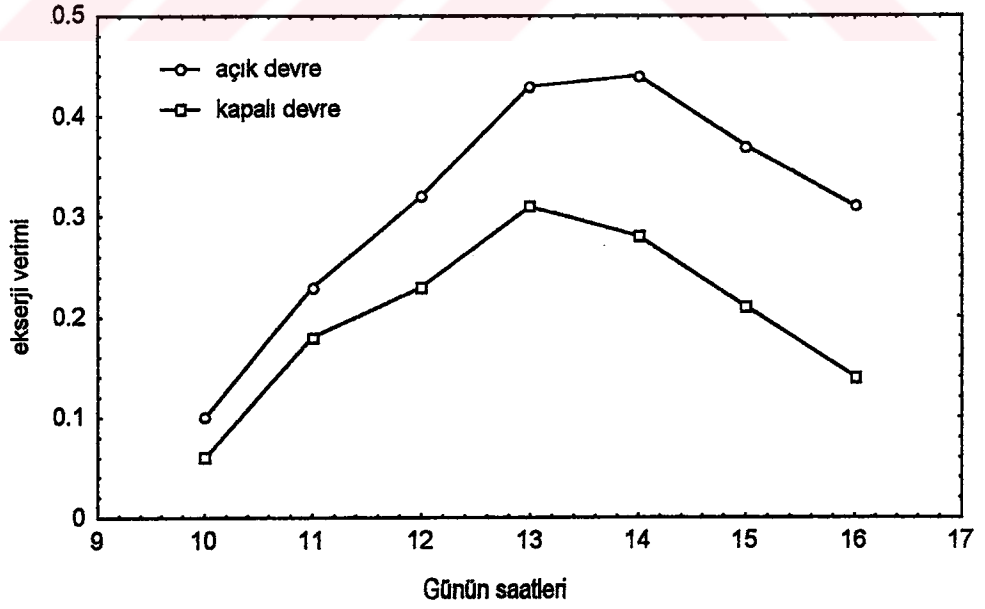
Şekil 4.4 Sıcak su depoları, kolektör yüzeyi, çevre sıcaklığının değişimi (12.08.1997)

Tablo 4.2. 13.08.1997 tarihinin ölçüm sonuçları

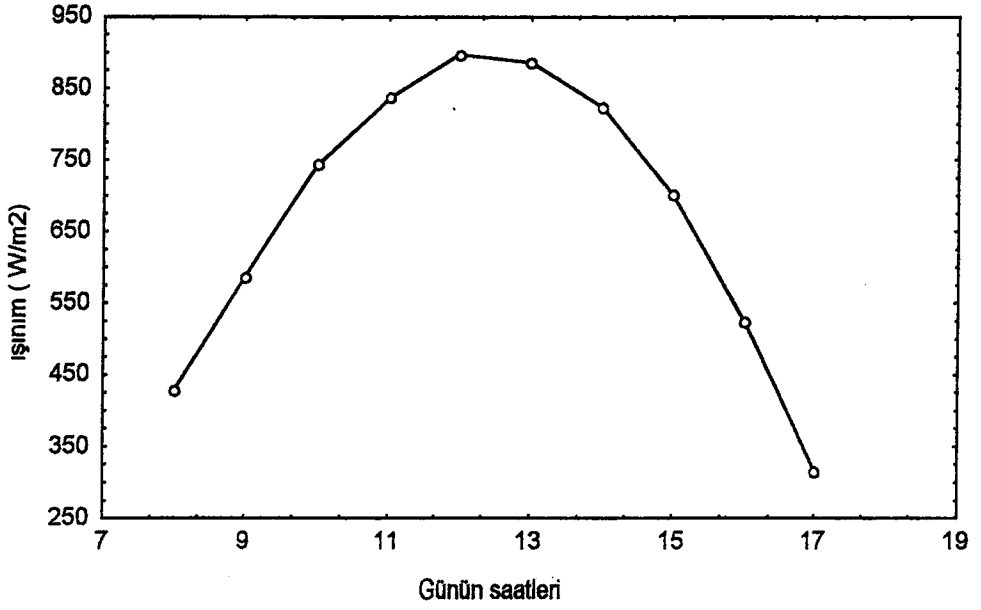
Açık devre								
saat	T _{AG} (°C)	T _{AÇ} (°C)	T _{AD} (°C)	T _{AY} (°C)	m _s kg/sn	T _Ç (°C)	I _{YT} W/m ²	H _T W/m ²
8, ⁰⁰	18,8	19,9	18,9	23	0,143	20	440	428,5
9, ⁰⁰	22,2	24	22,1	32	0,143	22,2	576	587,5
10, ⁰⁰	29,1	31,9	28,4	43,9	0,143	26,4	710	743,8
11, ⁰⁰	36,6	39,9	36,6	52,1	0,143	27,5	788	836,2
12, ⁰⁰	43,9	47,7	45	60,3	0,143	28,9	840	897,3
13, ⁰⁰	51,2	55,8	52,7	65,2	0,12	27,7	831	885,8
14, ⁰⁰	57,1	60,2	57,6	67,2	0,15	28,4	780	823,17
15, ⁰⁰	59,9	63,6	60,8	68,3	0,086	28,5	680,8	701,6
16, ⁰⁰	61,2	63,4	61,4	64,2	0,086	26,2	535	523,5
17, ⁰⁰	59	59,6	59,4	63,1	0,15	26,1	369	316,6
Kapalı devre (su - su)								
saat	T _{KG} (°C)	T _{KÇ} (°C)	T _{KD} (°C)	T _{EG} (°C)	T _{EÇ} (°C)	T _{KY} (°C)	m _s kg/sn	m _A kg/sn
8, ⁰⁰	18,2	20,8	17,5	16,3	17,2	24	0,086	0,158
9, ⁰⁰	21,5	24,8	20,4	20,9	22,4	31,4	0,103	0,158
10, ⁰⁰	28,8	32,8	26,6	28,3	30,7	43,3	0,103	0,158
11, ⁰⁰	36,8	41,6	36	36,2	39	49	0,103	0,158
12, ⁰⁰	43,5	48,3	43,1	42,4	45,5	59,9	0,111	0,158
13, ⁰⁰	49,2	54	49,8	49,2	52,3	64,8	0,111	0,158
14, ⁰⁰	53,5	57,7	55,2	53,4	55,8	66,3	0,111	0,158
15, ⁰⁰	56,5	59,7	58,8	56,7	58,2	67,2	0,111	0,158
16, ⁰⁰	55,4	57,9	60	56,9	57,6	61,3	0,111	0,158
17, ⁰⁰	54,2	54,8	57,5	54,8	55	55,3	0,111	0,158



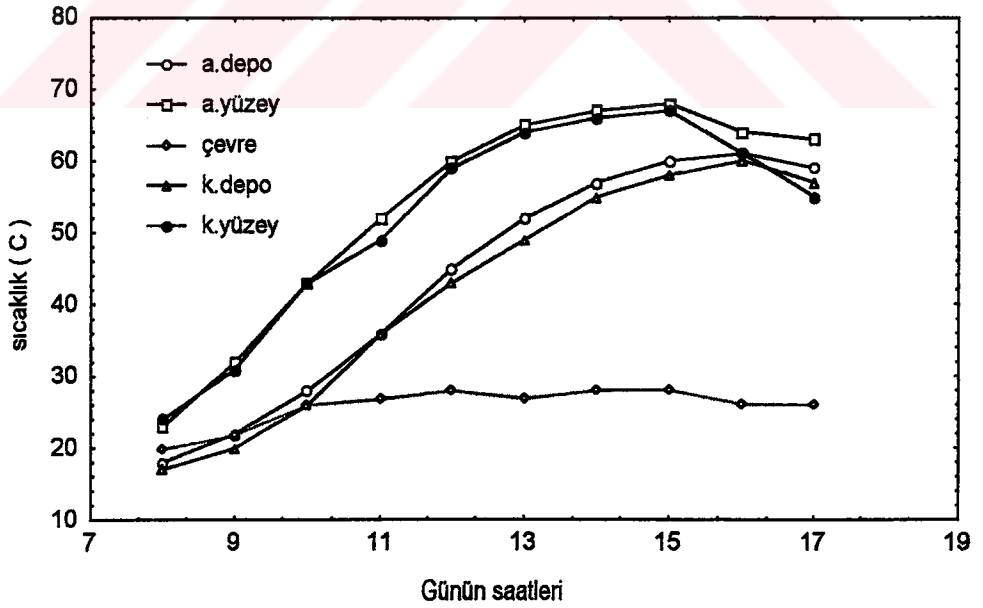
Şekil 4.5 Açık ve kapalı devreli sistemlerin verimlerinin günün saatlerine göre değişimi (13.08.1997).



Şekil 4.6 Açık ve kapalı devreli sistemlerin ekserji verimlerinin günün saatlerine göre değişimi (13.08.1997)



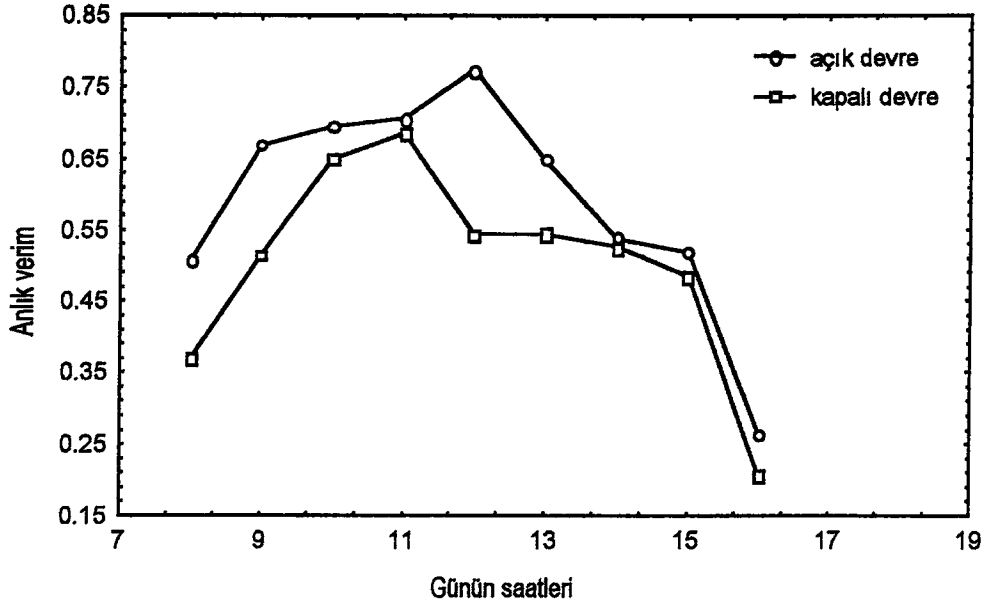
Şekil 4.7 Güneş ışınımının günün saatlerine göre değişimi(13.08.1997)



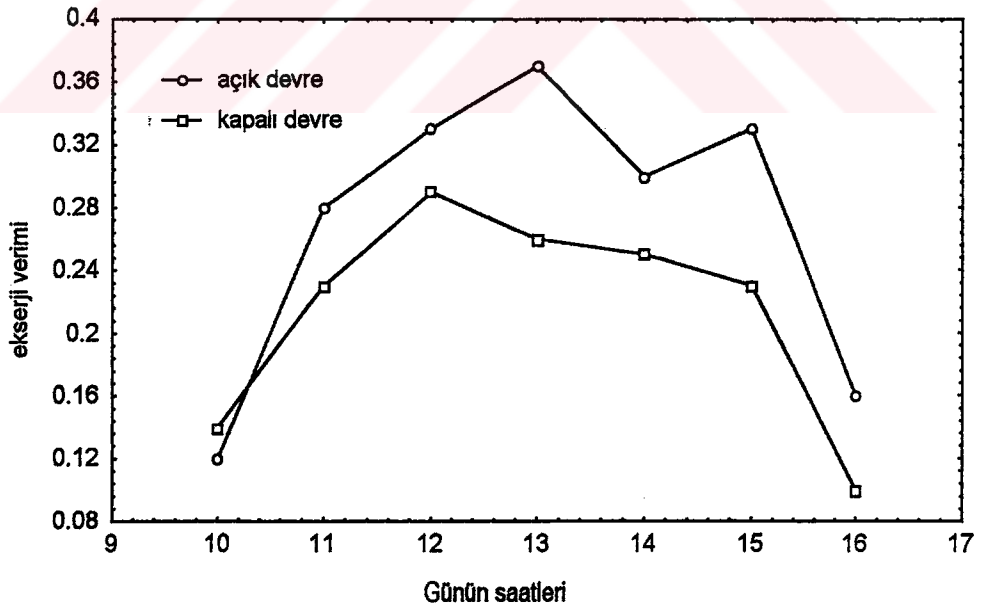
Şekil 4.8 Sıcak su depoları, kolektör yüzeyi, çevre sıcaklığının değişimi (13.08.1997)

Tablo 4.3. 14.08.1997 tarihinin ölçüm sonuçları

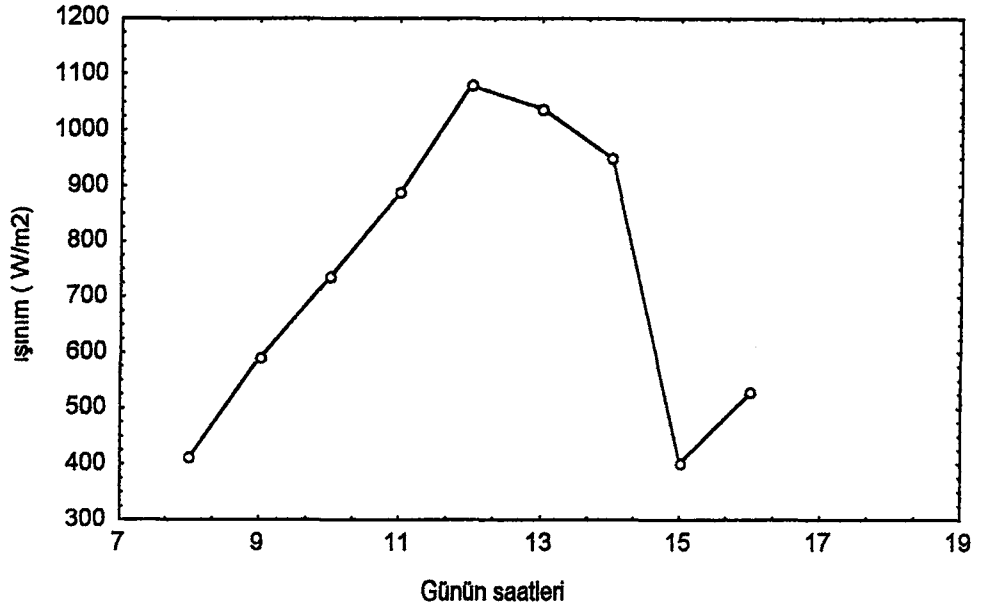
Açık devre								
saat	T _{AG} (°C)	T _{AÇ} (°C)	T _{AD} (°C)	T _{AY} (°C)	m _s kg/sn	T _Ç (°C)	I _{YT} W/m ²	H _T W/m ²
8, ⁰⁰	16,8	17,7	16,5	21,3	0,2	22,8	422	411,8
9, ⁰⁰	20,9	22,6	20,7	31,2	0,2	25	577	590,4
10, ⁰⁰	26,3	28,5	27,2	42,0	0,2	23	700	734,5
11, ⁰⁰	34,4	37,1	36,7	47,8	0,2	24	830	887
12, ⁰⁰	40,6	44,2	42,2	57,3	0,2	28,1	994	1079
13, ⁰⁰	43,3	46,2	43,3	54,1	0,2	26,2	960	1037,7
14, ⁰⁰	49,3	51,5	49,5	60,7	0,2	30,1	888	948,4
15, ⁰⁰	49,2	50,1	50,2	49,7	0,2	24,1	405,1	402,2
16, ⁰⁰	51,2	51,8	52,4	56,3	0,2	26,2	537	527,6
Kapalı devre (su -su)								
saat	T _{KG} (°C)	T _{KÇ} (°C)	T _{KD} (°C)	T _{EG} (°C)	T _{EÇ} (°C)	T _{KY} (°C)	m _s kg/sn	m _A kg/sn
8, ⁰⁰	19,2	20,2	17,5	18,3	19	22,8	0,187	0,15
9, ⁰⁰	23,6	25,9	21,8	22,6	24	32,2	0,187	0,15
10, ⁰⁰	29,9	33	30,2	29,2	31,4	43,1	0,187	0,15
11, ⁰⁰	36,6	40,6	38,3	35,9	38,7	53,2	0,187	0,15
12, ⁰⁰	43,7	48,8	44,4	43,2	45,9	63	0,187	0,15
13, ⁰⁰	47,9	51,8	44,9	44,5	47,1	57,5	0,187	0,15
14, ⁰⁰	50,1	53,2	49,7	49,6	51,9	63,2	0,187	0,15
15, ⁰⁰	48,4	49,6	50,5	48,3	49,2	49,8	0,187	0,15
16, ⁰⁰	49,6	50,8	51,3	50,3	50,8	54,7	0,187	0,15



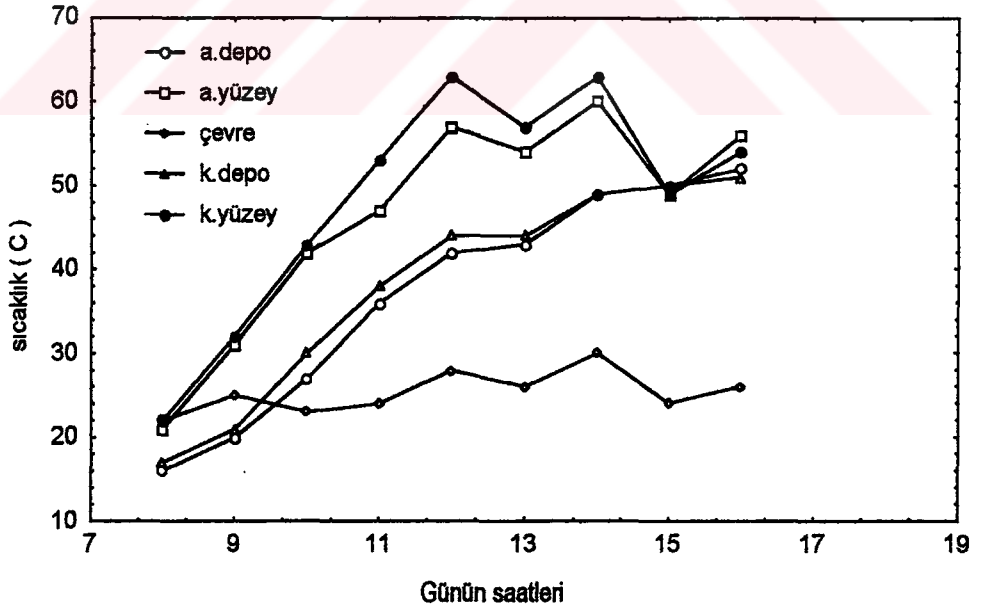
Şekil 4.9 Açık ve kapalı devreli sistemlerin verimlerinin günün saatlerine göre değişimi (14.08.1997)



Şekil 4.10 Açık ve kapalı devreli sistemlerin ekserji verimlerinin günün saatlerine göre değişimi (14.08.1997)



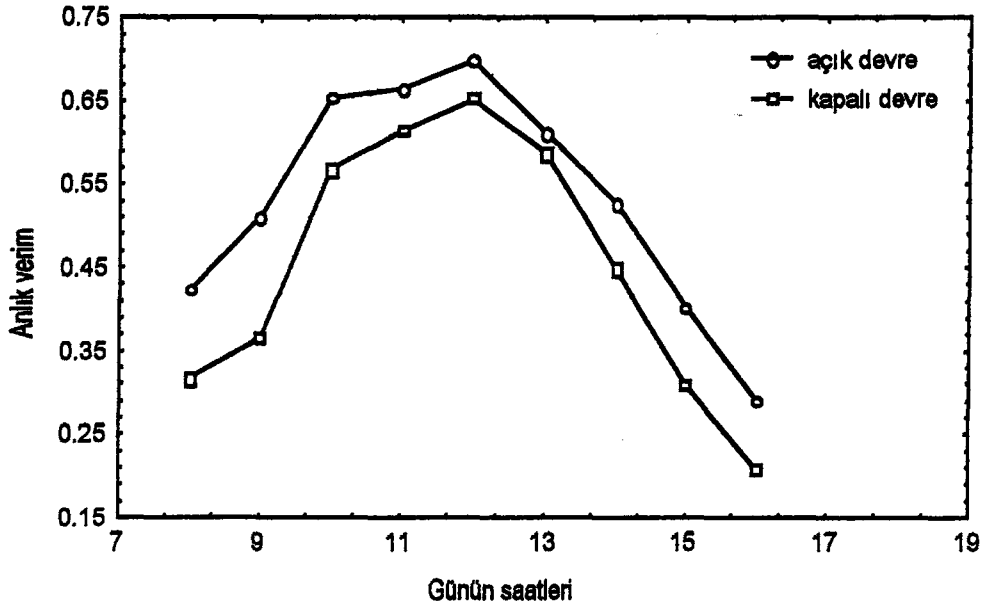
Şekil 4.11 Güneş ışınımının günün saatlerine göre değişimi (14.08.1997)



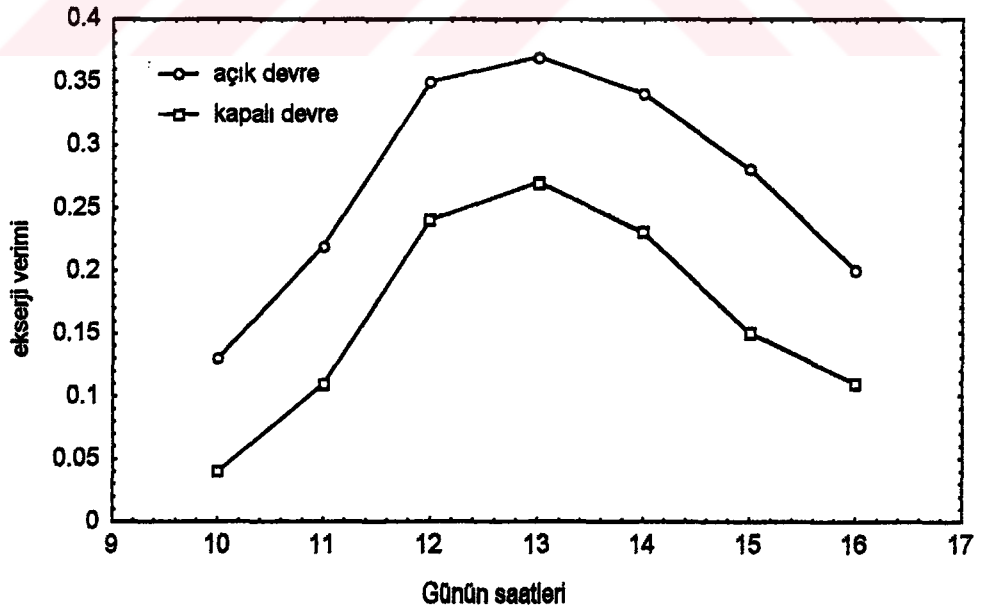
Şekil 4.12 Sıcak su depoları, kollektör yüzeyi, çevre sıcaklığının değişimi (14.08.1997)

Tablo 4.4. 15.08.1997 tarihinin ölçüm sonuçları

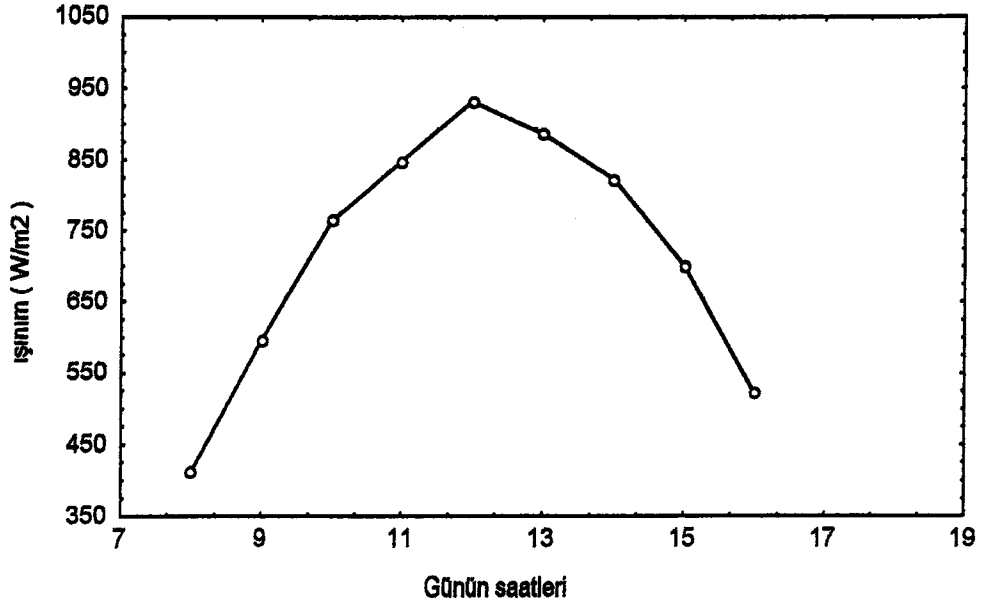
Açık devre								
saat	T _{AG} (°C)	T _{AC} (°C)	T _{AD} (°C)	T _{AY} (°C)	m _a kg/sn	T _Ç (°C)	I _{YT} W/m ²	H _T W/m ²
8, ⁰⁰	17,2	18,0	17	22,5	0,187	20,0	420	411,3
9, ⁰⁰	21,0	22,4	22,1	31,3	0,187	20,1	580	595,5
10, ⁰⁰	28,3	30,6	28,8	42,6	0,187	24,4	724	764
11, ⁰⁰	36,1	38,7	36,3	50,1	0,187	28,4	795	848,6
12, ⁰⁰	43,3	46,3	45,2	58,7	0,187	26,0	866	932,3
13, ⁰⁰	53,3	55,8	53,7	65,6	0,187	29,5	830	886,4
14, ⁰⁰	57,2	59,2	59,0	68,2	0,187	28,2	775	822,3
15, ⁰⁰	60,7	62,0	63,1	68,30	0,187	26,4	676	701
16, ⁰⁰	60,8	61,5	63,	64,8	0,187	25,7	530	522,7
Kapalı devre (su - su)								
saat	T _{KG} (°C)	T _{KÇ} (°C)	T _{KD} (°C)	T _{EG} (°C)	T _{EÇ} (°C)	T _{KY} (°C)	m _s kg/sn	m _A kg/sn
8, ⁰⁰	17,5	18,3	16,9	17,0	17,6	23,1	0,187	0,166
9, ⁰⁰	18,8	20,4	17,9	17,6	18,6	32,2	0,187	0,166
10, ⁰⁰	26,2	29,1	25,0	25,7	27,7	40,7	0,187	0,166
11, ⁰⁰	33,6	36,9	32,7	33,6	36,0	50,2	0,187	0,166
12, ⁰⁰	40,8	44,5	41,8	40,6	43,4	58,4	0,187	0,166
13, ⁰⁰	50,4	53,2	49,9	49,7	52,1	64,4	0,187	0,166
14, ⁰⁰	53,6	56,1	55,5	53,4	55,1	66,6	0,187	0,166
15, ⁰⁰	57,0	58,6	59,0	56,8	57,8	65,4	0,187	0,166
16, ⁰⁰	57,1	57,8	59,6	57,0	57,5	60,2	0,187	0,166



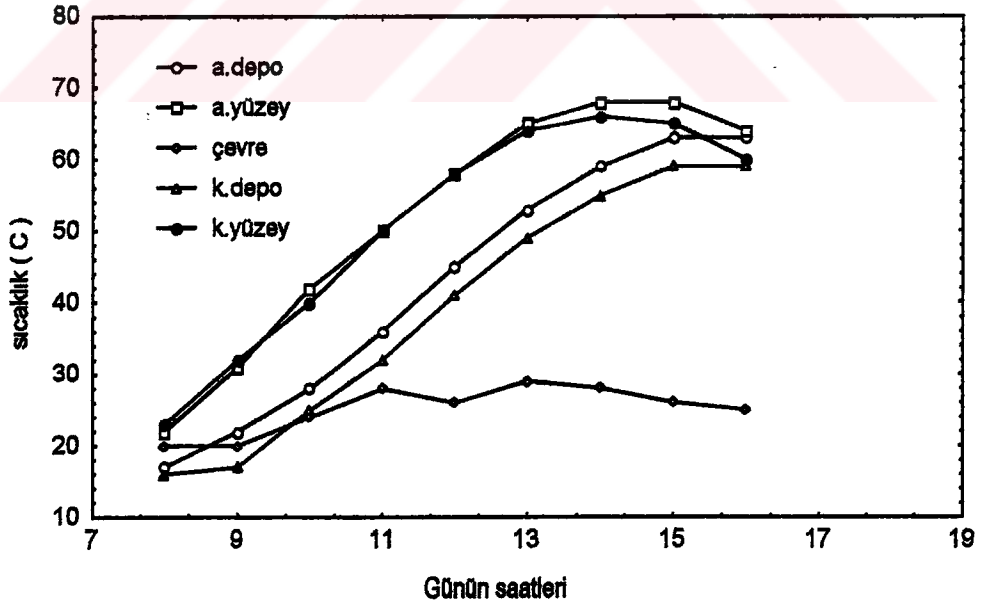
Şekil 4.13 Açık ve kapalı devreli sistemlerin verimlerinin günün saatlerine göre değişimi(15.08.1997)



Şekil 4.14 Açık ve kapalı devreli sistemlerin ekserji verimlerinin günün saatlerine göre değişimi(15.08.1997)



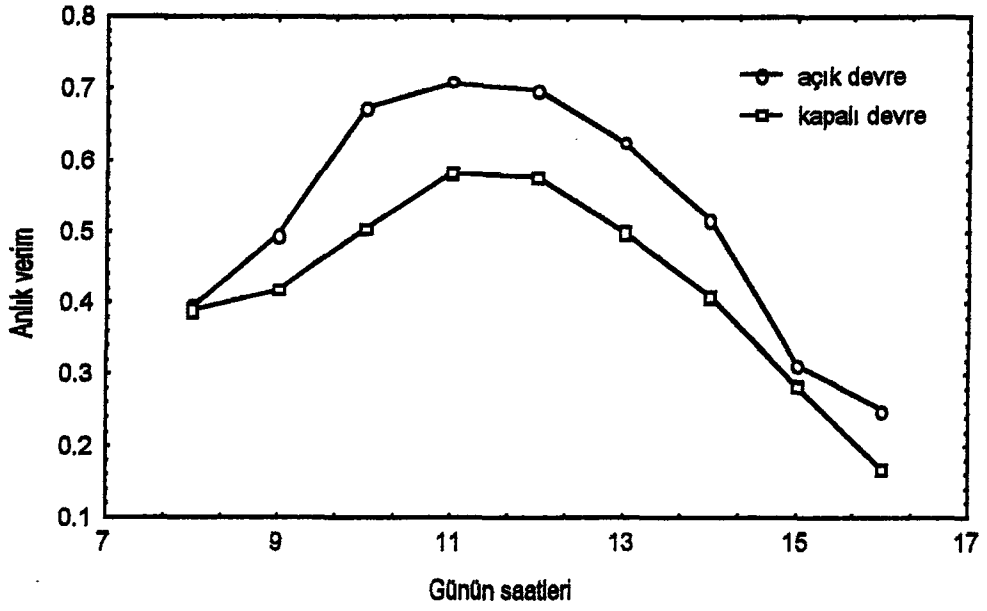
Şekil 4.15 Güneş ışınımının günün saatlerine göre değişimi(15.08.1997)



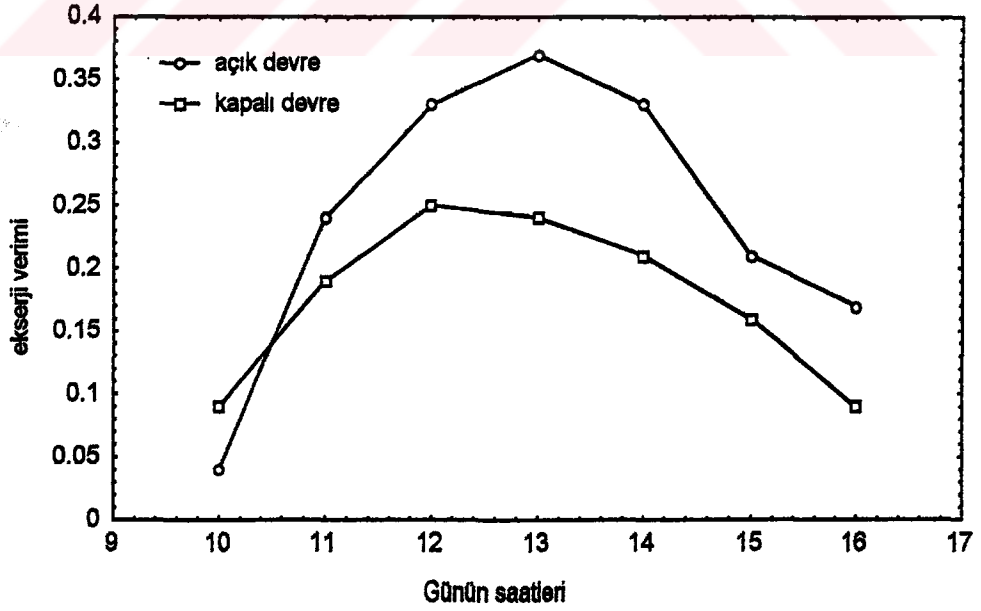
Şekil 4.16 Sıcak su depoları, kolektör yüzeyi, çevre sıcaklığının değişimi (15.08.1997)

Tablo 4.5. 17.08.1997 tarihinin ölçüm sonuçları

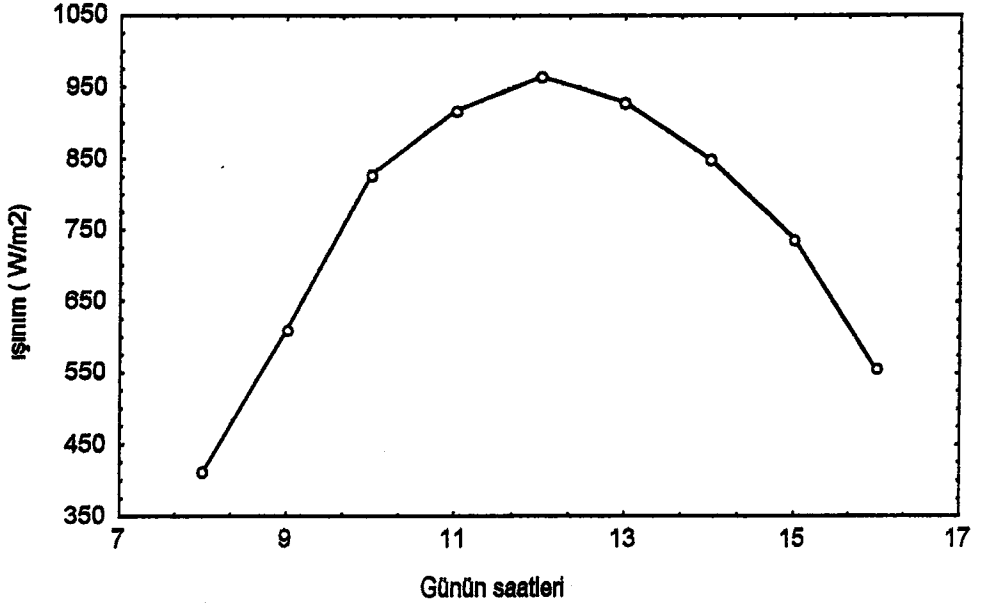
Açık devre								
saat	T _{AG} (°C)	T _{AC} (°C)	T _{AD} (°C)	T _{AY} (°C)	m _s kg/sn	T _ç (°C)	I _{YT} W/m ²	H _T W/m ²
8, ⁰⁰	16,2	16,9	16,0	21,3	0,2	20,6	417	411
9, ⁰⁰	20,3	21,6	20,1	30,8	0,2	24,7	590	610
10, ⁰⁰	30,4	32,8	31,1	41,9	0,2	30,6	776	828
11, ⁰⁰	39,1	41,9	40,3	53,5	0,2	31,5	850	917,8
12, ⁰⁰	45,8	48,7	47,0	59,6	0,2	32,0	890	965
13, ⁰⁰	54,6	57,1	55,5	67,1	0,2	32,5	860	929
14, ⁰⁰	58,7	60,6	59,7	70,3	0,2	32,5	795	850
15, ⁰⁰	62,1	63,1	64,3	70,2	0,2	31,4	704	738
16, ⁰⁰	61,0	61,6	62,4	66,3	0,2	28,6	557	555
Kapalı devre (%50 su + %50 antifiriz)								
saat	T _{KG} (°C)	T _{KÇ} (°C)	T _{KD} (°C)	T _{EG} (°C)	T _{EÇ} (°C)	T _{KY} (°C)	m _s kg/sn	m _A kg/sn
8, ⁰⁰	20,3	22,7	17,3	17,6	18,2	22,3	0,2	0,11
9, ⁰⁰	23,3	26,1	21,5	21,2	22,3	32,1	0,2	0,11
10, ⁰⁰	37,8	43,4	34,4	34,1	35,9	43,2	0,2	0,11
11, ⁰⁰	41,5	47,1	42,1	41,3	43,6	54,5	0,2	0,11
12, ⁰⁰	48,1	54,0	48,3	47,5	49,9	59,2	0,2	0,11
13, ⁰⁰	53,0	58,0	54,1	52,4	54,4	64,3	0,2	0,11
14, ⁰⁰	55,6	59,5	56,2	55,0	56,5	66,2	0,2	0,11
15, ⁰⁰	58,0	60,9	60,4	58,6	59,5	66,1	0,2	0,11
16, ⁰⁰	56,8	59,1	59,6	57,4	57,8	62,2	0,2	0,11



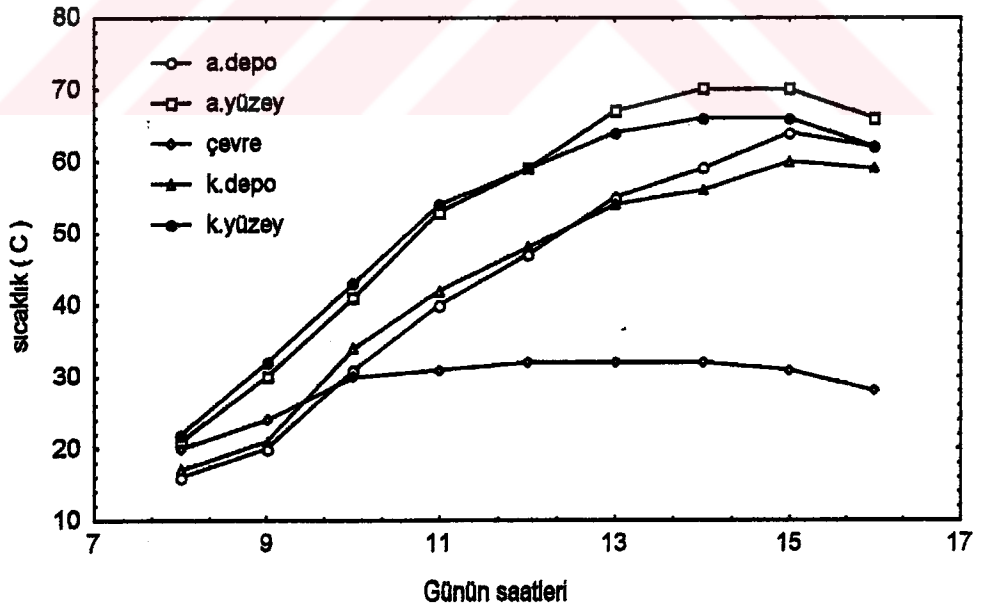
Şekil 4.17. Açık ve kapalı devreli sistemlerin verimlerinin günün saatlerine göre değişimi (17.08.1997)



Şekil 4.18. Açık ve kapalı devreli sistemlerin ekserji verimlerinin günün saatlerine göre değişimi (17.08.1997)



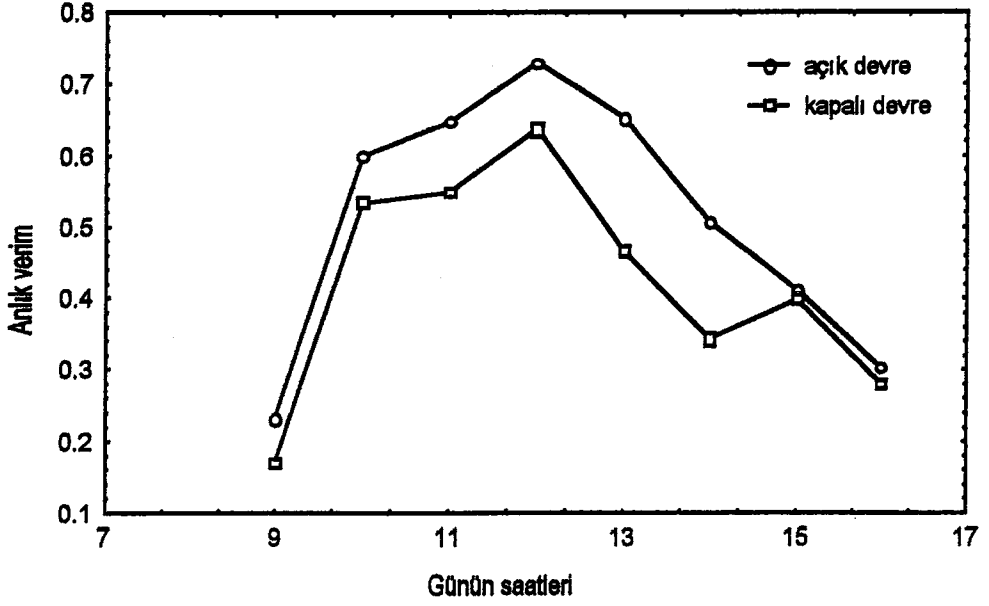
Şekil 4.19. Güneş ışıının günün saatlerine göre değişimi(17.08.1997)



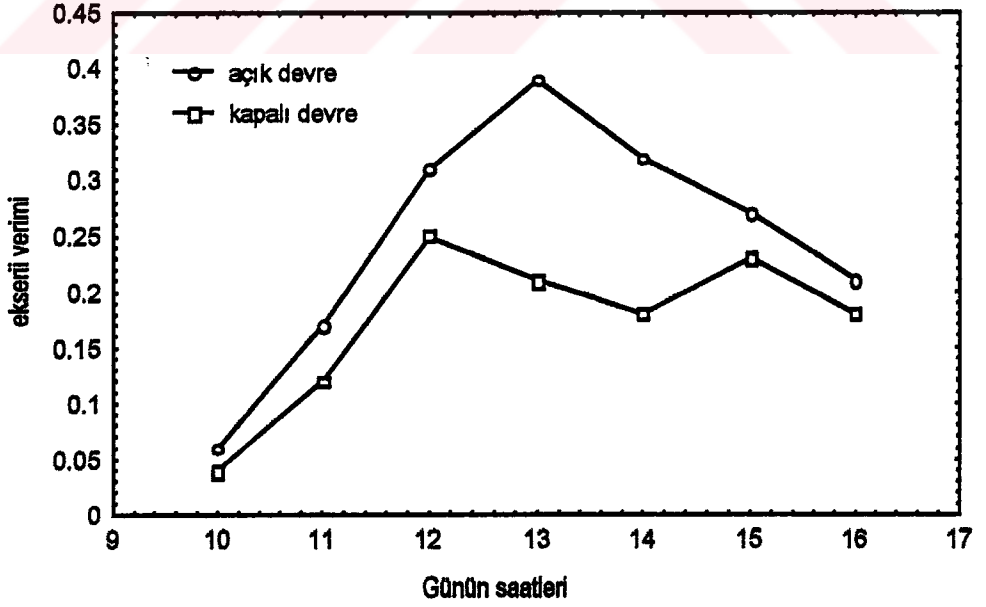
Şekil 4.20. Sıcak su depoları, kollektör yüzeyi, çevre sıcaklığının değişimi(17.08.1997)

Tablo 4.6. 18.08.1997 tarihinin ölçüm sonuçları

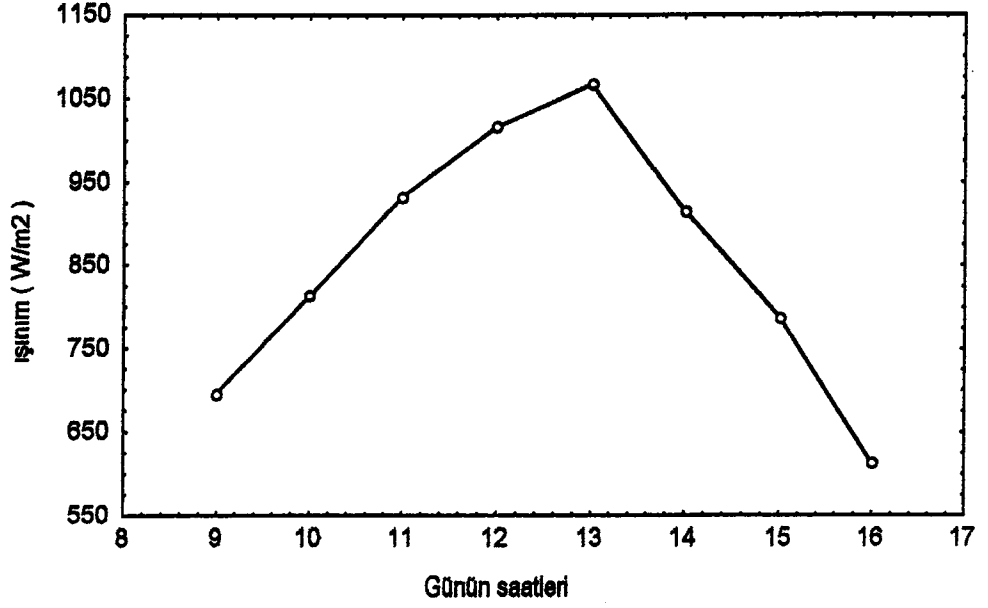
Açık devre								
saat	T _{AG} (°C)	T _{AÇ} (°C)	T _{AD} (°C)	T _{AY} (°C)	m _a kg/sn	T _ç (°C)	I _{YR} W/m ²	H _T W/m ²
9, ⁰⁰	17,1	17,8	17,8	29,6	0,2	21,9	665	696,2
10, ⁰⁰	25,0	27,1	26,1	40,0	0,2	24,0	761	813,6
11, ⁰⁰	32,8	35,4	35,0	49,0	0,2	26,9	861	933,6
12, ⁰⁰	41,2	44,4	42,2	59,3	0,2	27,6	931	1017
13, ⁰⁰	51,1	54,1	51,2	62,7	0,2	31,8	975	1067,7
14, ⁰⁰	56,1	58,1	55,7	66,2	0,2	32	850	916,7
15, ⁰⁰	58,8	60,2	61,3	67,8	0,2	30,3	748	788,9
16, ⁰⁰	60,2	61,0	62,6	66,3	0,2	27,5	610	612,2
Kapalı devre (%50 su + %50 antifiriz)								
saat	T _{KG} (°C)	T _{KÇ} (°C)	T _{KD} (°C)	T _{EG} (°C)	T _{EÇ} (°C)	T _{KY} (°C)	m _s kg/sn	m _A kg/sn
9, ⁰⁰	21,2	24,0	18,6	18,2	19,8	33,3	0,17	0,13
10, ⁰⁰	27,9	31,0	25,9	25,4	27,6	43,4	0,17	0,13
11, ⁰⁰	33,9	38,8	33,1	32,6	35,2	48,0	0,17	0,13
12, ⁰⁰	43,0	48,2	40,4	39,5	43,8	54,1	0,13	0,13
13, ⁰⁰	50,7	55,1	48,5	46,6	50,9	60,4	0,10	0,13
14, ⁰⁰	53,8	57,0	52,4	53,3	54,9	62,2	0,17	0,13
15, ⁰⁰	56,3	59,0	57,9	55,5	57,2	64,3	0,17	0,13
16, ⁰⁰	58,2	59,6	60,4	57,5	58,4	62,1	0,17	0,13



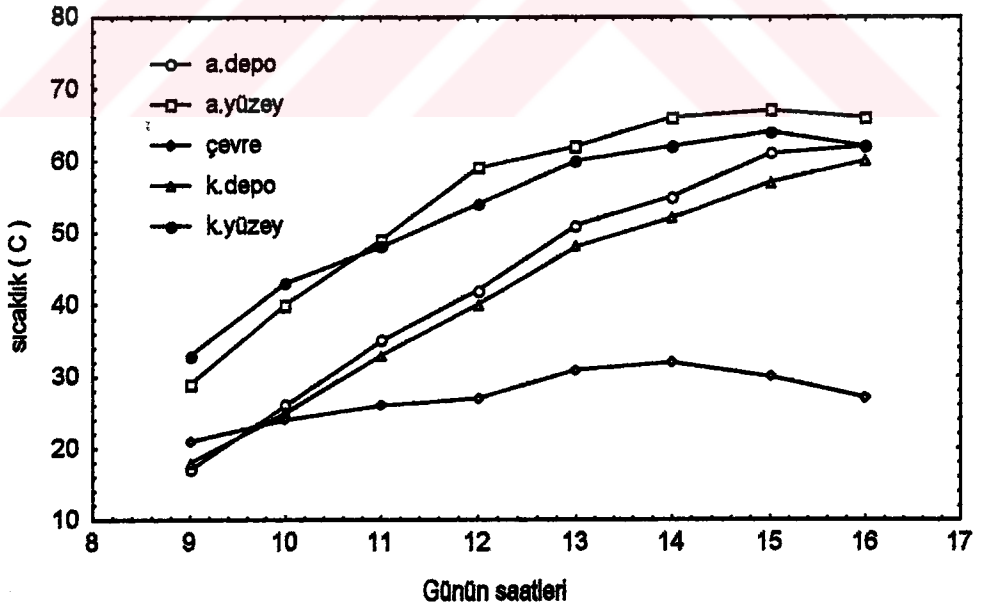
Şekil 4.21. Açık ve kapalı devreli sistemlerin verimlerinin günün saatlerine göre değişimi (18.08.1997)



Şekil 4.22. Açık ve kapalı devreli sistemlerin ekserji verimlerinin günün saatlerine göre değişimi (18.08.1997)



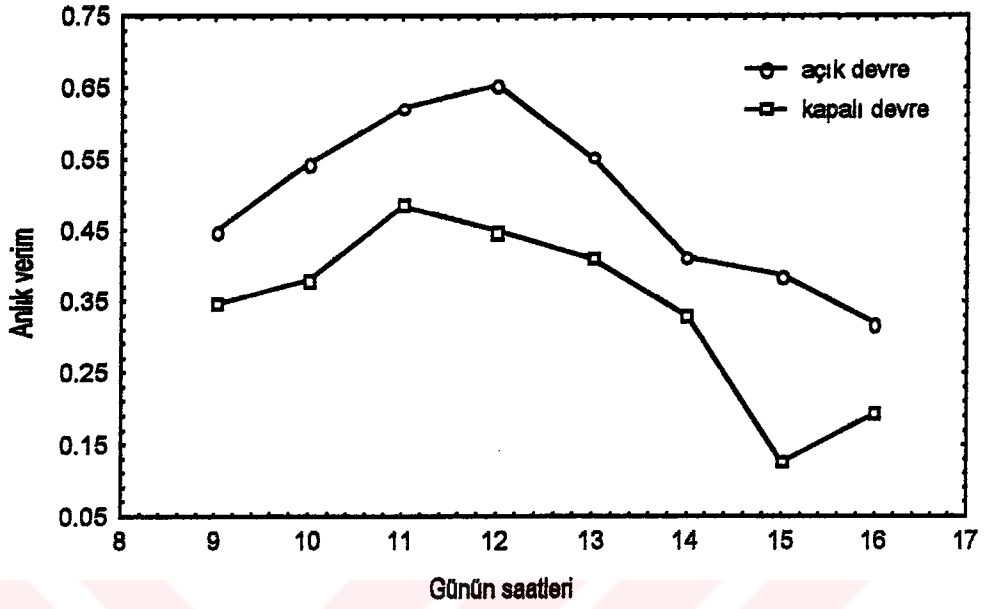
Şekil 4.23. Güneş ışınımının günün saatlerine göre değişimi(18.08.1997)



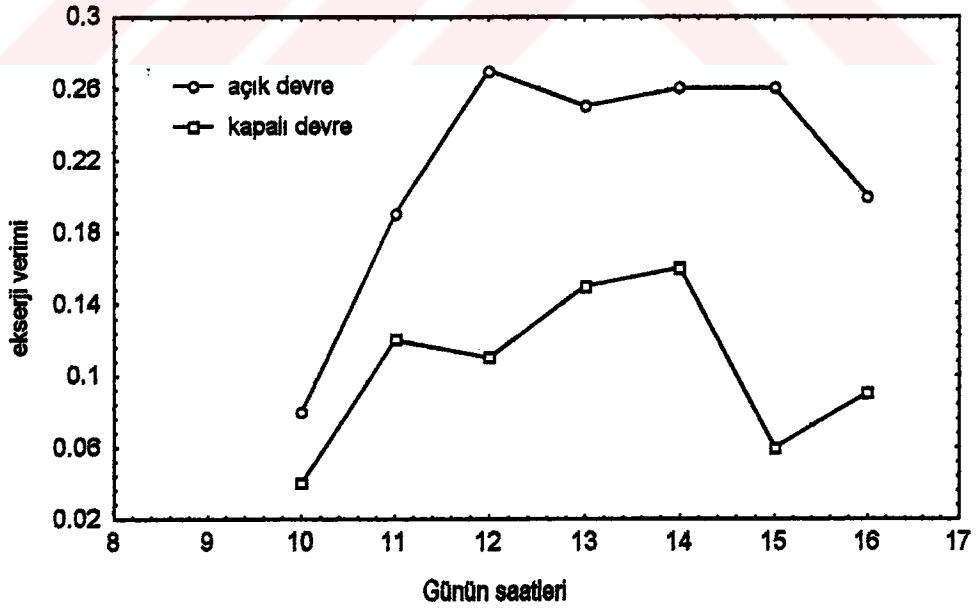
Şekil 4.24. Sıcak su depoları, kolektör yüzeyi, çevre sıcaklığının değişimi (18.08.1997)

Tablo 4.7. 20.08.1997 tarihinin ölçüm sonuçları

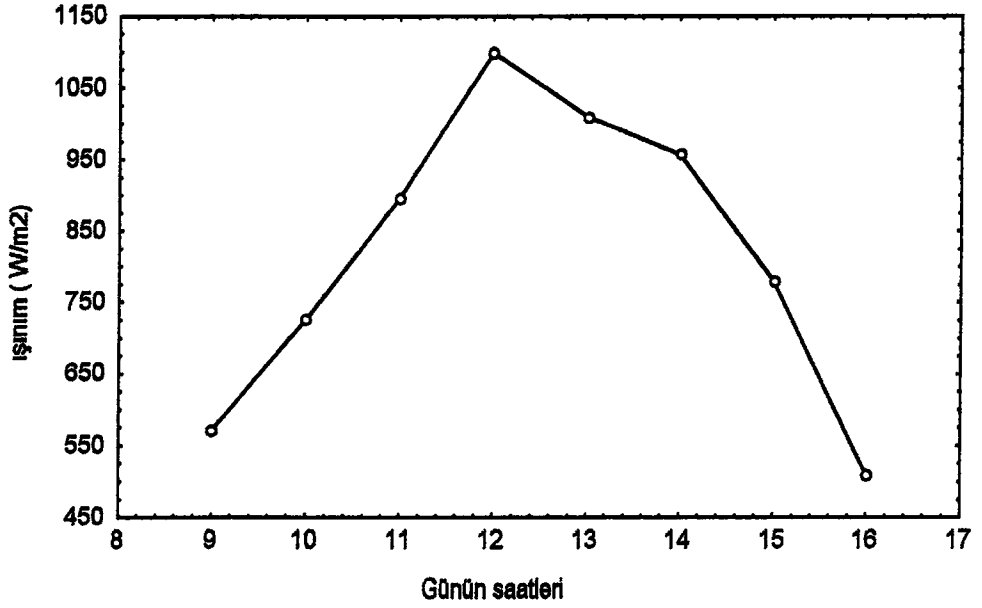
Açık devre								
saat	T _{AG} (°C)	T _{AÇ} (°C)	T _{AD} (°C)	T _{AY} (°C)	m _s kg/sn	T _Ç (°C)	I _{YT} W/m ²	H _T W/m ²
9, ⁰⁰	18,9	20,0	17,0	28,1	0,2	20,4	550	571
10, ⁰⁰	24,1	25,8	26,6	37,9	0,2	21,7	682	726,5
11, ⁰⁰	32,6	35,0	33,7	48,1	0,2	25,3	826	897
12, ⁰⁰	37,5	40,6	38,0	49,7	0,2	28,9	995	1099,5
13, ⁰⁰	40,3	42,7	41,1	52,3	0,2	28,8	921	1010
14, ⁰⁰	47,4	49,1	45,7	55,4	0,2	26,7	879	957
15, ⁰⁰	51,7	53,0	54,4	58,9	0,2	24,8	732	780
16, ⁰⁰	52,9	53,6	53,3	60,2	0,2	25	510	510
Kapalı devre (%50 su + %50 antifriz)								
saat	T _{KG} (°C)	T _{KÇ} (°C)	T _{KD} (°C)	T _{EG} (°C)	T _{EÇ} (°C)	T _{KY} (°C)	m _s kg/sn	m _A kg/sn
9, ⁰⁰	22,6	24,4	18	18,1	19,1	28,3	0,17	0,13
10, ⁰⁰	27,8	30,7	25,6	24,4	25,8	37,1	0,17	0,13
11, ⁰⁰	35,7	39,8	31,7	32,1	34,3	45,3	0,17	0,13
12, ⁰⁰	38,2	43,4	33,0	35,3	37,8	46,1	0,17	0,13
13, ⁰⁰	42,1	46,3	37,5	39,4	41,5	50,7	0,17	0,13
14, ⁰⁰	45,5	48,2	42,5	44,6	46,2	53,5	0,17	0,13
15, ⁰⁰	48,3	50,0	51,3	47,6	48,1	56,9	0,17	0,13
16, ⁰⁰	50,1	51,1	52,3	49,9	50,4	57,8	0,17	0,13



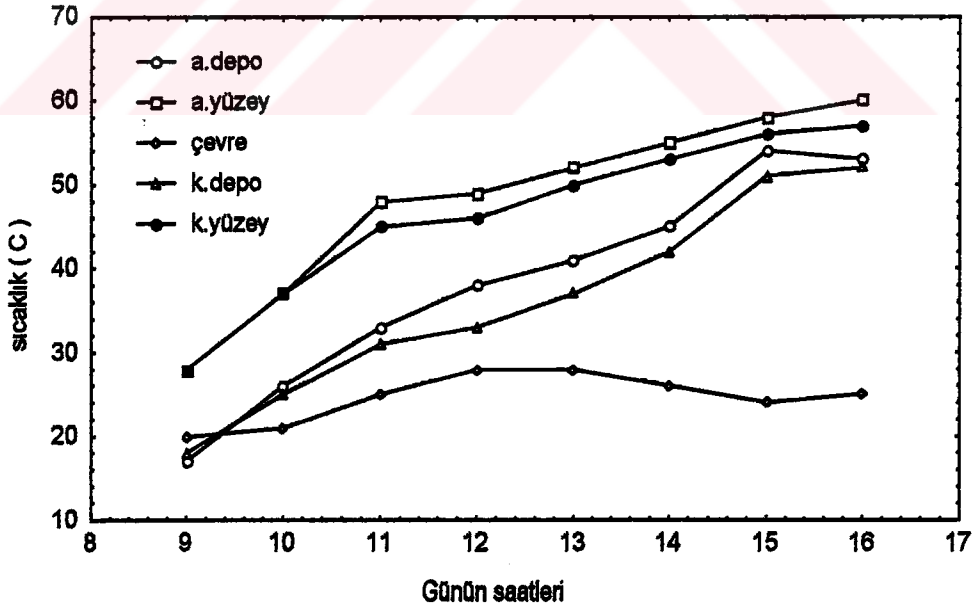
Şekil 4.25. Açık ve kapalı devreli sistemlerin verimlerinin günün saatlerine göre değişimi (20.08.1998)



Şekil 4.26. Açık ve kapalı devreli sistemlerin ekserji verimlerinin günün saatlerine göre değişimi (20.08.1997)



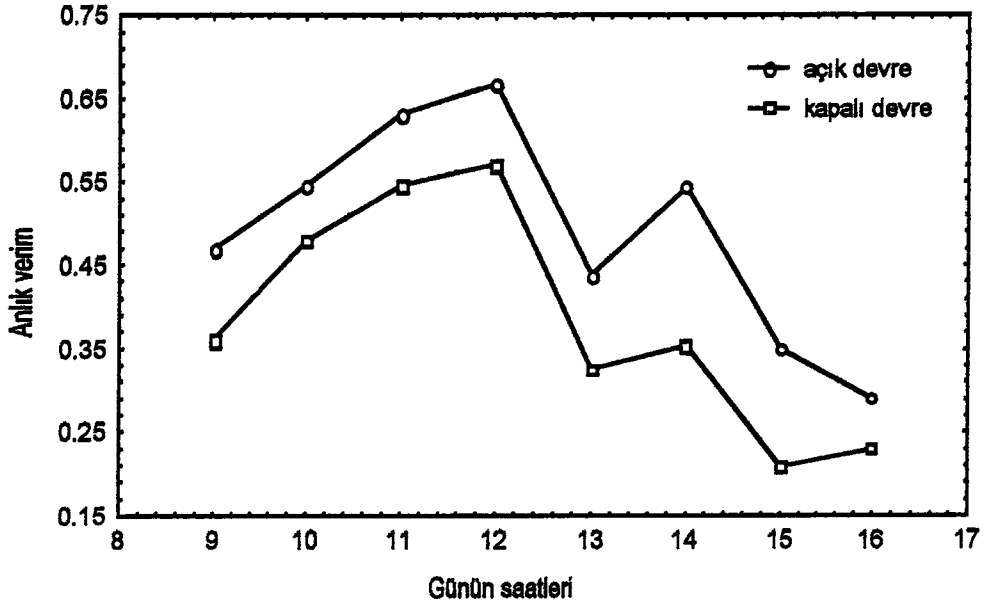
Şekil 4.27. Güneş ışınımının günün saatlerine göre değişimi (20.08.1997)



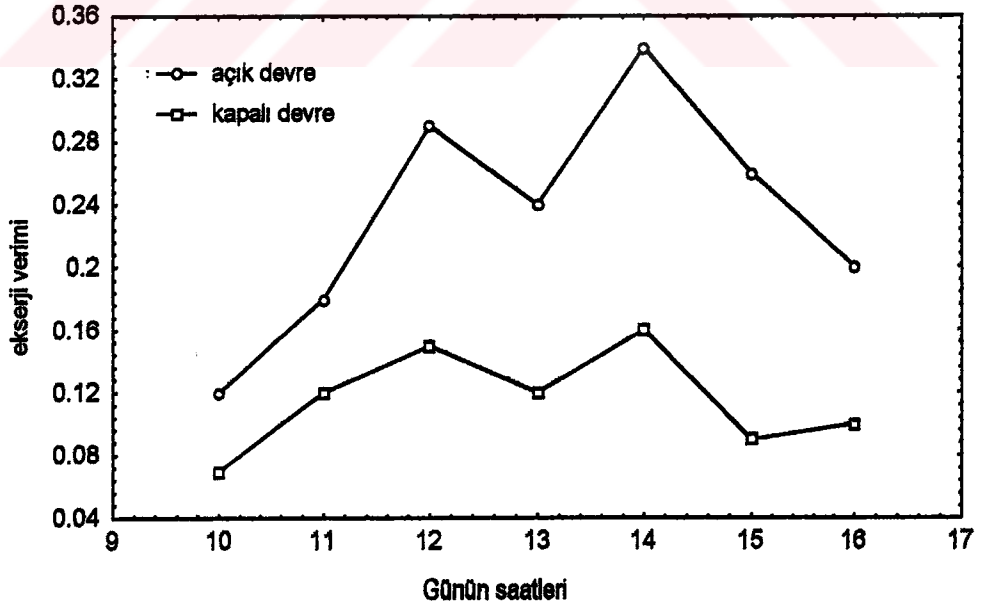
Şekil 4.28. Sıcak su depoları, kolektör yüzeyi, çevre sıcaklığının değişimi(20.08.1997)

Tablo 4.8. 21.08.1997 tarihinin ölçüm sonuçları

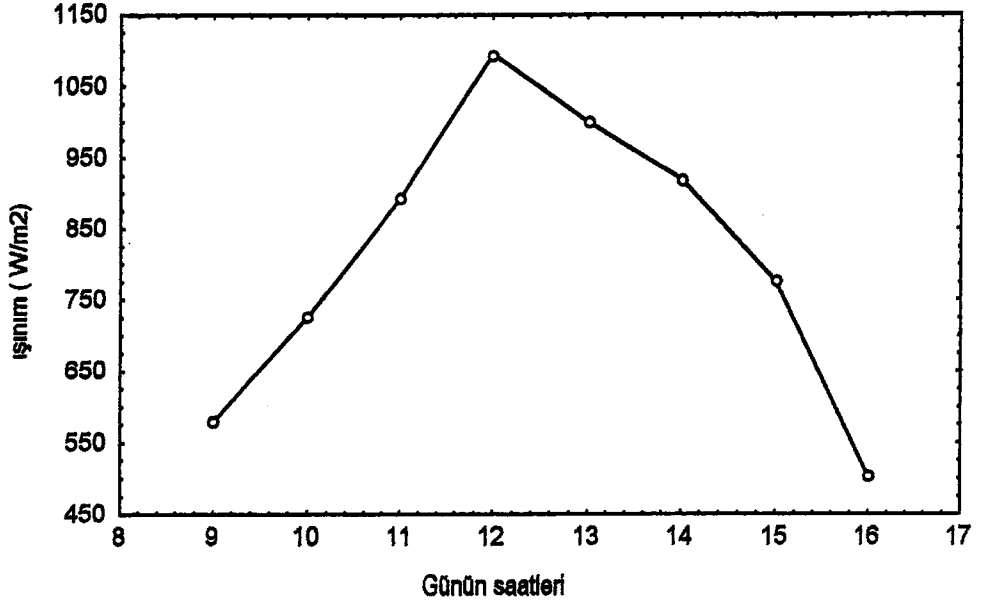
Açık devre								
saat	T _{AG} (°C)	T _{AÇ} (°C)	T _{AD} (°C)	T _{AY} (°C)	m _s kg/sn	T _Ç (°C)	I _{YT} W/m ²	H _T W/m ²
9, ⁰⁰	19,2	20,5	19,0	27,3	0,18	20,9	555	579
10, ⁰⁰	25,6	27,5	26,2	38,1	0,18	21,6	680	726,4
11, ⁰⁰	32,7	35,4	33,5	50,3	0,18	25,6	820	893
12, ⁰⁰	38,1	41,6	38,9	53,3	0,18	26,8	989	1095,7
13, ⁰⁰	41,8	43,9	42,3	50,0	0,18	27,6	910	1000
14, ⁰⁰	46,9	49,3	47,5	54,9	0,18	28,0	845	920
15, ⁰⁰	53,5	54,8	54,0	55,7	0,18	27,3	730	777,9
16, ⁰⁰	55,6	56,3	56,9	57,8	0,18	27,7	499	504,9
Kapalı devre (%50 su + %50 antifriz)								
saat	T _{KG} (°C)	T _{KÇ} (°C)	T _{KD} (°C)	T _{EG} (°C)	T _{EÇ} (°C)	T _{KY} (°C)	m _s kg/sn	m _A kg/sn
9, ⁰⁰	21,9	23,9	19,4	19,2	20,1	27,0	0,2	0,136
10, ⁰⁰	26,3	29,2	25,7	25,1	26,6	38,3	0,2	0,136
11, ⁰⁰	33,1	37,3	32,6	31,8	33,9	49,1	0,2	0,136
12, ⁰⁰	39,7	45,1	36,5	35,1	37,8	54,9	0,2	0,136
13, ⁰⁰	42,9	46,1	40,3	40,2	41,6	53,1	0,2	0,136
14, ⁰⁰	45,3	48,4	45,8	44,9	46,3	54,8	0,2	0,136
15, ⁰⁰	48,4	50,1	47,9	46,0	46,7	56,1	0,2	0,136
16, ⁰⁰	52,1	53,3	51,8	50,3	50,8	58,3	0,2	0,136



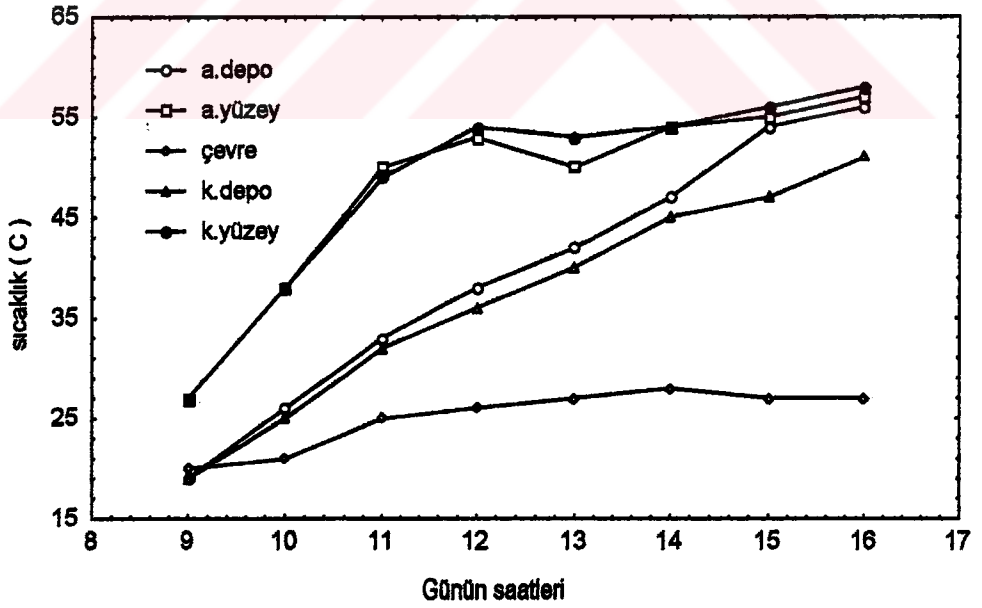
Şekil 4.29. Açık ve kapalı devreli sistemlerin verimlerinin günün saatlerine göre değişimi (21.08.1997)



Şekil 4.30. Açık ve kapalı devreli sistemlerin ekserji verimlerinin günün saatlerine göre değişimi(21.08.1997)



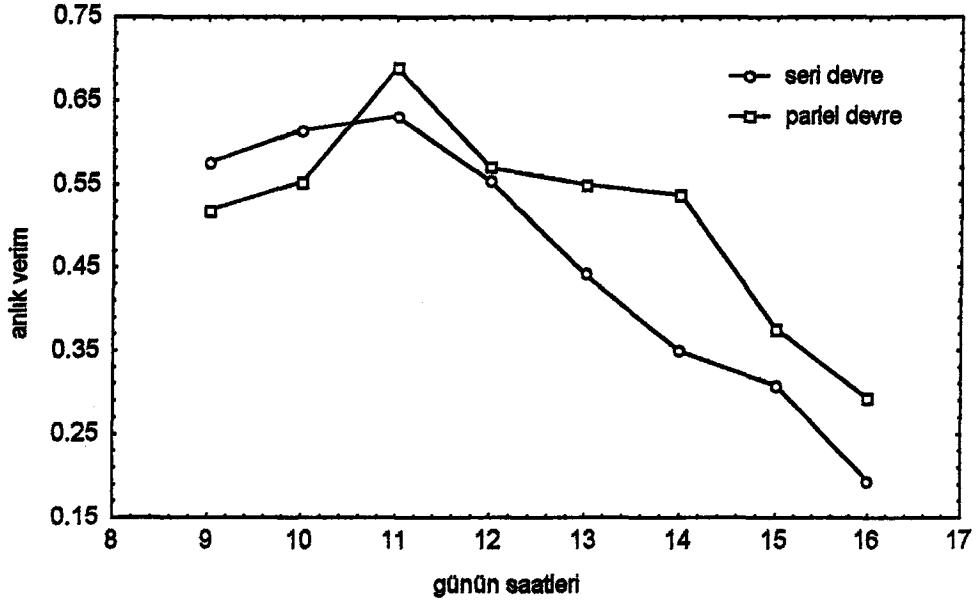
Şekil 4.31. Güneş ışınımının günün saatlerine göre değişimi (21.08.1997)



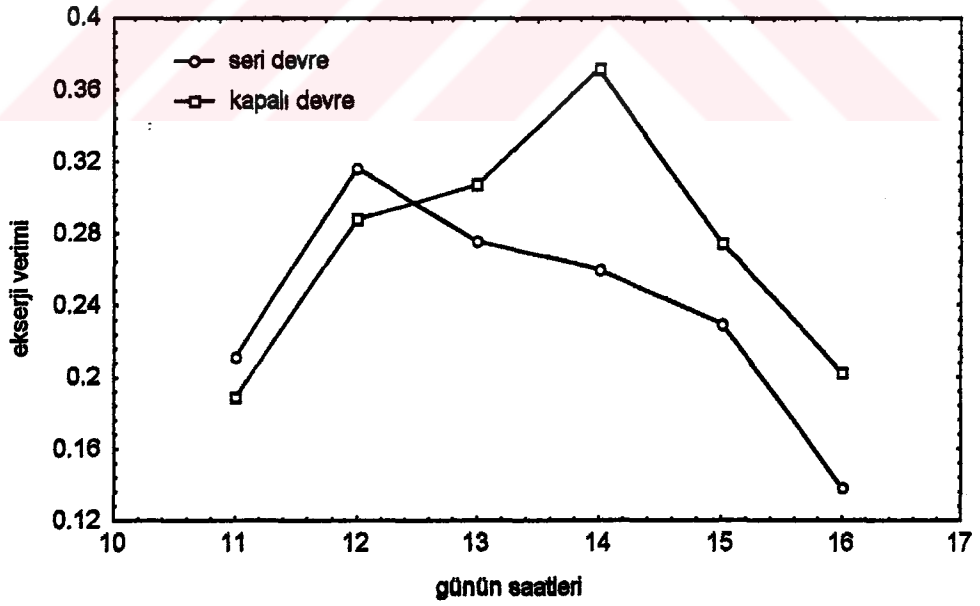
Şekil 4.32. Sıcak su depoları, kolektör yüzeyi, çevre sıcaklığının değişimi (21.08.1997)

Tablo 4.9. 30.08.1997 tarihinin ölçüm sonuçları

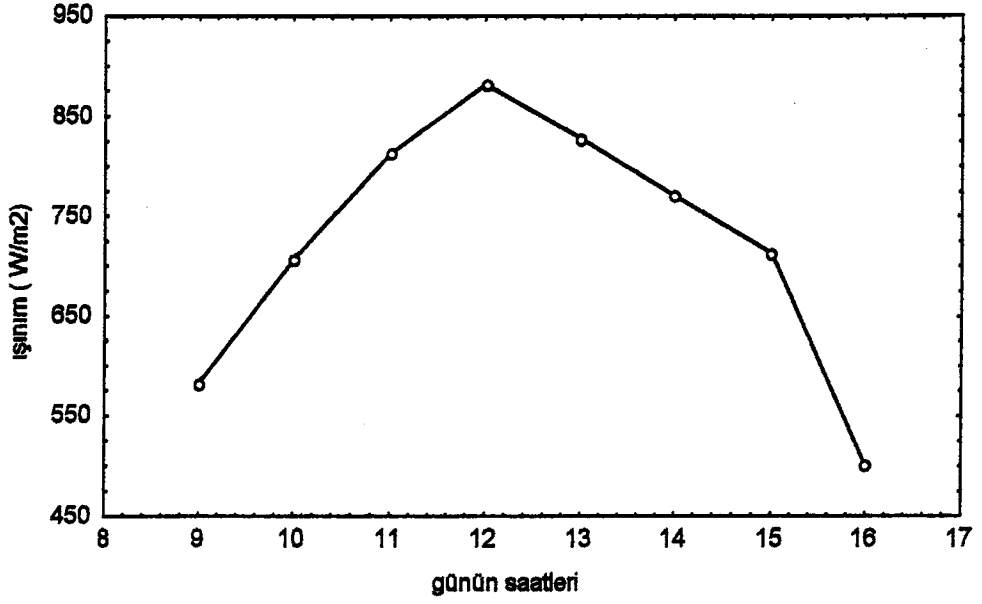
Saat	seri bağlı sistem							paralel bağlı sistem						
	T _{SG} (°C)	T _{SC} (°C)	T _{SD} (°C)	T _{SY} (°C)	m _S (kg/sn)	T _{PG} (°C)	T _{PC} (°C)	T _{PD} (°C)	T _{PY} (°C)	T _Ç (°C)	m _P (kg/sn)	I _{YT} (W/m ²)	H _{YT} (W/m ²)	
9	16,6	18,3	17,2	25,6	0,17	16,0	17,3	15,9	24,0	21,8	0,2	540	582	
10	25,1	27,3	25,4	35,4	0,17	24,9	27,0	25,1	39,1	27,3	0,16	645	706	
11	34,6	37,2	33,7	44,2	0,17	33,4	35,7	34,8	45,2	28,3	0,21	734	813	
12	43,3	45,3	43,6	51,9	0,21	42,9	44,9	42,3	54,0	27,1	0,21	790	882	
13	50,1	51,6	51,2	58,1	0,21	49,3	51,1	51,9	59,9	28,8	0,21	746	828	
14	56,3	57,3	59,3	63,4	0,21	56,1	57,8	59,8	63,0	28,2	0,21	648	771	
15	60,1	61,0	62,4	64,0	0,21	60,3	61,4	63,3	65,1	28,6	0,21	650	713	
16	61,9	62,3	62,2	63,5	0,21	61,5	62,1	62,3	64,6	31,0	0,21	470	501	



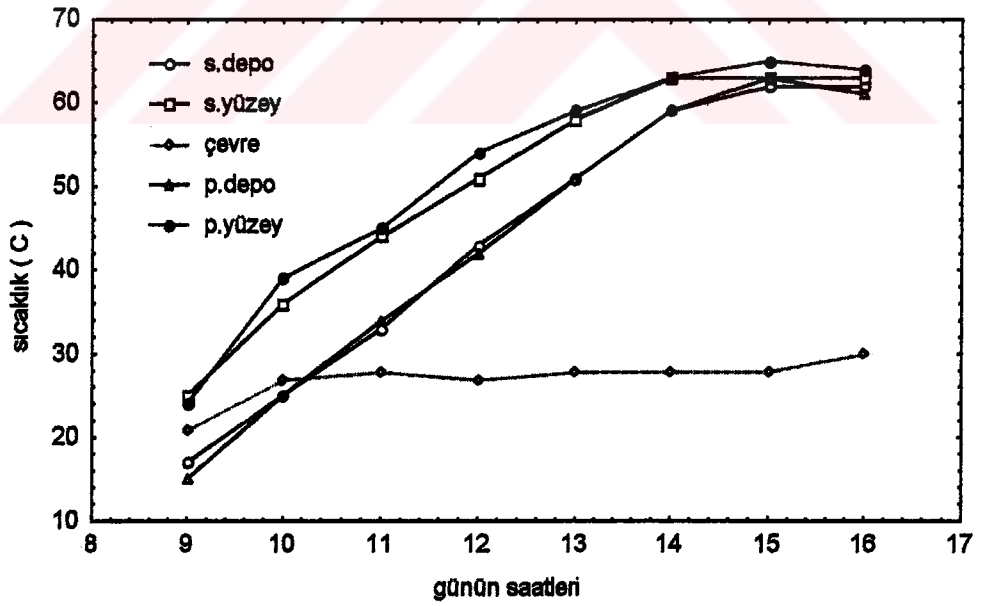
Şekil 4.33 Paralel ve seri bağlı kollektörlerin verimlerinin günün saatlerine göre değişimi (30.08.1997)



Şekil 4.34. Paralel ve seri bağlı kollektörlerin ekserji verimlerinin günün saatlerine göre değişimi 30.08.1997



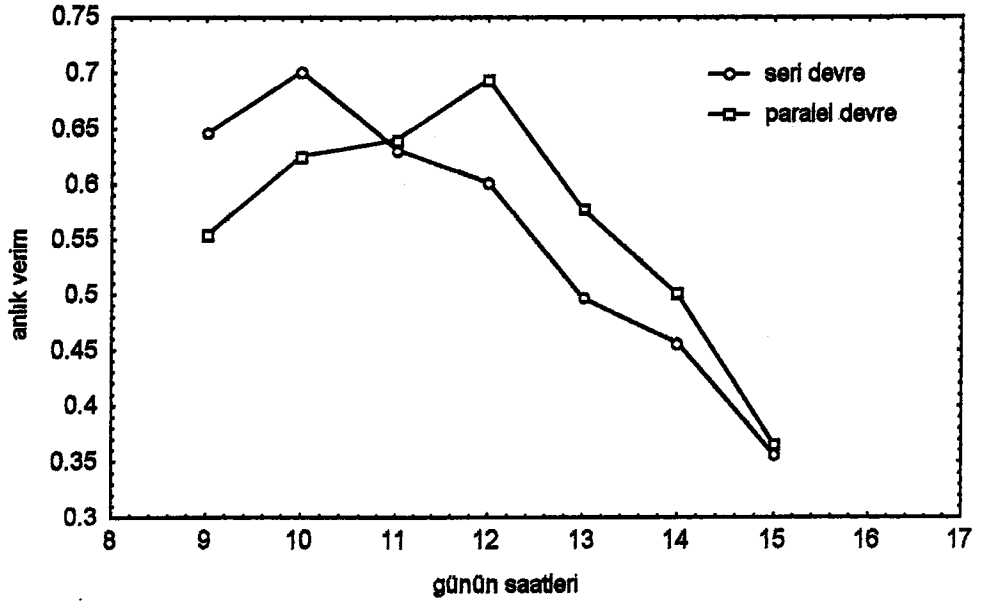
Şekil 4.35. Güneş ışınımının günün saatlerine göre değişimi (30.08.1997)



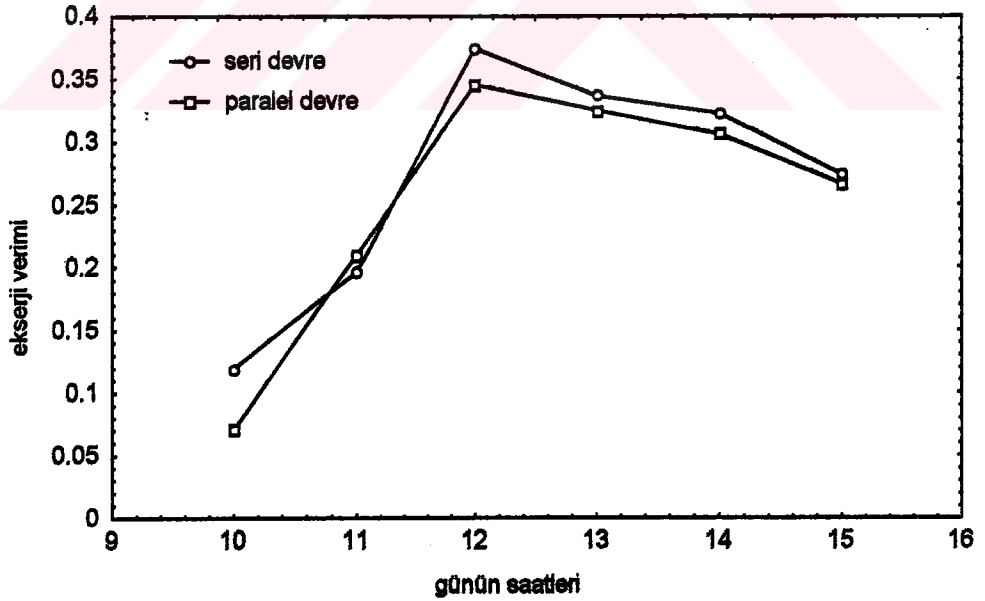
Şekil 4.36. Sıcak su depoları, kolektör yüzeyi, çevre sıcaklığının değişimi (30.08.1997)

Tablo 4.10. 01.09.1997 tarihinin ölçüm sonuçları

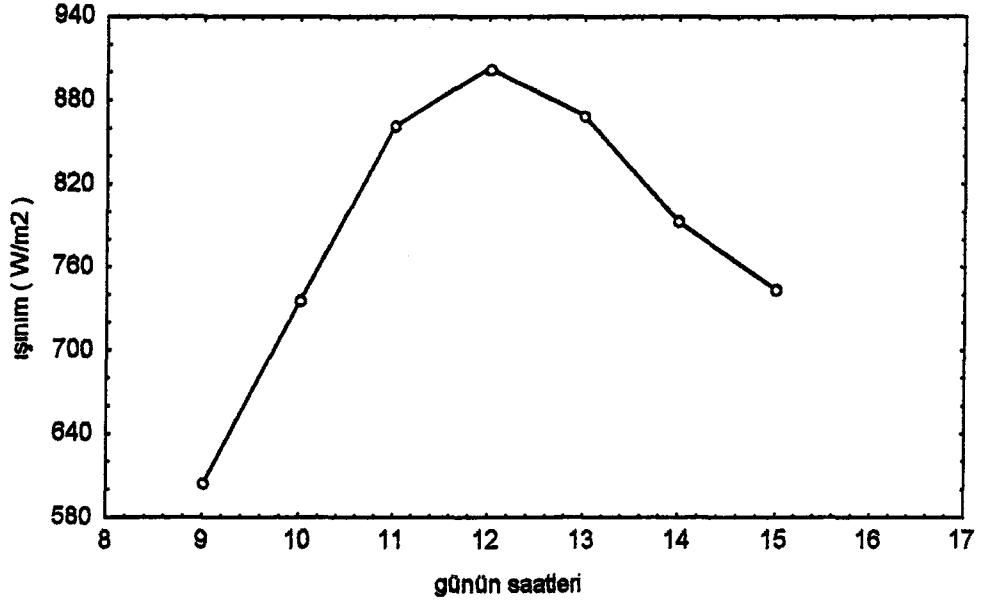
Saat	Seri bağlı sistem							paralel bağlı sistem							H _{YT} (W/m ²)
	T _{SG} (°C)	T _{SC} (°C)	T _{SD} (°C)	T _{SY} (°C)	m _s (kg/sn)	T _{PG} (°C)	T _{PC} (°C)	T _{PD} (°C)	T _{PY} (°C)	T _Ç (°C)	m _p (kg/sn)	I _{YT} (W/m ²)			
9	18,1	20,9	18,8	27,5	0,12	18,4	20,0	18,6	29,3	24,9	0,18	554	604		
10	26,3	30,0	26,4	36,0	0,12	26,4	28,6	26,6	39,1	25,2	0,18	664	735		
11	30,3	34,2	30,9	45,9	0,12	34,1	36,4	35,6	49,3	23,7	0,18	768	861		
12	42,7	46,6	44,6	52,2	0,12	40,9	43,9	42,0	57,2	23,3	0,18	801	903		
13	49,8	52,9	51,1	57,6	0,12	47,9	50,3	48,9	52,9	25,1	0,18	774	869		
14	53,5	56,1	55,7	60,1	0,12	52,3	54,2	53,5	64,7	26,2	0,18	711	793		
15	56,4	58,3	58,7	60,9	0,12	55,3	56,6	57,9	60,7	24	0,18	670	774		



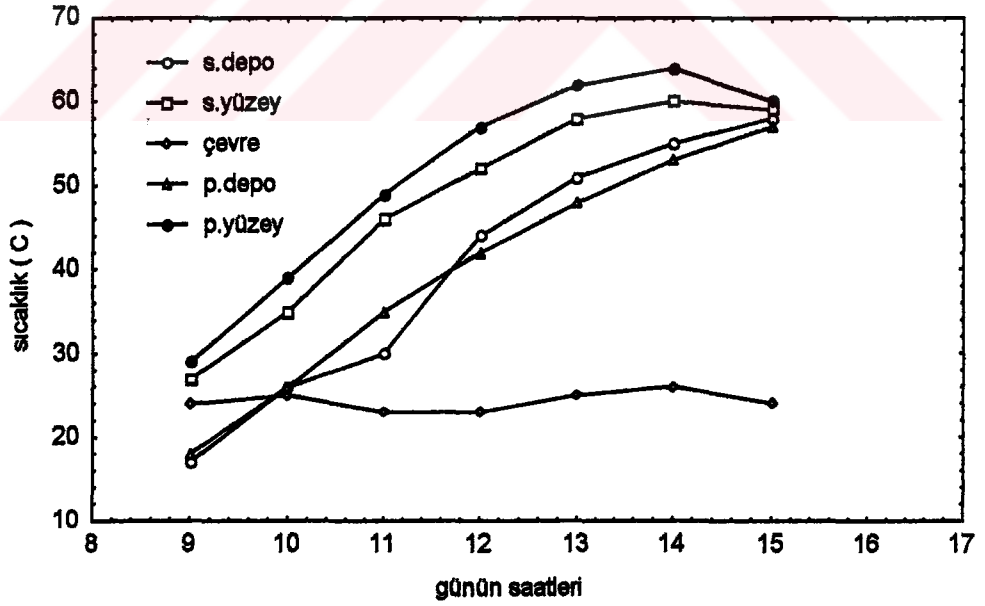
Şekil 4.37. Paralel ve seri bağlı kolektörlerin verimlerinin günün saatlerine göre değişimi (1.9.1997)



Şekil 4.38. Paralel ve seri bağlı kolektörlerin ekserji verimlerinin günün saatlerine göre değişimi (01.09.1997)



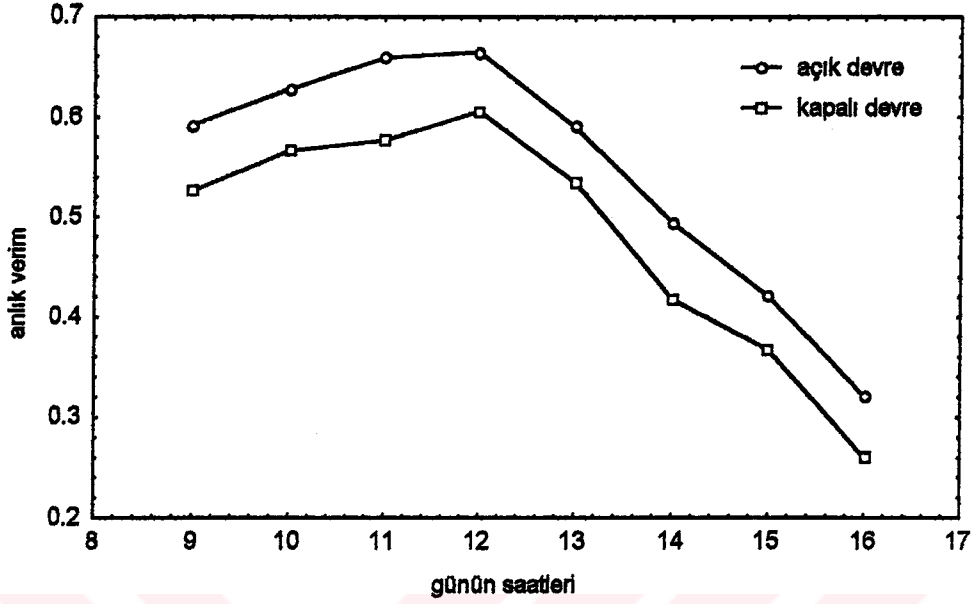
Şekil 4.39. Güneş ışınımının günün saatlerine göre değişimi (1.09.1997)



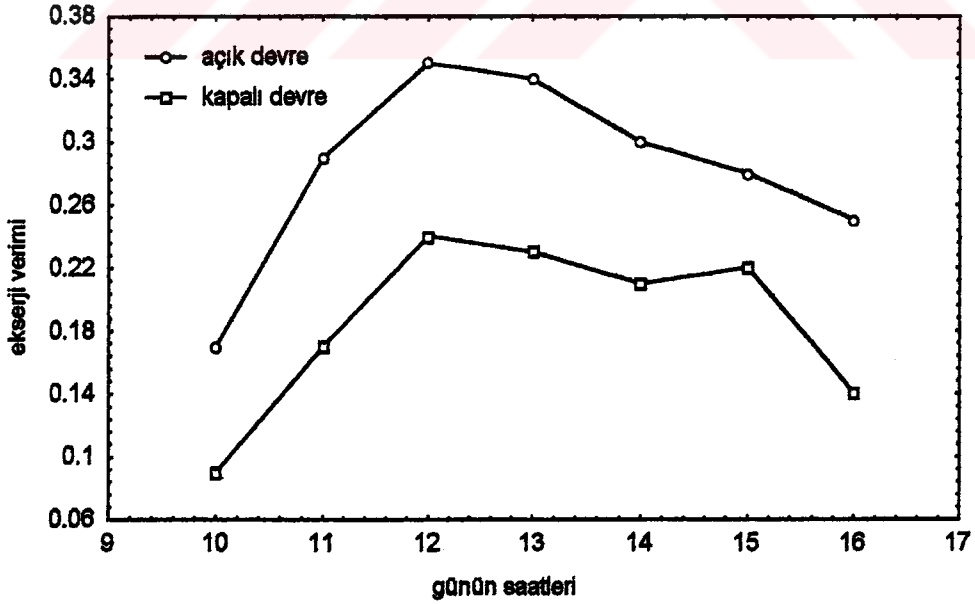
Şekil 4.40. Sıcak su depoları, kolektör yüzeyi, çevre sıcaklığının değişimi (01.09.1997)

Tablo 4.11. 08.09.1997 tarihinin ölçüm sonuçları

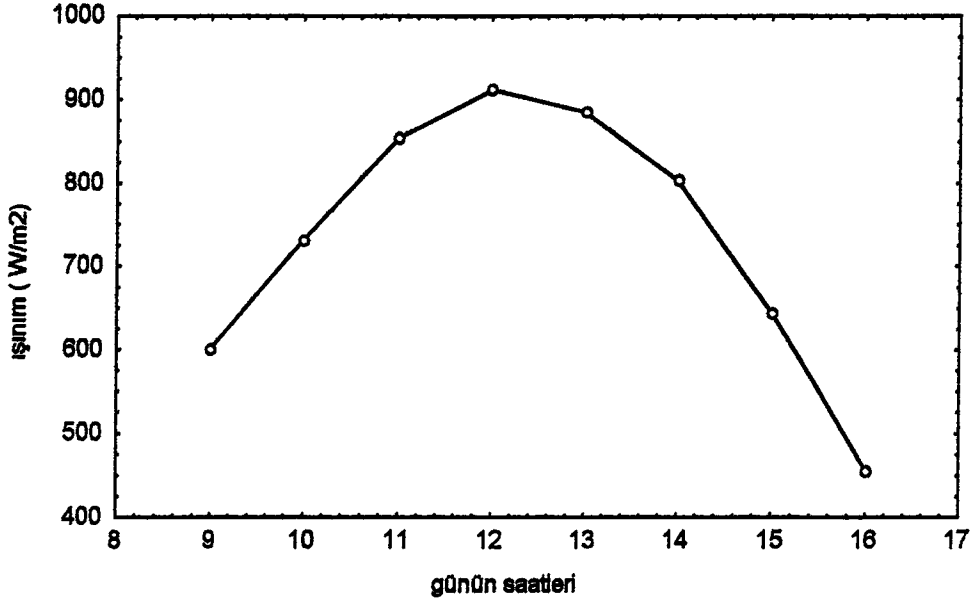
Açık devre								
saat	T _{AG} (°C)	T _{AÇ} (°C)	T _{AD} (°C)	T _{AY} (°C)	m _s kg/sn	T _Ç (°C)	I _{YT} W/m ²	H _T W/m ²
9, ⁰⁰	16.3	18.0	16.8	31.6	0.18	16.3	535	600.8
10, ⁰⁰	22.8	25.0	23.7	37.3	0.18	26.7	645	732
11, ⁰⁰	30.1	32.8	30.5	45.7	0.18	17.6	745	854.6
12, ⁰⁰	38.7	41.6	39.6	55.4	0.18	19.7	791	912
13, ⁰⁰	45.3	47.8	45.7	59.1	0.18	23.6	769	885.8
14, ⁰⁰	49.8	51.7	50.1	65.0	0.18	23.8	700	803
15, ⁰⁰	54.0	55.3	54.6	65.7	0.18	20.1	570	645.3
16, ⁰⁰	56.5	57.2	58.3	56.7	0.18	19.8	413	456
Kapalı devre (%50 su + %50 antifriz)								
saat	T _{KG} (°C)	T _{KÇ} (°C)	T _{KD} (°C)	T _{EG} (°C)	T _{EÇ} (°C)	T _{KY} (°C)	m _s kg/sn	m _A kg/sn
9, ⁰⁰	19.8	21.2	16.3	16.1	17.7	28.8	0.17	0.13
10, ⁰⁰	24.2	28.6	22.6	21.3	23.4	40.6	0.17	0.13
11, ⁰⁰	30.2	35.3	29.1	28.1	30.6	48.0	0.17	0.13
12, ⁰⁰	36.8	42.7	36.9	35.9	38.7	55.3	0.17	0.13
13, ⁰⁰	41.6	47.4	41.9	41.9	44.3	59.0	0.17	0.13
14, ⁰⁰	45.1	49.6	44.6	44.1	45.8	53.6	0.17	0.13
15, ⁰⁰	48.3	50.9	52.7	50.1	51.3	55.6	0.17	0.13
16, ⁰⁰	53.1	56.8	54.1	53.8	54.4	57.1	0.17	0.13



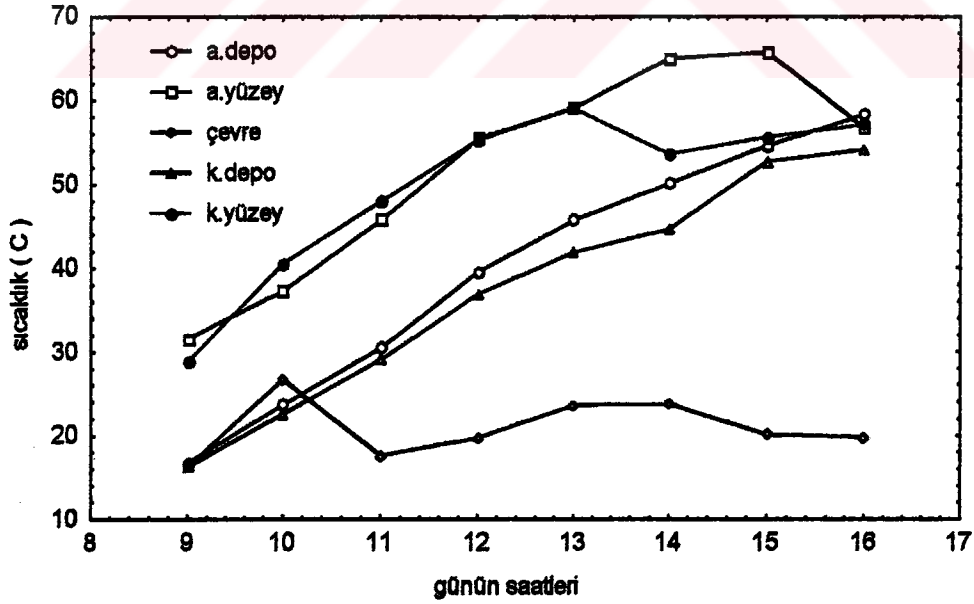
Şekil 4.41. Açık ve kapalı devreli sistemlerin verimlerinin günün saatlerine göre değişimi (08.09.1998)



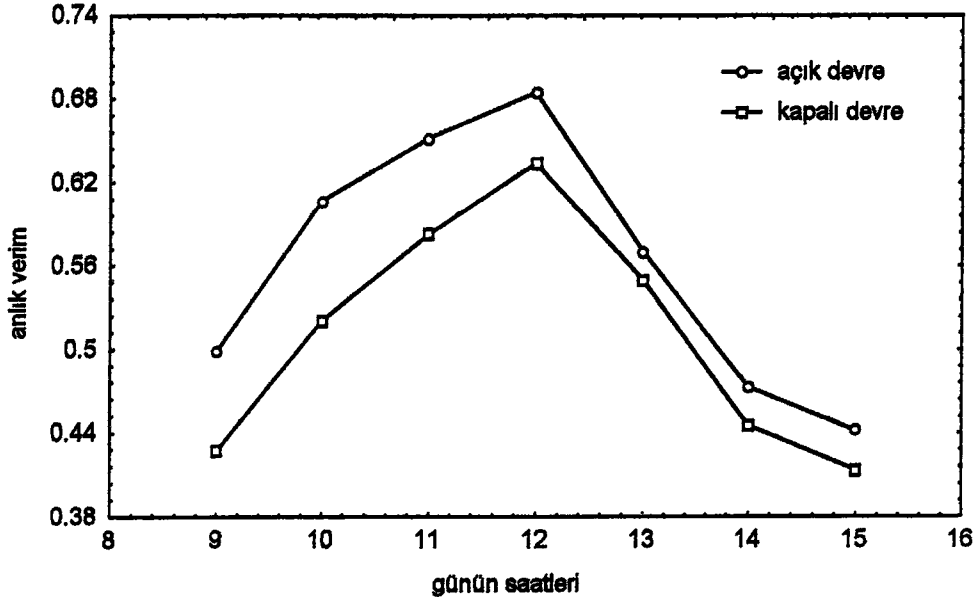
Şekil 4.42. Açık ve kapalı devreli sistemlerin ekserji verimlerinin günün saatlerine göre değişimi (08.09.1997)



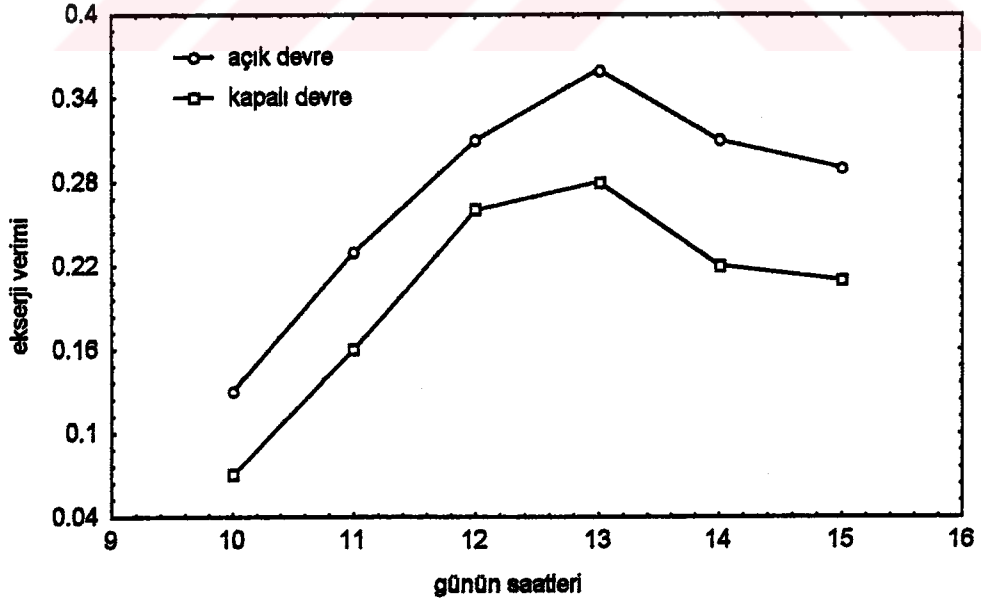
Şekil 4.43. Güneş ışınımının günün saatlerine göre değişimi (08.09.1997)



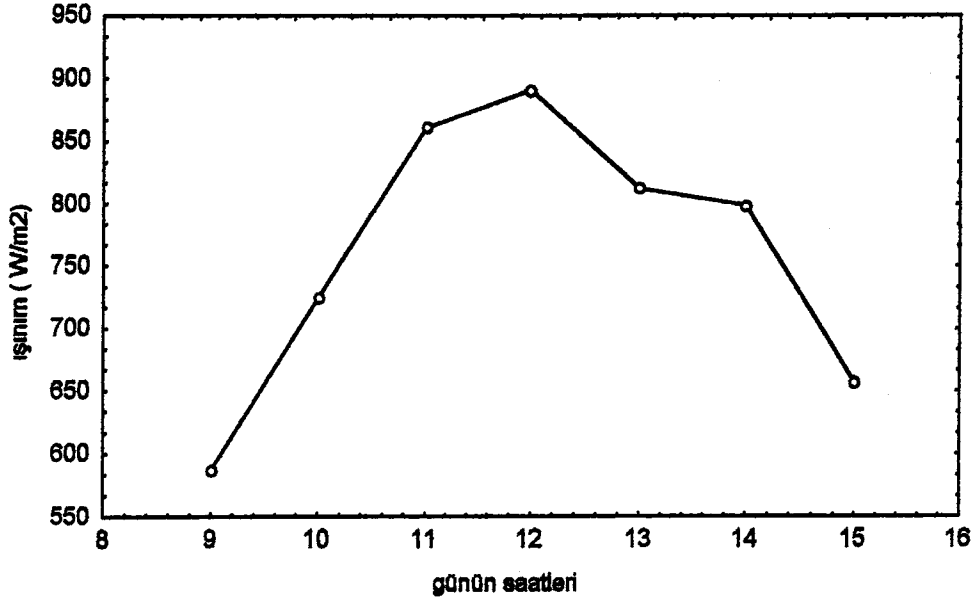
Şekil 4.44. Sıcak su depoları, kollektör yüzeyi, çevre sıcaklığının değişimi (08.09.1997)



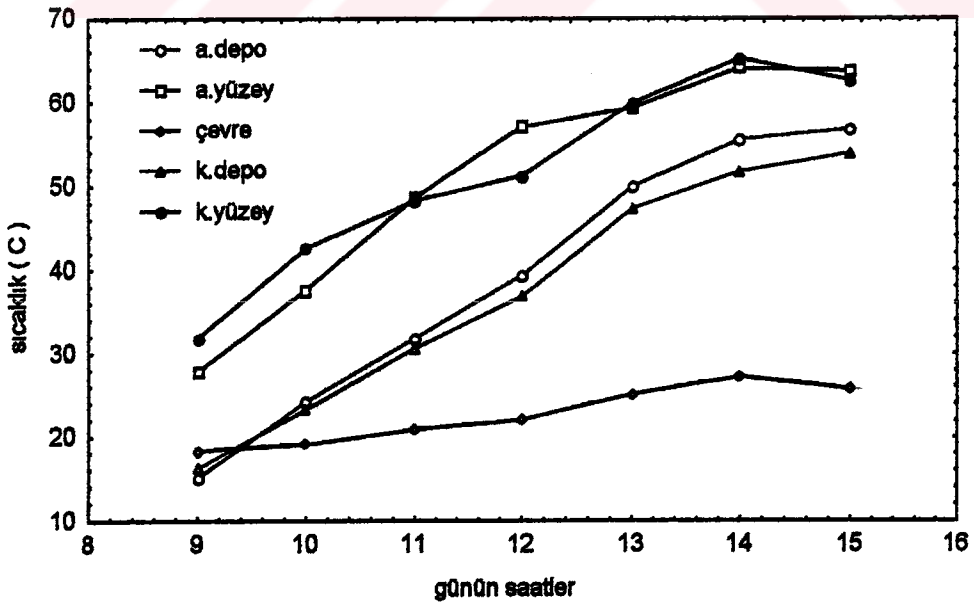
Şekil 4.45. Açık ve kapalı devreli sistemlerin verimlerinin günün saatlerine göre değişimi (09.09.1998)



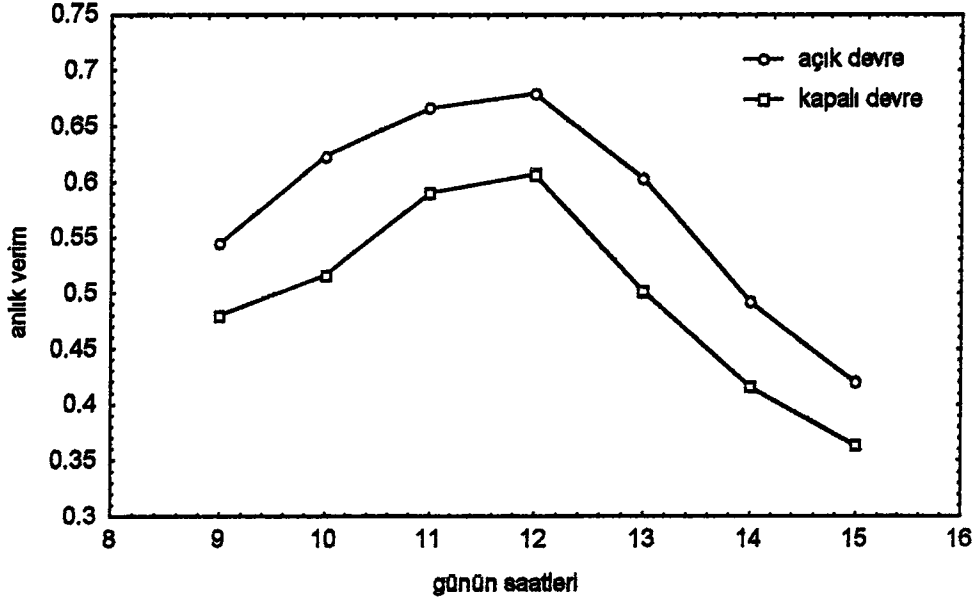
Şekil 4.46. Açık ve kapalı devreli sistemlerin ekserji verimlerinin günün saatlerine göre değişimi (09.09.1997)



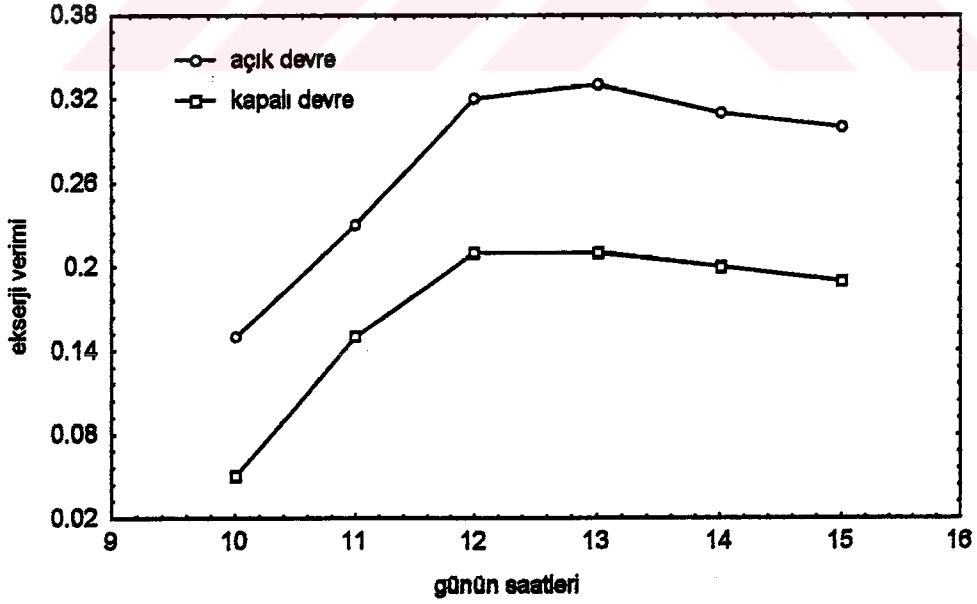
Şekil 4.47. Güneş ışıınının günün saatlerine göre değişimi(09.09.1997)



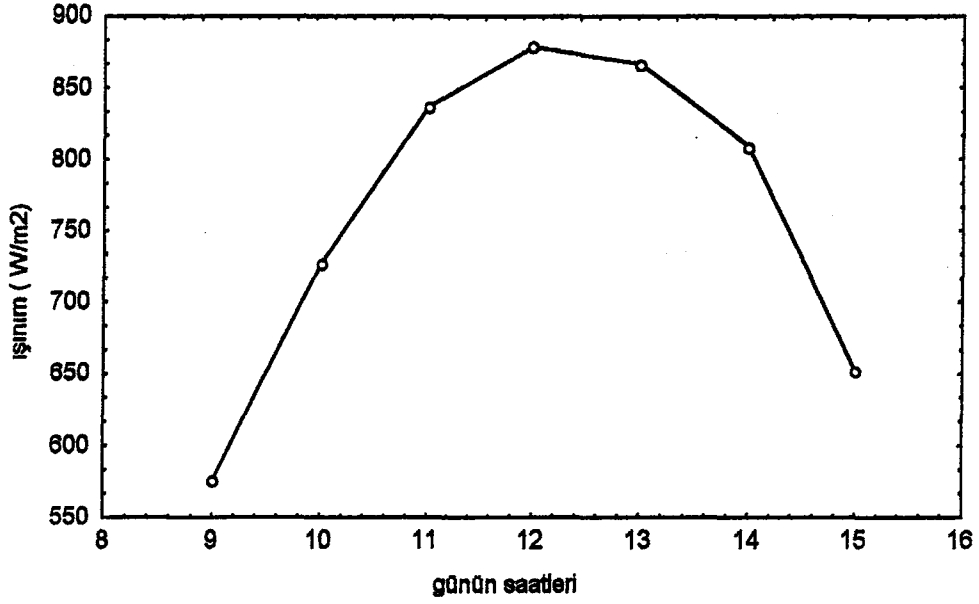
Şekil 4.48. Sıcak su depoları, kolektör yüzeyi, çevre sıcaklığının değişimi (09.09.1997)



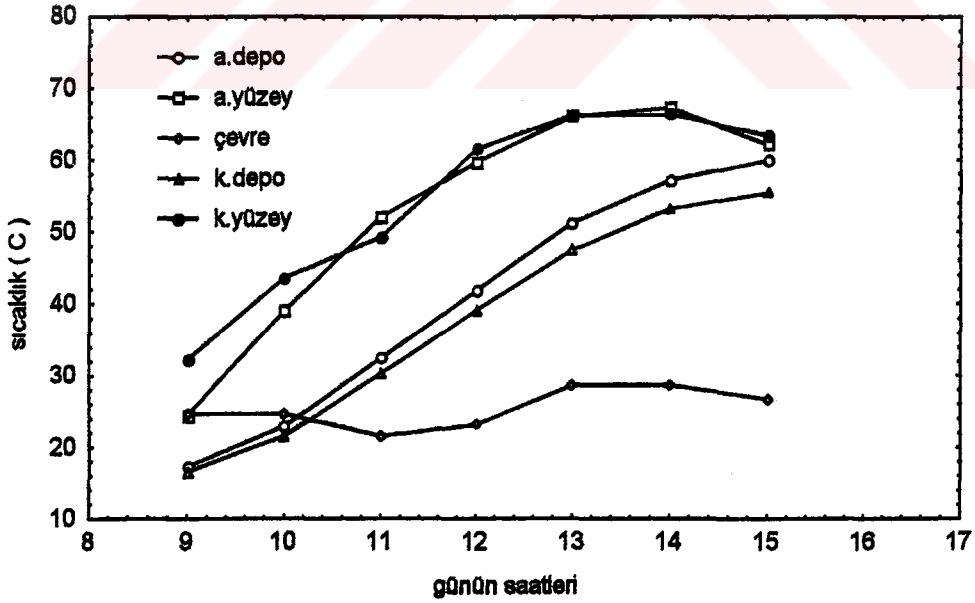
Şekil 4.49. Açık ve kapalı devreli sistemlerin verimlerinin günün saatlerine göre değişimi (10.09.1998)



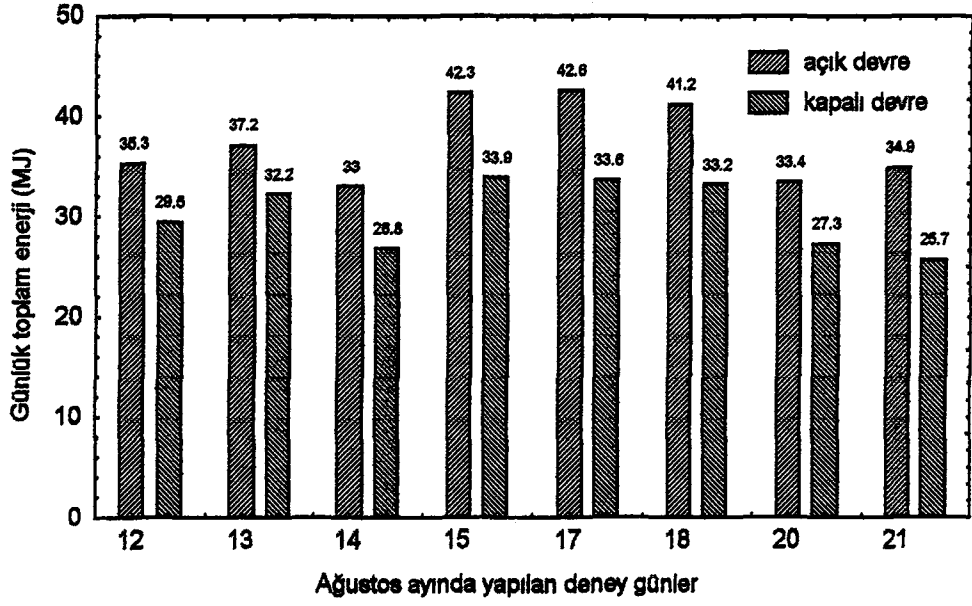
Şekil 4.50. Açık ve kapalı devreli sistemlerin ekserji verimlerinin günün saatlerine göre değişimi (10.09.1997)



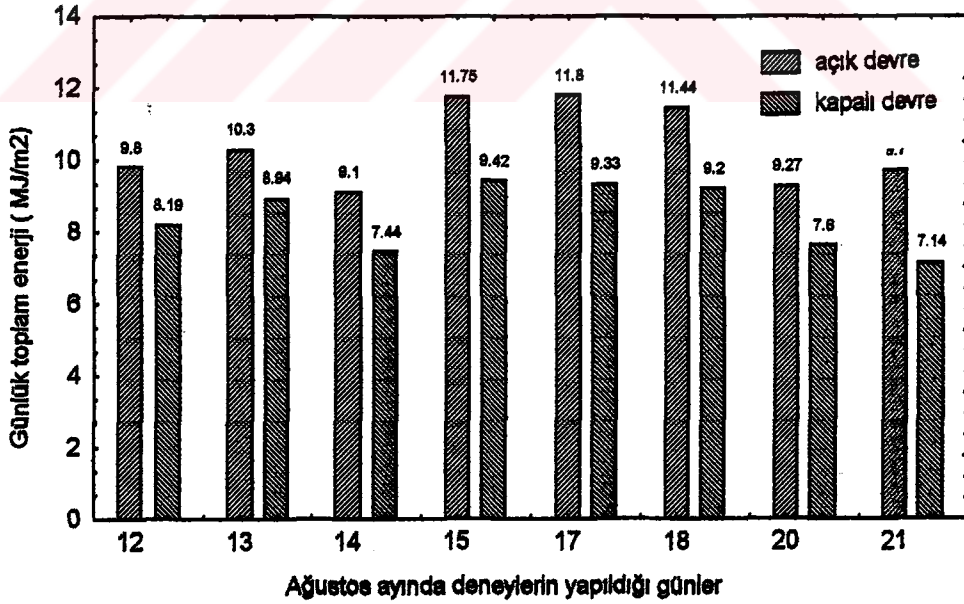
Şekil 4.51. Güneş ışınımının günün saatlerine göre değişimi (10.09.1997)



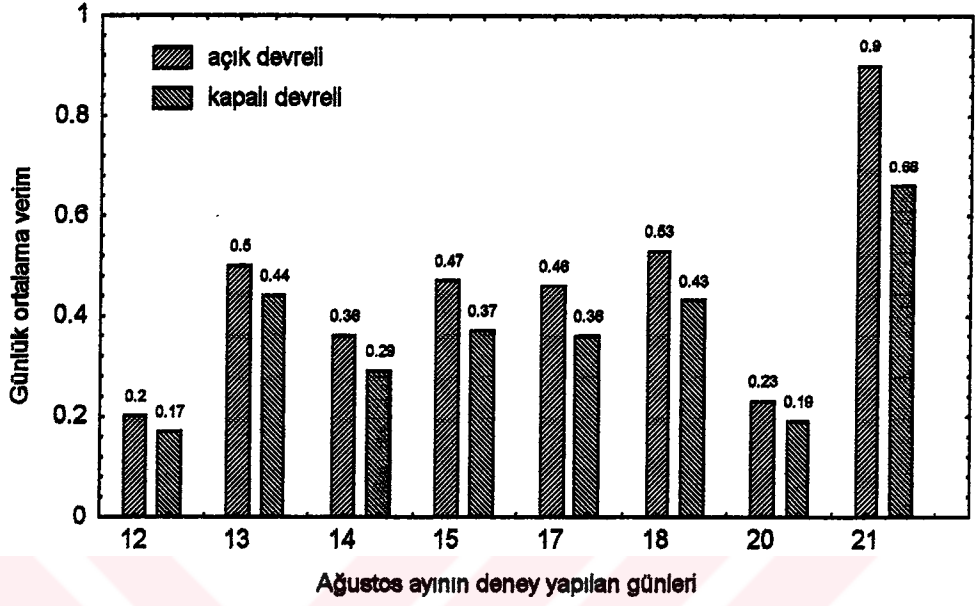
Şekil 4.52. Sıcak su depoları, kolektör yüzeyi, çevre sıcaklığının değişimi (10.09.1997)



Şekil 4.53. Bir günde elde edilen toplam enerji



Şekil 4.54. Bir günde birim kolektör yüzeyinden alınan enerji



Şekil 4.55. Açık ve kapalı devreli sistemlerin günlük ortalama verimleri

5.TARTIŞMA ve ÖNERİLER

Yapılan hesaplamalar sonucunda çizilen grafiklerden, şekil 4.1, 4.5, 4.9 ve 4.13 de görüldüğü gibi sistemlerden açık sistemin verimi; kapalı sistemde, su kullanıldığında kapalı sistemin verimine göre yaklaşık %(5-8) daha yüksek çıkmıştır. Bu da kapalı sistemde kullanılan eşanjörden kaynaklanmaktadır. Bu fark günün her saatinde hemen hemen aynı kalmaktadır.

Kapalı devreli sistemde antifriz kullanılarak yapılan deneylerde elde edilen verim, bu sistemler de su kullanılarak yapılan deneylerde elde edilen verimden yaklaşık %2 dolayında az çıkmıştır. Bu sonuç şekil 4.43 de görülmektedir. Bunun sebebi de antifrizin özgül ısısı (C_p)' nin düşüklüğünden kaynaklanmaktadır.

Deney yapılan günler için çizilen ekserji grafiklerinden görüleceği gibi sistemlerin ekserji verimleri için de yukarıda anlatılan durumlar geçerli olmaktadır. Kapalı sistemde iki adet pompa kullanıldığından dışarıdan sisteme verilen iş daha fazla olmaktadır. Bundan dolayı kapalı ve açık devreli sistemlerin anlık verimleri arasındaki fark, ekserji verimleri arasındaki farktan daha küçük olmaktadır.

Genellikle sistemlerin anlık verimleri ve ekserji verimleri sabah saatlerinde düşük 11-13 saatleri arasında en yüksek değerlerine ulaşmaktadır. Öğleden sonra ise anlık verim ve ekserji verimleri tekrar düşmektedir. Sabahleyin sistemler ilk çalışmaya başladıkları için verimleri düşük çıkmaktadır. Öğleden sonra ise kollektöre giren akışkanın giriş sıcaklığı yüksek olduğundan sistemlerden alınan enerji miktarı da azalmaktadır. Bundan dolayı sistemlerin verimleri saat onüçten sonra azalma göstermektedir.

Şekil 4.33 ve 4.37 den görüldüğü gibi kollektörleri seri bağlı sistemin verimi sabah saatlerinde kollektörleri paralel bağlı sistemin veriminden daha yüksek çıkmakta fakat saat 11'den sonra verimi paralel bağlı sistemin veriminden az olmaktadır. Fakat günlük ortalama verimleri hemen hemen aynı çıkmaktadır.

Genel itibariyle kapalı sistemlerin verimleri, kullanılan plakalı eşanjörün veriminin yüksek olmasından dolayı iyi çıkmaktadır. Fakat eşanjörün pahalı oluşu ve ikinci bir sirkülasyon pompası kullanılması plakalı eşanjör kullanılarak kurulacak kapalı devreli güneş enerjili sıcak su sistemleri için dezavantaj olmaktadır. Kapalı devreli sistemler de, kullanılan elemanların fazla ve pahalı oluşları tek konutlarda ekonomik olmamaktadır. Bu sistemler büyük tesislerde ve çok konutlu yerlerde kullanılırsa daha avantajlı olur.

Kapalı devreli sistemlerin uygulanmasının zor ve pahalı olacağı düşünülse bile, bölgemizde ağustos ayında açık devreli sistemler rahatlıkla uygulanabileceği görülmüştür. Dolayısı ile güneş ışınımının ağustos ayından daha fazla olduğu diğer yaz aylarında (haziran, temmuz) ve don olayının olmadığı aylarda da açık devreli sistemler kullanılabilir. Elemanlarının fazla olmayışı ve montajının kolay olmasından dolayı hemen hemen her konutta açık devreli sistemler kurulabilir.

Açık devreli sistemde bir günde yaklaşık 200lt suyun 15°C den 60-65°C ye kadar ısıtılabilceği görülmüştür. Bunun enerji değeri ise yaklaşık 9000kcal'dir. Bir aylık değeri ise 270.000kcal'dir. Aynı miktarda ki enerjiyi elde etmek için kullanılacak yakıt miktarı ve türleri ise aşağıda verilmiştir.

<u>Yakıtın cinsi</u>	<u>Yakıtın ısı değeri</u>	<u>Gerekli yakıt miktarı</u>
Linyit kömürü	4000 kcal/kg	68 kg/ay
LPG	14500 kcal/kg	18.6 kg/ay
Elektrik	860 kcal/kwh	314 kwh/ay

Bu yakıt miktarlarının bugünkü bedelleri ise,

<u>Yakıtın cinsi</u>	<u>Birim fiyatı</u>	<u>Yanma verimi</u>	<u>Yakıt tutarı</u>
Linyit	15.000TL/kg	0.60	1.700.000TL/ay
LPG	100.000TL/kg	0.85	2.189.000TL/ay
Elektrik	10.000TL/kwh	0.90	3.486.000TL/ay

şeklindedir.

Bu miktarlar, sadece bir ailenin, bir ayda güneş enerjisi kullanması durumunda yapacağı tasarrufu göstermektedir. Eğer bu hesap, yaz ayları boyunca ve toplumun bir çok kesiminin güneş enerjisinden faydalandığı düşünülerek yapılırsa enerjiden yapılacak tasarruf büyük boyutlara ulaşacağı görülecektir. Enerjimizin yarıdan fazlasını ithal eden ülkemiz için bu tasarrufun önemi olsa gerek.

Yapılan bu çalışma bir yıl boyunca yapıp her ay için sistemlerin verimleri tespit edilir ise bölgemizde güneş enerjisinin uygulanabilirliği daha iyi tespit edilmiş olur. Deneylerde kullanılan kollektörler ve diğer malzemeler iyi seçilip ve iyi boyutlandırılır ise sistemlerin verimleri daha iyi çıkacaktır.

Beş kişilik bir aile için bir günde yaklaşık 500lt sıcak su gerekmektedir. Bu miktardaki sıcak su üç adet kollektör ile karşılanabilir. Bunun için beş kişilik bir aile için üç adet kollektörden oluşan güneş enerjili sıcak su sistemi önerilebilir.

Türkiye için daha önce hazırlanmış güneş ışınım haritalarına bakıldığında Erzurum'un diğer bir çok illerden fazla güneş ışınımı almaktadır. Mesela bazı illerde, güneye bakan ve 35° eğimli düzleme gelen yıllık toplam enerjini şöyledir.

<u>İl</u>	<u>Güneş ışınım miktarı ($10^3\text{kJ/m}^2\text{yıl}$)</u>
Erzurum	4886
Adana	4722
İzmir	4762
Kayseri	4755
Diyarbakır	5037
Van	5570
Kars	4825

Yukarıdaki değerlerden görüleceği gibi bölgemizdeki iller güneş enerjisi kullanılan (Adana gibi) illere göre daha fazla güneş ışınımı almaktadır. Bundan dolayı güneş enerjisi bölgemizde, sıcak su üretiminde donmanın olmadığı günlerde rahatlıkla kullanılabilir. Donma olmayan günler ise yılın yarısına tekabül etmektedir. Dolayısıyla açık devreli sistemler yaklaşık altı ay kullanılabilir. Kış aylarında ise maliyeti düşük kapalı devreli sistemler kullanıldığında güneş enerjisi avantajlı olabilir.



KAYNAKLAR

- Atagündüz, G., 1989, Güneş Enerjisi Temelleri ve Uygulamaları. Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Yayınları, Ege Üniversitesi Basımevi İzmir, s 1-30,
- Atagündüz, G., 1989, Türkiye ve gelişmekte olan ülkelerde güneş enerjisinin önemi. Güneş Enerjisi Enstitüsü Dergisi, 1,(1), 1-3
- Ayhan, T., Çomaklı, Ö., Kaygusuz, K., 1990, Güneş kolektörlü ve enerji depolu ısı pompası sisteminde ekserjetik verimin deneysel olarak incelenmesi. Termodinamiğin İkinci Kanununun Çalışma Toplantısı, E.Ü, Kayseri, 35.
- Bilen, K., 1996, Güneş enerjisi ders notları. Atatürk Üniversitesi. (yayınlanmamış)
- Çomaklı, Ö., Ayhan, T., Kaygusuz, K., 1990, Karadeniz bölgesi için kurutma ve iklimlendirme amaçlı güneş kolektörlü enerji depolu ısı pompası deney düzeneğinin tanıtılması. Birinci ulusal soğutma ve iklimlendirme sempozyumu, 16-18 Mayıs, Adana, 36-41.
- Deriş, N., 1979, Güneş Enerjisi - sıcak su ile ısıtma Tekniği, Güven Kitabevi, İstanbul, s 167.
- Duffie, J.A., Beckman, W.A., 1991, Solar Engineering Thermal Processes. John Wiley and Sons , New York, 488
- E.İ.E., 1992 , Güneş Pilleri. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Ankara, s 1-3
- E.İ.E., 1991 ,Güneş Kolektörlerinin Optimum Özellikleri. Elektrik İşleri Etüt İdaresi, Ankara, 5-7

- Evcilmen, S., 1993, Doğal Enerji Kaynağı Güneş Enerjisi ve Güneş Enerjili Sistemleri. M.M.O. Tesisat mühendisliği aylık teknik süreli yayını , 1, (5), 26-29
- Husai, Md.S.,1990, Bonding for Tubolar Collectors.1st. World Renewable Energy Congress, 2, 1062-1066
- Hsieh, J. S., 1986, Solar Energy engineering. Printice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, p 256.
- Kılıç, A., Öztürk, A.,1983, Güneş Enerjisi. Kipaş dağıtımcılık , Cağaloğlu-İstanbul, s 58.
- Kılıç, A., Öztürk A., 1984, Güneş ışıını ve düz toplayıcılar. SEGEM Sınai Eğitim ve Geliştirme Merkezi Müdürlüğü , Ankara , s 1-36 .
- Kılıç, A., 1993, Güneş Enerjili Sıcak Su Sistemlerinin Seçimi . Tasarımı ve İşletilmesi , M.M.O. Tesisat mühendisliği aylık teknik süreli yayını ,1 ,(5) , 30-37.
- Löf, G.O.G., Kraki, S., 1983, System performance for the supply solar heat. Mechanical Engineering, 32 - 47.
- Mançuhan, C., 1994, Sıcak Su İçin Güneş Enerjisi. Termodinamik, 5, 49-50
- Özil, E., 1977, Güneş Enerjisi Yönünden Meteorolojik Verilerin Değerlendirilmesi ve Türkiye Güneş Potansiyelinin Saptanması. 3. Ulusal Enerji Kongresi, 28-42.
- Özbalta, N., Güngör, A., 1989, Güneş Enerjisi Toplayıcılarında Kullanılan Isı Transfer Akışkanları. Güneş Enerjisi Enstitüsü Dergisi, 1, (1), 65-76
- Sönmez, H.M., Erdal, Y., 1995, Güneş Enerjili Damıtıcı Sistemler . Termoklima, 3, (30), 21

- Tırıs, M., 1989, Jeotermal Enerji Uygulamaları ve Türkiye Açısından Önemi. Güneş Enerjisi Enstitüsü Dergisi, 1,(1), 1-3, 105-115
- Tırıs, Ç., Tırıs, M.,1996, Düzlemsel Güneş Kollektörlerinin Verimini Artıran Parametreler. Termodinamik , 6, 95-98
- Tırıs, Ç., 1996, Güneşli Su Isıtma Sistemlerinin Boyutlandırılması : F- Chart Yöntemi. Termodinamik, 3, 55
- Tırıs, Ç., Tırıs, M., Sönmez, H.M., Edin, M., 1995, Plastik Güneş Kollektörlerinin Karşılaştırmalı Analizi. 5. Türk-Alman Enerji Sempozyumu, İzmir, 25-28.
- TS. 3680, 1984, Güneş Enerjisi Toplayıcıları. Türk Standartları, Ankara
- TS. 3817, 1994, Güneş Enerjisi -Su Isıtma Sistemlerinin Yapım Tesis ve İşletme Kuralları. Türk Standartları, Ankara
- Uyarel, Y., Öz, E.S., 1987, Güneş Enerjisi ve Uygulamaları. Birsen Yayınevi, İstanbul, s 130-199
- Varol, S., Yazar, A.,1994, Güneş Enerjili Sıcak Su Sistemleri Nasıl Olmalıdır ?. Termodinamik, 29-31
- Yüksel, F., 1992, Güneş enerjili havalı toplayıcıların performansı, Yüksek Lisans Tezi, A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, s 45.