

**VAKUM BORULU KOLEKTÖR VE EK ISITICI KULLANARAK
KAPALI BİR ALANIN ISITILMASININ ANALİZİ**

Gökçe ÇAKIR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2009

ANKARA

Gökçe ÇAKIR tarafından hazırlanan VAKUM BORULU KOLEKTÖR VE EK ISITICI KULLANARAK KAPALI BİR ALANIN ISITILMASININ ANALİZİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Y. Doç. Dr. İbrahim ATILGAN

.....

Tez Danışmanı, Makine Müh. Anabilim Dalı, G.Ü.

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mecit SİVRİOĞLU

.....

Makine Müh. Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Haşmet TÜRKOĞLU

.....

Makine Müh. Anabilim Dalı, G.Ü.

Doç. Dr. Cemil YAMALI

.....

Makine Müh. Anabilim Dalı, ODTÜ

Y. Doç. Dr. İbrahim ATILGAN

.....

Makine Müh. Anabilim Dalı, G.Ü.

Y. Doç. Dr. Ferda MUTLU

.....

Kimya Müh. Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih :

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nail ÜNSAL

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Gökçe ÇAKIR

VAKUM BORULU KOLEKTÖR VE EK ISITICI KULLANARAK KAPALI BİR ALANIN ISITILMASININ ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Gökçe ÇAKIR

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Haziran 2009

ÖZET

Bulunduğumuz iklim kuşağında kullanma suyunu, yüzme havuzlarını ve konutları yıl boyunca sadece güneş enerjisinden yararlanarak ısıtmak yeterli değildir. Bu nedenle güneş enerjisi sistemlerinin diğer bir ısı üretici ile birlikte kombine çalışabilecek sistemler olarak tasarlanması daha uygundur. Bu çalışmada Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi' nde bulunan ve 198 m² alana sahip kapalı hacmin güneş enerjisi toplayıcısı olarak kullanılan vakum borulu kolektör sisteminden sağlanan enerji ve ek ısıtıcı desteğiyle ısıtılıp ısı analizinin gerçekleştirilebilmesi amacıyla iki farklı sistem kurulmuştur. İlk sistemde vakum borulu kolektör yatay eksenle 40° açı yapacak şekilde yerleştirilmiş ve ek ısıtıcı olarak boyler kazanındaki elektriksel direnç kullanılmış, ikinci sistemde vakum borulu kolektör yatay zemine dik olarak yerleştirilmiş ve herhangi bir ek ısıtıcı kullanılmamıştır. Hazırlanmış olan sistemler ile kapalı hacmin ısıtılmasının analizi deneyleri 2008 yılı Ekim ve Kasım ayları ile 2009 yılı Ocak ve Mayıs aylarında gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda 2008 yılı Ekim ayında ek ısıtıcı devreye sokulmadan gerçekleştirilen deneyler, kapalı hacmin ısıtılması için gerekli olan enerjinin tamamının mevcut kolektör sisteminden sağlanamayacağını göstermiştir. Buna istinaden 2008 yılı Kasım ayı ve 2009 yılı Ocak ayında eğimli kolektör sistemindeki ek ısıtıcı devreye sokularak deneyler gerçekleştirilmiş, deneylerin sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmış ve kapalı alanın ısıtılmasının analizi kolektör sistemlerinden

sağlanan enerjinin ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılama oranına göre belirlenmeye çalışılmıştır. Bununla birlikte gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlara göre sistemlerde kullanılan kolektörlerin verimleri hesaplanmıştır.

Bilim Kodu : 914.1.038
Anahtar Kelimeler : Güneş enerjisi, vakum borulu kolektör, ısı performans
Sayfa Adedi : 141
Tez Yöneticisi : Y. Doç. Dr. İbrahim ATILGAN

**ANALYSIS OF HEATING A SPACE BY EVACUATED-TUBE
COLLECTORS AND AUXILIARY HEATER**

(M.Sc. Thesis)

Gökçe ÇAKIR

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

June 2009

ABSTRACT

In our climate zone, it is not enough to heat service water, swimming pools and houses by only solar energy throughout the year. Therefore designing solar systems, which can be operated combined with another heat generator, is much more appropriate. In this study; two different systems have installed to perform thermal performance analysis of a 198 m² building located in Gazi University Engineering Architecture Faculty which is heated by the energy supplied from evacuated tube collectors that are used as solar energy collectors and by auxiliary heater. In the first system, evacuated tube collectors were placed inclined with an angle of 40° from the horizontal plane and electrical resistance in the boiler tank was used as auxiliary heater; in the second system, evacuated tube collectors were placed perpendicular to the horizontal plane and any auxiliary heater was not used. Analysis of heating a space experiments by the installed systems were performed in October 2008, November 2008, January 2009 and May 2009. In this context, the experiments performed in October 2008 showed that the whole energy demand for space heating could not be meet without auxiliary heater. Based on this, auxiliary heater in the inclined collector system was put into operation in November 2008 and January 2009, the experiments were performed, results of the experiments were compared and system performances were determined by comparing the rate of energy supplied from collector systems to the energy demand. Also the evacuated tube

collector efficiencies were calculated by using the datas obtained from the experiments.

Science Code	: 914.1.038
Key Words	: Solar energy, evacuated tube collectors, thermal performance
Page Number	: 141
Adviser	: Asist. Prof. Dr. İbrahim ATILGAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	5
3. GÜNEŞ IŞINIMI VE GÜNEŞ IŞINIMINDAN YARARLANMA	17
3.1. Güneş Enerjisi ve Güneş Işınımı	17
3.2. Atmosferik Işınım ve Güneş Işınımı	20
3.3. Güneş Işınımından Yararlanma	22
3.3.1. Eğim açısı ve azimut açısı	24
3.3.2. Solar karşılama oranı	25
3.4. Güneş Kolektörü Tipleri	26
4. GÜNEŞ ENERJİSİ UYGULAMALARI	29
4.1. Güneş Enerjisi Su Isıtma Sistemleri	29
4.1.1. Termosifon sistemleri (pasif)	30
4.1.2. Entegre olmuş kolektör depolama sistemleri (ICS) (pasif)	31
4.1.3. Doğrudan dolaşım sistemleri (aktif).....	31

Sayfa

4.1.4. Dolaylı su ısıtma sistemleri (aktif)	32
4.1.5. Hava sistemleri	34
4.2. Güneş Enerjisinden Yararlanma Alanları	35
4.3. Isı Enerjisi Formunda Kullanılan Sistemlerin Ortak Elemanları.....	36
4.4. Güneş Enerjisiyle Konut Isıtılması	38
4.4.1. Pasif sistemle ısıtma.....	38
4.4.2. Aktif sistemle ısıtma.....	39
4.5. Güneş Enerjisi İlk Uygulamaları.....	39
4.6. Aktif Güneş Enerjisi Sistemi ile Konut Isıtmasının Tarihsel Gelişimi	40
4.7. Türkiye’ de Güneş Enerjisi ile Konut Isıtması	41
5. ISITMA YÜKÜ	43
5.1. Özgül Isı Kaybı Hesabı.....	43
6. KOLEKTÖR PERFORMANSI	50
6.1. Güneş Kolektörlerinin Isıl Analizi	50
6.2. Kolektör Performans Testi	52
7. GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİNİN MATEMATİKSEL OLARAK MODELLENMESİ	55
8. DENEY DÜZENİĞİ	58
8.1. Kapalı Ortamın Fiziksel Yapısı	58
8.2. Güneş Enerjisi Destekli Isıtma Sistemi	59
8.2.1. Vakum borulu kolektör sistemi	59
8.2.2. Isı depolama sistemi	61
8.2.3. Motorlu kontrol vanası sistemi	62

Sayfa

8.3. Ölçüm Cihazları	63
8.3.1. Piranometre	63
8.3.2. Termometre ve higrometre	64
8.3.3. Güneş enerjisi sisteminin kontrol birimi ve veri toplama cihazı.....	65
8.3.4. Güneş enerjisi sistemindeki iş akışkanının akış ölçer cihazı	65
9. DENEYLER	67
9.1. Vakum Borulu Kolektörlerin Verim Tespiti Deneyleri	67
9.2. Ek Isıtıcı İhtiyacının Belirlenmesi Deneyleri	70
10. DENEYSEL SONUÇLAR	71
10.1. Vakum Borulu Kolektörlerin Verim Tespiti Deneyleri	71
10.2. Ek Isıtıcı İhtiyacının Belirlenmesi Deneyleri	88
11. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	98
KAYNAKLAR	101
EKLER	104
EK-1 24/10/2008 tarihindeki ölçüm değerleri	105
EK-2 25/10/2008 tarihindeki ölçüm değerleri	106
EK-3 26/10/2008 tarihindeki ölçüm değerleri	107
EK-4 27/10/2008 tarihindeki ölçüm değerleri	108
EK-5 29/10/2008 tarihindeki ölçüm değerleri	109
EK-6 30/10/2008 tarihindeki ölçüm değerleri	110
EK-7 31/10/2008 tarihindeki ölçüm değerleri	111
EK-8 01/11/2008 tarihindeki ölçüm değerleri	112
EK-9 02/11/2008 tarihindeki ölçüm değerleri	113
EK-10 03/11/2008 tarihindeki ölçüm değerleri	114
EK-11 04/11/2008 tarihindeki ölçüm değerleri	115
EK-12 05/11/2008 tarihindeki ölçüm değerleri	116
EK-13 15/11/2008 tarihindeki ölçüm değerleri	117
EK-14 22/01/2009 tarihindeki ölçüm değerleri	118
EK-15 23/01/2009 tarihindeki ölçüm değerleri	119
EK-16 15/05/2009 tarihindeki ölçüm değerleri	120

Sayfa

EK-17 16/05/2009 tarihindeki ölçüm değerleri	121
EK-18 17/05/2009 tarihindeki ölçüm değerleri	122
ÖZGEÇMİŞ	123

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.1. Kapalı hacmin iletimle ısı kaybı çizelgesi	48
Çizelge 10.1. 26/10/2008 günü dış ortam sıcaklığı, dış ortam nemi ve iş akışkanının kolektöre giriş sıcaklığı ile dış ortamın ölçülen sıcaklığı arasındaki fark.....	74
Çizelge 10.2. Ekim ayında eğimli kolektör deney verileri	75
Çizelge 10.3. Ekim ayında dikey kolektör deney verileri	76
Çizelge 10.4. 01/11/2008 - 02/11/2008 tarihlerinde ısıma akısı ve dış ortam sıcaklık değerleri	81

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Güneşten gelen ışıının dağılımı	19
Şekil 3.2. Güneş ışıının ve bileşenlerinin bir kolektör üzerindeki dağılımı.....	23
Şekil 3.3. Eğim açısı	24
Şekil 3.4. Azimut açısı	25
Şekil 3.5. Solar karşılama oranı	25
Şekil 3.6. Vakum borulu kolektör kesiti	27
Şekil 3.7. Eberlein tarafından yapılmış çalışmanın sonucu	28
Şekil 4.1. Termosifon tipi güneş enerjisi sistemlerinin şematiği	30
Şekil 4.2. Doğrudan dolaşımli güneş enerjisi sistemlerinin şematiği	32
Şekil 4.3. Dolaylı su ısıtmalı güneş enerjisi sistemlerinin şematiği	33
Şekil 4.4. Havalı güneş enerjisi sistemlerinin şematiği	34
Şekil 8.1. Kapalı hacmin üstten görünüm şematiği	58
Şekil 8.2. Üç yollu vana kesit	63
Şekil 9.1. Eğimli kolektör sisteminin şematiği	68
Şekil 9.2. Dikey kolektör sisteminin şematiği	69
Şekil 10.1. 26/10/2008 tarihindeki anlık ışıma akısı (W / m^2) değışimi	71
Şekil 10.2. 26/10/2008 tarihinde iş akışkanının kolektörlere giriş sıcaklığı ve çıkış sıcaklıkları.....	72
Şekil 10.3. 26/10/2008 tarihinde kolektörlerin verimleri	74
Şekil 10.4. Ekim ayında anlık ışıma akısı (W / m^2) değışimi	78
Şekil 10.5. Ekim ayında iş akışkanının kolektörlere giriş ve çıkış sıcaklıkları	79
Şekil 10.6. Ekim ayında kolektörlerin ortalama verimleri	80

Şekil	Sayfa
Şekil 10.7. 01-02/11/2008 tarihlerinde iş akışkanının kolektörlere giriş ve çıkış sıcaklıkları.....	82
Şekil 10.8. 01-02/11/2008 tarihlerinde kolektörlerin ortalama verimleri	83
Şekil 10.9. 04/11/2008 tarihinde kolektörlerin verimleri	84
Şekil 10.10. 05/11/2008 tarihinde kolektörlerin verimleri	84
Şekil 10.11. 22/01 - 23/01/2009 tarihlerinde iş akışkanının kolektörlere giriş çıkış sıcaklıkları	85
Şekil 10.12. 22-23/01/2009 tarihlerinde kolektörlerin ortalama verimleri	86
Şekil 10.13. Mayıs ayında iş akışkanının kolektörlere giriş ve çıkış sıcaklıkları	87
Şekil 10.14. Mayıs ayında kolektörlerin ortalama verimleri	88
Şekil 10.15. Ekim ayında kolektörlerden ortalama yararlı enerji kazanımı	89
Şekil 10.16. Ekim ayında kolektörlerden ortalama sağlanılan enerjinin ısıtma yüküne oranı.....	90
Şekil 10.17. 01-02/11/2008 tarihlerinde kolektörlerden ortalama yararlı enerji kazanımı	91
Şekil 10.18. 01-02/11/2008 tarihlerinde kolektörlerden ortalama sağlanılan enerjinin ısıtma yüküne oranı	92
Şekil 10.19. 04/11/2008 tarihinde kolektörlerden yararlı enerji kazanımı	93
Şekil 10.20. 05/11/2008 tarihinde kolektörlerden yararlı enerji kazanımı	93
Şekil 10.21. 04/11/2008 tarihinde kolektörlerden sağlanılan enerjinin ısıtma yüküne oranı.....	94
Şekil 10.22. 05/11/2008 tarihinde kolektörlerden sağlanılan enerjinin ısıtma yüküne oranı	94
Şekil 10.23. 22-23/01/2009 tarihlerinde kolektörlerden ortalamayararlı enerji kazanımı	95
Şekil 10.24. Mayıs ayında kolektörlerden ortalama yararlı enerji kazanımı	96

Şekil**Sayfa**

Şekil 10.25. Mayıs ayında kolektörlerden ortalama sağlanan enerjinin ısıtma yüküne oranı	97
--	----

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 8.1. Eğimli ve dik olarak yerleştirilmiş vakum borulu kolektörler	61
Resim 8.2. Sistemdeki mevcut iki adet boyler kazanı	62
Resim 8.3. Piranometre	64
Resim 8.4. Termometre ve higrometre	65
Resim 8.5. Veri toplama cihazı	66
Resim 8.6. Akış ölçer	66

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
A	Alan, m^2
A_c	Kolektör alanı, m^2
α	Sızdırganlık katsayısı, m^3 / mh
c_p	Özgül ısı, kJ / kgK
F_R	Kolektör ısı taşıma faktörü
F'	Kolektör verim faktörü
G_D	Direkt güneş ışıınımı
G_d	Difüz güneş ışıınımı
H	Rüzgar etkinlik katsayısı, $kJ / m^3 K$
H_a	Kolektör tarafından soğrulan ışıınım, W / m^2
H_t	Toplam (direkt ve difüz) ışıınım, W / m^2
k_1	Kolektörün 1 numaralı ısı kayıp katsayısı
k_2	Kolektörün 2 numaralı ısı kayıp katsayısı
$\dot{m}$	Debi, kg / s
U	Yapı bileşeni toplam ısı geçirgenlik katsayısı, $W / m^2 K$
U_c	Kolektör enerji kayıp katsayısı
T_a	Ortam sıcaklığı, K , $^{\circ}C$
$T_{f,in}$	İş akışkanının kolektöre giriş sıcaklığı, K , $^{\circ}C$
$T_{f,out}$	İş akışkanının kolektörden çıkış sıcaklığı, K , $^{\circ}C$
Z_e	Köşe açıklıkları etki katsayısı
Q_L	Konut ısıtma yükü

Simgeler**Açıklama**

Q_{σ}	Bir ortamdan diğer ortama geçen ısı miktarı, W
Q_s	Sızıntı yoluyla ısı kaybı, W
ΔT	Sıcaklık farkı, K , $^{\circ}C$
Λ	Isı geçirgenlik katsayısı, $W / m^2 K$
$\frac{1}{\Lambda}$	Isı geçirgenlik direnci, $m^2 K / W$
ε_c	Kolektör ısı değiştirici katsayısı
λ	Yapı bileşeni ısı iletkenlik değeri, W / mK
$\alpha_{i\varphi}$	İç yüzeyin yüzeysel ısı iletim katsayısı, $W / m^2 K$
$\frac{1}{\alpha_{i\varphi}}$	İç yüzeyin yüzeysel ısı iletim direnci, $m^2 K / W$
η_c	Kolektör verimi
η_{σ}	Optik verim

Kısaltmalar**Açıklama**

DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
TEP	Ton eş değer petrol

1. GİRİŞ

1970’li yıllarda meydana gelen Petrol Krizi, bize fosil yakıtların sınırlı kullanılabilirliğini hatırlatmıştır. Bu tarihten itibaren değişik alternatif teknolojiler araştırılmakta ve geliştirilmektedir. Eğer alternatif teknolojiler tamamen geliştirilebilirse; insanoğlu tamamen fosil yakıtlara bağımlı olmaktan kurtulabilecek ve son otuz kırk yıldır alıştığı modern yaşam tarzını devam ettirebilecektir. Bu hususta öncelikle kesinlikle yaşam tarzına bağlı olan enerji talebinin düşürülmesi ve daha sonra da enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi konusunda araştırmaların arttırılarak alternatif enerji kaynakları olarak adlandırılan tükenmez enerji kaynaklarının enerji problemini aşmak için bir çözüm yolu olarak belirlenmesi gerekmektedir [1,2].

Enerji krizinin ardından enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi konusunda yürütülen çalışmalar çerçevesinde dünyada güneş enerjisinin dolaylı veya direkt olarak kullanılması daha yaygın bir hale gelmiştir. Güneş enerjisi hali hazırda dünyanın enerji ihtiyacının birkaç katını karşılayabilecek potansiyele sahiptir ve çevre dostu olması sebebiyle alternatif enerji kaynakları arasında önemli bir yeri bulunmaktadır [3].

Sınırlı enerji kaynakları nedeniyle Türkiye’de enerji ağırlıklı olarak ithal edilen petrol ve doğal gaz ile karşılanmaktadır. Ülkede çıkarılan linyit özellikle termik santraller ve endüstride kullanılmaktadır. Ülkede 246 milyon kilovat-saat/yıl (kWh/yıl) elektrik üretiminin 105 milyon kWh’i linyitten, 16 milyon kWh’i kömürden ve 125 milyon kWh’i hidroelektrik kaynaklarından sağlanmaktadır [3]. Türkiye, potansiyeli incelendiğinde temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak bilinen hidrolik, rüzgar, jeotermal, güneş gibi enerji kaynakları açısından çok zengin bir kuşakta yer almasına ve bahse konu yenilenebilir enerji kaynakları ülkede uzun yıllardır kullanılıyor olmasına rağmen Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın 2006 yılı birincil enerji kaynakları tüketiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının oranının

toplam 99 825 Bin TEP olan birincil enerji kaynakları tüketiminin yalnızca %10,57'si seviyelerinde kalmakta olduğu; dalga ve deniz akıntılarının potansiyeli olduğu tespit edilmiş olmasına rağmen bu konuda ciddi bir çalışma yapılmadığı görülmektedir [2-4].

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı konumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışıyım şiddeti verilerinden yararlanarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2 640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışıyım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olarak tespit edilmiştir [5]. Ancak, DMİ'nin güneş enerjisi ölçümlerini enerji amaçlı değil klimatolojik amaçlı yapmış olması, kullanılan cihazların hassasiyetlerinin düşük olması, zamanla istasyonların şehir içinde kalması göz önünde bulundurulduğunda ve elde edilen değerlerin 1992 yılından bu yana EİE ve DMİ tarafından güneş enerjisi değerlerinin daha sağlıklı olarak ölçülmesi için enerji amaçlı güneş enerjisi ölçümleri ile karşılaştırılması neticesinde Türkiye'nin gerçek güneş enerjisi potansiyelinin eski değerden %20-25 daha fazla çıkması beklenmektedir [5,6].

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın (ETKB) 2006 verilerine göre Türkiye'de toplam birincil enerji kaynakları tüketimi 99 825 000 TEP olurken, aynı yıl ülkemizde güneş enerjisinden faydalanılan güç 403 000 TEP olmuştur. Bu verilere göre faydalandığımız güneş enerjisi miktarı, toplam enerji tüketimimizin %0,4 mertebesinde gerçekleşmiştir. Veriler incelendiğinde Türkiye'de güneş enerjisinden ilk defa 1986 yılında yararlanılmaya başlanılmış olup faydalanılan güneş enerjisi miktarının 5 000 TEP ile toplam enerji tüketimimizin %0,012 mertebesinde gerçekleştiği; bu oranın 1995 yılında %0,22 mertebesinde, 2000 yılında %0,325 mertebesinde gerçekleştiği görülmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın üretim hedefleri incelendiğinde 2010 yılında 37 516 000 TEP olarak hedeflenen birincil enerji kaynakları üretiminin 495 000 TEP ile %1,32'sinin, 2015 yılında 54 514 000 TEP olarak hedeflenen birincil enerji kaynakları üretiminin 605 000 TEP ile

%1,11'inin, 2020 yılında ise 66 094 000 TEP olarak hedeflenen birincil enerji kaynakları üretiminin 862 000 TEP ile %1,3'ünün güneş enerjisi ile karşılanması hedeflenmektedir [4].

Türkiye'nin her bölgesinde güneş enerjisini verimli olarak kullanmak mümkündür. Orta Avrupa' da yılda yaklaşık 2 000 saat, Afrika' da Sahra Çölü' nde yılda yaklaşık 4 000 saat güneş ışınlarından yararlanma olanağı bulunurken, ülkemizde ise yılda ortalama 2 600 saat bu enerjinin kullanımından söz edebiliriz. Türkiye'de bölgelere göre yıllık güneş ışınlamı 1120 kWh/m^2 ile 1460 kWh/m^2 arasında, yıllık güneşlenme süresi ise 1971 saat ile 2993 saat arasında değişmektedir [5,7, 8].

Bina tesisatında güneş enerjisi sistemleri, güneş enerjisiyle kullanma suyu ısıtması ve istenirse ısıtmaya destek için kullanılmaktadır. Kullanma suyu ısıtmasında kullanılan güneş enerjisi sistemleri günümüz koşullarında ekonomiktir, enerji tasarrufu sağlar ve çevreyi kirletmez. Bu nedenle kullanımları yaygındır. Kullanma suyu ısıtmasıyla beraber ısıtma desteği sağlayan güneş enerjisi sistemleri ise giderek yaygınlaşmaktadır [7].

Çevre bilinci ile hareket ederek, güneş kolektörü sistemlerinin sadece kullanım suyu ısıtmasında değil, aynı zamanda ısıtmaya destek olarak da düşünülmesi gereklidir. Isıtma; sadece ısıtma sistemi dönüş suyu sıcaklığı, güneş kolektörü sıcaklığından daha düşük olduğu zaman yapılabilir. Bu nedenle ısıtma sistemi olarak, düşük sistem sıcaklığında çalışan geniş yüzeyli ısıtıcılar kullanan sistemler veya yerden ısıtma sistemleri güneş enerjisinden yararlanmada idealdir. Kullanma suyu ısıtmasıyla beraber ısıtma desteği de sağlayan özel kombi veya termosifon tip-kombi boylerlerle komple paket güneş enerjisi sistemleri mevcuttur [7].

Kapalı bir alanın güneş enerjisi desteği ile ısıtılması üzerine çalışmalar yapılabilmesi amacıyla Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi'nde bulunan laboratuarda iki farklı kapalı sistem kurulmuştur. Birisi dikey konumda, diğeri Ankara şartlarında eğim açılı olarak duran iki vakum borulu kolektör ve ek ısıtıcılar kullanılarak oluşturulan iki farklı kapalı sistem ile kapalı bir alanın ısıtılmasının

performans analizi incelenilmiş ve iki sistemin performansları birbirleriyle kıyaslanmıştır. Birinci sistemde ek ısıtıcı olarak boyler kazanındaki elektriksel direnç, ikinci sistemde ise kombi kullanılmaktadır.

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Güneş enerjisinin konutlarda sadece kullanım suyu ısıtmasında değil, aynı zamanda konut ısıtılmasına da destek olarak kullanılması hususunda deneysel ve sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Bağdat'ta bulunan Jahriyad bölgesinde konumlanmış ($33^{\circ}32'N$ enleminde $44^{\circ}4'$ boylamında), 3300 m^2 arsa üzerine inşa edilmiş, toplam kat alanı 6361 m^2 ve havalandırma alanı 3351 m^2 olan binanın ısı performans analizi Al-Karaghoulı ve Abood [9] tarafından gerçekleştirilmiştir. Isıtma sistemi 1577 vakum borulu kolektörü, her biri 15 m^3 lük iki toplama tankını, her biri 150 m^3 lük ısı depolama tankını, her biri $443,000 \text{ kcal/h}$ olan iki yardımcı kazanı, pompaları, ısı değiştiricileri ve kontrol ekipmanlarını ihtiva etmektedir.

Binanın ön cephesi 45° eğimlidir ve 22° güney doğuya yönelmiştir. Bu cepheye 1017 vakum borulu kolektör monte edilmiştir. Aynı tip 560 kolektör de binanın önüne yatay konumla 17° açı yapacak şekilde yerleştirilmiştir.

Binanın dış duvarı alçı panel, hava boşluğu (air space), cam elyafı (fiberglass) ve beton kullanılarak inşa edilmiştir. Dış duvarın ısı kayıp katsayısı $0,811 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'dir. Çatı bölümü polistiren, beton, hava boşluğu (air space) ve alçı panelden oluşmaktadır. Bu bölümün ısı kayıp katsayısı $1,57 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'dir.

Binadan iki tip ısı kaybı vardır; (1) duvarlardan, tavandan, zeminden, camdan ve diğer yüzeylerden iletilen ısı; (2) yapı dışından boşluğa giren havanın ısıtılması için gerekli ısı.

Isıl performans hesaplamalarına göre, iç ortam sıcaklığının arzulanılan değerde (22°C) tutulmuş olması sistemin bina yükünü karşılayabilecek gücünün olduğunu açıklamaktadır. Performans hesabı ayrıca tüm deney süresi için toplama veriminin %50 olduğunu; toplanan ve depolanan enerjinin ihtiyaç duyulan enerji yükünden

daha fazla olduğunu ve bunun da güneş enerjisi karşılama oranının (solar fraction) %100 olduğunu işaret ettiğini göstermektedir.

Tipik bir kış günü için iki eğim açısında (45° ve 17°) kolektör sıcaklık farkları gösterilmiştir. 45° eğimli kolektörde 17° eğimli kolektöre göre daha fazla ısı toplanmıştır. Bu sonuç kış mevsimi için 45° nin optimum eğim açısına daha yakın olduğuna yorumlanmıştır. (Bağdat $33^\circ 32'N$ enleminde yer almaktadır.)

Kolektör performansını analiz etmek amacıyla 45° ve 17° eğimler için global radyasyon, giriş ve çıkış sıcaklıkları, akışkanın debisi ve pompa işletme zamanları saatlik olarak ölçülmüştür. Ocak ayı boyunca günlük ortalama kolektör verimi 45° ve 17° için sırasıyla %56 ve %47 olmuştur.

Gunerhan ve Hepbasli [10] tarafından, denenmiş yenilenebilir bir teknoloji olan, bina uygulamalarında güneş enerjisi ile su ısıtmanın (SWH) exergetic modellenmesi ve performans analizi yapılmıştır.

SWH sistemlerinin performans değerlendirmesinde, enerji analizi (birinci yasa) metodu yaygın olarak kullanılırken exergetic değerlendirme üzerine yapılmış olan çalışma sayısı göreceli olarak daha azdır. İncelenmiş olan SWH sistemi esas olarak üç bölümden oluşmaktadır; düz plakalı güneş kolektörü, ısı değiştirici (depolama tankı) ve sirkülasyon pompası. Yapılmış olan çalışmanın temel amacı daha önceden yürütülmüş çalışmalardan farklı olarak: (i) exergy analiz (ikinci yasa) metodunu kullanarak SWH sisteminin modellenmesi ve değerlendirilmesi, (ii) kolektöre giren değişken su giriş sıcaklıklarının etkisini SWH sistem bileşenlerinin exergy verimleri üzerinden araştırmak, (iii) bazı termodinamik parametreleri (yakıt tüketim oranı, relative irreversibility-bağıl tersinmezlik, verimlilik eksikliği ve exergetic faktör) ve exergetic gelişme potansiyelini incelemek, ve (iv) güneş enerjisi kolektörleri için ısı verimlilik eğrisine benzer exergy verim eğrisi sunmak ve önermektir.

İzmir, Türkiye’de yapılmış olan ve resimli örneklerle verilen deneysel veriler temel alınarak sistem performansı hesaplanmıştır. SWH sisteminin her bir elemanı ve tüm

sistem için exergy bozulması (veya tersinmezlikler) ve exergy verim ilişkileri belirlenmiştir. Ürün/yakıt kaynaklı exergy verim değerleri ortam sıcaklıklarının 13:10 ile 15:35 arasında sırasıyla güneş kolektörleri ve tüm SWH sistemi için gerçekleştirilmiş sekiz testin ortalama sıcaklığı olan 32,77°C referans durum sıcaklığında 2,02%'den 3,37%'ye ve 3,27%'den 4,39%'ye değişiklik göstermektedir. Çalışmada ayrıca kullanılmış olan güneş kolektörünün ekzerjatik performansının belirlenmesi için ekzerji verim korelasyonu sunulmuştur.

Paralel bağlanmış vakumlu çift camlı prototip kolektör Shah ve Furbo [11] tarafından teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Kolektör boru şeklinde bir soğurucuya sahiptir ve bütün yönlerden gelen güneş radyasyonundan yararlanabilir. Kolektör performansı dış ortamdaki test düzeneğinde ölçülmüştür. Ayrıca, ısı performansın hesaplanması için teorik bir model geliştirilmiştir. Bu modelde, düz plaka soğurucusunun performans denklemleri soğurucunun tüm dairesel çevresine entegre edilmiştir ve model tüp üzerindeki gölgeyi solar azimuth açısının fonksiyonu olarak tanımlar. Difüz ve yansiyarak gelen radyasyonun enerjisinin hesaplanması isotropik difüz sky modeline dayanır.

Model üzerinde yapılmış olan hesaplamaların sonuçları ile ölçüm sonuçları karşılaştırıldığı zaman deney sonuçları ile hesaplanan sonuçlar arasında büyük bir benzerlik olduğu görülür. Model Danimarka (Kopenhag, 56°N enlemi) ve Grönland (Uummannaq, 71°N enlemi)'da dikey olarak yerleştirilmiş tüplerin üzerindeki teorik incelemeler için kullanılmıştır. Sonuçlar her iki mevkide de, en yüksek ısı performansları elde etmek için, tüp merkez uzaklıklarının 0,2 m ve kolektörün azimuth açısının da 45-60° batı yönüne doğru olması gerektiğini göstermektedir.

Bununla birlikte optimum eğim açısı ve yönelmeyle vakumlu güneş kolektörünün ısı performansı Arcon HT düz plakalı güneş kolektörünün ısı performansı ile karşılaştırılmıştır. Kopenhag koşullarında Arcon kolektörü en iyi performansı gösterirken, vakum borulu kolektör Uummannaq koşullarında en iyi performansı göstermiştir. Bunun nedeni ise Kopenhag'da vakum borulu kolektörün eğim açısı optimum değildir ama Uummannaq'da bütün yönlerden daha fazla güneş radyasyonu

vardır ve bu radyasyondan vakum borulu kolektör ile yararlanılabilir. Yapılmış olan çalışmadan kolektör tasarımının özellikle yüksek enlemlerde çok ümit verici olduğu sonucuna varılabilir.

Bu çalışmada sunulan teorik sonuçlar daha fazla geliştirilmesi gerekli olan kolektör modeline dayanmaktadır. Öncelikle model eğim açılı boruların hesaplanmasında da kullanılabilir. Boruların arasındaki yansımanın ve anisotropic diffuse-sky modelinin etkilerinin de bu modelde yer alması gereklidir. Bu genişletilmiş modelin ölçümlerle doğrulanması gerekmektedir.

Yıl boyunca kentsel/kırsal alanlar için aktif ve pasif güneş enerjili su ısıtma sisteminin Lee ve Sharma [12] tarafından ısı performans hesaplaması yapılmıştır.

Aktif ve pasif sistemler ayrı ayrı üç düz plakalı güneş kolektöründen (6,0 m² açıklık (aperture) alanı), iki-duvarlı ısı değiştiricili su depolama tankından (305 L kapasiteli), su karışım sirkülasyon pompasından ve aktif sistem için ısı transfer sirkülasyon pompasından ibarettir. Çift-duvarlı ısı değiştiricisi konut suyunun kirlenmesini önlemektedir. Kolektörler Daejeon (yaklaşık olarak 36,18°N) enleminde yatayla 40° ye eşit açıyla güneşe doğru yönlendirilmiştir. Aktif tip güneş enerjili su ısıtma sisteminde güneş ısı enerjisini su depolama tankına iletmek için diferansiyel termostatların vasıtasıyla çalışmakta olan pompa yerleştirilmiştir. Termostat güneş kolektörünün giriş ve çıkış sıcaklıklarını karşılaştırmakta ve kolektör giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark 6°C'den fazla olduğu zaman pompa devreye girmektedir. Bu fark 2°C'den az olduğu zaman pompa devreden çıkmaktadır.

Aktif ve pasif güneş enerjisi su ısıtma sisteminin ısı performansını incelemek için Nisan 2003-Mart 2004 ayları arasında yürütülmüş olan deneyler boyunca ısı transfer akışkanı olarak kullanılan etilen glikol çözeltisinin giriş ve çıkış sıcaklıkları, su depolama tankının giriş ve çıkış sıcaklıkları, güneş radyasyonu ve ortam sıcaklıkları kaydedilmiştir. Yapılmış olan iki tip deneyde normalize edilmiş draw-off (geri çekilme) sıcaklık profili ve normalize edilmiş karışım profili elde edilmiştir. Ayrıca sabah, öğleden sonra, akşam (draw-off) geri çekilmelerinin etkisi ile sabah ve akşam

su karışımlarının etkisi üzerinde de çalışılmıştır. Yapılan deneyler esnasında sistemin ısı verimi ve kolektörlerin toplama verimi hesaplanmıştır. Aktif güneş enerjili su ısıtma sistemi için en yüksek verim Mayıs 2003'te %46,79 , en düşük verim Kasım 2003'te %40,54 olarak bulunmuştur. Pasif güneş enerjili su ısıtma sistemi için en yüksek verim Eylül 2003'te %48,44, en düşük verim ise Haziran 2003'te %38,69 olarak bulunmuştur. Aktif ve pasif su ısıtma sistemlerinde kullanılan kolektörlerin $F_R \cdot (\tau\alpha)$ değerleri sırasıyla 0,69 ve 0,61 olarak bulunmuştur.

Güney Kore'deki soğuk iklimden ötürü sistemde ısı transfer akışkanı olarak kullanılan etilen glikol 50/50 glikol-su oranına sahiptir. Deneysel sonuçlar aktif güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin ülkenin soğuk iklimden ötürü Kore' nin kırsal/kentsel bölgesinde kullanılmasının gerekliliğini ortaya koymuştur. Aktif su ısıtma sistemleri için termostat yerleştirmek sistemin ısı performansı üzerinde önemli bir rol oynadığı gösterilmiştir. Sistemden daha yüksek bir performans elde etmek için, suyun akışmaları sadece bir kere çekilmesi gerekmekteği sonucuna varılmıştır.

Öz ve arkadaşları [13] tarafından gerçekleştirilmiş olan deneysel çalışmada, vakum tüplü kolektörlü güneşli su ısıtma sistemi ile buna eş yüzey alanına sahip standart düz yüzeyli ahşap kasalı cam örtülü ve tamamen camdan oluşan kolektörlü güneşli su ısıtma sistemlerinin deneyleri yapılarak performans ve verimleri incelenmiştir.

Yapılan deneyler esnasında vakum tüplü kolektör ve cam kasalı kolektörler güneş radyasyonuna hemen cevap verirlerken, ahşap kasalı kolektörler atalet uğramış; cam kasalı kolektör ortam sıcaklığından hemen etkilenirken, ahşap kasalı kolektör gecikmeye uğramış ve dolayısıyla cam kasalı kolektör hemen ısınıp hemen soğurken, ahşap kasalı kolektör geç ısınıp geç soğumuş; vakum tüplü kolektör ise oluşturulan vakumdan dolayı ortam sıcaklığına bağlı olarak ısı kaybına uğramamıştır. Sonuç olarak alınan verilere göre, vakum tüplü güneşli su ısıtma sisteminin diğer sistemlere göre performans ve veriminin yüksek olduğu, bunu cam kasalı kolektörün takip ettiği, son olarak da ahşap kasalı kolektörün veriminin geldiği görülmüştür.

Kaşka [14] tarafından gerçekleştirilmiş olan deneysel çalışmada güneş enerjisinin Ekim, Kasım, Aralık, Mart ve Nisan aylarında silindirik bir enerji deposunda depolanması ve ısı pompası desteği ile bir mahalin ısıtılmasından oluşan ısıtma sisteminin ısı verimi incelenmiştir. İncelenen ısıtma sistemi düz plakalı güneş kolektörleri, buhar sıkıştırımlı ısı pompası, günlük silindirik enerji deposu, yer kaloriferi ile ısıtılan bir oda, yardımcı elektrik ısıtıcısı, devirdaim pompaları, kontrol ekipmanları, veri toplayıcı ve bir bilgisayardan oluşmaktadır.

Sistemin performansını elde etmek için, yatay yüzeye gelen saatlik güneş radyasyonu, ısı pompası çevriminde dolaşan akışkanın yoğunlaştırıcı ve buharlaştırıcı giriş ve çıkış sıcaklıkları, oda ve dış hava sıcaklıkları, yer kaloriferindeki suyun odaya giriş ve çıkış sıcaklıkları, güneş enerjisi kolektörlerinde dolaşan su-glikol karışımının sıcaklıkları, kompresör, devirdaim pompaları ve yardımcı ısıtıcının enerji tüketimi, su ve su-glikol karışımının debileri ölçülmüştür.

Deneysel çalışma sonunda, ısı pompası ve sistem performans katsayılarının depodaki su sıcaklığının artmasına bağlı olarak yükseldiği gözlenmiştir. Isı pompasının performans katsayısının en yüksek 3,9' a ulaştığı, aynı değerin sistem için 3,23 olduğu belirlenmiştir. Performans katsayılarının en düşük değerlerinin ise ısı pompası için 2,5, sistem için 2,0 olduğu tespit edilmiştir.

Işık [15] tarafından yapılmış olan çalışmada güneş enerjisinden faydalanma yolları incelenerek, Van ilinde 38°28' enlemde konumlanmış bir konutun kullanma sıcak su ihtiyacının karşılanması ve kış konumunda güneş enerjisinden elde edilen sıcak su ile kalorifer kazanından yıllık tabanda sağlanabilecek enerji tasarrufu araştırılmıştır. Konutun ısı ihtiyacı hesaplanarak binanın ısıtma tesisatı projelendirilmiş, daha sonra mevcut sisteme güneş enerjili sıcak su hazırlama sisteminin adaptasyonu sağlanarak geleneksel ısıtma sistemiyle ekonomik olarak karşılaştırılması yapılmıştır. Söz konusu konutta güneş enerji destekli ısıtma sisteminin kurulması ve klasik ısıtma sistemiyle sağlanan enerji tasarrufunun simülasyonunu yapmak amacıyla T*SOL Pro 4.4 programı kullanılmıştır.

Yapılan deneylerin sonucunda kullanılan programın aylık bazda toplam tüketilen enerji ile güneşten karşılanılan enerji grafiği incelendiğinde konutun yıllık olarak tükettiği toplam 3787 kWh enerjinin 2472 kWh' inin güneş enerjisinden karşılandığı; yani güneş enerjisi sisteminin toplam tüketimin %65'ine yakın bir bölümünü karşıladığı; yazın, özellikle Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında bu karşılama oranının %100'e ulaştığı görülmüştür.

Oruncak [16] tarafından yapılan uygulamalı çalışmada Afyon ilinde bulunan bodrum kat+normal kattan oluşan 268,73 m² kullanım, 130,44 m² oturma alanına sahip bir binanın sıcak su ve kış dönemi ısınma ihtiyacı için gerekli olan toplam enerjisinin %50'sini uygun dönemlerde depolayarak kullanıma verebilecek düzlemsel sıvı kolektörlü, pompalı, açık devreli, çift depolu, otomatik kontrollü ve binanın mevcut bulunan döşemeden ısıtma tesisatına adapteli olarak tasarlanılan sistem 1,71 m² lik ısıtım alan yüzeye sahip 48 adet düzlemsel kolektör ve toplam 10,8 m³ lük iki ısı tankını da içermektedir.

Sistem hacimlerinin aşırı büyütülmemesi ve binanın tavan alanı göz önüne alınarak, enerji gereksinimine katkısı %50 oranında tespit edilerek, sistemin yaz aylarında atıl kalma süreleri asgariye indirilip, ilk tesis masraflarının düşürülmesi amaçlanmıştır.

Deneyisel çalışma ile kolektöre başlangıç su sıcaklığı giriş değeri olarak kabul edilen 30°C'nin kolektör grubundaki seri bağlı elemanların ilkinde %55,96'lık anlık verimle 42,71°C'ye çıkartıldığı, seri gruptaki ikinci kolektörde bu değer %46,8'lik anlık verimle 53,34°C'ye ve seri gruptaki üçüncü kolektörde ise %39,14'lük anlık verimle 60°C mertebelerine çıkarılabildiği görülmüş olup, bu hesaplama göre seri kolektör grubunun ortalama anlık verimi %47,3 olarak belirlenmiştir.

Bu çerçevede yapılan çalışma neticesinde;

- Hacim içerisindeki ısıtma sisteminin klasik 90/70°C'lik radyatörlü sistem olması durumunda, kolektör grubundaki seri bağlı elemanların çoğaltılmasının

gerekmesiyle birlikte, kolektör çıkış sıcaklığının artmasına bağlı olarak anlık verimin düşmesiyle grubun ortalama anlık veriminin azalacağı;

- Kolektör grubunun ısı kaybının artmasıyla beraber, toplayacağı güneş ışıını ve bağlantılı olarak da verimi, genel anlamda ise sistem performansının düşeceği ve böylece de sistemin dizaynında ekonomiklik sınırlarının dışına taşılacağı sonuçlarına varılmıştır.

Argunhan [17] tarafından yapılan teorik çalışmada $37^{\circ}55'$ enleminde yer alan Diyarbakır'daki bir konutun kullanma sıcak suyu ve ısıtma ihtiyacının bir kısmını karşılamak üzere yörenin iklim şartlarına uygun güneş kolektörlerinin tasarımı yapılmıştır. Yatay ve eğik yüzeylere gelen güneş radyasyonu hesaplanmış, örnek bir binanın mimari projesine göre ısınma için gerekli ısı miktarı bulunmuş ve bu ısı miktarını sağlayacak kolektör alanı hesabı yapılmıştır.

Buna göre teorik hesaplardan Diyarbakır'da 300 m^2 lik bir konutun Aralık ayında ısı kaybı 604800 kJ/gün , 1 m^2 kolektörden elde edilen yararlı ısı ise $3856 \text{ kJ/m}^2\text{gün}$ olarak bulunmuştur. Konutun ısı ihtiyacının karşılanması için 225 m^2 kolektör alanının gerekli olduğu tespit edilmiştir. Diğer aylarda elde edilebilecek fazla yararlı ısı göz önüne alındığında, Aralık ayı için gerekli olan ısıнын $\%40'$ ı bir yardımcı sistemle karşılandığı düşünülerek gerekli kolektör alanı 135 m^2 olarak bulunmuştur.

Tekin [18] tarafından yapılan deneysel incelemede Erciyes Üniversitesi güneş evinin birinci katında yer alan $29,68 \text{ m}^2$ alana sahip sınıfın ısıtılması için güneş evinin balkonuna seri ve paralel olarak monte edilmiş 8 adet düzlemsel siyah boyalı $1,6 \text{ m}^2$ lik güneş kollektörü konularak kolektörlerden elde edilen ısıнын bir ısı değıştiricisi aracılığıyla döşemeden ısıtma sistemine aktarıldığı güneş enerjisi ile yerden ısıtma sistemi kurulmuştur. Böylelikle sınıfın ısı kayıplarının güneş enerjili yerden ısıtma sistemi ile karşılanması düşünülmüştür.

1999 yılı Mart ve Nisan aylarında güneş enerjisi ile döşemeden ısıtma sisteminin performansını hesaplamak için yapılan deneylerde; sistemde kullanılan güneş kolektörlerinden her birinin ortalama $\%50$ verime sahip olduğu, seri bağlı iki

kolektörün veriminin ikinci kolektöre giren suyun daha sıcak olmasından dolayı ortalama %43 olduğu, seri ve paralel bağlı 8 adet kolektörden oluşan bu sistemin ortalama veriminin %48 olduğu görülmüştür. Güneş enerjisi ile döşemeden ısıtma sisteminde kullanılan kolektörlerin birim alanından 700 W olmak üzere 8 kolektörden toplam 8960 W'a kadar ısı elde edilmiştir.

Güneş enerjili döşemeden ısıtma sistemi ile ilgili yapılan bu çalışmanın sonucunda kurulan sistemin, güneş evinde yer alan sınıfın ısı kayıplarını Mart ve Nisan aylarında 24 saat boyunca karşıladığı ve güneş enerjili döşemeden ısıtma sistemlerinin konut ısıtmada yeterli olduğu gösterilmiştir.

Cuadros ve arkadaşları [19] tarafından yapılmış olan çalışma ortam değişkenlerini hesaplamak, güneş enerjisi ısı kolektörlerinin verimini kıyaslamak ve konut sıcak suyu, radyant döşeme veya binanın ısıtmasının tesisatını boyutlandırmak için dünyanın herhangi bir yerinde uygulanabilen basit bir prosedür açıklamaktadır. Ortam değişkenlerinin (güneş radyasyonunun, maksimum ve minimum sıcaklıkların günlük değerlerinin aylık ortalaması ve gün içinde güneşin var olduğu saat) değerleri FAO's CLIMWAT veritabanında bulunan verilerden tanımlanmıştır. FAO's CLIMWAT gibi aylık ortalama günlük güneş radyasyonu, aylık ortalama günlük maksimum ve minimum sıcaklıklar ve aylık ortalama günlük gün içinde güneşin var olduğu saat gibi hesaplama programına girdi olarak girilmesi gereken verilerin elde edebileceği veritabanlarına ticari olarak veya internetten ulaşmak mümkün olduğu için bu prosedür dünyanın herhangi bir yerinde uygulanabilir.

Hesaplama yöntemi, dinamik değerlendirmeyi hesaba katmadan değişkenler için yaklaşık değerler kullanmasına karşın oldukça hassastır ve verdiği sonuçlar dünya çapında bilinen f-CHART, TRNSYS, ISOFOTON ve CENSOLAR hesaplama programları gibi diğer daha sofistike ve kullanması daha zor prosedürler ile mukayese edilebilir. Prosedürün tahmin edilebilen geçerliliği Badajoz şehrindeki binanın çatısına yerleştirilmiş güneş enerjisi ısı kolektörleri ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçların karşılaştırılmasıyla test edilmiştir.

Elde edilen sonuçların uygunluk testini gerçekleştirmek için diğer iyi bilinen hesaplama programları ile kıyaslamalar ve domestic sıcak su için binaya yerleştirilmiş güneş enerjisi ısı kolektörü ile ölçümler yapılmıştır. Bu amaç için ISOFOTON, CENSOLAR, f-CHART ve TRNSYS programları (ilk iki program hesaplama programı, geri kalanlar ise simülasyon programı olmakla birlikte sadece TRNSYS dinamik simülasyon prosedürüne dayanmaktadır) kullanılmıştır.

En son sonuçların ve girdi verilerinin çeşitliliğini sağlamak için oturan (inhabitant) sayısının artması ($401 \text{ gün}^{-1} \text{ kişi}^{-1}$) ile konut sıcak su tüketiminin artmasına bağlı olarak ısııl enerji talebi artmakta, sonuç olarak da boyutları büyümekte olan binaları karşılaştırmaya karar verilmiştir. Bütün durumlarda konut sıcak su talebinin artmasıyla birlikte daha yüksek kapasiteli su besleme tankı kullanılarak, tesisat hattı izolasyonunun aynı olduğu varsayılmıştır. Ayrıca bina boyutları büyüdükçe daha uzun tesisat gerekeceği için daha fazla kayıp katsayısı set edilmiştir.

Her bina için yukarıda bahsedilen dört hesaplama programı kullanılarak prosedür ile sağlanılmakta olan kolektör panellerinin sayısı göz önünde bulundurularak güneş enerjisi coverage çalışması yürütülmüştür.

Mevcut çalışmada anlatılmakta olan hesaplama programı ile elde edilmiş olan sonuçlar, binaya yerleştirilmiş düz plakalı kolektörlerle yapılmış gerçek ölçümler ile karşılaştırılmıştır. Yılın belli ayları için kullanılan prosedür ile deneyden doğrudan elde edilmiş sonuçların verdiği enerji karşılama yüzdelerinin sonuçları gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde prosedürün sofistike ve kompleks metotları değil sadece deneysel değerleri karşılayarak neredeyse doğru sonucu verdiği, aradki farkın çok küçük olduğu görülmektedir.

Zeminde mevsimlik depolama ile güneş enerjisi ısıtmalı düşük sıcaklıklı alan ısıtma sisteminin başlangıç niteliğindeki çalışması Nordell ve Hellström [20] tarafından gerçekleştirilmiştir. Sistemin performansı TRNSYS ve MINSUN simülasyon modelleri ile DST zemin depolama modülünün birlikte kullanılmasıyla

hesaplanmıştır. Çalışma 2500 MWh'lik toplam yıllık enerji talebi için ekonomik olarak yapılabilir bir tasarımı işaret etmektedir. Esas hedef Anneberg'de planlanan 1080 MWh'lik toplam ısı talebi olan her biri 100 m²'lik 90 konutun yer aldığı yerleşim bölgesinde çalışmayı yürütmektir. Tavsiye edilen sistem 3000 m² güneş enerjisi kolektörünü içeren %60'lık güneş enerjisi karşılama oranına sahip olan ve en yüksek ısıtma talebini karşılamak için de elektrikli ısıtıcıların bulunduğu ısıtma sistemidir. Döşmeden ısıtma sistemi 30°C sıcaklık sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Mevsimlik depolama biriminin sıcaklığı, 60 000 m³ lük kayanın içerisindeki borehole sistemiyle, tüm yıl boyunca 30 ve 45°C arasında değişmektedir. Isıtma sistemi ile birlikte bütün maliyetleri (sermaye, enerji, bakım, vb.) kapsayan yıllık toplam ısıtma maliyetleri (sermaye, enerji, bakım, vb. içeren) üç değişik sistem için incelenmiştir; güneş enerjisi ısıtma sistemi (1000 SEK MWh⁻¹), küçük oranlı bölge ısıtma sistemi (1100 SEK MWh⁻¹) ve bireysel ground-coupled ısı pompaları sistemi (920 SEK MWh⁻¹). Anneberg depolama sisteminden olan ısı kaybı toplanan güneş enerjisinin %42'sidir. Isı kaybı daha büyük depolama sistemlerinde düşürülebilirdi, bu yüzden önerilen güneş enerjisi ısıtma sistemi üç çarpanı ile genişletildiği durum da incelenmiştir. Güneş enerjisi ısıtma sisteminin yıllık toplam maliyeti yaklaşık %20 düşürülerek en iyi konvansiyonel alternatiften de düşük olarak 800 SEK MWh⁻¹ olmuştur.

Bu tip güneş enerjisi ısıtma sistemi depolama biriminden olan ısı kayıpları indirgenebilirse daha verimli olabilirdi. Borehole array' den olan ısı kayıpları boyutla birlikte düşmektedir. Sonuç olarak, tüm sistemin verimi boyutla birlikte artmaktadır, çünkü birim verilen ısı için daha az güneş enerjisi kolektör alanına ihtiyaç duyulur.

Anneber' deki sistemden üç kat büyüklükteki (270 konut, 3240 MWh' lik ısı ihtiyacı, 9000 m² güneş enerjisi kolektör alanı, 180 000 m³ lük borehole depolama sistemi) sistemin simülasyonu göstermektedir ki tüm ısıtma sisteminin özgül inşaat maliyeti 7,3' den 5,4 SEK MWh⁻¹'a düşmektedir. Bu da yıllık ısınma maliyetinin %20 azaldığı, yaklaşık 800 SEK MWh⁻¹, ve bu çalışmada hesaplanan en iyi konvansiyonel alternatif hesaplamasından daha düşük olduğu anlamına gelmektedir.

Arda [21] tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmada Erciyes Üniversitesi kampus alanı içerisinde yer alan ve $13\,500\, m^3$ 'lük bir hacme sahip olan 80. Yıl Atatürk Spor Salonu' nun ısı ihtiyacının güneş enerjisinden karşılanması amacıyla $160\, m^2$ 'lik iki yarıdan oluşan toplam $320\, m^2$ 'lik düzlemsel havalı güneş kolektörlerinin kullanıldığı aktif tip güneş enerjili hacim ısıtma sistemi kurulmuştur. Sistemde ayrıca güneş enerjisinin depolanması amacıyla 2 adet ısı deposu yer almaktadır. Her bir sistemde hava, $22500\, m^3/h$ debili bir fan yardımıyla sirküle ettirilerek kolektör yüzeyini dolaşp ısıtılmakta ve daha sonra ısı deposunu geçerek salona üflenmektedir. Böylece hem ısı depolama hem de hacim ısıtma aynı anda yapılmaktadır.

Kurulan bu sistemin spor salonunun ısı ihtiyacının termodinamiğin birinci kanununa göre Ocak ayında %86,4'ünü, Şubat ayında %92,6'sını, Mart ayında %100'ünü, Kasım ayında %100'ünü, Aralık ayında %94,2'sini karşıladığı; termodinamiğin ikinci kanununa göre yapılan ekserji analizinde ise Ocak ayında %26'sını, Şubat ayında %33,85'ini, Mart ayında %64'ünü, Kasım ayında %72'sini ve Aralık ayında %35'ini karşıladığı hesaplanmıştır.

3. GÜNEŞ IŞINIMI VE GÜNEŞ IŞINIMINDAN YARARLANMA

3.1. Güneş Enerjisi ve Güneş Işınımı

Yeni enerji kaynaklarının araştırılması, enerji verimini yükselterek daha az enerji ile daha çok iş yapılabilir hale gelmek ve bu sistemlerin mümkün olan her sektörde uygulanması gündeme gelmiştir. Bu nedenledir ki günümüzde özellikle doğayla uyumlu, hiçbir ülkenin tekelinde bulunmayan, ekonomik ve yenilenebilir alternatif enerji kaynakları üzerinde araştırmalar ve örnek çalışmalar yapılmaktadır. Araştırılan alternatif enerji kaynakları arasında güneş enerjisi diğer kaynaklara göre daha öncelikli bir konu olarak araştırılmaktadır. Bunun nedenleri ise;

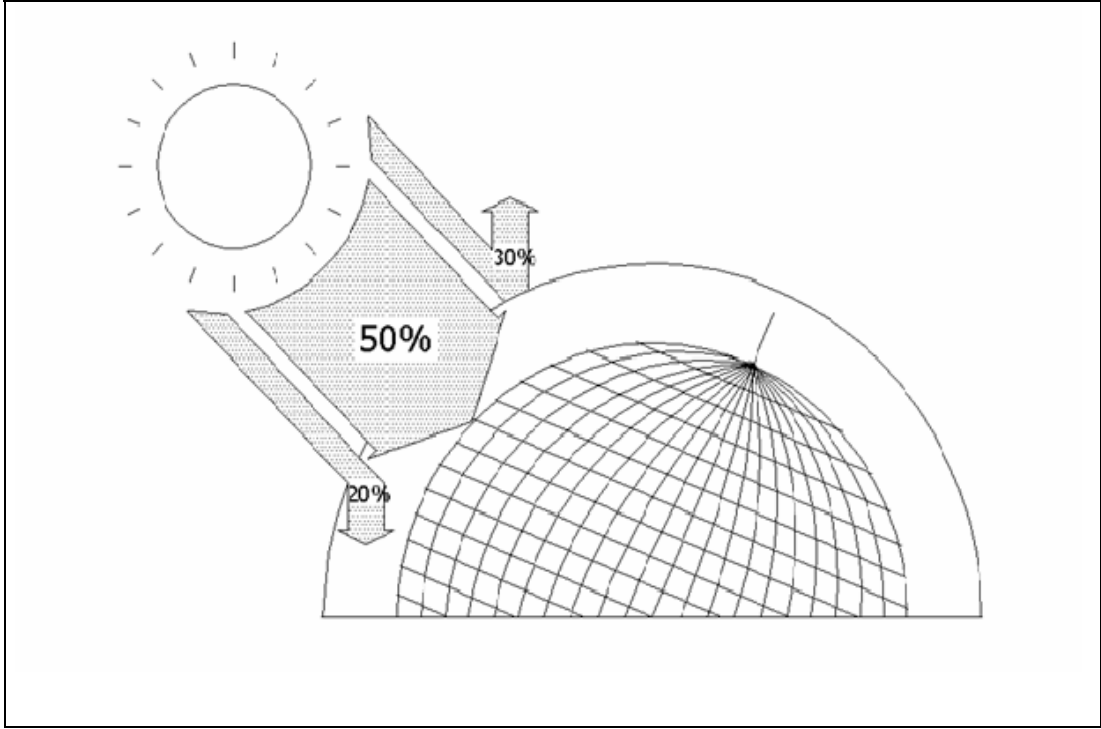
- Güneş enerjisinin zengin, temiz ve çevreyi kirletmeyen bir enerji türü olması; gaz, duman, toz, karbon veya kükürt gibi zararlı maddelerinin olmaması,
- Güneşin güçlü bir enerji kaynağı olarak dünyanın dışında yer almasından dolayı dünya ülkelerinin büyük çoğunluğunun az ya da çok bu enerjiden faydalanabilme olanağının bulunması ve buna bağlı olarak ülkelerin enerji açısından birbirine bağımlılığını ortadan kaldırması,
- Güneşi az ya da çok gören yerlerde biraz verim farkı olmakla birlikte, dağların tepelerinde vadilerde ya da ovalarda da bu enerjiden yararlanmanın mümkün olması,
- Güneş enerjisinin, ulaşım ağlarında meydana gelecek bir arıza veya ülkelerin savunma stratejilerinde yapabilecekleri bir değişiklik gibi çeşitli nedenlerle doğabilecek sorunların etkisinin dışında olması,
- Yapım, bakım ve onarım harcamaları dışında kaynağa herhangi bir ücret ödemeyi gerektirmeyen, işletme giderleri düşük bir enerji türü olmaması,

- Güneş enerjisinin bir yerden bir yere iletilmesi söz konusu olmadığı için güneş enerjisi kullanımında artı bir iletim harcaması gerektirmemesi,
- Bu enerjiden faydalanma sistemlerinin karmaşık ve pahalı teknolojiler gerektirmemesi; hemen hemen bütün ülkelerin yerel sanayi kuruluşları sayesinde bu enerjiden kolaylıkla yararlanabilmeleri [22].

Güneş enerjisi uygulamaları yukarıda bahsedilen avantajlarına rağmen bazı sorunlarla da karşılaşmaktadır;

- Güneş enerjisi yoğunluğu azdır ve sürekli değildir. İstenilen anda istenilen yoğunlukta bulunamayabilir,
- Güneş enerjisinden yararlanmak için yapılması gereken düzeneklerin yatırım giderleri bugünkü teknolojik aşamada yüksektir,
- Güneşten gelen enerji miktarı bizim isteğimize bağlı değildir ve kontrol edilemez,
- Birçok kullanım alanının, enerjinin arzı ile enerjinin talebi arasında zaman farkı ile karşılaşmaktadır. Güneş enerjisinden elde edilen ışıının talebinin yoğun olduğu zamanlarda kullanılmak üzere depolanması gerekir. Enerji depolaması ise birçok sorun yaratmaktadır.

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışıma enerjisidir ve güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden kaynaklanır. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, güneş enerjisi çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir [5].



Şekil 3.1. Güneşten gelen ışıının dağılımı

Güneşten gelen ışıının tamamı yer yüzüne ulaşmaz; %30 kadarı dünya atmosferi tarafından geriye yansıtılır, %50'si atmosferi geçip dünya yüzeyine ulaşarak dünyanın sıcaklığını yükseltir, %20'si ise atmosfer ve bulutlar tarafından soğurulur [5].

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

3.2. Atmosferik Işınım ve Güneş Işınımı

Güneş, başlıca enerji kaynağımızdır. Güneşten gelen ve güneş enerjisi olarak adlandırılan enerji, atmosferle büyük bir etkileşime girdikten sonra bize elektromanyetik dalgalar formunda ulaşır. Atmosferi oluşturan katmanlar tarafından yayılan veya yansıtılan ışıınım enerjisi, atmosferik ışıınımı meydana getirir.

Güneş; $1,39 \cdot 10^9 m$ çapında, $2 \cdot 10^{30} kg$ kütleinde ve dünyadan uzaklığı ortalama $1,5 \cdot 10^{11} m$ olan bir küredir. Güneş sürekli olarak $E_{sun} \approx 3,8 \cdot 10^{26} W$ oranında radyasyon enerjisi yaymaktadır. Bu enerjinin belli bir kısmı ($\approx 1,7 \cdot 10^{17} W$) dünyaya gelmekte olup; gelen enerji yer küreyi sıcak tutmak ve fotosentez işlemiyle yaşamın devamını sağlamak için yeterlidir. Güneşin enerjisi, iki hidrojen atomunun bir helyum atomunu oluşturmak için birleşmesi sürecindeki sürekli fusion reaksiyonlarından kaynaklanmaktadır. Bundan ötürü güneş esas olarak, çekirdek bölgesindeki sıcaklığı 40 000 000 K kadar olan bir nükleer reaktördür. Bu sıcaklık konveksiyon bölgesi denilen güneşin dış bölgesinde enerjinin radyasyon yoluyla harcanmasıyla 5 800 K'e kadar düşer.

Dünyanın atmosferine ulaşan toplam güneş enerjisi toplam güneş ışıınım, G_s , olarak adlandırılır ve değeri $G_s = 1373 W / m^2$ 'dir.

Toplam güneş ışıınımı (ayrıca güneş sabiti olarak da adlandırılır), dünya güneşten ortalama uzaklık mesafesindeyken atmosferin dış tabakasındaki güneş ışıınlarının geldiği dik yüzeye bağlı güneş enerjisinin miktarını ifade eder.

Toplam güneş ışıınımının değeri, güneşin efektif yüzey sıcaklığını tahmin etmek için kullanılabilir;

$$(4 \cdot \pi \cdot L^2) \cdot G_s = (4 \cdot \pi \cdot r^2) \cdot \sigma \cdot T_{sun}^4 \quad (3.1)$$

Burada L güneşin merkezi ile dünya arasındaki ortalama mesafe, r ise güneşin yarıçapıdır. Denklemin sol kısmı yarıçapı dünya ile güneş arasındaki ortalama mesafe olan küresel yüzeyden geçen toplam güneş enerjisini ifade ederken, sağ kısmı ise güneşin dış yüzeyinden ayrılan toplam enerjiyi ifade eder. Enerjinin korunumu prensibi, güneş enerjisi uzay boşluğundan (vakum) geçerken artıp azalmayacağından ötürü, denklemdaki iki miktarın birbirine eşit olmasını gerektirir. Güneşin efektif yüzey sıcaklığı Eş. 3.1'den hesaplanarak $T_{sun} = 5780K$ olarak bulunur. Bu nedenle güneş 5 780 K sıcaklığındaki siyah cisim olarak kabul edilebilir. Güneşin ideal siyah cisim davranışından küçük sapmalar göstermesi, atmosferin hemen dışındaki güneş ışınımının spektral dağılımının ölçümleri ile de doğrulanabilir.

Yeryüzüne düşen güneş ışınımının spektral dağılımı göstermektedir ki; atmosferi geçtiğinde soğurma ve saçılmalardan ötürü güneş ışınımı önemli ölçüde azalmaya başlar. Atmosferin yaklaşık %99'u dünya yüzeyinden 30 km uzaklıkta bulunmaktadır. Dünya yüzeyindeki spektral ışınım dağılımının düşüşüne O_2 , O_3 (ozon), H_2O ve CO_2 gazlarının soğuruculuğu neden olmaktadır. Oksijenin soğuruculuğu dar bantta, yaklaşık olarak $\lambda = 0,76\mu m$, meydana gelir. Ozon, $0,3\mu m$ dalga boyunun altındaki ultraviyole ışınımın neredeyse tamamını ve $0,3 - 0,4\mu m$ aralığındaki ışınımı soğurur. Bu nedenle atmosferin üst katmanındaki ozon tabakası, dünyadaki biyolojik sistemi zararlı ultraviyole radyasyondan korur. Kızıl ötesi bölgedeki soğuruculuk ise su buharı ve karbondioksit tarafından sağlanır. Ayrıca atmosferdeki toz parçacıkları ve diğer moleküller de değişik dalga boylarını soğurur.

Sonuç olarak; dünya yüzeyine ulaşan güneş enerjisi soğuruculuk sebebiyle havanın açık olduğu günlerde $950W/m^2$ seviyesine, bulutlu ve sisli günlerde ise bu seviyenin de altına düşmektedir. Ayrıca pratik olarak, dünya yüzeyine ulaşan güneş ışınımının tümü $0,3 - 2,5\mu m$ dalga boyu aralığında düşmektedir.

Atmosferi geçerken güneş ışınımının düşmesine neden olan diğer bir mekanizma da hava molekülleri ve atmosferde askıda kalan toz, sis ve su damlaları gibi birçok diğer

partiküllerin saçıcılığı veya yansıtıcılığıdır. Saçıcılık esas olarak partiküllerin boyutlarıyla ilgilidir. Oksijen ve nitrojen molekülleri, moleküllerinin boyutlarıyla kıyaslandığında çok kısa dalga boylarında ışınım saçarlar.

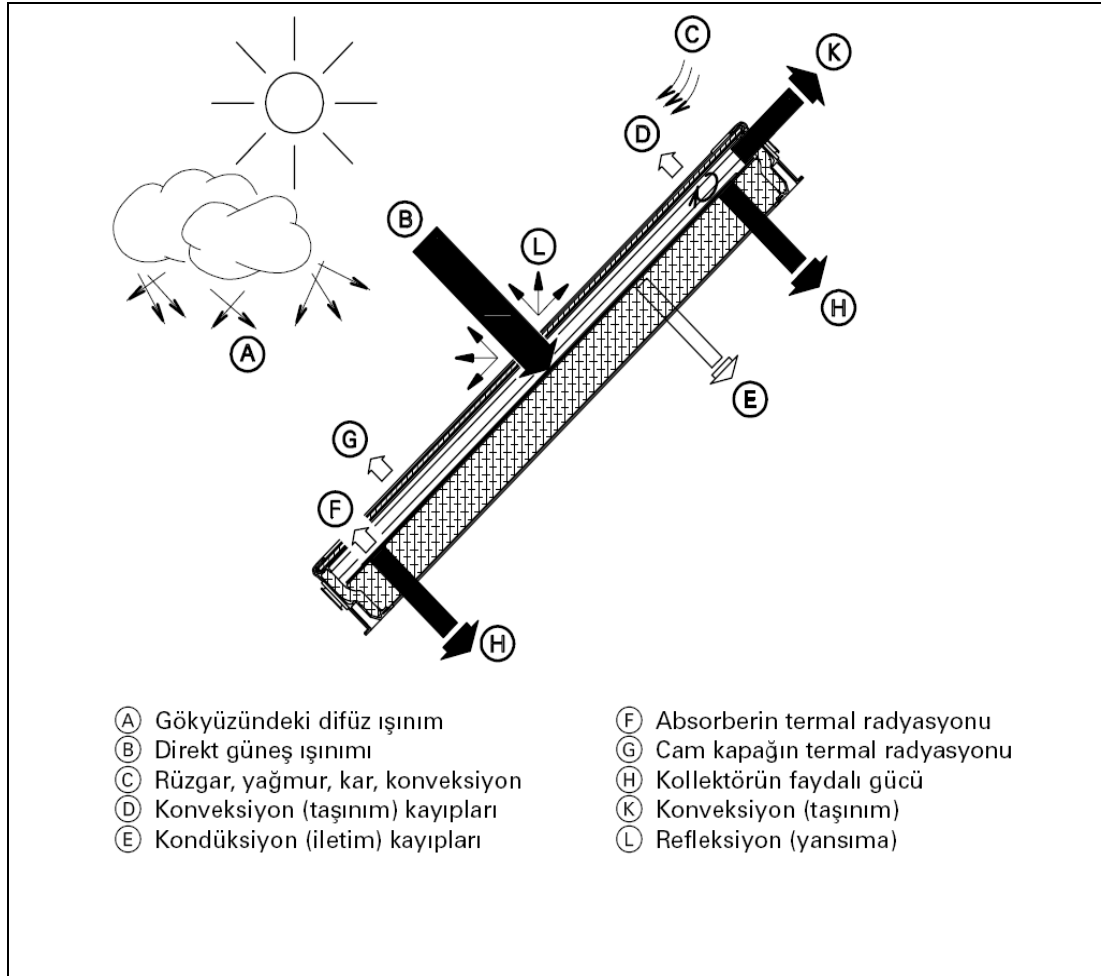
Yeryüzündeki bir yüzeyde gerçekleşen güneş ışınımı direkt ve difüz bileşenlerden ibarettir. Güneş ışınlarının atmosfer tarafından saçılmadan ve soğrulmadan yeryüzüne ulaşan bileşeni direkt güneş ışınımı, G_D , olarak adlandırılır. Saçılmış güneş ışınımının ise yeryüzüne tüm yönlerden düzenli olarak ulaştığı kabul edilir ve difüz güneş ışınımı, G_d , olarak adlandırılır. Bu çerçevede yeryüzündeki yatay bir yüzeyin birim alanındaki toplam güneş ışınımı;

$$G_{solar} = G_D \cdot \cos \theta + G_d \quad (3.2)$$

denklemlerle tanımlanabilir. Bu denklemde θ , direkt güneş ışınımının yüzeyin normali ile yaptığı açıdır. Difüz ışınım, yaklaşık havanın açık olduğu bir gündeki toplam ışınımın %10'u ile tamamen bulutlu bir gündeki toplam ışınımın %100'ü arasında değişmektedir [23].

3.3. Güneş Işınımından Yararlanma

Güneş, yeryüzünü milyarlarca yıldan beri ışık ve ısı ile beslemekte ve canlıların yaşamalarına olanak sağlamaktadır. Dünyanın var oluşundan beri güneşin ısısından yararlanmaktayız. Güneş, yaz aylarında binalarımızı doğrudan ısıtır; kış aylarında ise odun, kömür, sıvı ve gaz yakıt formundaki depolanmış güneş enerjisinden binaların ve kullanma suyunun ısıtılması için yararlanırız.



Şekil 3.2. Güneş ışıının ve bileşenlerinin bir kolektör üzerindeki dağılımı

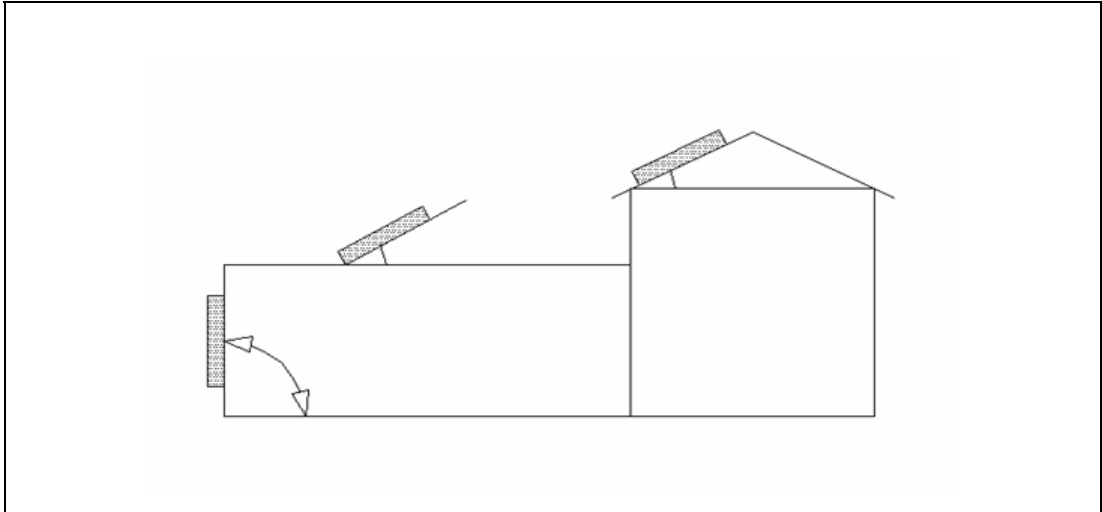
Bugün, doğanın milyonlarca sene boyunca topladığı bir yakıt stoğuna sahibiz. Bu kaynakların idareli kullanılması için ısı tekniği sektörü tarafından tutarlı adımlar atılmıştır. Bu çalışmaların en önemlilerinden biri, kolektör ile güneş enerjisinden direkt olarak yararlanmaktır.

Bir kolektör tarafından elde edilebilen faydalı enerji miktarı çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu faktörlerin en önemlisi ise mevcut olan güneş enerjisidir. Bunun dışında kolektörlerin tipleri, eğimleri ve yönleri de önemli rol oynamaktadır.

3.3.1. Eğim açısı ve azimut açısı

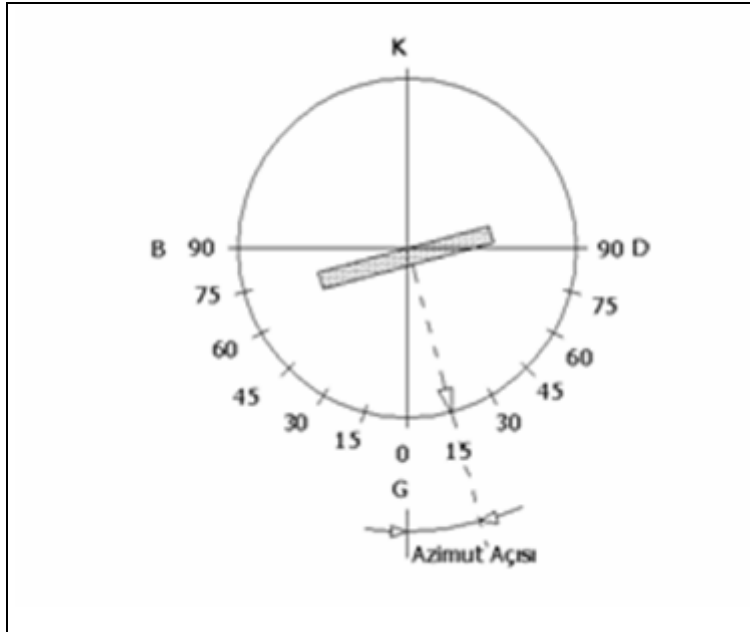
Kolektörlerle güneş enerjisinden optimum şekilde faydalanabilmek için yönlerinin güneşe doğru olması gerekmektedir. Kolektörlerin yönlendirilmesinde ölçü olarak eğim açısı ve azimut açısı kullanılır.

Eğim açısı, α , kolektör ile yatay düzlem arasındaki açıdır. Kolektörde bulunan absorber en fazla enerjiyi, kolektör düzlemi güneş ışınlarına dik açıda olduğunda çekebilir. Işınım açısı saate ve mevsime bağlı olarak değiştiğinden, kolektör düzlemi güneşin en fazla enerji vereceği konuma göre yönlendirilmelidir.



Şekil 3.3. Eğim açısı

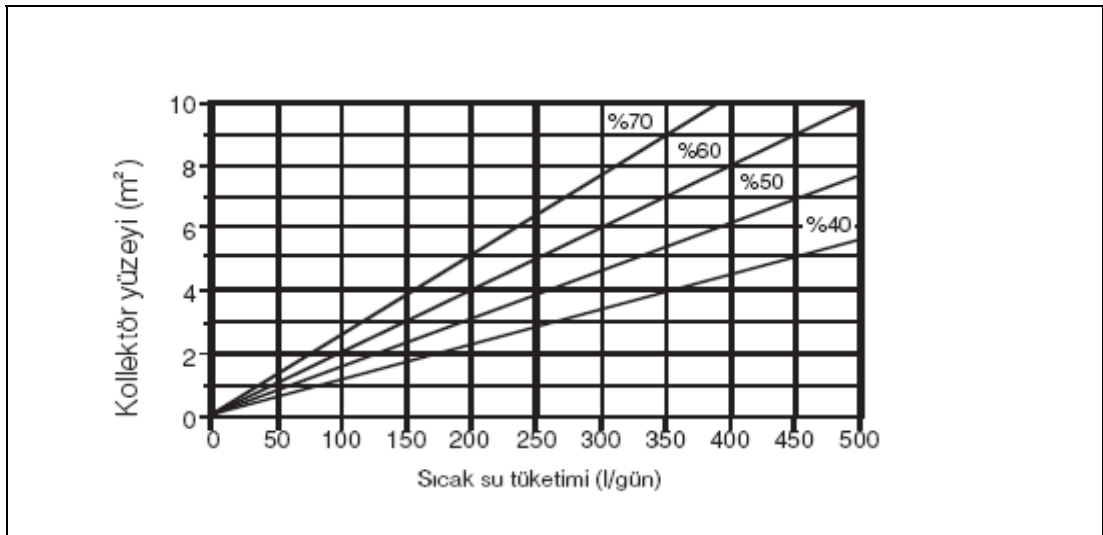
Azimut açısı, kolektör düzleminin güney yönünden olan sapmasını gösterir; güneye doğrultulmuş bir kolektörün azimut açısı 0° 'dir. Güneş ışınları öğlen saatlerinde en yoğun olduğundan, kolektör düzleminin yönü mümkün olduğu kadar güneye çevrilmelidir.



Şekil 3.4. Azimut açısı

3.3.2. Solar karşılama oranı

Solar karşılama oranı, kullanma suyu ısıtılması için gerekli olan yıllık enerjinin yüzde kaçının güneş enerjisi sistemi tarafından sağlanabileceğini gösterir.



Şekil 3.5. Solar karşılama oranı

Şekil 3.5'deki diyagramda, kullanma suyu ısıtmasında kullanılacak düzlemsel bir kolektöre ait çeşitli solar karşılama oranına göre gerekli kolektör yüzeyleri görülmektedir. Bu diyagram Ankara meteorolojik verilerine, güneye bakan çatılara, 45° çatı eğimine ve 45°C kullanma suyu sıcaklığına göre verilmiştir.

3.4. Güneş Kolektörü Tipleri

Genel olarak düzlemsel ve vakum borulu olmak üzere iki tip güneş kolektörü bulunmaktadır.

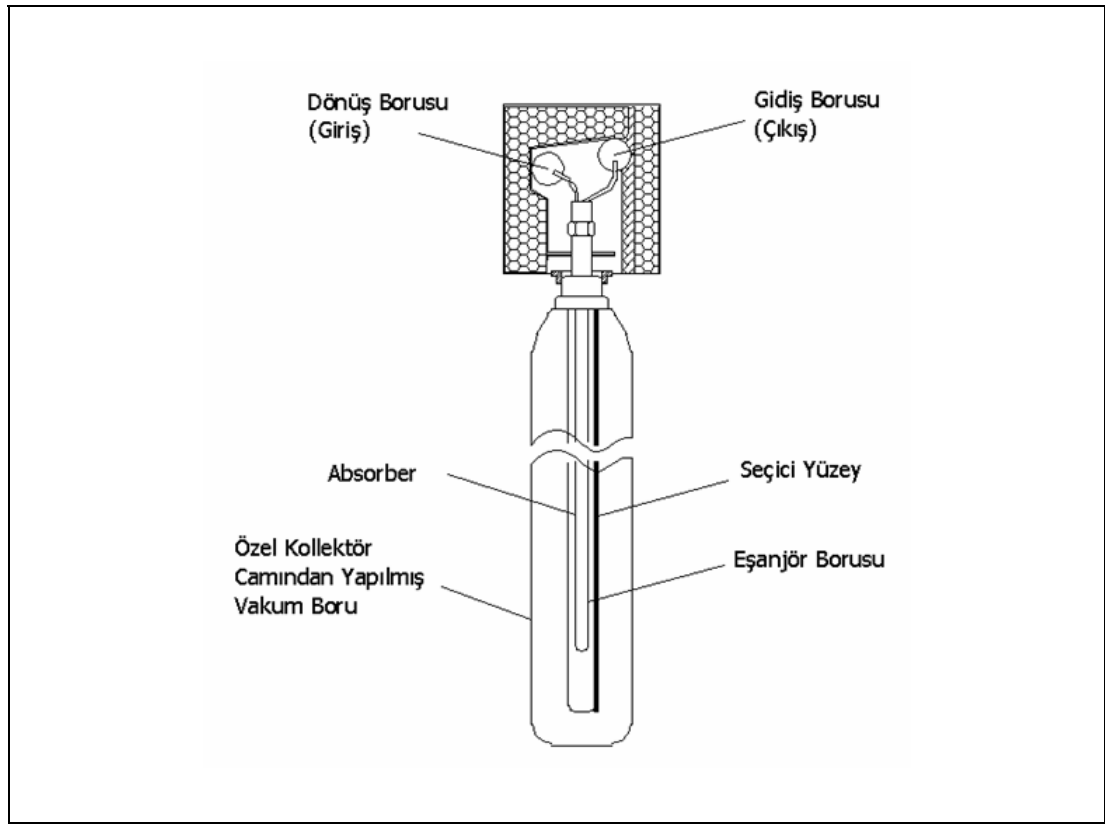
Düzlemsel kolektörlerin temelini absorber oluşturmaktadır. Burada önemli olan kullanılan absorberin yüksek seviyede absorber özelliğinin olması yanında ısı radyasyonunda düşük olmasıdır. Isı kayıplarının en az seviyede olması için kolektör gövdesinin ısı izolasyonunun yüksek kaliteli, gaz atmaz nitelikte ve sıcaklığa dayanıklı olması gerekmektedir. Uzun ömür için kolektörler bakır, alüminyum ve paslanmaz çelik gibi yüksek kalitede malzemelerden imal edilmelidir.

Vakum borulu kolektörler de vakum borulu cam tüplerden ve yine bu tüpler içerisinde bulunan absorberlerden oluşmaktadır. Cam tüpler içerisinde bulunan vakum çok iyi bir ısı izolasyonu sağlamaktadır. Bu sayede cam boru ile absorber arasındaki konveksiyon kayıpları yok denecek kadar az olmaktadır.

Vakum borulu kolektörler düz kolektörlere göre daha avantajlıdır;

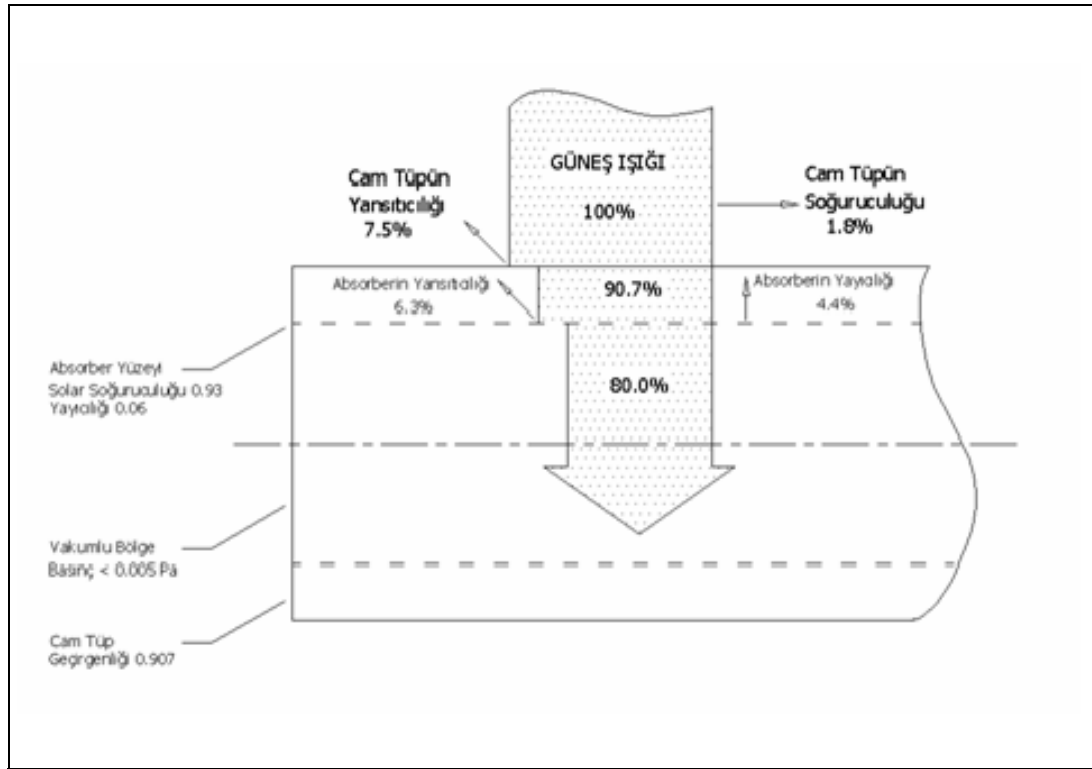
- Kolektör boru şeklinde olduğundan oldukça sağlamdır.
- Borular vakumlandıktan sonra yeniden vakumlama yapmak gerekmez. Boruların hava sızdırmazlığı daimidir.
- Cam borulardaki vakum çok üstün bir ısı izolasyonu sağlar; cam boru ve absorber arasındaki konveksiyon kayıpları yok denecek kadar azdır. Böylece düşük derecedeki ışınlardan (difüz ışınlam) da faydalanılabilir.

Vakum borulu kolektörler prensip olarak eş eksenli iki borudan oluşur. Dıştaki saydam cam boru güneş ışınlarının içteki boruya gelmesini sağlar. Madeni olan iç boru; yüzeyin soğuruculuğu nedeniyle ışınları toplar ve kendi içinden geçen suyu ısıtır. İç borunun içinden su yerine hava geçirilirse sıcak hava elde edilir. Saydam cam boru ile içindeki soğurucu boru arasında vakum yaratılarak taşınım kayıpları azaltılmış olur.



Şekil 3.6. Vakum borulu kolektör kesiti

Vakum borulu kolektörlerde konveksiyon ısı iletiminin kapalı-form çözümü M.B. Eberlein [24] tarafından yapılmış olan analitik çalışmada elde edilmiştir. Bu tek-boyutlu ve düzgün akışlı analizde yapılmış olan sadeleştirme ve yaklaşımlara rağmen Eberlein' in çalışmasının sonuçları ve vardığı netice tasarım ve işletim bakımından daha verimli güneş enerjisi kolektörlerinin (vakum borulu kolektör) doğmasını ve mevcut çalışmamızdaki gibi analizlerin yapılmasını sağlamıştır. Eberlein analizinde ısı transfer ortamı olarak havayı kullanmıştır.



Şekil 3.7. Eberlein tarafından yapılmış çalışmanın sonucu

4. GÜNEŞ ENERJİSİ UYGULAMALARI

4.1. Güneş Enerjisi Su Isıtma Sistemleri

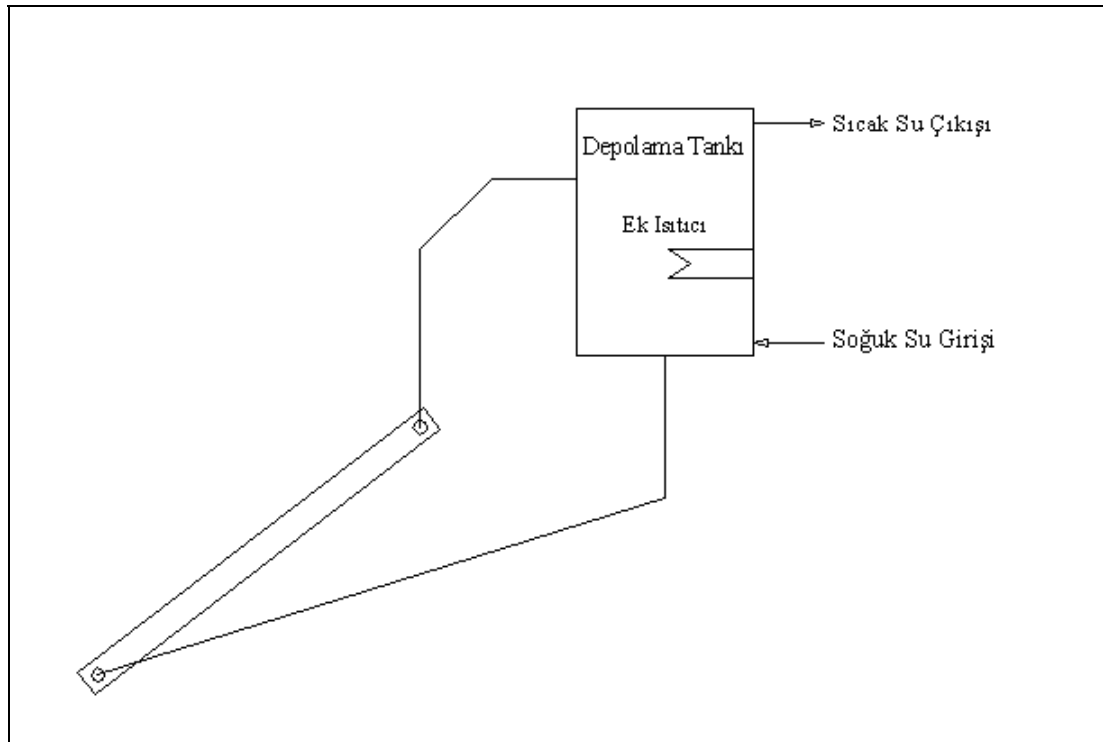
Güneş enerjisi su ısıtma sistemlerinin temelini güneş radyasyonunu soğuran ve soğurduğu radyasyonu ısıya çeviren güneş enerjisi kolektör düzeneği oluşturur. Bu ısı daha sonra kolektörün içinden geçen ısı transferi akışkanı (su, donmayan akışkan, veya hava) tarafından soğurulur ve depolanabilir veya doğrudan kullanılabilir. Güneş enerjisi sisteminin ekipmanları hava şartlarına maruz bırakılmaları sebebiyle donmaya ve düşük enerji ihtiyacı olduğu dönemlerde güneşten aşırı derecede etkilenmesinden dolayı fazla ısınmaya karşı korunmalıdır [25].

Güneş enerjisi su ısıtma sistemlerinde ısı transferi akışkanı olan su kolektörde doğrudan ısıtılabilir (direk sistemler) veya kolektörde ısıtılan ısı transferi akışkanının ısınıp konut ya da kullanma suyuna aktarabilmesi için ısı değiştiricinin içerisinden geçirilerek dolaylı olarak (dolaylı sistemler) ısıtılabilir. Doğal konveksiyon (termosifon yöntemi) ile doğal dolaşım gerçekleşirken; zorlanmış dolaşımli sistemler için pompa veya fanlar kullanılmaktadır. Kontrol gerektirmeyen termosifon ve entegre kolektör depolama (ICS) sistemleri haricinde, güneş enerjisi konut ısıtma ve kullanma sıcak suyu ısıtma sistemleri diferansiyel termostatlar kullanılarak kontrol edilir [25].

Güneş enerjisi sistemlerinin beş değişik tipi konut ve kullanma sıcak suyunun ısıtılması için kullanılabilir: termosifon, ICS, doğrudan dolaşım, dolaylı su ısıtma ve hava sistemleri. İlk iki sistem pompa kullanılmadığı için pasif sistemler olarak, diğerleri ise ısı transferi akışkanının sirkülasyonunu sağlamak için pompa ve fan kullanılması nedeniyle aktif sistemler olarak adlandırılırlar. Donmaya karşı koruma tekrar sirkülasyon (resirkülasyon) ve doğrudan güneş enerjisi su ısıtma sistemlerinde drain-down, dolaylı su ısıtma sistemlerinde drain-back kullanılarak sağlanır [25].

4.1.1. Termosifon sistemleri (pasif)

Termosifon sistemlerinde kullanma suyu veya ısı transfer akışkanı ısıtılır ve ısıyı kolektörden depoya taşımak için doğal konveksiyon kullanır. Güneşin kolektördeki suyu ısıtması suyun genişip yoğunluğunun düşerek hafifleyip kolektör boyunca yükselerek depolama tankının en üst noktasına ulaşmasını sağlayarak yerine deponun alt tarafından soğuk su gelmesine neden olur. Dolaşım güneş ışığı olduğu sürece devam ederek, bu suretle güneş toplayıcısı ve ısı deposu doğal bir kapalı devre dolaşımı meydana getirir. Dolaşım güneş ışığı olduğu sürece devam eder. Bağlantı hatları ısı kayıplarını önlemek için iyi izole edilmiş ve dolaşımı durdurabilecek hava boşluğu oluşumunu önlemek için eğimli olmalıdır. Kolektörde ısınan akışkan yükseleceği için bu sistemlerde ısı deposunun kolektörden yüksekte olması zorunludur. Akşamları veya kolektör tanktaki suyun sıcaklığından düşük olduğu zamanlarda, termosifonun akış yönü tersine döner; bu da depolanmış suyun soğumasına neden olur [25].



Şekil 4.1. Termosifon tipi güneş enerjisi sistemlerinin şematifi

Termosifon sistemlerinin esas dezavantajı; bu sistemler estetik olarak çekiciliği olmayacak şekilde oldukça uzun birimlerdir. Genellikle hem sıcak su silindiri hem de evin soğuk su ihtiyaçlarını destekleyen soğuk su depolama tankı güneş enerjisi kolektörünün üzerine yerleştirilir ve bu da kolektör birimini daha uzun ve daha az çekici bir hale getirir. Bununla birlikte son derece sert ve asidik su, soğurucu akışkan koridorunun tıkanmasına veya paslanmasına sebebiyet veren tortuya neden olur. Doğrudan sistemler için, şebeke suyu doğrudan kullanıldığında (soğuk su depolama tankı yok) ve basınç kolektörün çalışma basıncından daha büyük olduğunda basınç düşürme valfleri gerekmektedir [25].

4.1.2. Entegre olmuş kolektör depolama sistemleri (ICS) (pasif)

ICS sistemleri sıcak su deposunu kolektörün bir parçası olarak kullanır; örneğin depolama tankının yüzeyi ayrıca soğurucu olarak kullanır. Bütün diğer sistemlerde olduğu gibi, katmanlaşmayı geliştirmek için sıcak su tankın en üst noktasından çekilir ve soğuk telafi suyu diğer taraftan tankın en altından girer [25].

ICS sistemlerinin esas dezavantajı depolama tankından çevreye olan yüksek ısı kayıplarıdır; çünkü depolama tankının yüzey alanının büyük çoğunluğu güneş radyasyonunun soğurulması için ısıl olarak izole edilemez. Özellikle geceleri ve kapalı günlerde düşük ortam sıcaklıklarında ısı kayıplar en üst düzeydedir. Bu kayıplar nedeniyle su sıcaklığı gece boyunca özellikle kış aylarında oldukça düşer [25].

4.1.3. Doğrudan dolaşım sistemleri (aktif)

Doğrudan dolaşım sistemlerinde sıcaklığı arttırmak için yeterli güneş enerjisi varsa içilebilir suyun depodan kolektöre sirkülasyonunu devam ettirebilmek için pompa kullanılır. Pompanın suyu dolaştırması nedeniyle kolektörler depolama tankının altına veya üzerine monte edilebilir. Böyle birimler için optimum akış hızı yaklaşık $0,015 \text{ l/m}^2$ dir. Doğrudan dolaşım sistemleri donmanın çok sık olmadığı alanlarda kullanılabilir. Uç hava koşulları için donma koruması genellikle ılık suyun depolama

tankından tekrar dolaştırılmasıyla sağlanır. Doğrudan dolaşım sistemlerinde çoğu kez yardımcı su ısıtıcı teçhizatlı tek depolanma tankı kullanmakla birlikte iki tanklı depolama sistemleri de kullanılabilir [25].

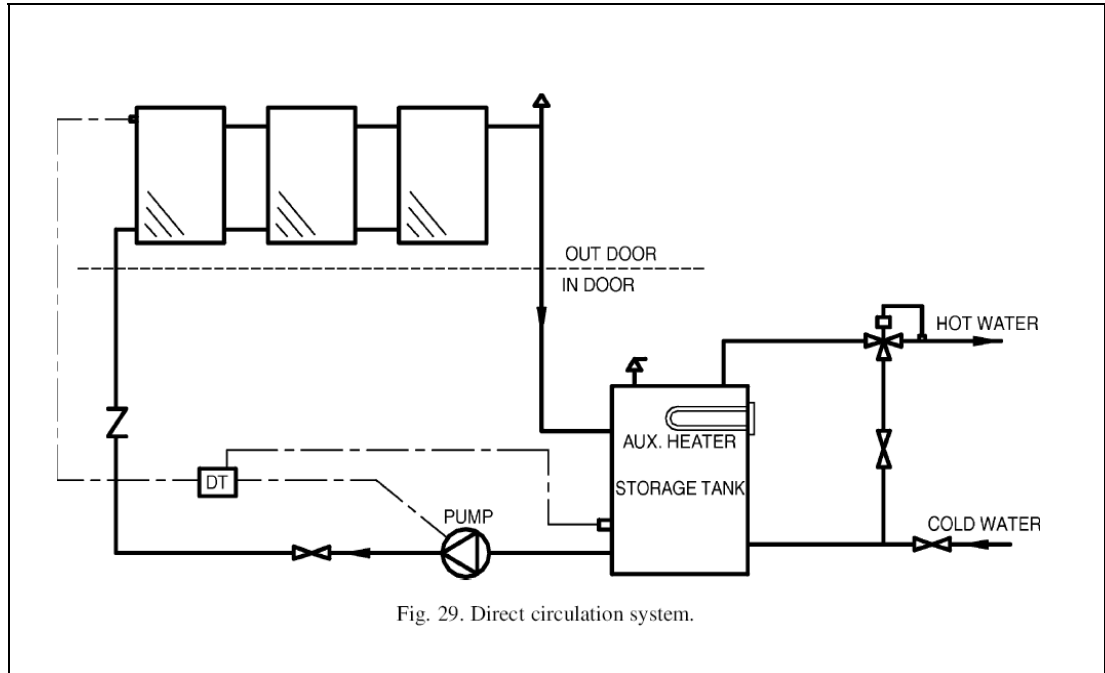


Fig. 29. Direct circulation system.

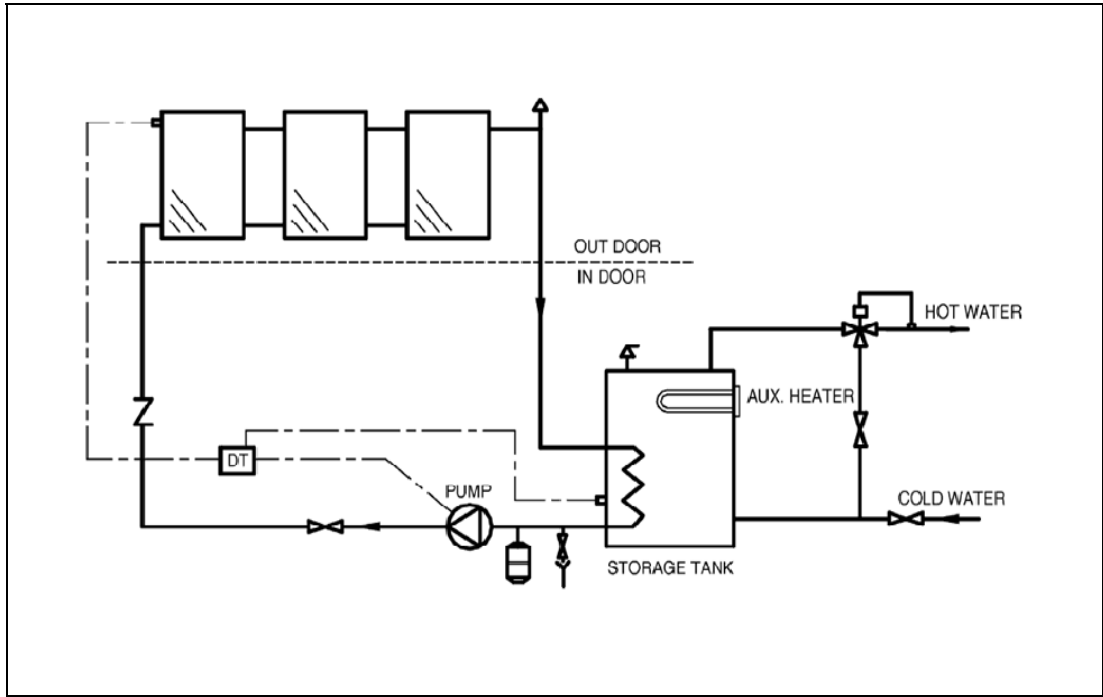
Şekil 4.2. Doğrudan dolaşımlı güneş enerjisi sistemlerinin şematığı

Doğrudan dolaşım sistemleri soğuk su depolama tankından sağlanan suyla veya şehir su şebekesine direkt bağlanarak kullanılabilir. Şehir su şebeke basıncı kolektörlerin çalışma basıncından daha fazla olduğunda basınç düşürme valfleri ve emniyet valfleri gerekmektedir. Doğrudan su ısıtma sistemleri suyun aşırı sert veya asidik olduğu yerlerde kullanılmamalıdır; çünkü oluşan tortu kolektörün tıkanmasına veya paslanmasına neden olabilir [25].

4.1.4. Dolaylı su ısıtma sistemleri (aktif)

Dolaylı su ısıtma sistemlerinde, kapalı kolektör döngüsünün içinden ısı değiştiriciye doğru ısı transfer akışkanı ısısını kullanma suyuna aktararak dolaşır. En çok kullanılan ısı transfer akışkanları silikon yağı ve refrigerantlar gibi diğer ısı transfer akışkanları da kullanılabilmesine rağmen su/etilen glikol çözeltileridir.

Kullanılmayan veya zehirleyici akışkanlar kullanıldığında çift duvarlı ısı değişticilerin yer alması gerekmektedir. Isı değişticiler depolama tankının içine, depolama tankının çevresine (tank örtüsü) veya dışarıya yerleştirilebilir. Burada önemli olan husus kolektör kapalı döngüdür ve bundan dolayı genleşme tankı ve emniyet valfi gerekmektedir [25].



Şekil 4.3. Dolaylı su ısıtmalı güneş enerjisi sistemlerinin şematığı

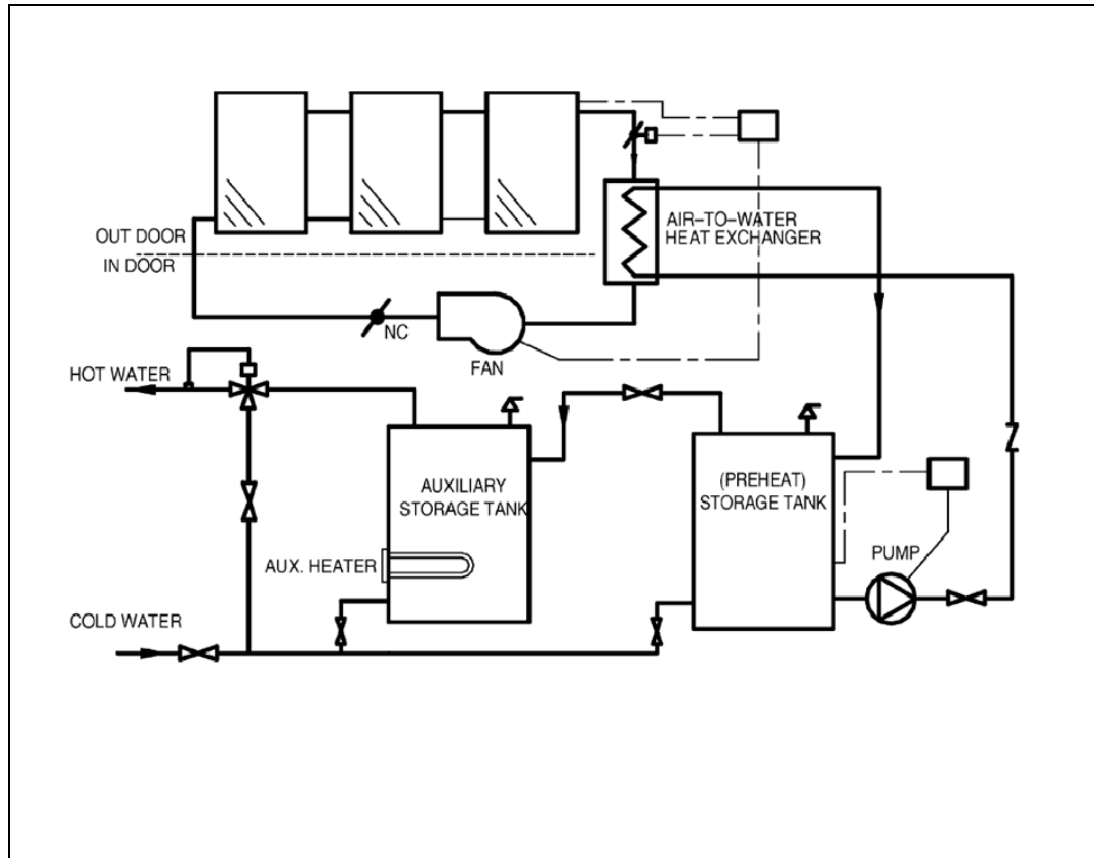
Dolaylı su ısıtma sistemlerinin varyasyonu drain-back sistemleridir. Drain-back sistemleri genellikle suyu, ısısının kullanma suyuna aktarıldığı, kapalı kolektör döngüsü içinden ısı değişticieye dolaştıran dolaylı su ısıtma sistemleridir. Kullanılabilir enerji mevcut olduğu sürece dolaşım devam eder. Dolaşım pompası durduğu zaman, kolektör akışkanı yer çekimi kuvveti ile drain-back tankına boşalır. Eğer sistem basınçlandırılmışsa, sistem çalışırken tank genleşme tankı görevini görür; bu durum sıcaklık ve emniyet valfleri ile korunmalıdır. Eğer sistem basınçlandırılmamışsa, tank açıktır ve atmosfere salıverilir [25].

Kolektör döngüsü kullanma suyundan izole edilirse boşaltmayı gerçekleştirmek için vanaya ihtiyaç duyulmaz ve temizleme problem olmamakla birlikte kolektör

düzenegi ve dış borulama tamamen suyunu boşaltmak için uygun bir şekilde eğilmelidir [25].

4.1.5. Hava sistemleri

Hava sistemleri, kolektörler boyunca kanaldan geçerek havayı havadan-sıvıya ısı değiştiricilere sirkülasyonunu gerçekleştiren dolaylı su ısıtma sistemleridir. Isı değiştiricide ısı kullanma suyunu aktarılmakta ve ısı değiştiricilerin içinde dolaşıp depolama tankına geri dönmektedir [25].



Şekil 4.4. Havalı güneş enerjisi sistemlerinin şematiği

Sistemin esas avantajı havanın donmaya veya kaynamaya karşı korunmasına gerek olmaması, paslanmaması ve parasız olmasıdır. Dezavantajları ise hava tutma ekipmanlarının (oluk ve fan) borulama ve pompalara kıyasla daha fazla alana ihtiyaç

duyması, hava sızıntılarını meydana çıkarmanın zor olması ve parazitik enerji tüketiminin genellikle sıvı sistemlere göre daha yüksek olmasıdır [25].

4.2. Güneş Enerjisinden Yararlanma Alanları

Güneş enerjisinden ısı enerjisine dönüştürerek veya elektrik enerjisine dönüştürerek yararlanılmaktadır. Yarı iletkenler kullanarak doğrudan elektrik üretimi de mümkündür. Isıya dönüştürerek yararlanma alanları sıcaklık sınırlarına göre üç bölüme ayrılır.

Düşük sıcaklıklarda; 150°C'den düşük sıcaklıklar:

- Kullanma suyunun ısıtılması
- Bina ısıtma ve havalandırma
- Tarımda ürün kurutma ve seracılık
- Su damıtımı, tuz üretimi

Orta sıcaklıklarda; 600°C'ye kadar olan sıcaklıklar:

- Sulama için su pompaları
- Küçük motorlar, güneş tencereleri
- Buhar jeneratörüyle elektrik üretimi

Yüksek sıcaklıklarda; 600°C'nin üzeri sıcaklıklar:

- Güneş fırınları
- Elektrik eldesi
- Madde araştırılması
- Egzotik maddeler yapımı, seramikler

4.3. Isı Enerjisi Formunda Kullanılan Sistemlerin Ortak Elemanları

Isı enerjisi formunda kullanılan sistemlerden ister pasif, ister aktif, ister karmaşık sistem olsunlar güneş enerjisinden yararlanmaya yönelik sistemlerde işlev yönünden ortak elemanlar vardır. Bu elemanlar şu şekilde sınıflandırılabilir;

- Güneşten yeryüzüne gelen ışıma enerjisini ısı enerjisine dönüştüren “kolektör”,

Güneş enerjisinin kullanılabilmesi için herşeyden önce toplanması gerekir. Bu toplama işlemi toplayıcı veya kolektör adı verilen düzenekler yardımıyla gerçekleştirilir.

- Toplayıcıda elde edilen ısıyı depoya ulaştıran “kolektör devresi”,

Kolektörde elde edilen ısıyı, ısı deposuna götüren kısımdır. Isı transfer akışkanı, bunu hareket ettiren pompa veya vantilatör ile boru ve vanaları içerir. Kolektör devresindeki akışkana göre havalı veya sıvılı sistemlerden söz edilebilir. Kolektör devresinde dolaşan akışkan, ısıнын depolama maddesi ile aynı madde olabileceği gibi depo maddesinden ayrı bir madde de olabilir. Bu durumda kolektör devresi ile depo arasında bir ısı eşanjörü kullanmak gerekir.

- Enerjiyi güneşin olmadığı zamanlarda da kullanabilmeyi sağlamak için toplanılan ısıнын depolandığı “ısı deposu”,

Güneş enerjisinden faydalanmak amacıyla kurulan sistemlerin en önemli sorunu ısıнын depolanmasıdır. Güneş ışınlarının kullanılacağı yere her zaman aynı miktarda gelmeyerek kesintili olarak gelmesi, geceleri güneşten hiç yararlanılamaması, kış aylarında ve kapalı havalarda gelen güneş enerjisinin daha az olması doğaldır. O halde enerjinin gereksiniminden fazla olduğu zamanlarda depolanıp saklanması, gereksinimden az olduğu zamanlarda da ısıнын kullanıcıya depodan yollanması gerekir.

- Depodan veya ek ısı kaynağından gelen ya da direkt toplayıcıdan gelen ısı enerjisini istenilen yere ileterek yayan “kullanıcı devresi”,

Toplanan ısıнын kullanıcıya ulaşmasını sağlayan kısımdır. Kullanıcı devresi öğesinin yeri aktif sistemlerde genellikle alışılmış merkezi ısıtma ve soğutma sistemleri gibidir. Boru ve kanallar bodruma, çatı arasına, döşeme altına yerleştirilebilir. Kullanıcı devresi, direkt depodaki akışkanı alarak kullanıcıya iletebileceği gibi, akışkandaki ısıyı bir ısı değiştirgeci devresi gibi çalışarak ısı deposundan alabilir. Kullanıcı devresi de pompa, vantilatör, borular, vana ve ek ısıtıcı gibi düzenekleri içerir.

- Güneşten toplanarak depolanan enerjinin yeterli olmaması halinde devreye giren “ek (yardımcı) ısıtıcı”,

Ek ısıtıcı, güneş enerjisi sisteminin kolektörlerden ya da ısı deposundan yeterli düzeyde ısı enerjisi elde edilemediği zamanlarda devreye giren ünitesidir. Ek enerji ünitesi gerekli ısı enerjisini katı, sıvı, gaz yakıtlardan ya da elektrik enerjisinden üretir. Ek ısıtıcı kullanıcı devresine seri olarak da bağlanabilir. Ek ısıtıcı kolektörden gelen yeterli sıcaklığa ulaşmamış akışkanı istenilen sıcaklığa çıkartarak kullanıcıya verir. Seri bağlı ek ısıtıcılar başlangıç sıcaklığı düşük olan ısıtıcılarda ve açık sistemlerde kullanılır. Ek ısıtıcı ünitesinin devreye paralel bağlanması durumunda ise sistemin ya güneş enerjisiyle ya da ısıtıcı ile tamamen kendi başına çalışması öngörülmektedir. Kapalı devreli güneş enerjisi sistemlerinde paralel ek ısıtıcı kullanılır.

- Güneş enerjisi sisteminin çalışmasını düzene sokan “kontrol düzeni” dir.

Güneş enerjisi sistemlerinin bu elemanı sistemin çalışmasını düzene sokan duyum, değerlendirme ve karşılama işlevlerini yerine getirir. Elle kumandalı basit sistemler olduğu gibi tümüyle otomatik kumanda ile çalışan sistemler de mevcuttur. Elle kumandalı pompalı sistemlere karşı, otomatik kumandalı sistemlerin yüksek sistem verimi, dolaşım pompalarının ömrünün uzaması, kolektörlerde kireçlenmenin

önlenmesi gibi önemli avantajları ve kullanım rahatlığı nedeniyle otomatik kontrol kullanıp bunu da fark (diferansiyel) termostadı ile sağlar. Fark termostadı, depoda bulunan akışkanın sıcaklığı ile kolektörden çıkan akışkanın sıcaklığını aynı anda ölçer ve karşılaştırır. Eğer sıcaklık farkı belirlenen farktan fazla ise pompaya çalışma kumandası verilir. Fark belirli bir değerin altına inince, pompalara bu defa durma kumandası verilir.

4.4. Güneş Enerjisiyle Konut Isıtılması

Güneş enerjisinden düşük sıcaklıkta yararlanma alanlarından birisi de konut ısıtılmasıdır. Konut ısıtılması için büyük ölçüde enerji sarf edildiğinden bu konuda güneş enerjisinden yararlanılarak önemli miktarda enerji tasarrufu sağlanması beklenmektedir. Bunun da özellikle hava şartlarına, ısıtılacak alanın büyüklüğüne ve ısı kayıplarına bağlı olduğu unutulmamalıdır.

Konutlarda güneş enerjisinden yararlanarak ısıtma uygulamalarında pasif ve aktif ısıtma sistemleri olmak üzere iki tür yaklaşım vardır.

4.4.1. Pasif sistemle ısıtma

“Pasif” terimi güneşle ilgili mimari bir kavram olup binalar için gerekli güneş enerjisi kullanımının yöntemini açıklamaktadır [26]. Pasif sistemle ısıtmada güneş ışınlarını doğrudan ısıtılacak konuta yönlendirerek ısınma sağlanır. Yani konutun kendisi doğrudan toplayıcı görevi yapar ve mekanik bir aygıt kullanılmaz. Bundan dolayı pasif sistemlerle güneş enerjisinden ancak kontrolsüz olarak yararlanılabilir.

Pasif sistemlerin kullanılarak konut ısıtılması yapılması istendiğinde konutun tasarımında güneşe yönlenmesi, konutun şekli ve diğer komşu binalar tarafından gölgelenmemesi gibi faktörlerin daha binanın yapımından önce göz önünde bulundurularak çözümlenmesi gerekmektedir.

4.4.2. Aktif sistemle ısıtma

Aktif sistemde güneş enerjisi toplayıcıları depolama birimleri, enerji transfer mekanizmaları ve enerji dağıtım sistemleri (pompa, fan) kullanılır. Bu tip bir sistemde genelde bir veya daha çok çalışma akışkanı, toplanan güneş enerjisinin transfer, depolama veya dağıtımında kullanılır. Çalışma akışkanları fan ve/veya pompaların yardımıyla dolaştırılır [26].

4.5. Güneş Enerjisi İlk Uygulamaları

Güneş enerjisinden insanların bilinçli yararlanması oldukça eski tarihlerde başlamıştır. Kaynaklara göre; ilk defa Sokrat (M.Ö. 400) evlerin güney yönüne fazla pencere konularak güneş ışıının içeri alınmasını belirtmiş, Arşimed (M.Ö. 250) iç bükey aynalarla güneş ışıının odaklayarak Sirakuza' yı kuşatan gemileri yakmıştır [27].

Güneş enerjisi konusundaki çalışmalar 1600 yıllarında Galile'nin merceği bulmasıyla artmış, ilk defa 1725 de Belidor tarafından, güneş enerjisiyle çalışan bir su pompası geliştirilmiştir. Fransız bilim adamı Mouchok, 1860'da parabolik aynalar yardımıyla güneş ışıının odaklayarak küçük bir buhar makinesini çalıştırmış, güneş pompaları güneş ocakları üzerinde deneyler yapmıştır. 1878'de bir güneş enerjili soğutma cihazı geliştirilerek bir blok buz üretmeyi başarmıştır [27].

Güneş enerjisi ile çalışan, iş yapan akışkanın hava olduğu bir makine 1868'de Erricson tarafından geliştirilmiştir. Bu yıllarda güneş enerjisi konusundaki çalışmalar yoğunlaşmış, tatlı su elde edilmesi ve güneş ocakları konusunda çok sayıda çalışma yapılmıştır [27].

Shuman ve Boys, 1913'te parabolik aynalar yardımıyla bir buhar üretici yapmışlar ve bundan faydalanarak Nil nehrinden su çeken 50 BG'deki su pompasını çalıştırmışlardır [27].

Birinci dünya savaşı ve sonrasında petrolün önem kazanmasıyla güneş enerjisine yönelik çalışmalar azalmıştır. 1930 yılından itibaren özellikle pasif sistemlerle ilgili çalışmalar artmışsa da fazla uygulama alanı bulamamış araştırma kurumlarının dışına çıkamamıştır [27].

4.6. Aktif Güneş Enerjisi Sistemi ile Konut Isıtmasının Tarihsel Gelişimi

Godfrey L. Cabot tarafından 1938 yılında Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde (MIT) gerçekleştirilen güneş enerjisi çalışmaları, güneş enerjisiyle ısıtma konusunda modern araştırmaların başlangıcı olarak işaret edilmektedir. MIT'de gerçekleştirilmiş olan çalışmaların sonucunda, bazı değişikliklerle bugün dahi kullanılan standart metodlarla, kolektör performansının hesaplanmasını sağlayan yöntemler geliştirilmiştir. MIT House IV, dikkatli bir mühendislik ve enstrümantasyon çalışmalarıyla donatılan ve güneş enerjisi su ısıtıcıları ile su deposu esasına dayanan sistemden oluşan bir konuttu. Güneş enerjisi ısıtma sistemi, Boston bölgesinde kış ayındaki toplam ısıtma yükünün yaklaşık üçte ikisini taşıyacak şekilde tasarlanmıştı ve performansı dikkatlice kayıt altına alınıyordu. İki yıl süren ve ikinci yılki hava koşullarının birinci yıla nazaran daha iyi olduğu deneysel çalışmalarda, sistem kombine ısıtma ve sıcak su yüklerinin %48 ve %57'sini sağlamıştı.

Telkes ve Raymond (1949) Massachusetts'de güneye yönelmiş ve dikey konumdaki hava ısıtıcı kolektörler ile sodyum sülfat dekahidratın fusion ısısında enerji depolamadan faydalanan bir güneş evi kurmayı planlamışlardı. Bu sistem, teorik kapasitesi tasarım ısıtma yükünü 5 gün süreyle karşılayacak depolama sistemine sahip olacak ve toplam ısıtma yükünü karşılayacak şekilde tasarlanmıştı.

Bliss (1955), Arizona çölünde tamamiyle güneş enerjisiyle ısıtılan bir konut inşa etmiş ve hava akışkanı ısıtıcı ve kaya yatağı (rock bed) enerji depolama biriminden oluşan bu sistemin performansını matriks yöntemini kullanarak ölçmüştür. Bliss, yapılan çalışma sonucunda sistemin inşa edildiği haliyle ekonomik olarak optimum olmadığını; fakat yardımcı enerji kaynağı kullanan daha küçük bir sistemin daha düşük maliyetle tasarlanabileceğini ifade etmiştir.

Löf, tekrar dolaşımli cam plakalı kolektörler ile enerji depolamak için çakıl taşı (pebble) yatağını kullanan hava ısıtmalı sistemi tasarlamış ve bu tasarımdan yararlanarak Denver yakınlarında bir konut inşa etmiştir. Bu sistemin performansı kurulduğunun ilk yıllarında (1963, 1964) ve daha sonra 1976'dan 1978'e kadar Löf ve arkadaşları tarafından incelenmiştir. Veriler, üzerinde hiçbir bakım çalışması yapılmadan 15 yıllık bir süre zarfında çalışmaya devam eden tek sistem olması bakımından önem teşkil etmekteydi. Sonuçlar göstermiştir ki ikinci yapılan ölçüm periyodunun performansı orijinalinin %78 civarındaydı. Performanstaki bu düşüş, modern kolektörlerde yaşanmayan bir problem olan, kolektörün içerisindeki camın kırılmasına yoruldu. Bu sistemle elde edilen tecrübe iyi tasarlanmış ve iyi inşa edilmiş hava sistemlerinin çok küçük bir bakımla uzun yıllar boyunca güvenilir bir şekilde işletilebileceğine göstermektedir.

Close ve arkadaşları (1968), Avustralya'daki laboratuvar binasının kısmi ısıtılması için uzun yıllar işletilmiş bir ısıtma sistemi tasarlamışlardır. Bu sistem $56m^2$ 'lik vee-groove hava ısıtıcısını ve çakıl taşı (pebble) yatağı depolama birimini kullanmıştır. Kolektör boyunca akan hava, sabit $55^{\circ}C$ hava çıkış sıcaklığı elde etmek için modüle edilmiştir.

1970 yılından itibaren, bir çok değişik deneysel sistem inşa edilmiş ve bunlardan bazılarının performansı ölçülerek kaydedilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sıvı ve hava sistemlerinin ticari üretimlerine yol açmış; böylece binlerce sistem inşa edilerek satılmıştır [28].

4.7. Türkiye'de Güneş Enerjisi ile Konut Isıtması

Türkiye'de güneş enerjisi ile konut ısıtma sistemlerinin ekonomik olduğu iddia edilemez. Türkiye'deki mekanların ısıtılması, Avrupa ülkelerinde olduğu gibi sıcak sulu (Amerika ülkelerinde daha ziyade havalı sistemler) sistemlerle yapılmaktadır. Bu tür sistemde ısıtılan ortamdan, kazana dönen suyun sıcaklığı $70^{\circ}C$ olduğundan güneş enerjisinden yararlanmak çok zordur. Güneş enerjisinden ısıtma sistemlerinde yararlanabilmek için, çalışma sıcaklıklarının düşürülmesi gerekir ki, bu takdirde

radyatör yüzeyi çok artar, konutun faydalı hacmini ve maliyetini artırır. Bu nedenlerle, güneş enerjili ısıtma sistemleri havalı veya sıcak sulu panel ısıtmalı olmalıdır. Türkiye’de havalı ısıtma sistemleri ise yeni gelişmektedir. Diğer taraftan, ısıtma ihtiyacının olduğu aylarda güneş ışınımı şiddetinin düşük olması ve sürekli olmaması ilave ısıtma sistemini zorunlu kıldığından ilk yatırım maliyeti çok fazla olmaktadır [27].

Ülkemizde özellikle bina ısıtmada güneş enerjisinden pasif yararlanmanın çok büyük bir potansiyeli bulunmaktadır. Ankara Güneş Evi’nde uygulanan, güney seraya gelen güneş enerjisinin tabii sirkülasyonla kuzey seraya aktarıldığı yöntemle Ankara şartlarında %73 oranında enerji tasarrufu sağlandığı kanıtlanmıştır. Bu, Ankara’ da bir konutun ısıtılması için yılda 3,5 ton kömür yakmak yerine, sadece 1 ton kömür yakmak anlamındadır. Aynı yöntem İstanbul’ da uygulansaydı yaklaşık %90, Erzurum’da uygulansaydı yaklaşık %50 enerji tasarrufu sağlayacaktı. Türkiye’ de 1995 ile 2010 yılları arasında 4 milyon konut yapılacağı ve bu konutlarda güneş enerjisiyle pasif ısıtma nedeniyle ortalama olarak %50 enerji tasarrufu sağlanacağı varsayılırsa, 2010 yılında yaklaşık 4500 bin TEP enerji tasarrufu sağlanmış olur ki, bu durumda güneş enerjisinin toplam birincil enerji tüketimi içindeki payı %3’e yaklaşmış olur. Bu tasarrufun yıllık parasal değeri yaklaşık 1 milyar \$’dır [29].

5. ISITMA YÜKÜ

Isı kaybı hesabı yapılırken, gerekli sayısal bilgilerin bir kısmı mimari projeden bir kısmı ise mimari proje esas alınarak seçilmiş veya hesaplanmış verilerden alınır.

Binanın ısı ihtiyacının belirlenmesi için, binadaki her bir odanın (hacmin) ısı kaybı hesabı yapılmalıdır.

Odaya konulacak ısıtıcının kapasitesi belirlenirken, odanın kaybettiği ısı esas alınır. Dışarının belli bir sıcaklık düzeyine karşılık, odanın konforlu bir sıcaklıkta tutulabilmesi için saatte kaybettiği ısı miktarı (kcal/h veya kW) bulunmalıdır. Saatte kaybettiği ısı bulunabilirse, bunu karşılayacak bir ısıtıcı (radyatör, soba) yerleştirilmesi, söz konusu ortamı istenilen sıcaklık düzeyinde tutacaktır. Odaların toplam ısı kayıpları toplanarak dairenin ısı kaybı bulunur.

Bireysel ısıtma yapılıyorsa, dairenin ısı kaybına karşılık gelen bir ısıtıcı (kat kaloriferi, kombi) seçilir. Bina ısıtması yapılıyorsa, dairelerin toplam ısı kaybına karşılık gelen bir ısıtıcı (kazan) seçilir.

Odanın ısı kaybı hesabı yapılırken, duvarlardan iletim ve taşınım yoluyla kaçan ısıyla, pencere ve kapının açılan kenarlarından sızıntı yoluyla kaçan ısı toplanır.

5.1. Özgül Isı Kaybı Hesabı

Yapı malzemelerindeki ısı geçişleri genelde iletim ve taşınımın bir arada olduğu şekilde gerçekleşir. Isı önce oda ortamından duvar yüzeyine doğru taşınım ile, sonra duvar yüzeyinde iletimle, en sonunda duvar dış yüzeyi ile dış ortam arasında taşınım ile gerçekleşir. Oda ortamı sıcak, dış ortam soğuk olduğundan, içeriden dışarıya sürekli bir ısı geçişi söz konusudur.

Isı kaybı hesaplamasında, odanın istenilen belli bir sıcaklık düzeyinde kalabilmesi için gerekli ısı ihtiyacı bulunur. Buradaki hareket noktası da, belirli iç ve dış sıcaklık

şartlarında odadan dışarıya olan ısı kaybı miktarının hesaplanmasıdır. Hesaplanan saatlik ısı kaybı, odaya verilmesi gereken ısı miktarıdır.

Odadan dışarıya geçen ısı; taşınım, iletim ve sızıntı yoluyla olan kayıpların toplamıdır.

İletim ve taşınım yoluyla kaçan ısı için;

$$Q_o = A \cdot U \cdot \Delta T \quad (5.1)$$

ifadesi kullanılmaktadır. Bu ifadedeki sembollerin anlamları aşağıdaki gibidir;

Q_o : bir ortamdan diğer ortama geçen ısı miktarı (W)

U : yapı bileşeninin toplam ısı geçirgenlik katsayısı ($W / m^2 K$)

A : yapı bileşeninin yüzey alanı (m^2)

ΔT : yapı bileşeninin iki tarafındaki sıcaklık farkı (K)

Eş. 5.1'deki toplam ısı geçiş katsayısı U , çeşitli kalınlıklardaki katmanlardan (iç sıva+delikli tuğla+dış sıva gibi) oluşan yapı bileşeninin $1 m^2$ 'sinden $1^\circ C$ ' lik sıcaklık farkı bulunması durumunda saatte kJ cinsinden geçen ısı miktarını vermektedir. Her bir yapı bileşeninin ısı iletim katsayısı değerleri (W / mK) TS 825'in içinde tablo halinde verilmiş çizelgelerden bulunabilir. U , toplam ısı geçiş katsayısı, Eş. 5.2 ve Eş. 5.3'de verilen denklemlerle hesaplanır.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_{iç}} + \frac{1}{\Lambda} + \frac{1}{\alpha_{dış}} \quad (5.2)$$

$$\frac{1}{\Lambda} = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} \quad (5.3)$$

U : yapı bileşeninin toplam ısı geçirgenlik katsayısı ($W / m^2 K$)

$1/U$: yapı bileşeninin ısı geçirgenlik direnci ($m^2 K / W$)

Λ : ısı geçirgenlik katsayısı ($W / m^2 K$)

$1/\Lambda$: ısı geçirgenlik direnci ($m^2 K / W$)

d : yapı bileşeninin kalınlığı (m)

λ : yapı bileşeninin ısı iletkenlik hesap değeri (W / mK)

$\alpha_{iç}$: iç yüzeyin yüzeysel ısı iletim katsayısı ($W / m^2 K$)

$1/\alpha_{iç}$: iç yüzeyin yüzeysel ısı iletim direnci ($m^2 K / W$)

$\alpha_{dış}$: dış yüzeyin yüzeysel ısı iletim katsayısı ($W / m^2 K$)

$1/\alpha_{dış}$: dış yüzeyin yüzeysel ısı iletim direnci ($m^2 K / W$)

Eş. 5.2'den görüldüğü gibi buradaki ısı geçişi iletim ve taşınım yoluyla olan ısı geçişlerini içermektedir.

$T_{iç}$ sıcaklığındaki ortamdan duvara doğru taşınım ile ısı geçişi olmaktadır. T_{Y1} sıcaklığındaki duvar iç yüzeyinden T_{Y2} sıcaklığındaki duvar dış yüzeyine doğru iletimsel bir ısı geçişi söz konusudur. T_{Y2} sıcaklığındaki dış yüzeyden, $T_{dış}$ sıcaklığındaki dış ortama ise taşınım yoluyla bir ısı geçişi olmaktadır.

Yapı elemanlarından iletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı, $\sum A \cdot U$;

$$\sum A \cdot U = U_D \cdot A_D + U_p \cdot A_p + 0,8 U_T \cdot A_T + 0,5 \cdot U_t \cdot A_t + U_d \cdot A_d + 0,5 \cdot U_{dış} \cdot A_{dış} \quad (5.4)$$

ifadesiyle bulunabilir. Bu ifadedeki semboller;

U_D : dış duvarın ısı geçirgenlik katsayısı ($W / m^2 K$)

U_p : pencerenin ısı geçirgenlik katsayısı ($W / m^2 K$)

U_T : tavanın ısı geçirgenlik katsayısı ($W / m^2 K$)

U_t : zemine oturan tabanın/döşemenin ısı geçirgenlik katsayısı ($W / m^2 K$)

U_d : dış hava ile temas eden tabanın/döşemenin ısı geçirgenlik katsayısı ($W / m^2 K$)

U_{dsic} : düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının ısı geçirgenlik katsayısı ($W / m^2 K$)

A_D : dış duvarın alanı (m^2)

A_p : pencerenin alanı (m^2)

A_T : tavan alanı (m^2)

A_t : zemine oturan taban/döşeme alanı (m^2)

A_d : dış hava ile temas eden tabanın/döşemenin alanı (m^2)

A_{dsic} : düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının alanı (m^2)

İletim ve taşınım yoluyla olan ısı kayıplarının yanı sıra sızıntı yoluyla da ısı kayıpları olmaktadır. Hava sızıntısı yoluyla olan ısı kaybı; odaya pencere ve kapı aralıklarından dış hava ile hacmin iç havası arasındaki basınç farkı nedeniyle sızan soğuk havadan kaynaklanmaktadır.

Sızıntı (enfiltasyon) yoluyla ısı kaybı;

$$Q_s = \frac{1}{3,6} \sum (a \cdot \ell) R \cdot H \cdot \Delta T \cdot Z_e \quad (5.5)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır. Bu denklemlerdeki semboller;

Q_s : sızıntı yoluyla ısı kaybı (W)

a : sızdırganlık katsayısı (m^3 / mh)

ℓ : dış duvarlar üzerinde bulunan pencere veya kapıların açılan kısımlarının uzunluğu (m)

- $\sum a \cdot \ell$: dış duvarlar üzerinde bulunan bütün kapı ve pencerelerden iç hacme sızıntı yoluyla giren hava debisi (m^3 / h)
- R : oda durum katsayısı (yapı iç hacminin rüzgar geçirgenlik katsayısı) (boyutsuz)
- H : bina durum katsayısı (rüzgar etkinlik katsayısı) ($kJ / m^3 K$)
- ΔT : iç ve dış sıcaklıklar arasındaki fark (K)
- Z_e : köşe açıklıkları etki katsayısı (her iki dış duvarında pencere olan odalar için 1,2, diğer odalar için 1 alınır)

Odanın ısı kaybı iletim ve taşınım yoluyla olan kayıplar ile sızıntı yoluyla olan kayıpların toplamına eşittir [30].

Bu kapsamda vakum borulu kolektör ve ek ısıtıcı kullanarak ısıtılması hedeflenen kapalı hacmin yer aldığı binanın yalıtım özellikleri dikkate alınarak TS 825 Standartları doğrultusunda hazırlanılmış olan iletimle ısı kaybı çizelgesi Çizelge 5.1’de gösterilmektedir.

Kapalı hacim için hazırlanılmış olan ısı çizelgesinden yararlanarak, yapı elemanlarından iletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı Eş. 5.4’e istinaden $938,3233 \text{ W} / K$ olarak hesaplanmıştır. Kapalı hacimden iletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybıyla birlikte sızıntı yoluyla da bir ısı kaybı olmaktadır. Sızıntıyla gerçekleşen ısı kaybı ise Eş. 5.5’e istinaden $207,36 \text{ W} / K$ olarak hesaplanmıştır.

Bu çerçevede vakum borulu kolektör ve ek ısıtıcılar kullanarak ısıtılmaya çalışılan kapalı hacimden olan özgül ısı kaybı toplamı $1145,683 \text{ W} / K$ olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.1.1. Kapalı hacmin iletimle ısı kaybı çizelgesi

		1	2	3	4	5	6
		Yapı elemanı kalınlığı	Isıl iletkenlik değeri	d / λ $1 / \alpha$	Isıl iletkenlik katsayısı	Isı taşıyan yüzey	Isı kaybı
		d	λ_k	$m^2 K / W$	U	A	A x U
		m	W / mK	$m^2 K / W$	$W / m^2 K$	m^2	W / K
Duvar Yüzeyleri	$1 / \alpha_i$			0,13			
	Sıva	0,01	0,87	0,011494253			
	Tuğla	0,15	0,45	0,333333333			
	Çimento harcı	0,01	1,4	0,007142857			
	Tuğla	0,15	0,45	0,333333333			
	Sıva	0,01	0,87	0,011494253			
	$1 / \alpha_d$			0,04			
Toplam				0,86679803	1,153671289	163,6	188,7406229
Taban / Döşeme	$1 / \alpha_i$			0,17			
	Karo (hafif beton plaka)	0,02	0,29	0,068965517			
	Çimento harcı	0,01	1,4	0,007142857			
	Çimento harçlı şap	0,02	1,4	0,014285714			
	Beton	0,2	2,1	0,095238095			
	$1 / \alpha_d$			0			
Toplam				0,355632184	2,811893988	197,8	556,1926309
Tavan	$1 / \alpha_i$			0,13			
	Sıva	0,01	0,87	0,011494253			
	Beton	0,2	2,1	0,095238095			
	$1 / \alpha_d$			0,13			
Toplam				0,366732348	2,726784275	197,8	539,3579296
Kapı					2	20	40

Laboratuvarın sabit 21°C sıcaklıkta tutulmak istendiği göz önüne alındığında kapalı hacim için bulunan özgül ısı kaybından yararlanılarak ısıtılacak hacimden gün içerisinde olan ısı kaybı miktarları hesaplanmış ve değerler Bölüm 10’da verilen grafiklerde gösterilmiştir.

6. KOLEKTÖR PERFORMANSI

6.1. Güneş Kolektörlerinin Isıl Analizi

Güneş enerjisi kolektörlerinde yararlı enerji kazanımı;

$$Q_u = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{f,out} - T_{f,in}) \quad (6.1)$$

denklemleriyle ifade edilir. Bu denklemlerde;

$\dot{m}$: iş akışkanının debisi

c_p : iş akışkanının özgül ısısı

$T_{f,out}$: iş akışkanının kolektörden çıkış sıcaklığı

$T_{f,in}$: iş akışkanının kolektöre giriş sıcaklığı

Güneş enerjisi kolektörlerinin performansı, kolektör verimiyle ölçülebilir. Kolektör verimi belirli bir zaman periyodundaki yararlı enerji kazanımının, aynı zaman periyodundaki gelen ışıyım akısına oranı olarak ifade edilir. Kolektör verimi;

$$\eta_c = \frac{\int_0^\tau Q_u \cdot d\tau}{A_c \cdot \int_0^\tau H_t \cdot d\tau} \quad (6.2)$$

Bu denklemlerde;

η_c : τ zaman periyodu boyunca ortalama kolektör verimi

Q_u : yararlı enerji kazanımı

H_t : toplam (direkt ve difüz) gelen ışıyım

Herhangi bir andaki kolektör verimi ise anlık yararlı enerji kazanımının anlık radyasyona oranı olarak açıklanabilir. Diğer bir ifadeyle anlık verim;

$$\eta_c = \frac{Q_u}{A_c \cdot H_t} \quad (6.3)$$

Burada özellikle dikkat edilmesi gereken nokta kolektör veriminin ısı taşıyıcı akışkanın giriş, çıkış sıcaklıkları ve debi değerlerinin sabit ölçülebildiği durumlarda ve en önemlisi çevre sıcaklığının sabit olduğu durumlarda Eş. 6.3 bağıntısı ile hesaplanabileceğidir. Fakat verim eğrisi oluşturulurken çevre sıcaklığı da değişeceğinden verim bağıntısında çevre sıcaklığının değişken parametre olarak bulunması gereklidir. Buna bağlı olarak verimi; $Q_k = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$ genel ısı transferi denklemini kullanarak hesaplamak daha mantıklıdır. Bu denklemde kullanılan k ifadesi, kolektör için ısı kayıp katsayısıdır [5]. Kolektörler ısındıkları zaman ısı iletimi, ısı radyasyon ve konveksiyon (taşıma) yolu ile ortama ısı verirler.

Kolektör için ısı kayıp katsayısının hesaplanmasında rüzgar hızı, kolektör eğimi, yutucu yüzeyin ısı yansıtma oranı, soğurucu yüzey sıcaklığı, çevre sıcaklığı gibi değerlerin tespit edilmesi gerektiği gibi değişken fiziksel özellikler için de iteratif metodların kullanılması gerekmektedir. Bundan ötürü k , kolektör kayıp katsayısının teorik olarak hesaplanması oldukça zordur [5].

Kolektör üzerine düşen güneş ışınlarının bir kısmı, yansıma ve absorpsiyon nedeni ile kaybolmaktadır. Optik verim, η_o , ise bu kayıpları dikkate almaktadır.

Kolektörün yukarıda bahsedilen kayıplarından ötürü kolektör verimi tanım eğrisi; kayıp katsayıları ve verim tarafından oluşturulur ve aşağıdaki formülle hesaplanabilir [19];

$$\eta = \eta_o - \frac{U_L(T_e - T_a)}{E_g} = \eta_o - \frac{U_L \Delta T}{E_g} \quad (6.4)$$

Ancak Eş. 6.4'deki U_L değerini hesaplamanın oldukça zor olmasından ötürü kolektör veriminin hesaplanmasında Eş. 6.5'de verilen ikinci dereceden denklem yaklaşımı kullanılabilir;

$$\eta_c = \eta_o - k_1 \cdot \frac{\Delta T}{E_g} - k_2 \cdot \frac{\Delta T^2}{E_g} \quad (6.5)$$

Bu denklemde;

η_o : optik verim

k_1 : ısı kayıp katsayısı

k_2 : ısı kayıp katsayısı

ΔT : akışkanın kolektöre giriş ve Boyler kazanından çıkış sıcaklıkları arasındaki fark

Literatürdeki kullanımlarda kolektör verimini hesaplamak amacıyla Eş. 6.4'de ifade edilen doğrusal eşitlikten yararlanıldığı gibi Eş. 6.5'de ifade edilen ikinci dereceden denklemden de yararlanılmakta olup; vakum borulu kolektörlerde Eş. 6.5'deki eşitliğin daha doğru sonuç verdiğinin belirtilmesinden ötürü yapılmış olan deneysel çalışmamızda kolektör verimlerinin tespit edilmesi için Eş. 6.5'den faydalanılmıştır.

6.2. Kolektör Performans Testi

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), sıvı ısıtılmalı ve hava ısıtılmalı kolektörlerin performans testlerinde uygulanabilmesi için standart prosedür tasarlamışlardır. Bu prosedür için tipik bir test sistemi bulunmaktadır. Bu sistemde, kolektör düzlemine gelen güneş radyasyonunu ölçmek için pyranometer kullanılmaktadır. Sıvı (veya hava) akışkan döngüsü;

akışkanın akışını kontrol eden vana, akışkanın sirkülasyonunu sağlayan pompa (veya fan), yararlı ısıyı döngüden alabilmek için bir ısı değiştiricisi, kolektör giriş sıcaklığını kontrol etmek için ısıtıcı veya soğutucu ve akışkanın akış hızını ölçebilmek için kullanılan bir akış ölçerden ibarettir. Ayrıca kolektör giriş ve çıkış sıcaklıklarını ölçen sıcaklık sensörleri ve kolektör boyunca basıncı ve basınç değişimlerini ölçen basınç ölçerler de sistemde mevcuttur. Bunların haricinde sıcaklık ve rüzgar hızı sensörleriyle ortam koşulları tespit edilmektedir.

Kolektör performans testinde yararlı enerji kazanımı Eş. 6.1 ile hesaplanabilir.

Kolektörün anlık verimi ise Eş. 6.3'daki değerler yerlerine konularak;

$$\eta_c = \frac{Q_u / A_c}{H_t} = \frac{(\dot{m} / A_c) \cdot c_p \cdot (T_{f,out} - T_{f,in})}{H_t} \quad (6.6)$$

denkleminde bulunur.

Kolektör testlerinin radyasyonun yüksek olduğu açık havalarda ve güneş ışınlarına neredeyse dik kolektörlerle yapılmasından ötürü, gelen enerjinin çoğu direkt ışıınım radyasyonudur. Sonuç olarak, kolektör testi için geçirgenlik – soğuruculuk çarpımı normal olarak gelen direkt radyasyona karşılık gelmektedir. Bu çarpımı $(\tau \cdot \alpha)_n$ ile ifade edecek olursak, Eş. 6.3;

$$Q_u = A_c \cdot F_R \cdot [H_t \cdot (\tau \alpha)_n - U_c \cdot (T_{f,in} - T_a)] \quad (6.7)$$

olarak ifade edilebilir.

Eş. 6.7'nin $A_c \cdot H_t$ ile bölünmesi, verim denklemini verir;

$$\eta_c = \frac{Q_u}{A_c \cdot H_t} = F_R \cdot (\tau \alpha)_n - F_R \cdot U_c \cdot \left(\frac{T_{f,in} - T_a}{H_t} \right) \quad (6.8)$$

Düzenli ışınlam ve akışkan sirkülasyonu koşullarında işletilen kolektör için, güneş enerjisi ve sıcaklık etkenlerinden bağımsız olarak F_R , $(\tau \cdot \alpha)_n$ ve U_c değerleri sabit olarak kabul edilebilir. Bu değerler sabit olarak kabul edilirse, Eş. 6.8 kolektör verimine karşı $(T_{f,in} - T_a)/H_t$ değeri grafiğinde doğru bir çizgi ile ifade edilir. U.S. Ulusal Standartlar Bürosu; test sonuçlarının kolektör verimine karşı $(T_{f,in} - T_a)/H_t$ değeri grafiğinde yerlerine konulmasıyla elde edilen doğru çizginin, $F_R \cdot (\tau \alpha)_n$ ve $F_R \cdot U_c$ değerlerinin hesaplanmasında kullanılabileceğini tavsiye etmektedir. Bu öneriye göre; doğru çizginin eğimi $F_R \cdot U_c$ 'nin negatif değerini, doğru çizginin dikey eksenini kestiği nokta da $F_R \cdot (\tau \alpha)_n$ değerini vermektedir [31].

Bahse konu grafik temel alınarak yapılmış olan çalışmalar göstermiştir ki; $(T_{f,in} - T_a)$ sıcaklık farkının ne kadar az ve H_t ışınlamı ne kadar yoğun ise, kolektör verimi de o kadar yüksek olmaktadır. En yüksek verim, iş akışkanının kolektöre giriş sıcaklığının ortam sıcaklığı ile aynı olduğu koşullarda gerçekleşmektedir. Diğer bir deyişle düşük kolektör verimleri, düşük ışınlam seviyelerinin ve iş akışkanının kolektöre giriş sıcaklığının yüksek olmasından kaynaklanır. Güneş enerjisi soğuruculuğunun sadece ısı kayıplarını dengelemeye yettiği ve kolektör tarafından yararlı enerji kazanımının olmadığı zamanlarda kolektör verimi sıfıra kadar düşmektedir [31].

7. GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİNİN MATEMATİKSEL OLARAK MODELLENMESİ

Sıvı iş akışkanlarını kullanan güneş enerjisi sistemlerinin tasarım gereksinimlerini belirlemek için sistemin değişik bileşenlerini tanımlayan uygun denklemlerle sistemin analizi gerçekleştirilebilir [31].

Kolektörün yararlı enerji kazanımı Hottel-Whillier-Bliss denklemiyle ifade edilir;

$$Q_u = A_c \cdot F_R \cdot [H_a - U_c \cdot (T_i - T_a)] \quad (7.1)$$

Bu denklemde;

Q_u : kolektör enerji toplaması

A_c : kolektör alanı

H_a : kolektör soğurucusu tarafından soğrulan güneş radyasyonu

U_c : kolektör ısı kayıp katsayısı

T_i : iş akışkanının kolektöre giriş sıcaklığı

T_a : kolektörün bulunduğu ortamın sıcaklığı

F_R : kolektör ısı taşıma faktörü

Kolektör içerisindeki iş akışkanı için bir enerji dengesi yazılacak olursa;

$$Q_u = (\dot{m} \cdot c_p)_c \cdot (T_o - T_i) \quad (7.2)$$

Bu denklemde T_o , iş akışkanının kolektörden çıkış sıcaklığıdır.

Kolektör ile kazanılan enerjinin depolandığı kazan arasındaki borulardan olan ısı kayıpları ihmal edilirse, kolektör tarafından kazanılan enerji iş akışkanı tarafından ısı deposuna aktarılan enerjiye eşittir.

Toplanan güneş enerjisinin, depolama tankına ulaştırılan miktarı, Q_d ;

$$Q_d = Q_u^+ \quad \text{eğer} \quad T_1 \leq T_{mak} = 100^\circ C \quad (7.3)$$

veya

$$Q_d = (\dot{m} \cdot c_p)_s (T_{mak} - T_s) \quad \text{eğer} \quad T_1 > T_{mak} \quad (7.4)$$

Bu denklemde;

T_s : kolektör ısı değiştiricisinin dışında akan depolama tankındaki akışkanın sıcaklığı

T_1 : depolama tankındaki akışkanın kolektör ısı değiştiricisinden çıkış sıcaklığı

$(\dot{m} \cdot c_p)_s$: depolama döngüsü kütle akış hızı ile özgül ısıнын çarpımı

T_{mak} : iş akışkanının sistemdeki maksimum sıcaklığı

ifadelerine istinaden modellenenabilir. Bu ifadelerdeki + simgesi, sadece pozitif değerlerin kullanılacağına işaret etmektedir.

Konut ısıtma yükü, Q_L ;

$$Q_L = (U \cdot A)_L (T_R - T_a)^+ \quad (7.5)$$

Bu denklemde;

$(U \cdot A)_L$: hacim kayıp katsayısının alanla çarpımı veya tasarım koşullarındaki hacim ısıtma yükünün tasarım sıcaklık farkına oranı

T_R : bina oda sıcaklığı

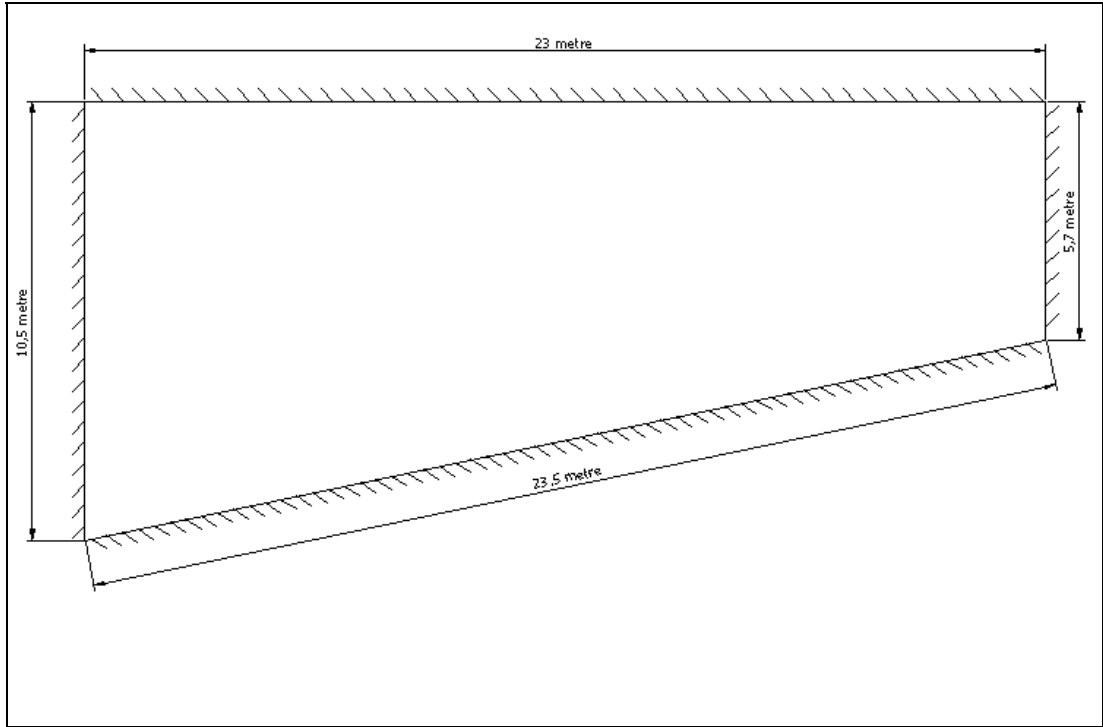
Depolama tankları genellikle binanın içine yerleştirildiği için, depolama tankından olan kayıplar ısıtma sisteminden olan net kayıplar olarak nitelendirilemez. Mevcut analiz için, tank kayıplarının hacim ısıtma yükünü düşürdüğü varsayılır. Depolama tankından olan enerji kaybı, Q_{TL} ;

$$Q_{TL} = (U \cdot A)_s (T_s - T_R) \quad (7.6)$$

8. DENEY DÜZENİĞİ

8.1. Kapalı Ortamın Fiziksel Yapısı

Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi zemin katında yer alan laboratuvar ısı konfor şartları deneylerinin gerçekleştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Laboratuvar 10,5x23x5,7x23,5 metre ebatlarında olup 198m² zemin alanına sahiptir. Laboratuvarın güney ve doğu cephesinde dış duvar, kuzey ve batı cephesinde ise diğer laboratuvarlar yer almaktadır.



Şekil 8.1. Kapalı hacmin üstten görünüm şematığı

Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi'ndeki kapalı mekanlar merkezi ısıtma sistem ile ısıtılmaktadır. Fakat deneylerin gerçekleştirildiği laboratuvarın merkezi sistem ile ısıtılması amacıyla herhangi bir alt yapı çalışması yapılmamış olması nedeniyle, laboratuvarın ısı kayıplarının ek ısıtıcı destekli güneş enerjisi sistemi ile karşılanması düşünülmüştür.

8.2. Güneş Enerjisi Destekli Isıtma Sistemi

Laboratuvarın ısıtılması için güneş enerjisi sistemi ile diğer bir ısı üreticinin birlikte kombine çalışabileceği iki farklı kapalı sistem kurulmuştur. Birinci sistemde vakum borulu kolektör binanın güney cephesine yatay zemin ile 40° açı yaparak güneye bakacak şekilde yerleştirilmiş olup sistemde ek ısıtıcı olarak boyler kazanındaki elektriksel direnç kullanılmaktadır. İkinci sistemde ise vakum borulu kolektör binanın güney cephesine yatay zemine dik olarak yerleştirilmiş olup sistemde ek ısıtıcı kullanılmamaktadır. Vakum borulu kolektörler için optimum kolektör eğimlerinin gösterilebilmesi açısından aynı tip ve özellikteki kolektörlerden birisi Ankara şartlarında eğim açılı olarak diğeri ise dik olarak yerleştirilmiştir. İki sistemin birbirinden bağımsız olarak tasarlanmasından ötürü her bir sistem kendine ait solar devre sirkülasyon pompasına ve boyler kazanına sahiptir. Isı değiştirici akışkan olarak kullanılan antifrizli su, solar devrenin sabit $1L/dak$ debili pompası yardımıyla sirküle ettirilerek, $2m^2$ 'lik kolektör yüzeyini dolaşıp ısındıktan sonra sistemin 200L kapasiteli boyler kazanındaki ısı değiştiriciden geçerek ısısını bırakır. Boyler kazanında öncelikle güneş enerjisi sisteminin desteği ile ısıtılan su istenilen sıcaklığa ulaşmadığı takdirde birinci sistemde elektriksel direnç yardımıyla su sıcaklığı istenilen seviyeye getirilir. Boyler kazanında depolanan su istenilen sıcaklığa ulaştığı takdirde, sistemde kontrol birimi olarak görev yapmakta olan üç yollu vana su akışına izin verir. Böylelikle boyler kazanının pompası ile panel radyatörlere ısıtma amaçlı su pompalanır.

8.2.1. Vakum borulu kolektör sistemi

İki farklı sistemde, brüt alanı $2,88m^2$ olan aynı tip vakum borulu kolektör kullanılmaktadır. Kolektörler 20 adet vakum borulu tüpten oluşmakta olup soğurucu yüzeylerinin toplam alanı $2,05m^2$ 'dir. Kolektörlerin optik verimleri, η_o , %83,7'dir. Kolektör verimlerinin hesaplanmasında kullanılan katalog sabitleri olan k_1 ve k_2 değerleri ise sırasıyla 1,75 ve 0,008'dir.

Kolektörler güneye doğru yönlendirilmiş ve değişik açılarda güneş ışınımı toplama tepkilerinin tespit edilebilmesi bakımından yatayla farklı açılar yapacak şekilde yerleştirilmişlerdir. Buna göre birinci sistemdeki kolektör yatayla 40° eğime sahipken, ikinci sistemdeki kolektör yatay zemine dik olarak konumlandırılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmada kullanılan kolektörler, doğrudan akışlı vakum tüplü kolektörlerdir. Kolektörlerin her bir vakum borusunun içerisinde sol-titanyum kaplı bakır soğurucu yer almaktadır. Bu sayede güneş ışınımının yüksek seviyede soğurulması ve ısı ışıının düşük seviyede yayılması sağlanarak yüksek verim elde edilir.

Cam tüplerin içerisindeki vakum ile optimum ısı izolasyonu sağlanarak, cam tüp ile soğurucu arasındaki konveksiyon kayıpları minimuma indirgenmektedir. Böylelikle düşük ışıınım seviyelerinden (difüz ışıınım) dahi yararlanmak mümkün olmaktadır.

Isı transfer akışkanının içerisinde geçtiği eş eksenli ısı değiştirici borusu, soğurucu plakanın üzerine yerleştirilmiştir. Isı transfer akışkanı ısıyı, ısı değiştirici borusu aracılığıyla soğurucudan almaktadır.

Güneş enerjisinden tam olarak yararlanabilmek amacıyla kolektörde yer alan her bir vakum borulu tüp, soğurucu plaka güneşe bakacak şekilde, döndürülebilir.

Kolektörlerin giriş ve çıkışlarına kapalı devre kolektör sistemi iş akışkanının giriş ve çıkış sıcaklıklarının belirlenebilmesi için termokupleler yerleştirilmiştir. Ayrıca bir piranometre yardımıyla kolektörlerin üzerine gelen anlık güneş ışıınımları ölçülmüştür.



Resim 8.1. Eğimli ve dik olarak yerleştirilmiş vakum borulu kolektörler

8.2.2. Isı depolama sistemi

Solar devrenin sirkülasyon pompası aracılığıyla kolektörün vakumlu borularında dolaştırılarak ısıtılan iş akışkanının (antifrizli su), boyler kazanındaki ısı değişiricisinden geçirilerek enerjisini bırakması sağlanır. Laboratuvarın ısıtılması için kurulan iki farklı sistemde de eşit kapasiteli boyler kazanı bulunmaktadır. Boyler kazanları 200L kapasiteli olmakta olup tek serpantinlidir. Yatay düzlemle eğimli olarak konumlandırılmış olan kolektörün yer aldığı sistemdeki boyler kazanında ek ısıtıcı olarak 2000W kapasiteli elektriksel direnç kullanılmaktadır. Boyler kazanları sahip oldukları sirkülasyon pompaları ile ısıtılan suyun radyatörlere pompalanmasını sağlamaktadırlar.



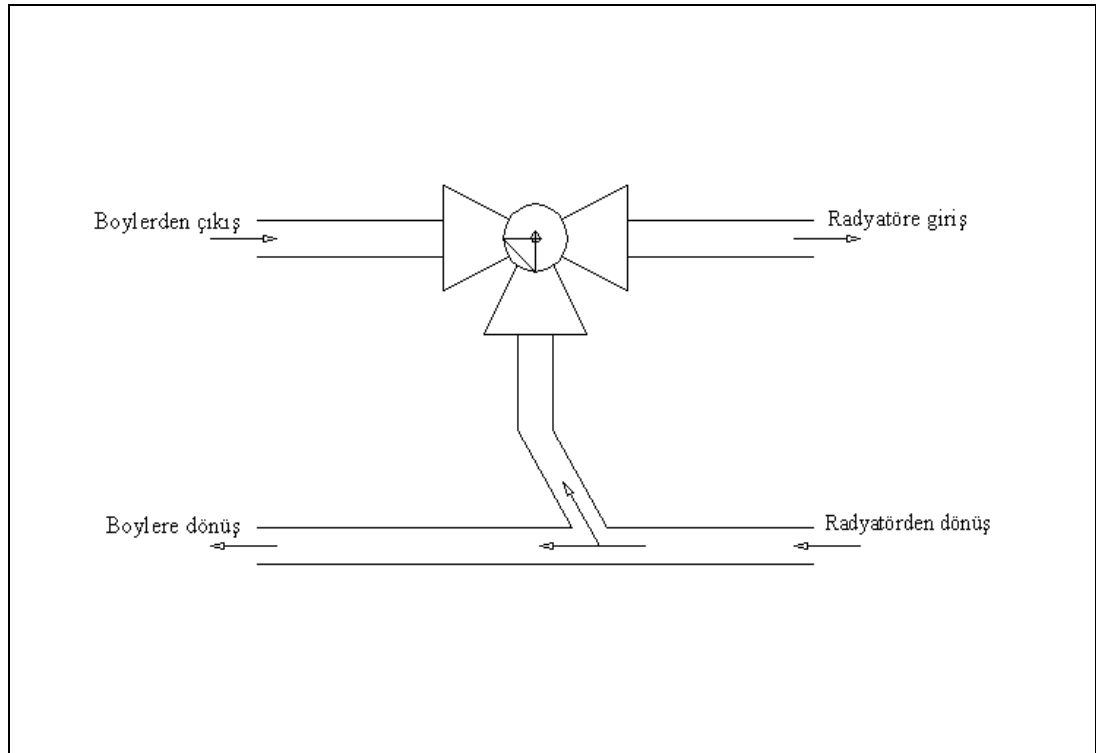
Resim 8.2. Sistemdeki mevcut iki adet boyler kazanı

8.2.3. Motorlu kontrol vanası sistemi

Kazan çıkış borusu ile dönüş borusu arasına üç yollu vana konularak ve bu vanaya otomatik olarak kumanda edilerek radyatöre giden su sıcaklığı ayarlanmaktadır. Bu sayede radyatöre gereken sıcaklıkta suyun girmesi sağlanırken, yüksek sıcaklıkta suyun laboratuvarı gereğinden fazla ısıtması önlenmiş olur. Böylelikle ısıtma sisteminde dolaşan suyun debisinin sabit kalması sağlanacak, ısıtma ihtiyacının az olduğu sürelerde dahi borulardaki aşırı soğumalar olmayacağından boru şebekelerinin ani ısınmalardan ve gerilmelerden etkilenmesi engellenecek ve üç yollu

vana tam kapalı durumdan itibaren açmaya başladığında eşanjöre sıcak su girişi en kısa sürede etkin olacak yani kontroldeki gecikme süresi en aza indirgenecektir.

Sistemde üç yollu vananın otomatik kontrolü için kullanılan kriter boyler kazanı çıkış sıcaklığıdır. Otomatik kontrol sisteminde boyler çıkış sıcaklığını ölçen sıcaklık sensörü kullanılmıştır. Sistemde yer alan servo-motorla, bu sıcaklık sensöründen ölçülen değere göre, üç yollu vana konumunu belirlemektedir.



Şekil 8.2. Üç yollu vana kesit

8.3. Ölçüm Cihazları

8.3.1. Piranometre

Anlık güneş ışıınının ölçülmesinde Resim 8.3’de gösterilen VP1165 dijital piranometre kullanılmıştır. Tüm ışık akısı şiddetlerini ölçmek için kullanılabilen bu cihaz, ışık sensöründeki algılama yüzeyi sayesinde ışık şiddetini W/m^2 cinsinden

kaydetmektedir. Cihaz aynı zamanda tanımlanan bir materyal için iletim katsayısını hesaplama özelliğine ve sıcaklığı hem fahrenheit hem de santigrat birimlerinden ölçme özelliğine sahiptir. Işık akısı ve sıcaklık gibi değerlerin anlık değişimlerine karşılık cihazın sahip olduğu ekran dondurma özelliği ile değerler istenilen anda kaydedilmek için dondurulabilir.



Resim 8.3. Piranometre

8.3.2. Termometre ve higrometre

Dış ortam sıcaklığının ve neminin ölçülmesinde kullanılan Oregon Scientific EM-913 dijital sıcaklık ve nem ölçer Resim 8.4’de gösterilmektedir. Cihaz üzerinde bulunan kablo yardımıyla ister kablonun olduğu yerde ister kabloları çıkartarak cihazın olduğu yerde ortamdaki nem ve sıcaklık ölçülebilir. Cihazın sıcaklık hassasiyeti $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ve nem hassasiyeti ise $\pm \%3,5Rh$ ’dir. Cihazla hem fahrenheit hem de santigrat birimlerinden sıcaklık ölçümleri yapılabilir.



Resim 8.4. Termometre ve higrometre

8.3.3. Güneş enerjisi sisteminin kontrol birimi ve veri toplama cihazı

Güneş enerjisi sistemlerinden ölçülen değerlerin okunmasında Şekil 8.5’de gösterilen Viessmann Vitosolic 100 tipi veri toplama cihazı kullanılmıştır. Cihaz sahip olduğu elektronik diferansiyel kontrol birimi ile güneş enerjisi ısıtma sistemini kontrol etmektedir. Ayarlanılabilen kullanıcı ara yüzü elektronik diferansiyel kontrol birimi ile sistemin mevcut üç yollu vanasına aç ya da kapat komutu gönderilerek sistemden radyatörlere su sirkülasyonunun başlayıp başlamaması sağlanılır. Ayrıca cihazın sahip olduğu ekran sayesinde kolektörlere giren ve çıkan iş akışkanının sıcaklığı ile boiler kazanındaki suyun sıcaklığı ölçülebilmektedir.

8.3.4. Güneş enerjisi sistemindeki iş akışkanının akış ölçer cihazı

Termometre, kontrol vanaları, sirkülasyon pompası, akış ölçer ve güvenlik vanası gibi gerekli olan tüm güvenlik ve fonksiyon ekipmanlarını içeren Viessmann Solar-Divicon pompa sisteminde yer alan akış ölçer ile güneş enerjisi sistemindeki iş akışkanının debisi ölçülmüştür. Akış ölçer cihazının ekranında debi L/dak. cinsinden gösterilmektedir.



Resim 8.5. Veri toplama cihazı



Resim 8.6. Akış ölçer

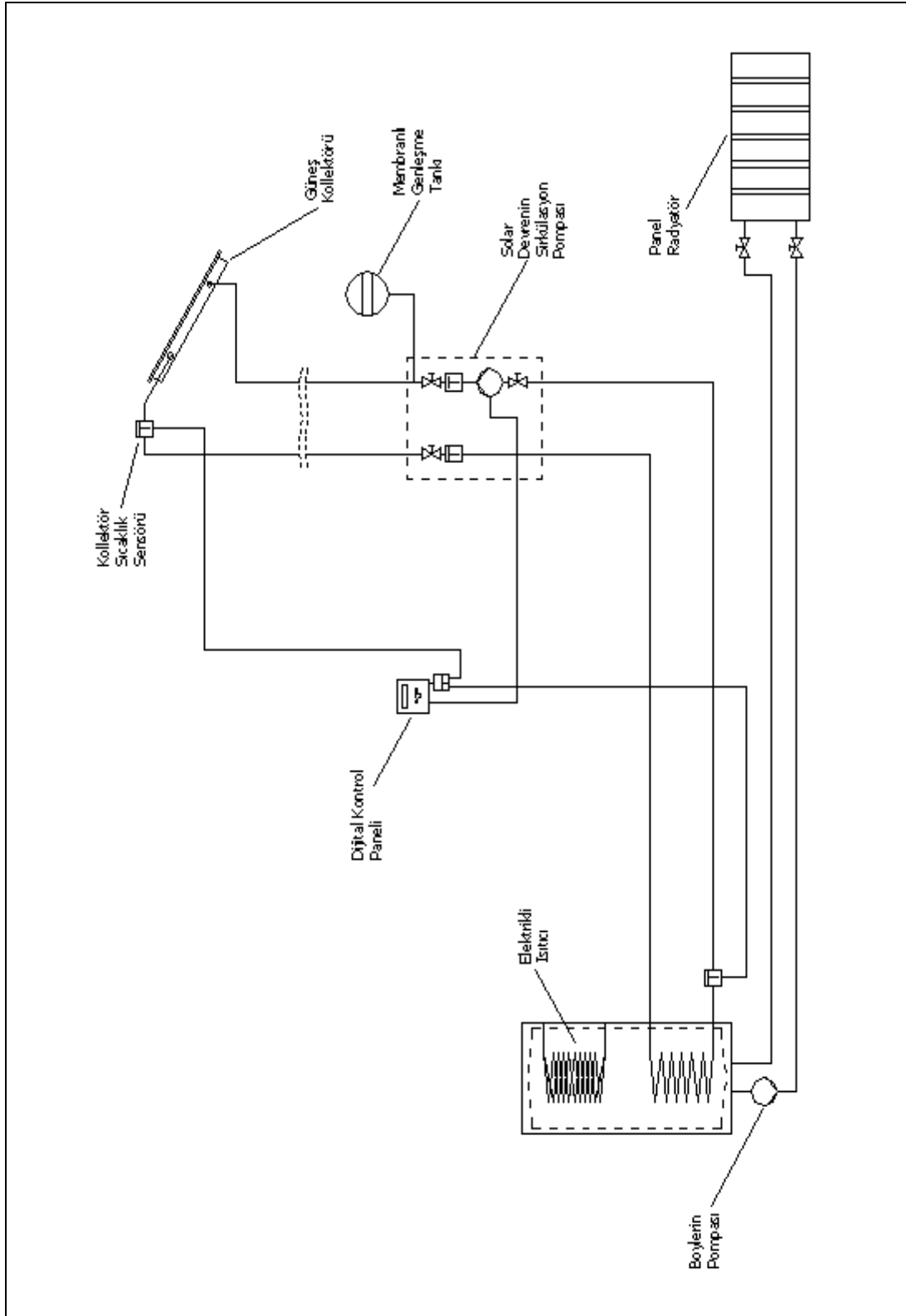
9. DENEYLER

Vakum borulu kolektörler ve ek ısıtıcılar kullanarak kapalı bir alanı ısıtmak amacıyla kurulan sistemin deneysel olarak incelenebilmesi için deney düzeneğiyle ilgili gerekli olan deneysel veriler; sistemde yer alan ısıtıcılar, akış ölçerler ve piranometre yardımıyla elde edilmiştir. Ölçüm aletleriyle yapılmış olan sıcaklık, ışıma ve iş akışkan debisi ölçümleri her 30 dakikada bir manuel olarak kaydedilmiştir. Kaydedilen bu veriler bilgisayar ortamında Microsoft Office Excel 2007 programına aktararak sistemin enerji ihtiyacının hesaplanması ve deney sonuçlarının irdelenmesi için oluşturulmuş olan formülasyonlarda kullanılmıştır. Bu hususta gerçekleştirilmiş olan deneysel çalışmalar ise; vakum borulu kolektör verim tespiti deneyi ve ek ısıtıcı ihtiyacının belirlenmesi deneyidir.

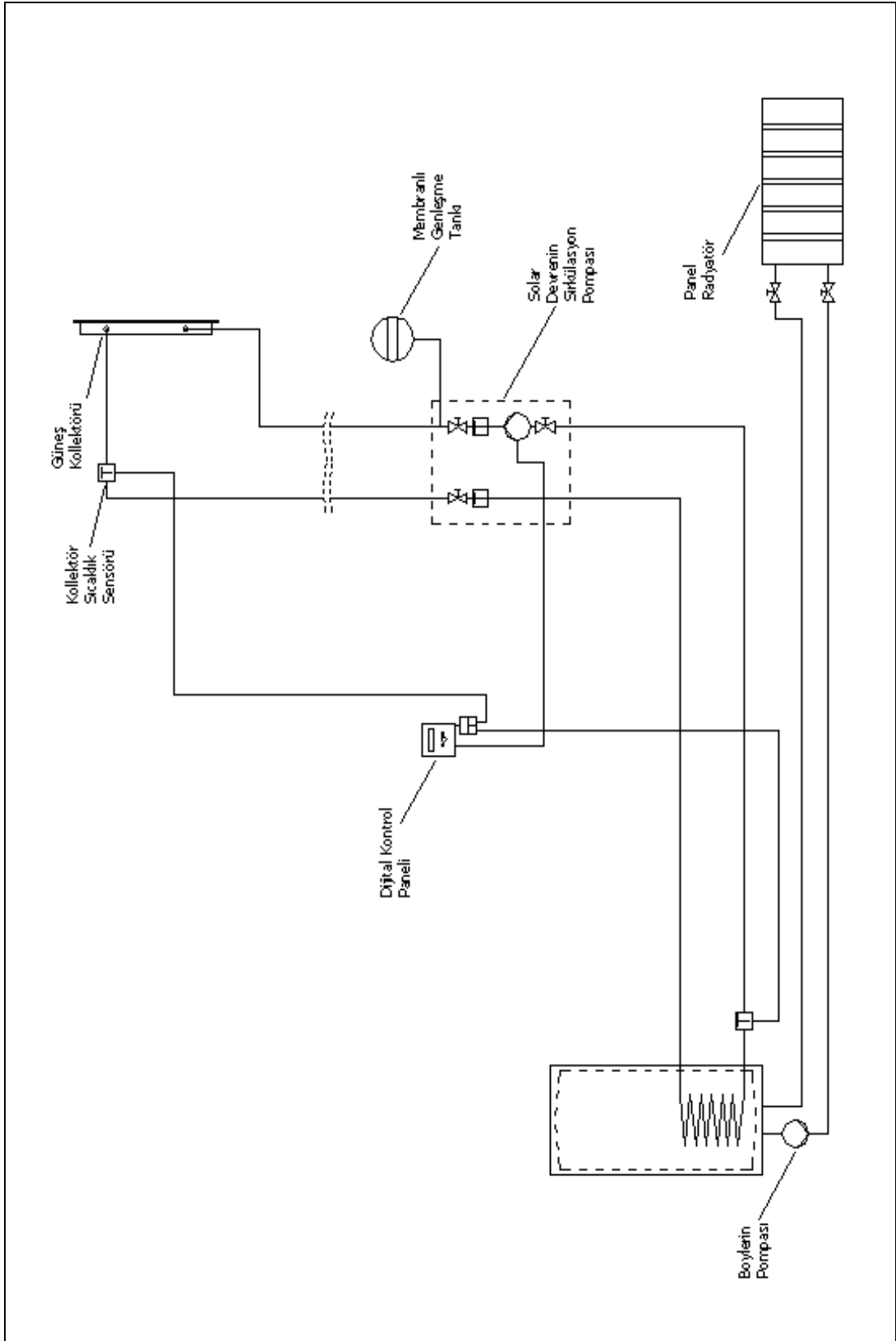
9.1. Vakum Borulu Kolektörlerin Verim Tespiti Deneyleri

Gerçekleştirilmiş olan deneysel çalışmalarda kullanılan vakum borulu kolektörler birinci sistemde yatayla 40° açı yapacak şekilde, ikinci sistemde ise yatay zemine dik olarak yerleştirilmiştir. Vakum borulu kolektörlerin verimlerinin deneysel olarak incelenebilmesi amacıyla iş akışkanlarının kolektörlere giriş ve çıkışlarında ısıtıcılar ile sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca kolektörlerin birim alanlarına gelen anlık güneş ışıması miktarlarının tespiti piranometre ile gerçekleştirilmiştir.

Vakum borulu kolektör verim testleri, kapalı kolektör sisteminde dolaşan iş akışkanının debisi sabit tutularak yapılmıştır. Kolektör sistemindeki iş akışkanının debisi sistemde sabit konumlandırılmış sirkülasyon pompası sisteminin akış ölçeri ile $0,01667 \text{ kg/s}$ olarak ölçülmüştür. Sistemden veri toplama aktivitesi her 30 dakikada bir gerçekleştirilmiştir.



Şekil 9.1. Eğimli kolektör sisteminin şematigi



Şekil 9.2. Dikey kolektör sisteminin şematiği

Vakum borulu kolektörlerin değişik koşullardaki tepkilerinin tespit edilebilmesi amacıyla, gerçekleştirilmiş olan çalışmada deneysel parametreler değiştirilerek kolektör verimlerinin hangi parametrelerle nasıl değiştiği gösterilmeye çalışılmıştır;

- Her iki sistemde mevcut ek ısıtıcı devreye sokulmadan deneyler gerçekleştirilmiş, böylelikle vakum borulu kolektörlerin yatay zeminle yaptıkları açının kolektör verimi üzerindeki etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır.
- Dikey konumlandırılan kolektörün yer aldığı sistemdeki elektriksel direnç ek ısıtıcı olarak kullanılmış, ek ısıtıcının kolektör verimi üzerindeki etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır.

9.2. Ek Isıtıcı İhtiyacının Belirlenmesi Deneyleri

Kapalı bir alanın vakum borulu kolektör sistemiyle ısıtılması deneylerinde kullanılacak olan ek ısıtıcı desteğinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiş olan deneysel çalışmalarda iş akışkanlarının kolektörlere giriş ve çıkış sıcaklıklarında ısıl çiftlerle sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca kapalı kolektör sistemindeki iş akışkanının debisi sabit tutulmuş ve $0,01667 \text{ kg / s}$ olarak ölçülmüştür.

Kapalı alanın ısıtılması için gerekli olan enerjinin tespit edilebilmesi hususunda; TS 825 standartları doğrultusunda hesaplanan Isı Kaybı Çizelgesi'nden elde edilen değerler kullanılmıştır.

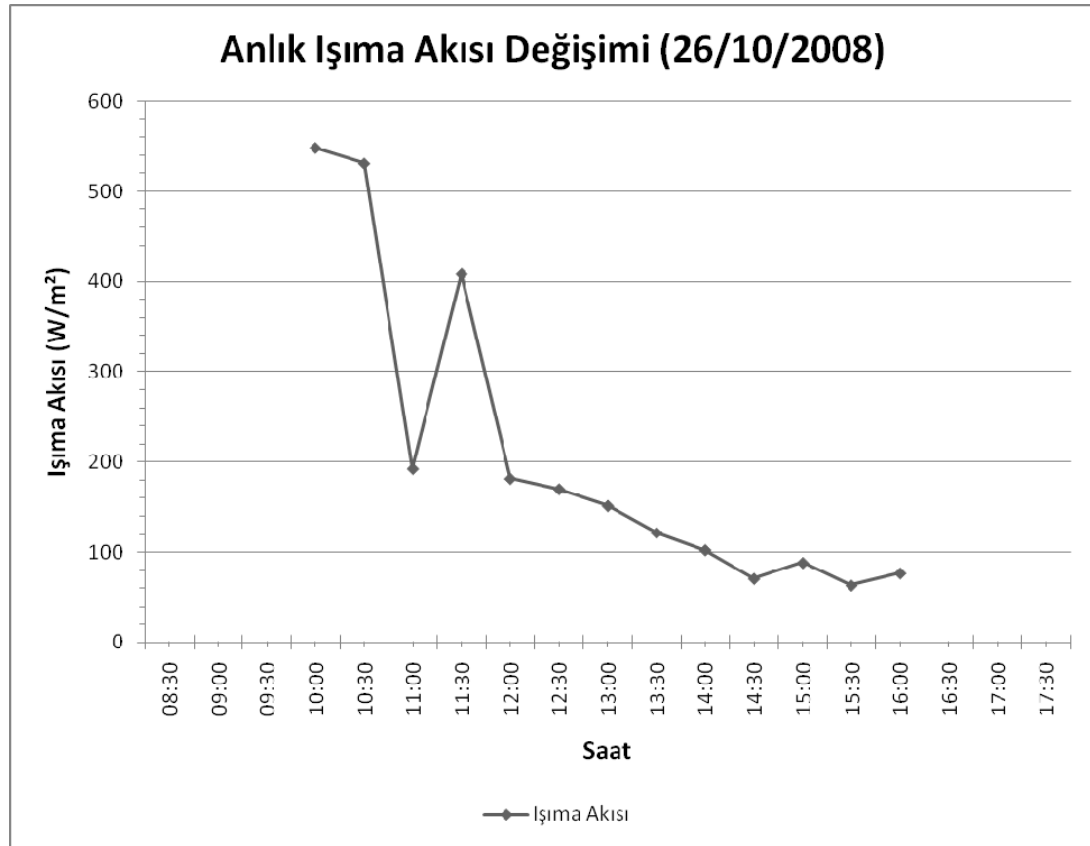
Bu çerçevede yapılan çalışmalar sonucunda vakum borulu kolektör sisteminden sağlanan yararlı enerji ile kapalı alan için hesaplanan enerji ihtiyacı arasındaki farkın sistem için gerekli olan ek ısıtıcı ihtiyacını verdiği görülmüştür.

10. DENEYSEL SONUÇLAR

10.1. Vakum Borulu Kolektörlerin Verim Tespiti Deneyleri

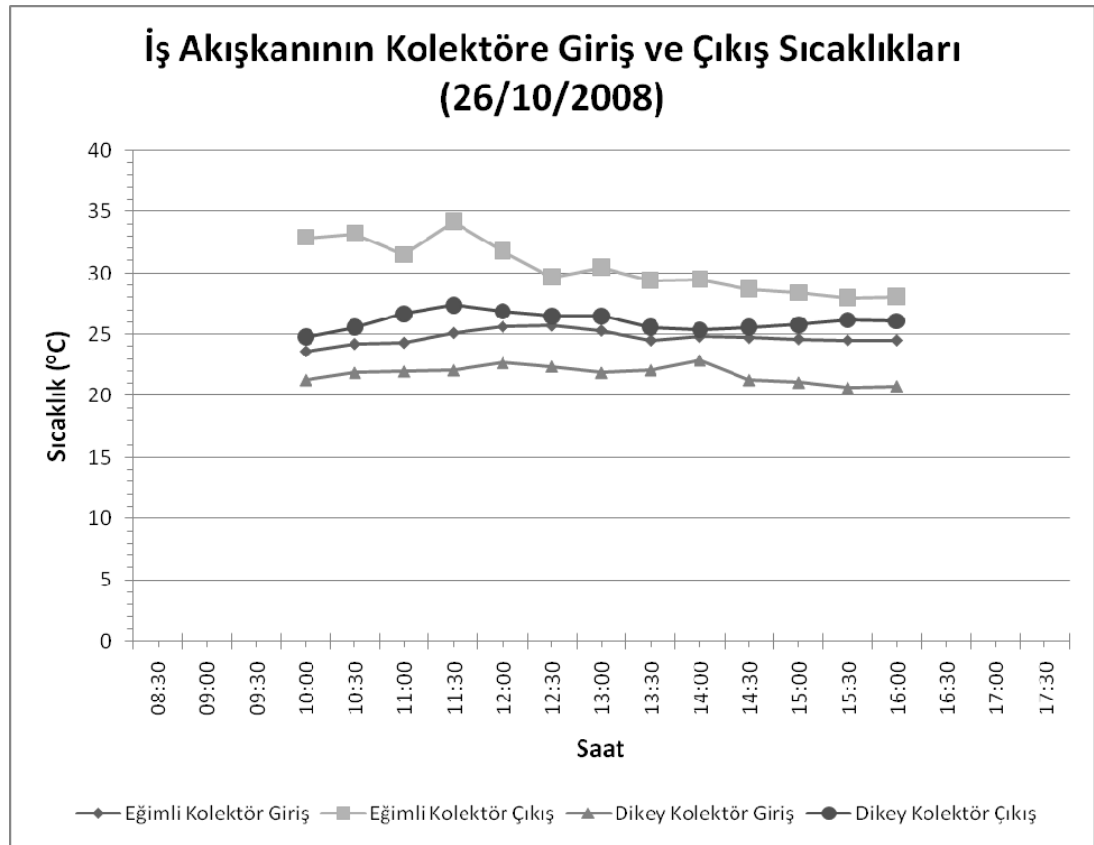
Vakum borulu kolektörlerin verim tespiti deneylerinde kolektörlerin fiziksel yapısı üzerinde bir çalışma gerçekleştirilmemiş olup, kolektörlerin verimlerine etkiyen işletme faktörleri üzerinde durulmuştur. Bu faktörler; vakum borulu kolektörlerin yatay zeminle yaptıkları açı ve vakum borulu kolektör sistemindeki ek ısıtıcıların devreye sokulup sokulmamalarıdır.

Bu hususta gerçekleştirilen deneylerde öncelikle ek ısıtıcı devreye sokulmamıştır. Böylece vakum borulu kolektörlerin gelen güneş ışıınım açısına göre nasıl bir tepki verdiği tespit edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 10.1. 26/10/2008 tarihindeki anlık ışıma akısı (W / m^2) değişimi

Havanın parçalı bulutlu olduğu 26/10/2008 tarihindeki güneş ışıyım akısının her 30 dakikadaki bir anlık değişimi Şekil 10.1’de gösterilmektedir. Buna göre anlık ışıyım akısının maksimum 549 W/m^2 olduğu ve anlık değişimler gösterdiği görülmüştür. Gün içerisindeki en yüksek anlık ışıyım akısı saat 10:00’da ölçülen 549 W/m^2 olurken, en düşük anlık ışıyım akısı $63,2 \text{ W/m}^2$ ile saat 15:30’da kaydedilmiş olup, deneylerin gerçekleştirildiği 6 saat boyunca ortalama anlık ışıyım akısının $208,36 \text{ W/m}^2$ olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 10.2. 26/10/2008 tarihinde iş akışkanının kolektörlere giriş ve çıkış sıcaklıkları

İş akışkanlarının vakum borulu kolektörlere giriş ve çıkış sıcaklıklarıyla ilgili grafik Şekil 10.2’de verilmektedir. İş akışkanının eğimli kolektöre en yüksek giriş sıcaklığı $25,7^{\circ}\text{C}$, en düşük giriş sıcaklığı $23,6^{\circ}\text{C}$; dikey kolektöre en yüksek giriş sıcaklığı $22,9^{\circ}\text{C}$, en düşük giriş sıcaklığı $20,7^{\circ}\text{C}$ ’dir. Benzer şekilde iş akışkanının eğimli kolektörden en yüksek çıkış sıcaklığı $34,2^{\circ}\text{C}$, en düşük çıkış sıcaklığı $28,0^{\circ}\text{C}$; dikey

kolektörden en yüksek çıkış sıcaklığı 27,4°C, en düşük çıkış sıcaklığı 24,8°C olarak ölçülmüştür. Ayrıca iş akışkanının gün içerisinde ortalama olarak eğimli kolektöre giriş sıcaklığı 24,723°C, dikey kolektöre giriş sıcaklığı 21,784°C; eğimli kolektörden çıkış sıcaklığı 30,453°C, dikey kolektörden çıkış sıcaklığı 26,084°C olarak hesaplanmıştır.

Buna göre antifrizli su olan iş akışkanının eğimli kolektöre giriş sıcaklıklarının dikey kolektöre giriş sıcaklıklarından, eğimli kolektörden çıkış sıcaklıklarının da dikey kolektörden çıkış sıcaklıklarından gün içerisinde daima yüksek değerlerde oldukları görülmektedir.

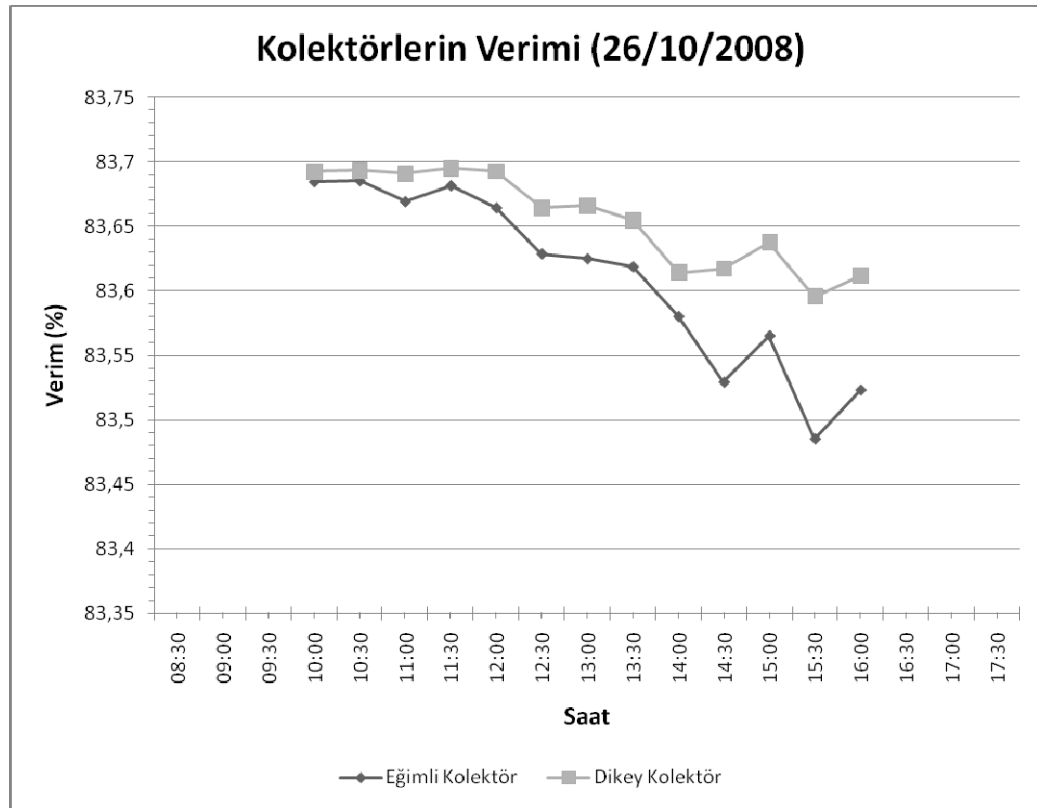
Bununla birlikte 26/10/2008 tarihindeki dış ortam sıcaklıkları, dış ortam nemi ve iş akışkanının kolektöre giriş sıcaklığı ile dış ortam sıcaklığı arasındaki farkı ifade eden ΔT değeri Çizelge 10.1’de gösterilmektedir.

Bu çerçevede yapılmış olan deneyden elde edilmiş olan iş akışkanının kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçüm değerleriyle dış ortam sıcaklığının ölçüm değerleri kullanılarak hesaplanan kolektör verim değerleri grafiği Şekil 10.3’de verilmektedir.

Şekil 10.3’de verilen kolektör verim grafiği incelenildiğinde eğimli konumlandırılan kolektörün veriminin en yüksek %83,69, en düşük %83,48 olarak hesaplandığı; dikey konumlandırılan kolektörün veriminin ise en yüksek %83,69, en düşük %83,59 olarak hesaplandığı görülmektedir. 26/10/2008 tarihinde gün içerisindeki ortalama kolektör verimlerinin eğimli kolektör için %83,61 ve dikey kolektör için ise %83,66 olduğu görülmektedir.

Çizelge 10.1. 26/10/2008 günü dış ortam sıcaklığı, dış ortam nemi ve iş akışkanının kolektöre giriş sıcaklığı ile dış ortam sıcaklığı arasındaki fark

26.10.2008				
Saat	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Nemi (%)	ΔT - Eğimli Kolektör	ΔT - Dikey Kolektör
10:00	19	41	4,6	2,3
10:30	20	32	4,2	1,9
11:00	21	23	3,3	1
11:30	21	24	4,1	1,1
12:00	22	27	3,6	0,7
12:30	19	33	6,7	3,4
13:00	19	33	6,3	2,9
13:30	19	33	5,5	3,1
14:00	18	34	6,8	4,9
14:30	18	35	6,7	3,3
15:00	18	36	6,6	3,1
15:30	17	36	7,5	3,7
16:00	17	36	7,5	3,8



Şekil 10.3. 26/10/2008 tarihinde kolektörlerin verimleri

Çizelge 10.2. Ekim ayında eğimli kolektör deney verileri

EĞİMLİ KOLEKTÖR										
	$T_{IA, g_{MAX}}$	$T_{IA, g_{MIN}}$	$T_{IA, g_{ORT}}$	$T_{IA, g_{MAX}}$	$T_{IA, g_{MIN}}$	$T_{IA, g_{ORT}}$	$Verim_{MAX}$	$Verim_{MIN}$	$Verim_{ORT}$	
24.10.2008	25,50	24,20	24,96	32,10	29,60	30,56	83,63	83,54	83,60	
25.10.2008	22,50	20,50	21,53	28,00	22,70	26,23	83,70	83,42	83,64	
26.10.2008	25,70	23,60	24,72	34,20	28,00	30,45	83,68	83,49	83,61	
27.10.2008	24,10	22,40	23,26	32,10	27,80	29,79	83,69	83,37	83,61	
29.10.2008	23,90	20,30	22,35	32,40	26,60	28,67	83,68	83,56	83,65	
30.10.2008	24,20	20,60	22,47	32,90	27,20	29,20	83,69	83,22	83,57	
31.10.2008	22,60	20,50	21,81	30,80	25,50	27,59	83,69	83,53	83,65	

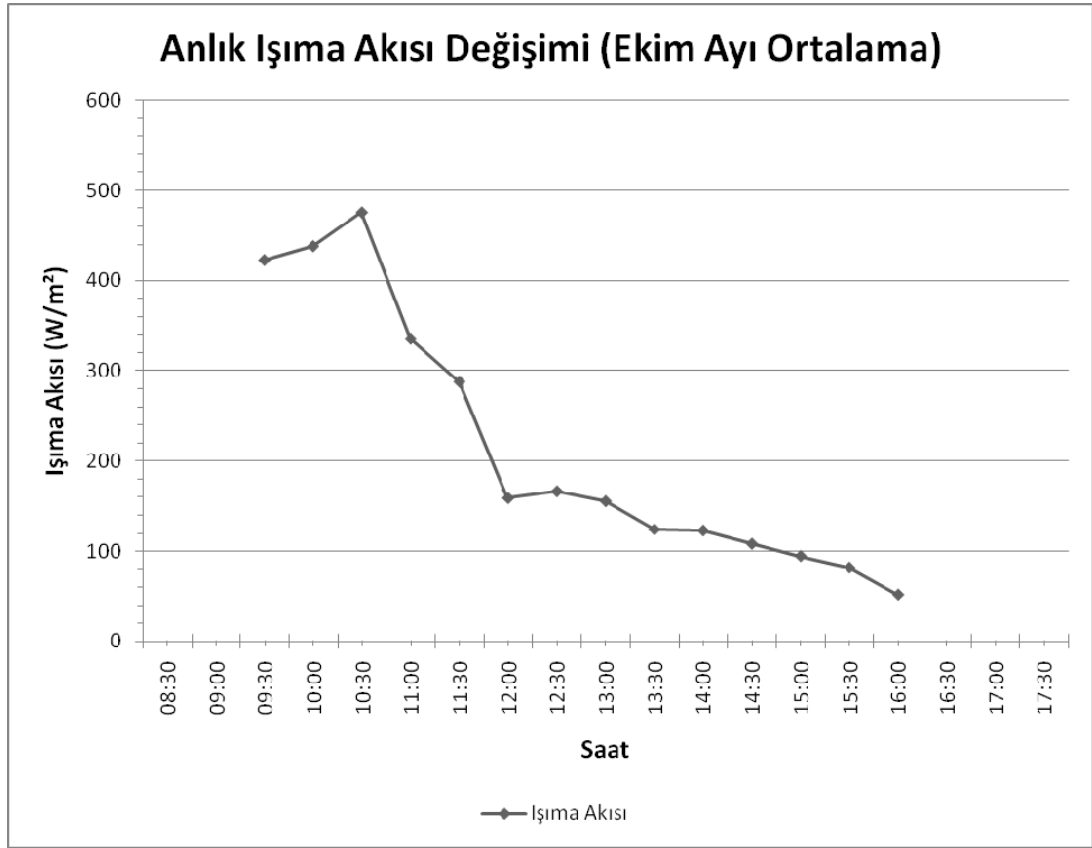
Çizelge 10.3. Ekim ayında dikey kolektör deney verileri

DİKEY KOLEKTÖR									
	$T_{IA, \xi_{MAX}}$	$T_{IA, \xi_{MIN}}$	$T_{IA, \xi_{ORT}}$	$T_{IA, \xi_{MAX}}$	$T_{IA, \xi_{MIN}}$	$T_{IA, \xi_{ORT}}$	$Verim_{MAX}$	$Verim_{MIN}$	$Verim_{ORT}$
24.10.2008	21,60	20,20	20,88	27,80	24,90	26,14	83,68	83,63	83,66
25.10.2008	19,40	18,30	18,98	25,00	19,10	22,76	83,70	83,57	83,68
26.10.2008	22,90	20,70	21,78	27,40	24,80	26,08	83,69	83,59	83,66
27.10.2008	20,70	19,60	20,09	25,10	22,90	24,27	83,70	83,54	83,66
29.10.2008	21,40	18,40	19,93	25,60	20,80	24,23	83,69	83,63	83,67
30.10.2008	21,90	18,20	20,45	26,60	22,40	24,47	83,70	83,37	83,57
31.10.2008	20,30	18,10	19,39	24,90	23,00	23,89	83,70	83,62	83,68

Şekil 10.3'den de görüleceği üzere dikey konumlandırılmış olan kolektörün verimi ile eğimli konumlandırılmış olan kolektörün verimi arasında çok büyük bir fark olmamakla birlikte dikey konumlandırılmış olan kolektörün veriminin eğimli konumlandırılmış olan kolektörün veriminden daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Eğimli konumlandırılmış olan kolektörün veriminin dikey konumlandırılmış olan kolektörün veriminden düşük olmasının nedeni ise kolektör verim hesaplama formülünde de yer alan iş akışkanının kolektöre giriş sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki farkın eğimli konumlandırılmış olan kolektörde daha yüksek olmasıdır.

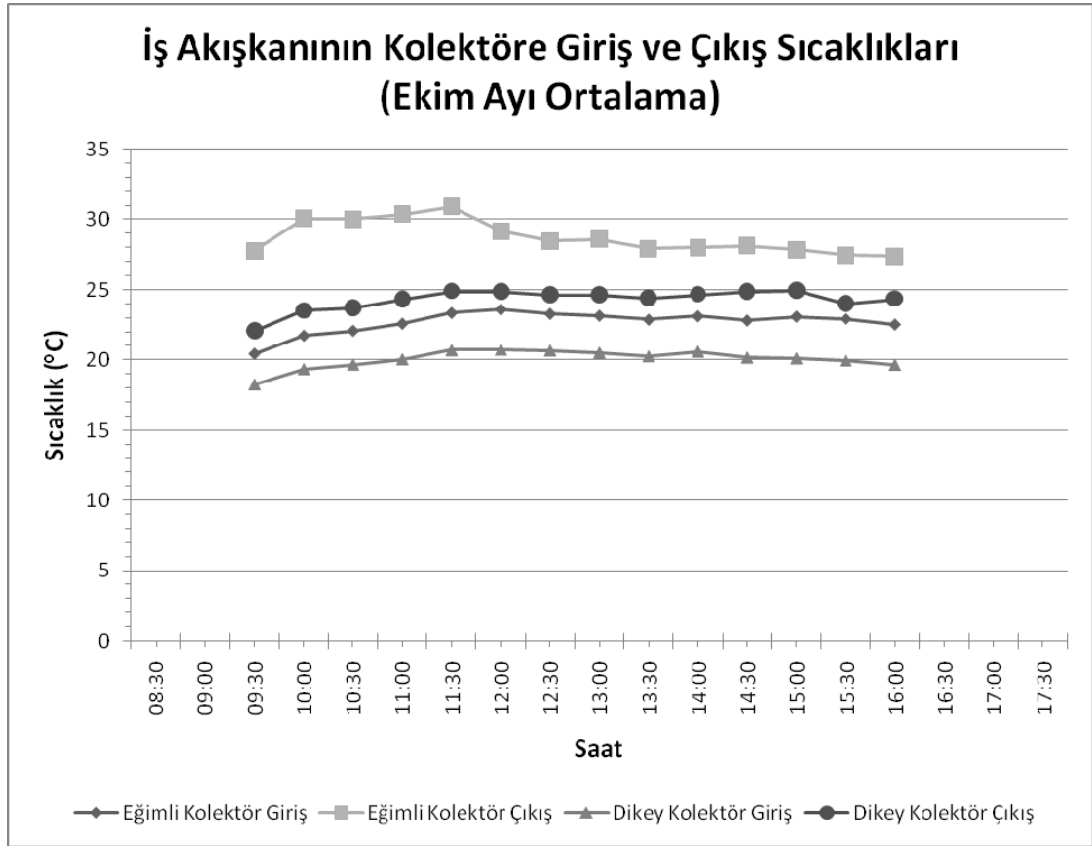
Vakum borulu kolektörlerin verimlerine etkiyen işletme faktörlerinden sadece yatay zeminle yaptıkları açı bakımından incelenmesi hususunda Ekim ayında gerçekleştirilmiş olan deneylerden elde edilmiş olan gün içerisindeki iş akışkanının kolektöre en yüksek giriş sıcaklığı, en düşük giriş sıcaklığı, ortalama giriş sıcaklığı; iş akışkanının kolektörden en yüksek çıkış sıcaklığı, en düşük çıkış sıcaklığı, ortalama çıkış sıcaklığı ile bu veriler doğrultusunda hesaplanan kolektörlerin en yüksek verim, en düşük verim ve ortalama verim değerleri eğimli kolektör için Çizelge 10.2'de, dikey kolektör için Çizelge 10.3'de gösterilmektedir.

Ekim ayında gün içerisinde ortalama olarak anlık güneş ışıınım akısının değişimi Şekil 10.4'te gösterilmektedir. Bu çerçevede Ekim ayı ortalama değerlerine göre gün içerisindeki en yüksek anlık ışıınım akısının $476,29 \text{ W/m}^2$, en düşük anlık ışıınım akısının $51,68 \text{ W/m}^2$ ve ortalama anlık ışıınım akısının $216,17 \text{ W/m}^2$ olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Ekim ayı içerisinde yapılmış olan dış ortam sıcaklıkları ölçümlerine göre deney yapılan saat aralıklarındaki dış ortam sıcaklık değerleri minimum $16,33^\circ\text{C}$, maksimum $20,17^\circ\text{C}$ ve ortalama olarak da 18°C olarak belirlenmiştir.



Şekil 10.4. Ekim ayında anlık ışıma akısı (W / m^2) değişimi

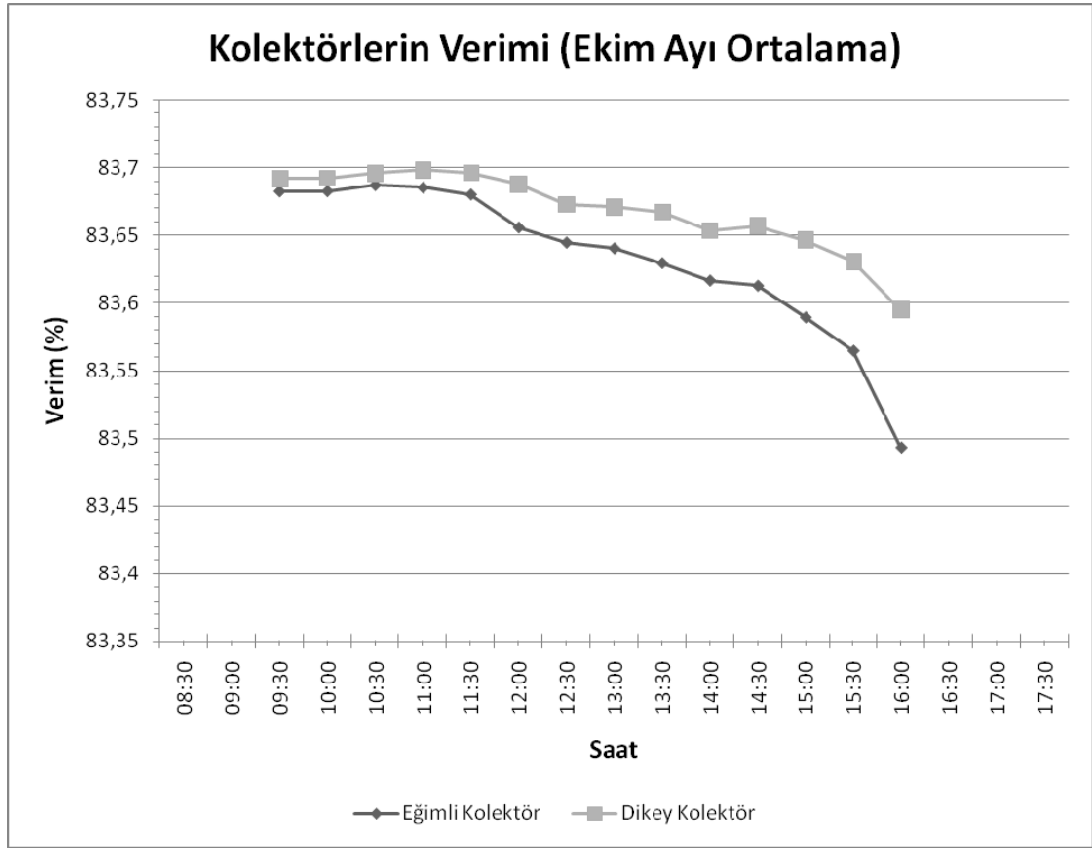
Şekil 10.5’de verilen ortalama olarak Ekim ayında iş akışkanının kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları grafiği incelendiğinde; iş akışkanının eğimli kolektöre en yüksek giriş sıcaklığının $23,6^{\circ}\text{C}$, en düşük giriş sıcaklığının $20,47^{\circ}\text{C}$, ortalama giriş sıcaklığının $22,7^{\circ}\text{C}$; dikey kolektöre en yüksek giriş sıcaklığının $20,75^{\circ}\text{C}$, en düşük giriş sıcaklığının $18,23^{\circ}\text{C}$, ortalama giriş sıcaklığının $20,06^{\circ}\text{C}$; iş akışkanının eğimli kolektörden en yüksek çıkış sıcaklığının $30,93^{\circ}\text{C}$, en düşük çıkış sıcaklığının $27,4^{\circ}\text{C}$, ortalama çıkış sıcaklığının $28,75^{\circ}\text{C}$; dikey kolektörden en yüksek çıkış sıcaklığının $24,97^{\circ}\text{C}$, en düşük çıkış sıcaklığının $22,07^{\circ}\text{C}$, ortalama çıkış sıcaklığının $24,29^{\circ}\text{C}$ olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 10.5. Ekim ayında iş akışkanının kolektörlere giriş ve çıkış sıcaklıkları

Ekim ayında gerçekleştirilen deneylerin ortalama sonuçlarına göre hesaplanmış olan kolektör verim grafiği Şekil 10.6’da verilmektedir. Bu grafiğe göre eğimli kolektör için Ekim ayında gün içerisindeki verim %83,49 ile %83,68 arasında değişmekte olup ortalama %83,63 olarak tespit edilirken; dikey kolektör için Ekim ayında gün içerisindeki verimin %83,59 ile %83,69 arasında değiştiği ve ortalama verimin %83,67 olduğu tespit edilmiştir.

İş akışkanının kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları grafiğinden, kolektörlere giren iş akışkanı sıcaklıklarının Ekim ayı içerisinde eğimli kolektörde dikey kolektöre oranla ölçüm yapılan her saatte daha yüksek olduğu; bu nedenden ötürü de kolektör verim grafiğinden görüldüğü üzere dikey kolektörün veriminin eğimli kolektörün veriminden sürekli olarak daha yüksek çıktığı görülmektedir.



Şekil 10.6. Ekim ayında kolektörlerin ortalama verimleri

Gerçekleştirilmiş olan vakum borulu kolektörlerin verim tespiti deneylerinden birisi de kolektör verimine etkiyen işletme faktörlerinden olan ek ısıtıcının devreye sokulmasıdır. Bu amaçla eğimli konumdaki kolektör sisteminin sahip olduğu elektrikli ek ısıtıcı devreye sokulmuştur.

Bu hususta gerçekleştirilen deneylerde elektrikli ek ısıtıcıyla eğimli konumdaki kolektör sisteminin sahip olduğu ısı depolama sistemindeki suyun sıcaklığı değişik derecelerde yükseltilerek, kolektör sisteminin tepkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Kasım ayında gerçekleştirilen deneylerde 01/11/2008 ve 02/11/2008 tarihlerinde ısı depolama sistemindeki suyun sıcaklığı 45°C'ye, 04/11/2008 tarihinde ısı depolama sistemindeki suyun sıcaklığı 55°C'ye, 05/11/2008 tarihinde ısı depolama sistemindeki suyun sıcaklığı 50°C'ye yükseltilmiştir.

01/11/2008 ve 02/11/2008 tarihlerindeki anlık güneş ısıma akısı ve dış ortam sıcaklığı değerleri Çizelge 10.4’da verilmektedir.

Çizelge 10.4. 01-02/11/2008 tarihlerinde ısıma akısı ve dış ortam sıcaklık değerleri

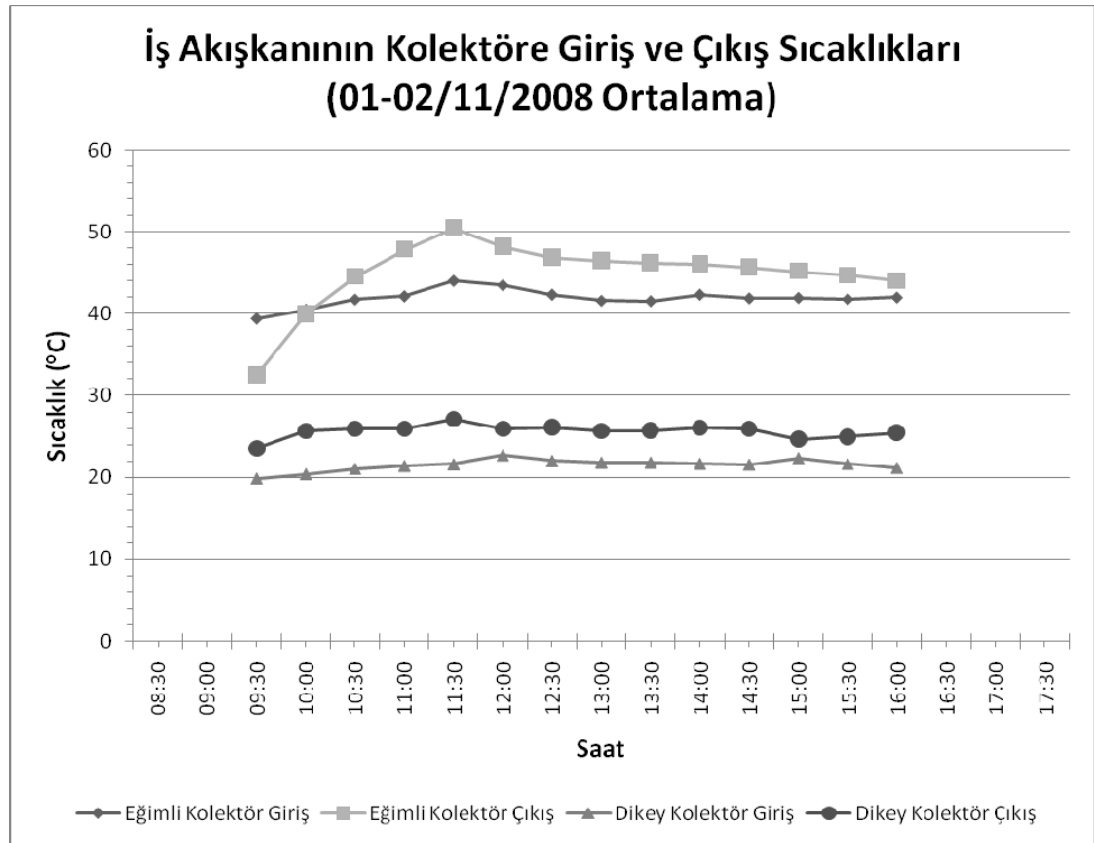
Saat	01.11.2008		02.11.2008	
	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Isıma Akısı (W/m ²)	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Isıma Akısı (W/m ²)
09:30	16	417	17	539
10:00	17	413	18	569
10:30	19	444	19	584
11:00	20	516	19	539
11:30	21	506	20	501
12:00	20	194	19	202
12:30	19	164	19	125
13:00	19	129	18	122
13:30	19	103	18	110
14:00	18	94	17	91
14:30	18	82	17	86
15:00	18	65	16	91
15:30	17	50	16	62
16:00	17	31	16	58

Bu değerler doğrultusunda her iki gün için yapılan deneylerden ortalama olarak elde edilmiş olan iş akışkanı kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları ile kolektör verimleri Şekil 10.7 ve Şekil 10.8’de gösterilmektedir.

Şekil 10.7’den eğimli kolektör için iş akışkanının kolektör giriş sıcaklığının 09:30 ve 10:00 saatlerinde alınan ölçümlerde kolektör çıkış sıcaklığından daha yüksek olduğu; yani yararlı enerji kazanımının olmadığı görülmektedir. Bunun nedeni ise; kolektör sisteminde ek ısıtıcının devreye sokulması ve dış ortam sıcaklığının düşük olmasıdır.

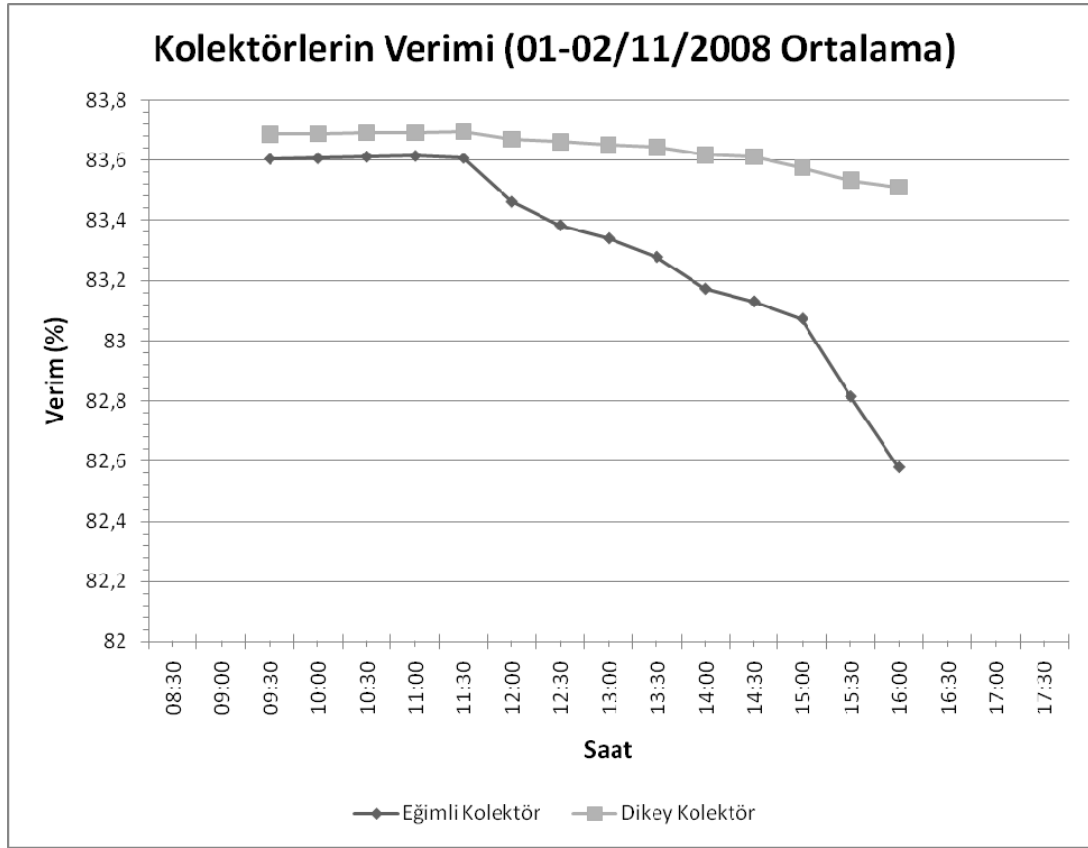
Yeterli güneş ışınımının kolektör üzerine gelmesi nedeniyle eğimli kolektör için iş akışkanının kolektörden çıkış sıcaklığı saat 10:30’dan sonra iş akışkanının kolektöre giriş sıcaklığını geçmiş ve dolayısıyla yararlı bir enerji kazanımı olmuştur. Dikey kolektörde ise ölçüm yapılan saat aralıklarında iş akışkanının kolektöre giriş sıcaklığı

iş akışkanının kolektörden çıkış sıcaklığından sürekli olarak yüksek olmuş, yani eğimli kolektöre kıyasla daha az olmakla birlikte düzenli olarak yararlı enerji kazanımı gerçekleşmiştir.



Şekil 10.7. 01-02/11/2008 tarihlerinde iş akışkanının kolektörlere giriş ve çıkış sıcaklıkları

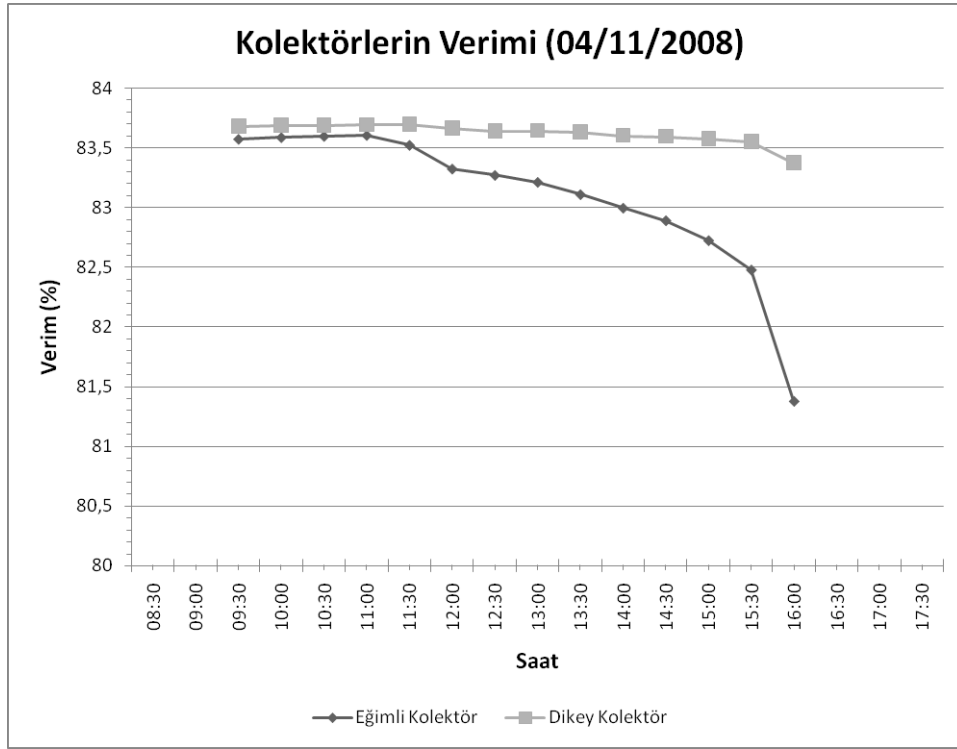
Şekil 10.8’de verilen kolektör verim grafiği incelendiğinde eğimli konumdaki kolektörün veriminin %83,62 ile %82,58 arasında değiştiği ve ortalama %83,31 olduğu, dikey konumdaki kolektörün veriminin ise %83,69 ile %83,51 arasında değiştiği ve ortalama %83,64 olduğu görülmektedir. Kolektör verimleri arasındaki bu fark ise eğimli kolektör sistemindeki ek ısıtıcının devrede olmasından ötürü, bu sistemdeki iş akışkanı kolektör giriş sıcaklığının normalden çok daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.



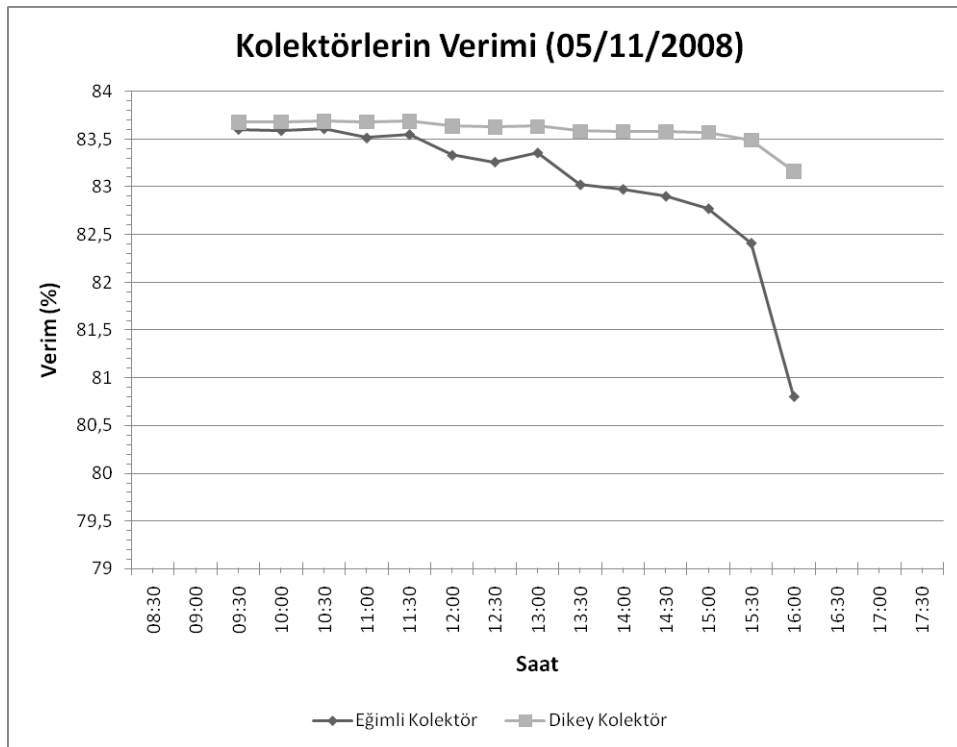
Şekil 10.8. 01-02/11/2008 tarihlerinde kolektörlerin ortalama verimleri

Eğimli konumlandırılmış kolektör sistemindeki ek ısıtıcının devrede olduğu; fakat ısı deposundaki su sıcaklıklarının 04/11/2008 tarihinde 55°C 'ye ve 05/11/2008 tarihinde 50°C 'ye çıkartıldığı deney sonuçlarının da 01-02/11/2008 tarihindeki deney sonuçları ile paralellik gösterdiği belirlenmiştir. Buna göre her iki gün için de, eğimli kolektör sistemindeki ek ısıtıcı devrede olduğu için, gün içerisinde ısıma akısı şiddetinin yeterli olmadığı belirli saat aralıklarında yararlı enerji kazanımı olmamakta; ancak dikey kolektör sisteminden düzenli bir yararlı enerji kazanımı olduğu belirlenmiştir.

Şekil 10.9 ve Şekil 10.10'da ise kolektörlerin verimlerinin benzerlik arz ettiği görülmektedir.

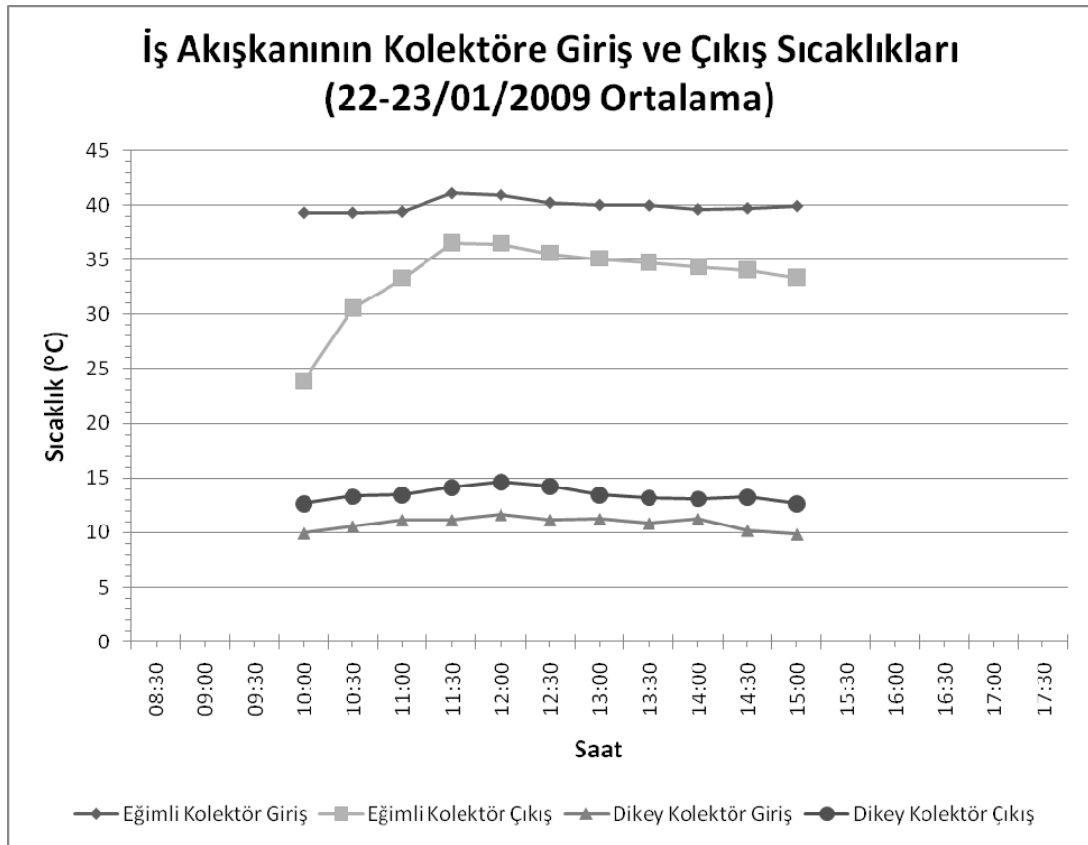


Şekil 10.9. 04/11/2008 tarihinde kolektörlerin verimleri



Şekil 10.10. 05/11/2008 tarihinde kolektörlerin verimleri

22/01/2009 ve 23/01/2009 tarihlerinde yapılan deneylerde eğimli konumdaki kolektör sistemindeki ek ısıtıcı devreye sokularak depolama suyunun başlangıç sıcaklığı 40°C'ye yükseltilmiştir. Bu tarihlere ait ortalama olarak elde edilmiş olan iş akışkanlarının kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları ile kolektör verimleri Şekil 10.11 ve Şekil 10.12'de verilmektedir.

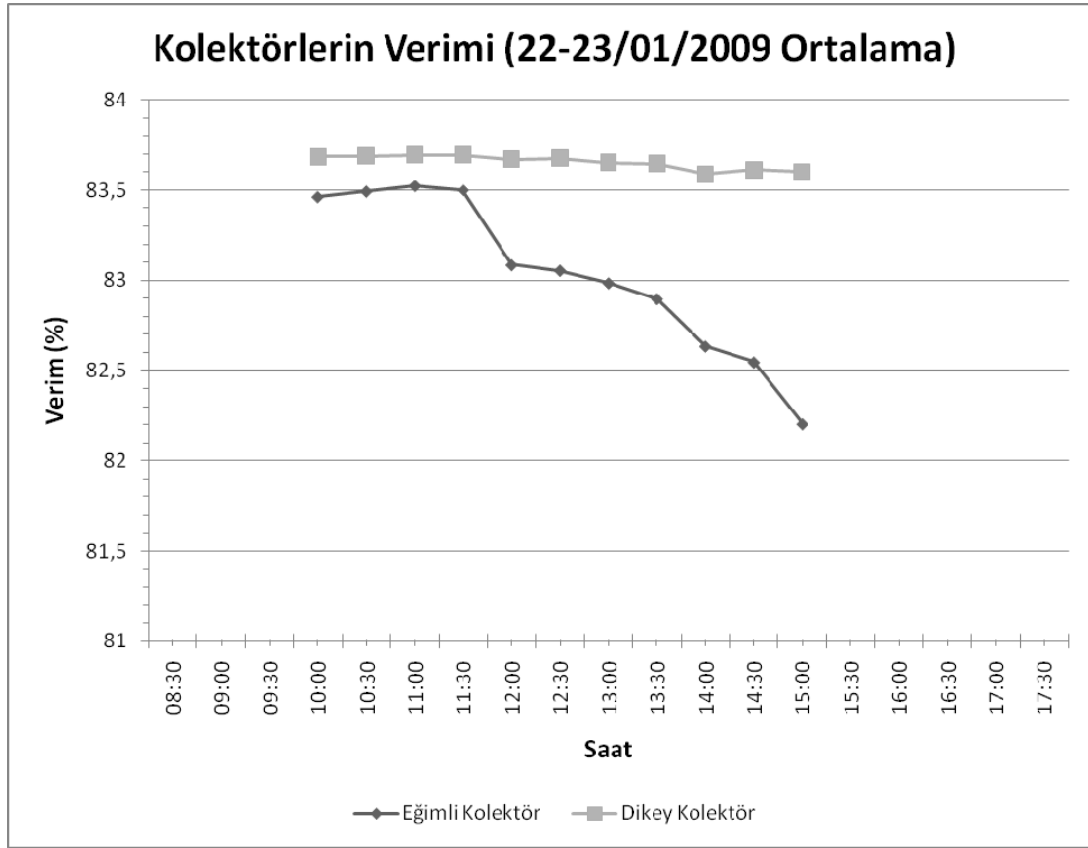


Şekil 10.11. 22/01/2009 - 23/01/2009 tarihlerinde iş akışkanının kolektörlere giriş ve çıkış sıcaklıkları

Şekil 10.11'den de görüleceği üzere ek ısıtıcı yardımıyla depolama suyu sıcaklığı 40°C'ye yükseltilmiş olan eğimli konumdaki kolektör sisteminde iş akışkanının kolektörden çıkış sıcaklığı, veri elde edilen hiç bir anda iş akışkanının kolektöre giriş sıcaklığından yüksek olmamaktadır.

Şekil 10.12'de verilen kolektör verim grafiğinden ise eğimli konumdaki kolektörün veriminin %83,52 ile %82,21 arasında değiştiği ve ortalama %83,03 olduğu, dikey

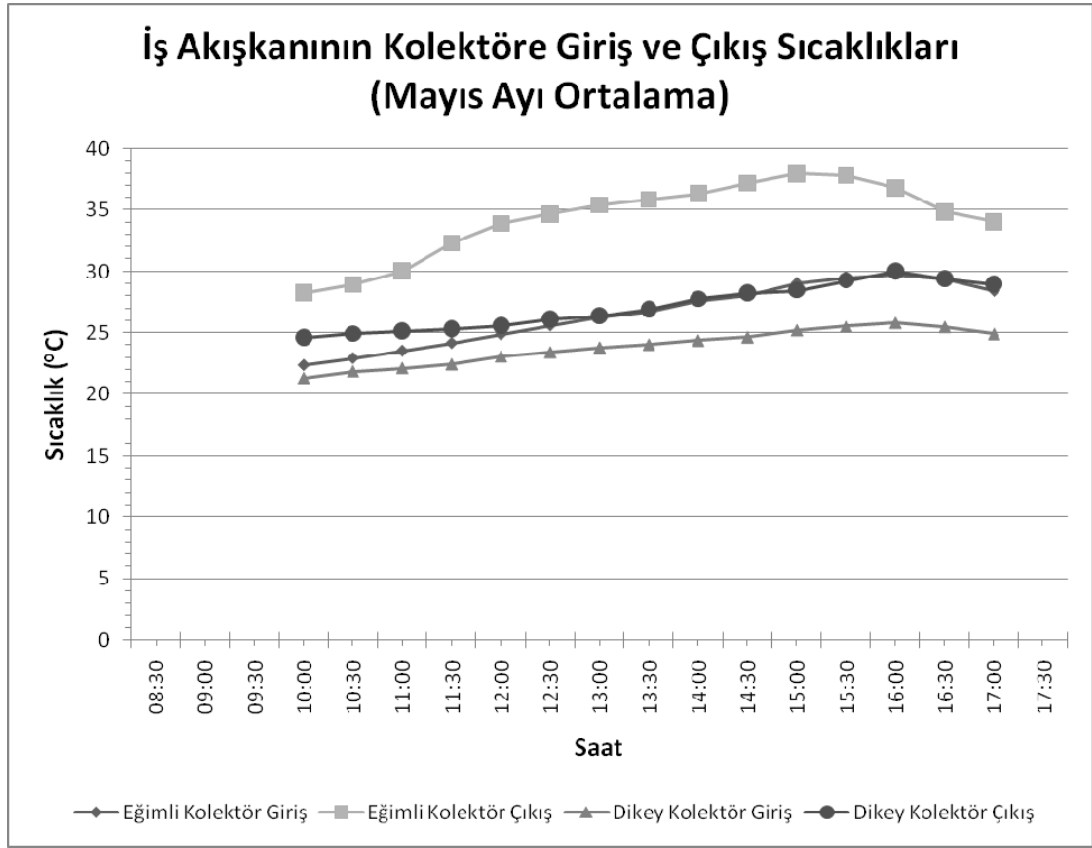
konumdaki kolektörün veriminin ise %83,69 ile %83,59 arasında değiştiği ve ortalama %83,66 olduğu görülmektedir.



Şekil 10.12. 22-23/01/2009 tarihlerinde kolektörlerin ortalama verimleri

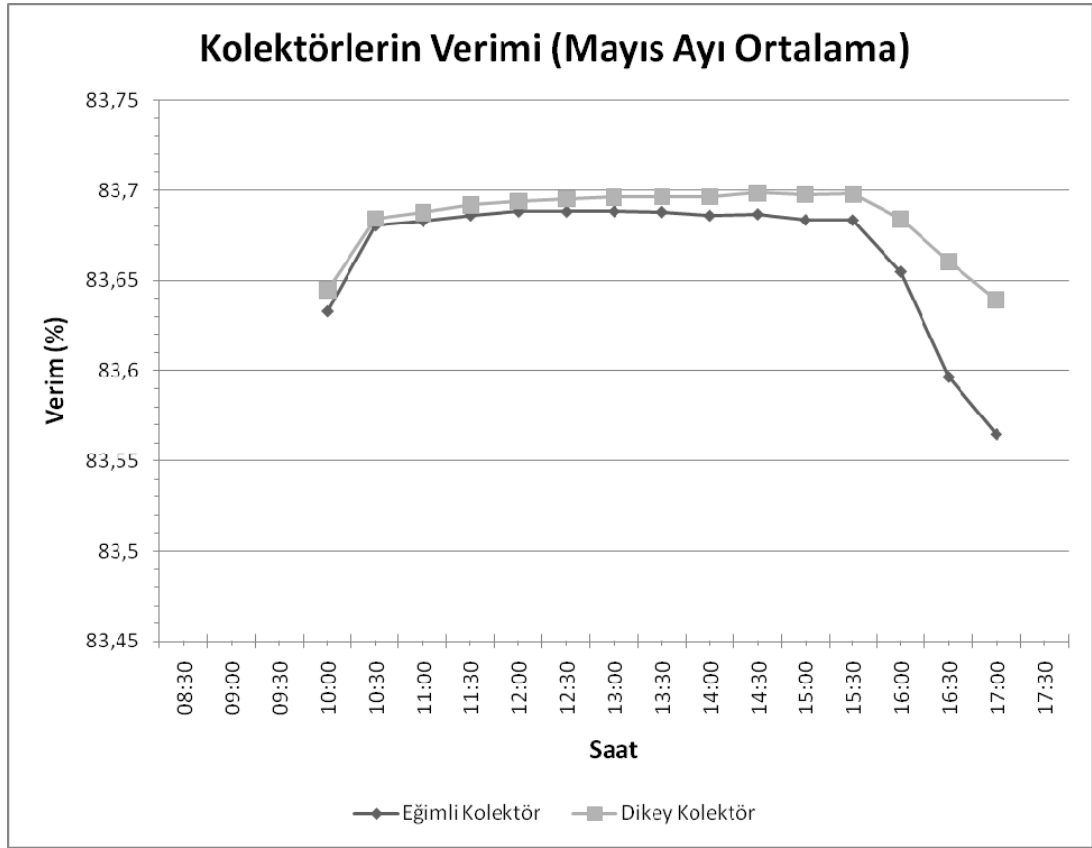
2009 yılı Mayıs ayı için 15/05/2009, 16/05/2009 ve 17/05/2009 tarihlerinde gerçekleştirilen deneylerde ek ısıtıcı kullanılmamıştır. Bu tarihlerdeki deney sonuçlarının ortalamalarına göre elde edilen iş akışkanlarının kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları ile kolektör verimleri grafikleri Şekil 10.13 ve Şekil 10.14’de gösterilmektedir.

Şekil 10.13’den ortalama olarak Mayıs ayında iş akışkanının eğimli kolektörden çıkış sıcaklığının maksimum 37,97°C, minimum 28,27°C olduğu görülürken, iş akışkanının dikey kolektörden çıkış sıcaklığının maksimum 30,03°C, minimum 24,6°C olduğu görülmektedir.



Şekil 10.13. Mayıs ayında iş akışkanının kolektörlere giriş ve çıkış sıcaklıkları

Şekil 10.14’de verilen kolektör verim grafiği incelendiğinde eğimli konumdaki kolektörün veriminin %83,68 ile %83,56 arasında değişmekte olup ortalama %83,67 olduğu, dikey konumdaki kolektörün veriminin ise %83,69 ile %83,64 arasında değişmekte olup ortalama %83,68 olduğu görülmektedir.

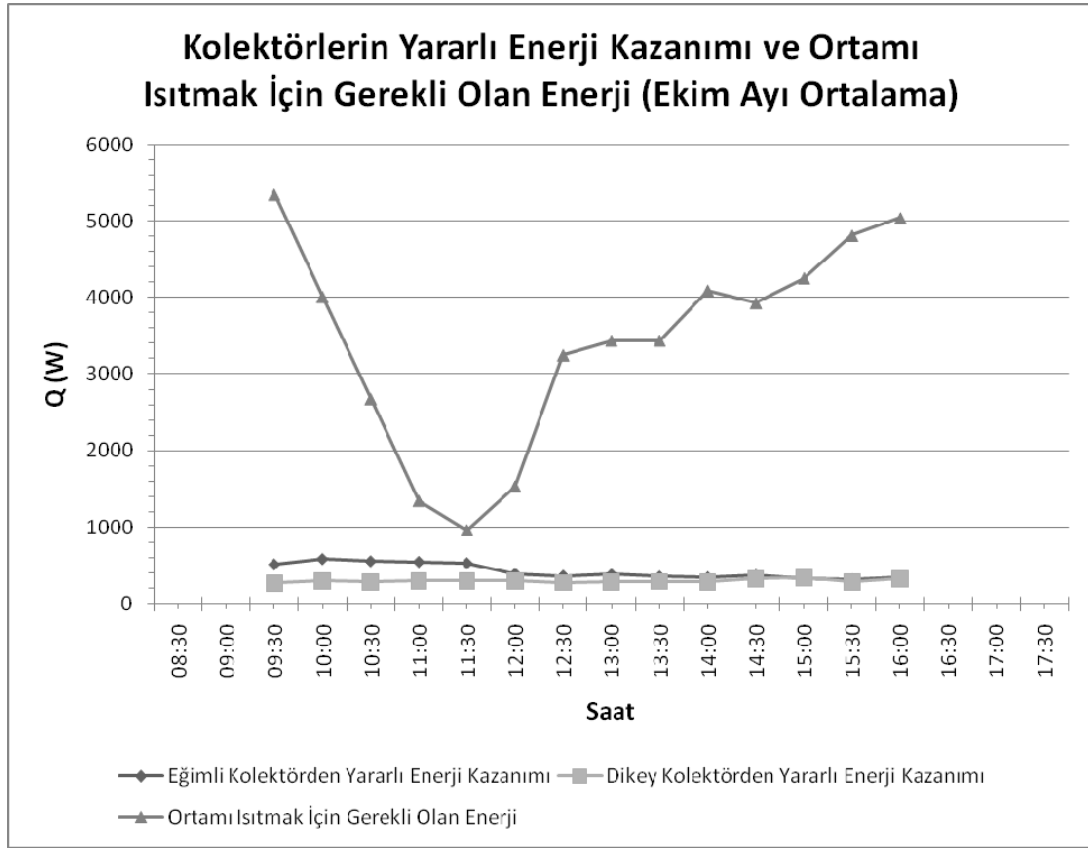


Şekil 10.14. Mayıs ayında kolektörlerin ortalama verimleri

10.2. Ek Isıtıcı İhtiyacının Belirlenmesi Deneyleri

Gerçekleştirilmiş olan kapalı hacmin vakum borulu kolektörler ve ek ısıtıcı ile ısıtılması deneyindeki kapalı hacmi istenilen sıcaklık olan 21°C 'de tutmak için gerekli olan enerji miktarları gün içerisinde değişkenlik göstermekte olup bu bölümde verilmekte olan grafiklerde, kolektörlerden yararlı enerji kazanımı ile karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Bu çerçevede grafiklerde gösterilmekte olan sistemin ısıtma yükünden güneş enerjisi sisteminden sağlanan yararlı enerjinin çıkartılmasıyla, sistemin ek ısı ihtiyacı belirlenebilir.

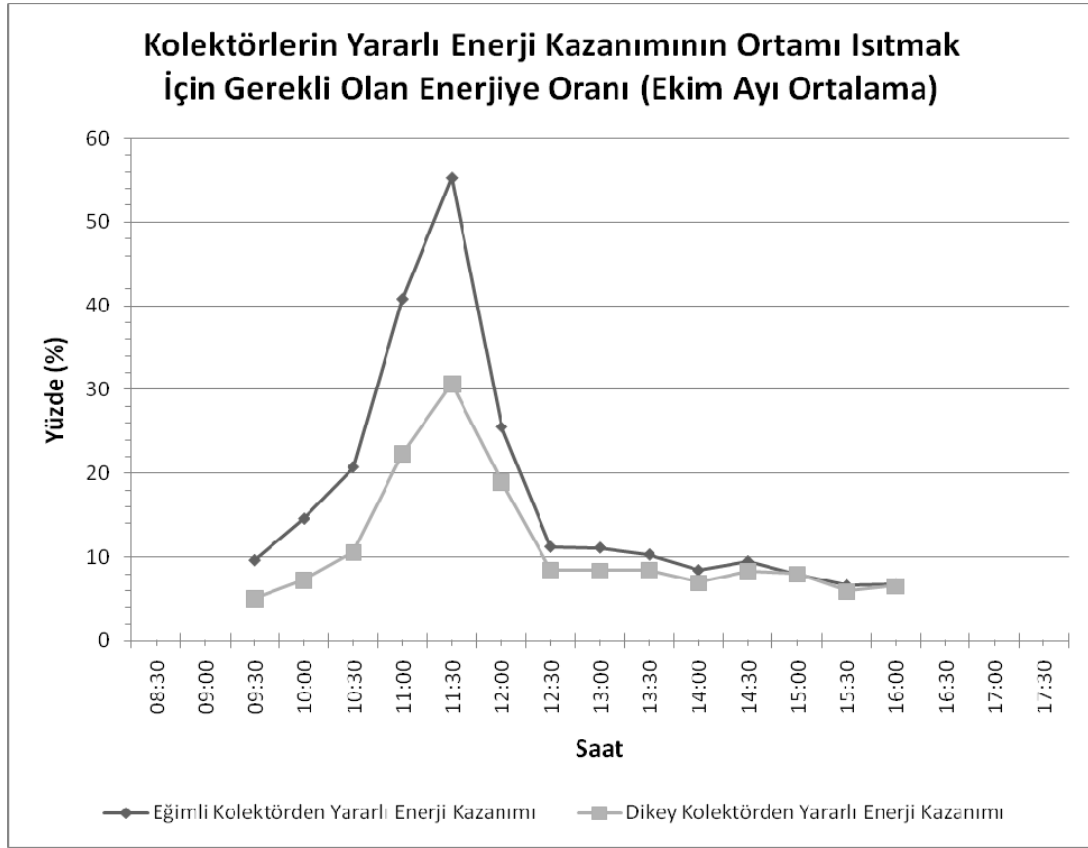
Şekil 10.15'de Ekim ayında vakum borulu kolektör sistemlerinden ortalama olarak kazanılan enerji miktarı ile gün içerisinde kapalı ortamdan olan ısı kaybı miktarı gösterilmektedir.



Şekil 10.15. Ekim ayında kolektörlerden ortalama yararlı enerji kazanımı

Buna göre Ekim ayı içerisinde eğimli kolektör sisteminden gün içerisinde en yüksek 582,71 W, en düşük 316,83 W ve ortalama 422,19 W enerji sağlanırken; dikey kolektör sisteminden en yüksek 337,96 W, en düşük 267,51 W ve ortalama 295,05 W enerji sağlanmıştır. Grafik incelendiğinde eğimli kolektör sisteminden sağlanan enerjinin saat 11:30' a kadar 500~600 W seviyelerinde olduğu ve bu saatten sonra 300~350 W seviyelerine düştüğü görülürken; dikey kolektör sisteminden sağlanan enerjinin gün içerisinde büyük değişiklikler arz etmediği ve 250~350 W seviyelerinde olduğu görülmektedir.

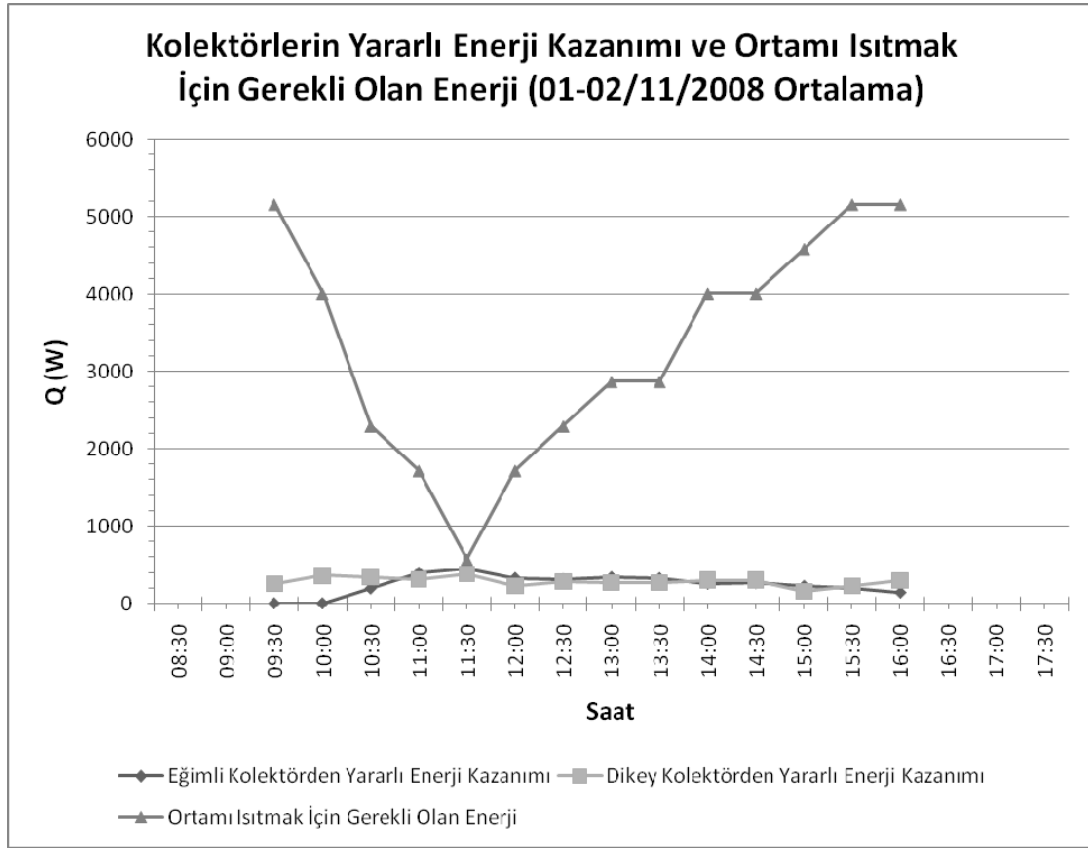
Şekil 10.16'da ise Ekim ayında vakum borulu kolektör sistemlerinden sağlanan enerjinin, kapalı hacmin ısıtma yüküne oranı gösterilmektedir. Buna göre eğimli kolektör sisteminden sağlanan enerji gün içerisinde kapalı alanın ısıtılması için gerekli olan enerjinin %55,31'i ile %6,58'i arasındaki bir miktarı karşılarken bu oran ortalama olarak %16,99'a tekabül etmektedir.



Şekil 10.16. Ekim ayında kolektörlerden ortalama sağlanan enerjinin ısıtma yüküne oranı

Benzer olarak dikey kolektör sisteminden sağlanan enerjinin gün içerisinde kapalı alanın ısıtılması için gerekli olan enerjinin %30,70'i ile %5,01'i arasındaki bir miktarı karşıladığı ve bu oranın da ortalama olarak %11,12'ye denk geldiği görülmektedir.

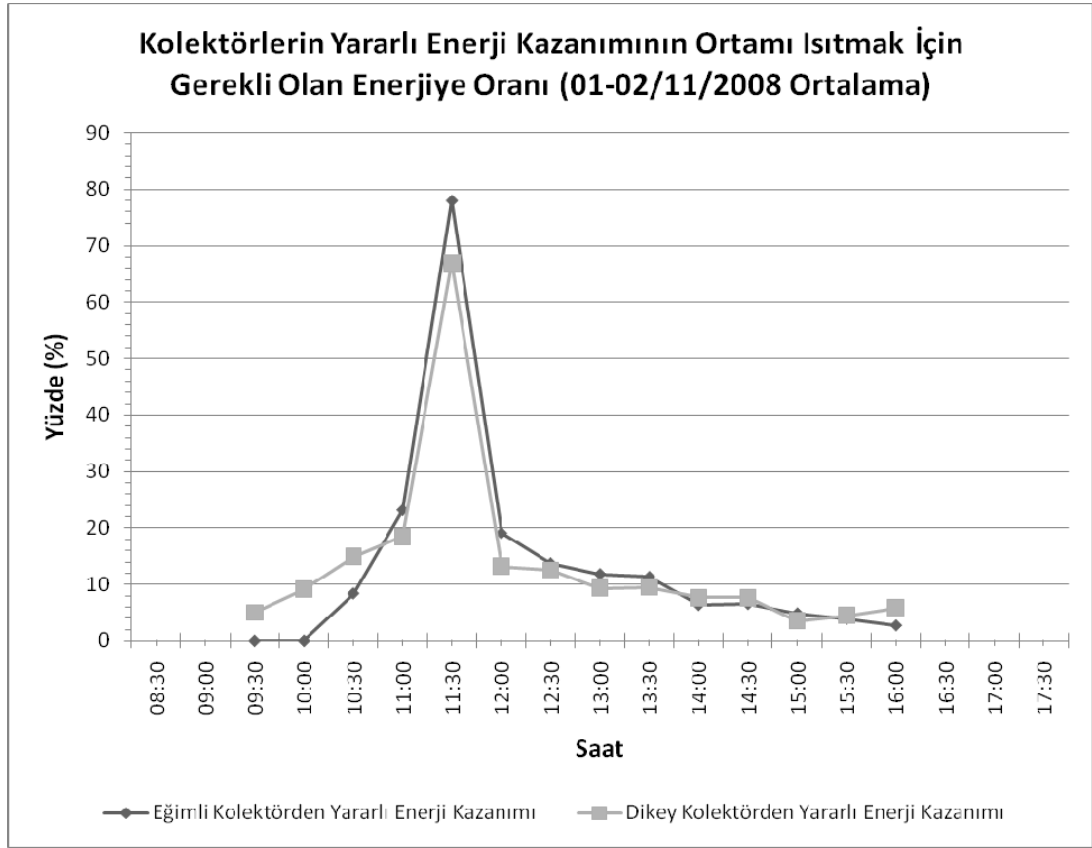
Ekim ayında gerçekleştirilen deneylerin dışında Kasım ayında da kolektör sistemlerinin işletme faktörleri değiştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla eğimli konumdaki kolektör sistemindeki depolama suyu sıcaklığının başlangıç şartı olarak 45°C'ye yükseltildiği deneyler 01/11/2008 ve 02/11/2008 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde kolektörlerden elde edilen ortalama yararlı enerji kazanımı grafiği Şekil 10.17'de verilmektedir.



Şekil 10.17. 01-02/11/2008 tarihlerinde kolektörlerden ortalama yararlı enerji kazanımı

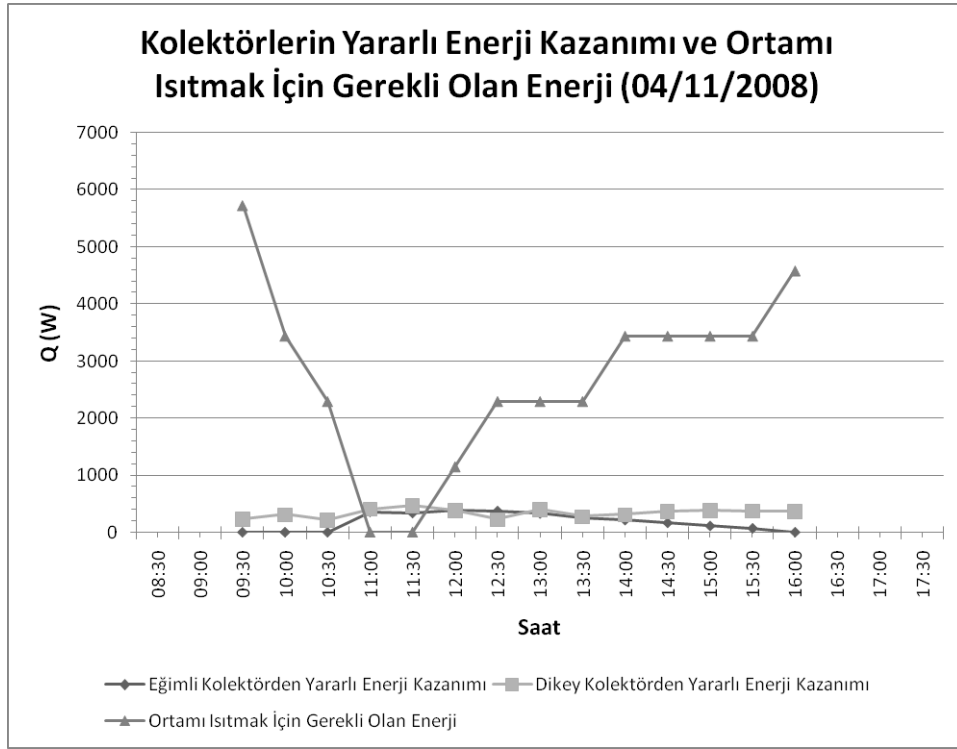
Bu grafiğe göre eğimli konumlandırılmış kolektörün yer aldığı sistemdeki ek ısıtıcının devrede olmasından ötürü ölçümlerin yapıldığı 09:30 ve 10:00 saatlerinde kolektör sisteminden yararlı enerji kazanımı olmadığı görülmektedir. Ayrıca eğimli kolektör sisteminden kazanılan yararlı enerjinin maksimum 446,63 W, gün içerisinde ortalama olarak da 244,25 W olduğu; dikey kolektör sisteminden kazanılan enerjinin maksimum 383,82 W, gün içerisinde ortalama olarak da 287,62 W olduğu ve gün içerisinde kolektör sisteminden düzenli olarak bir enerji kazanımının gerçekleştiği görülmektedir.

Buna karşın Şekil 10.18’de gösterildiği üzere eğimli konumlandırılmış kolektör sistemi kapalı alanın ısıtma yükünü gün içerisinde maksimum %77,97, ortalama olarak da %15,81 oranında karşılarken, dikey konumlandırılmış kolektör sisteminde maksimum aynı oran %13,44 olarak hesaplanmıştır.

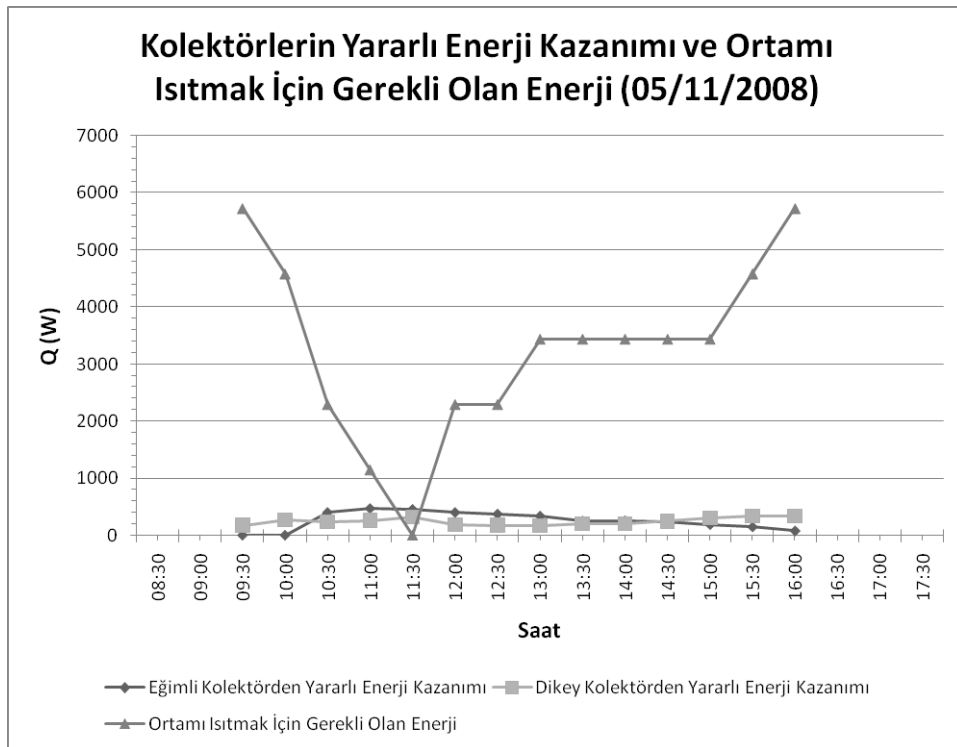


Şekil 10.18. 01-02/11/2008 tarihlerinde kolektörlerden ortalama sağlanan enerjinin ısıtma yüküne oranı

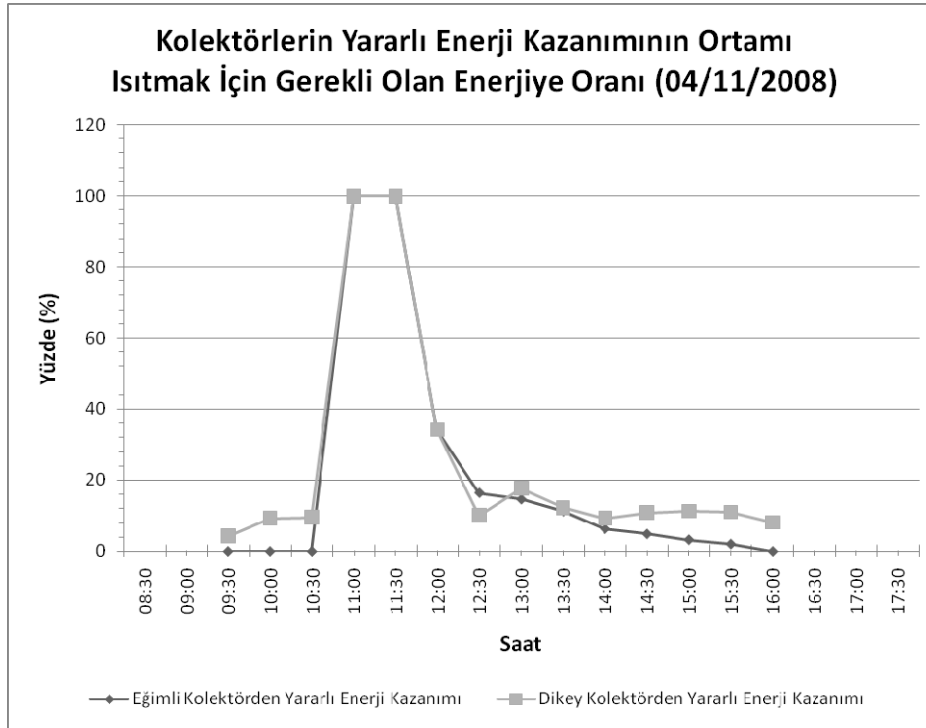
01-02/11/2008 tarihlerine benzer olarak gerçekleştirilen fakat eğimli konumlandırılmış kolektör sisteminin depolama sistemindeki suyun sıcaklığının farklı olarak sırasıyla 55°C ve 50°C' ye ısıtılarak 04/11/2008 ve 05/11/2008 tarihlerinde gerçekleştirilen deneylerde kolektörlerden sağlanan yararlı enerji miktarları ve sağlanan enerjinin kapalı hacmin ısıtma yüküne oranları Şekil 10.19, Şekil 10.20, Şekil 10.21 ve Şekil 10.22'de verilmektedir.



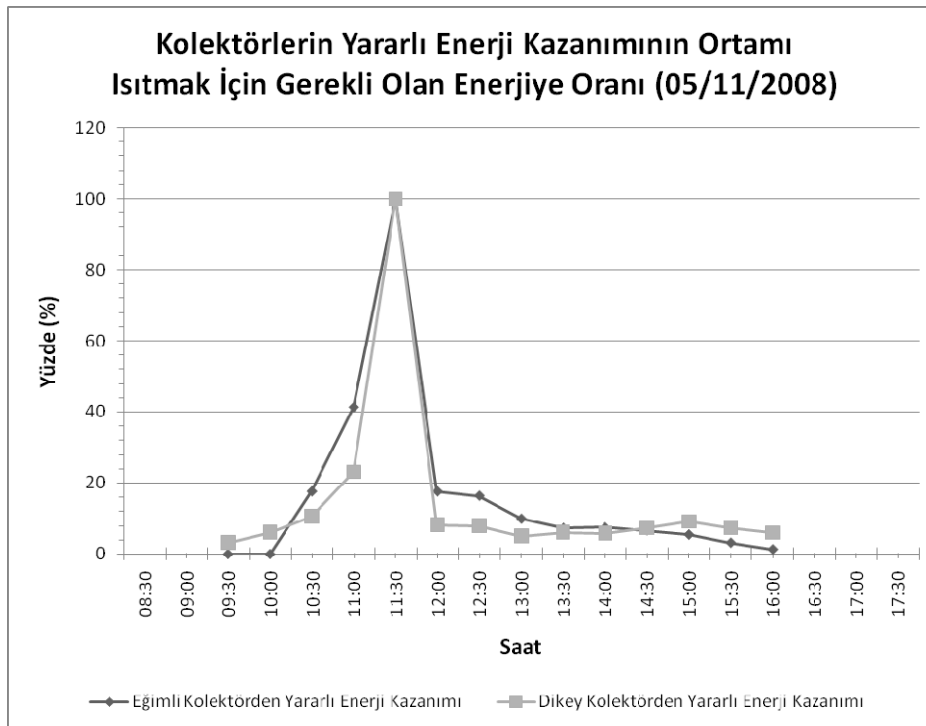
Şekil 10.19. 04/11/2008 tarihinde kolektörlerden yararlı enerji kazanımı



Şekil 10.20. 05/11/2008 tarihinde kolektörlerden yararlı enerji kazanımı



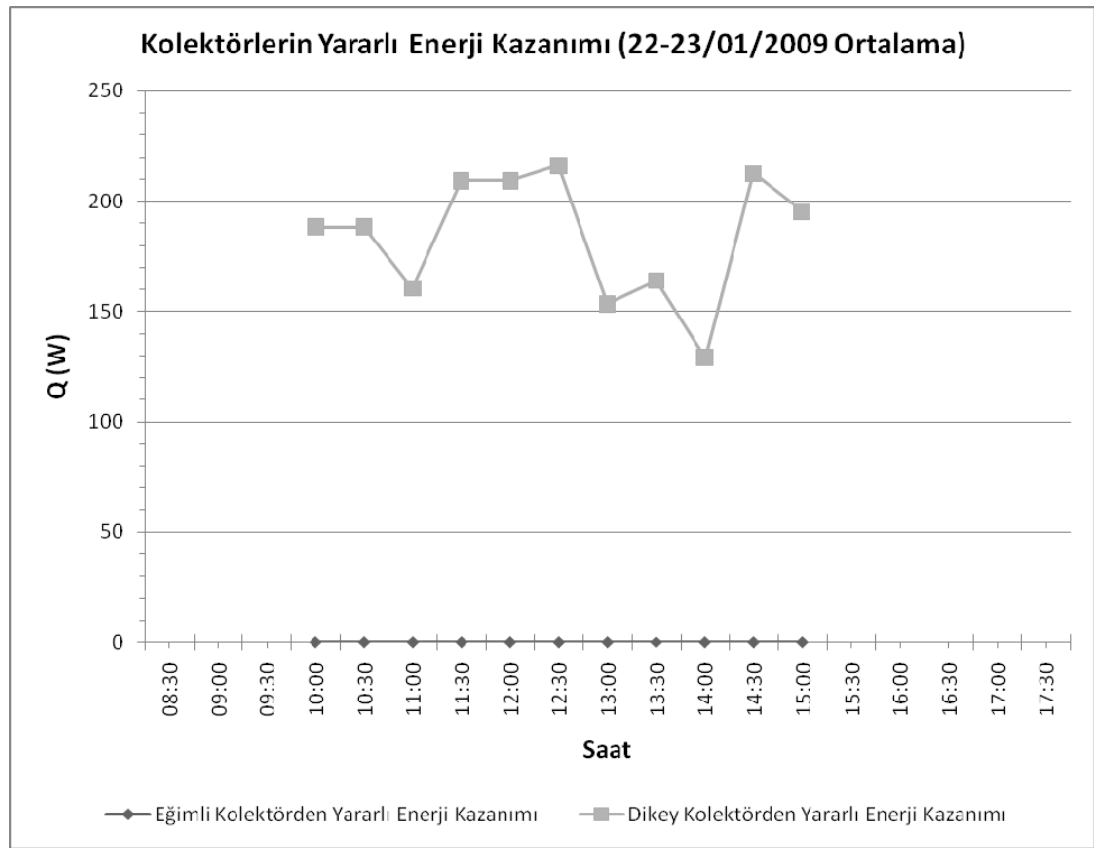
Şekil 10.21. 04/11/2008 tarihinde kolektörlerden sağlanan enerjinin ısıtma yüküne oranı



Şekil 10.22. 05/11/2008 tarihinde kolektörlerden sağlanan enerjinin ısıtma yüküne oranı

22-23/01/2009 tarihlerinde eğimli konumlandırılmış kolektör sistemindeki depolama suyunun ek ısıtıcıyla 40°C'ye yükseltilmesi ile gerçekleştirilen deneylerde kolektörlerden sağlanan yararlı enerji miktarı Şekil 10.23'de verilmektedir.

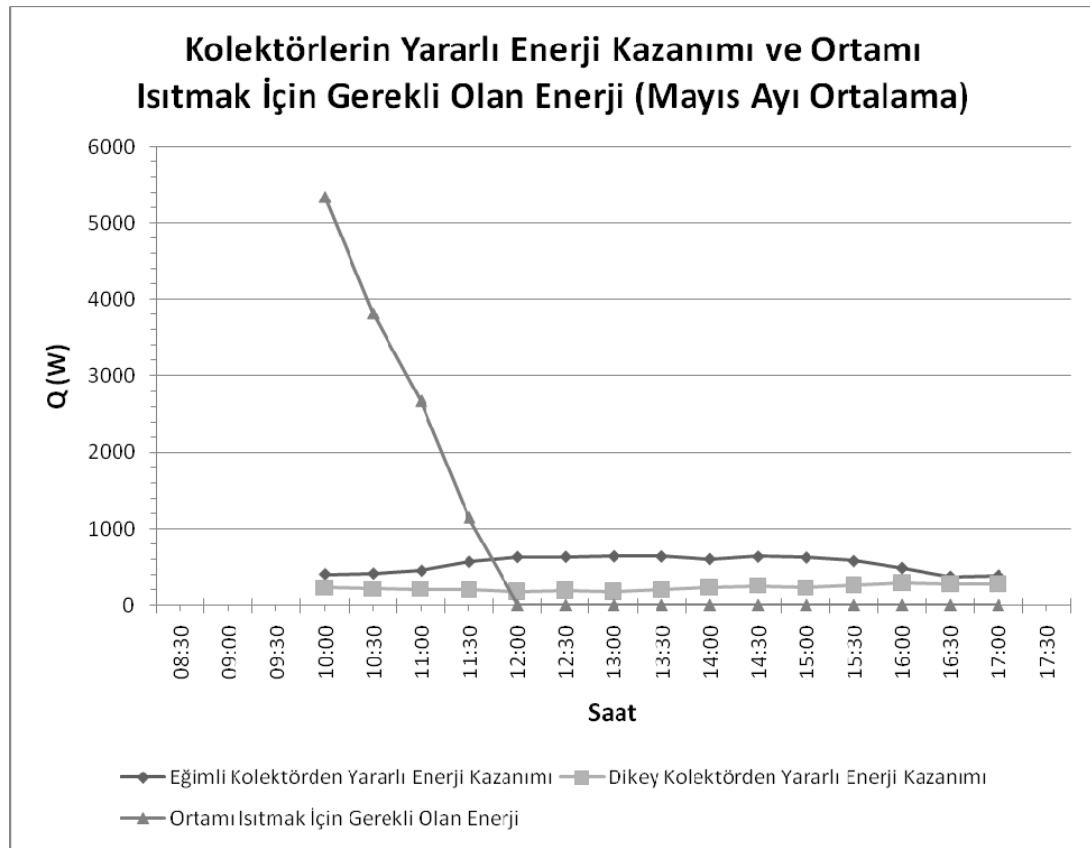
Şekil 10.23'den de görüleceği üzere, gün içerisinde eğimli kolektör sistemi için iş akışkanının kolektörden çıkış sıcaklığının kolektöre giriş sıcaklığını geçmemesinden ötürü bir yararlı enerji kazanımı söz konusu değildir.



Şekil 10.23. 22-23/01/2009 tarihlerinde kolektörlerden ortalama yararlı enerji kazanımı

Şekil 10.24'de vakum borulu kolektör sistemlerinden Mayıs ayında ortalama olarak kazanılan enerji miktarı gösterilmektedir.

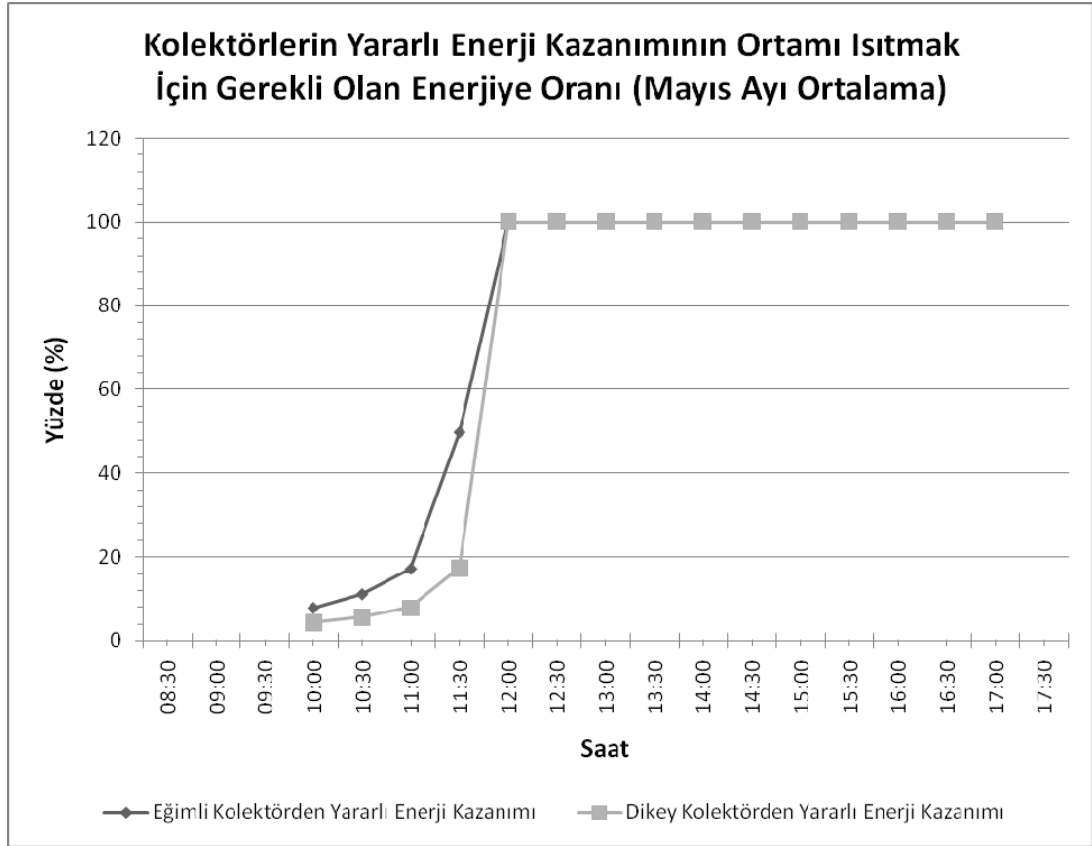
Şekil 10.24'e göre Mayıs ayında eğimli kolektör sisteminden sağlanan yararlı enerji gün içerisinde maksimum 639,70 W, minimum 379,17 W ve ortalama 540,29 W olurken; dikey kolektör sisteminden sağlanan yararlı enerji gün içerisinde maksimum 293,1 W, minimum 172,14 W ve ortalama 226,41 W olmuştur. Grafik incelenildiğinde eğimli kolektör sisteminden sağlanan enerjinin saat 12:00 ile 15:00 arasında maksimum olup yatay seyrettiği, dikey kolektör sisteminden sağlanan enerjinin ise gün boyunca yatay seyrettiği görülmektedir.



Şekil 10.24. Mayıs ayında kolektörlerden ortalama yararlı enerji kazanımı

Şekil 10.25'de ise Mayıs ayında vakum borulu kolektör sistemlerinden sağlanan enerjinin, kapalı hacmin ısıtma yüküne oranı gösterilmektedir. Buna göre eğimli kolektör sisteminden sağlanan enerji gün içerisinde kapalı alanının ısıtılması için gerekli olan enerjinin %7,7 ile %100'ü arasındaki bir miktarı karşılarken ortalama %79,03'ünü karşılamaktadır.

Diğer taraftan dikey kolektör sisteminden sağlanan enerji ise gün içerisinde kapalı alanın ısıtılması için gerekli olan enerjinin %4,26 ile %100'ü arasındaki bir miktarı karşılarken ortalama olarak %75,66'sını karşılamaktadır.



Şekil 10.25. Mayıs ayında kolektörlerden ortalama sağlanan enerjinin ısıtma yüküne oranı

11. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesinde yer alan kapalı hacmin vakum borulu kolektörler ve ek ısıtıcılar ile ısıtılması için yapılan bu çalışmada vakum borulu kolektör sistemleri ve kolektör sistemlerinden sağlanan yararlı enerji ile ilgili sonuçlar elde edilmiştir.

Kapalı hacmin 21°C sabit sıcaklıkta tutulması hedeflenmiş ve kapalı hacimden olan ısı kaybı miktarlarının gün içerisindeki değişimleri hesaplanarak ilgili grafiklerde gösterilmiştir.

Deneysel çalışma amacıyla kurulan sistemlerde net $2,05m^2$ soğurucu yüzey alanına sahip, 20 adet vakum borulu tüpten oluşan ve birisi yatay eksene eğimli olarak diğeri yatay eksene dik olarak konumlandırılmış olan iki adet kolektörün verimleri hesaplanmıştır. Sistemlerde yer alan iki kolektör farklı işletme koşullarına maruz bırakılarak verimleri ve sağladıkları yararlı enerji bakımından birbirleriyle karşılaştırılması sağlanılmıştır.

Ekim ayında ek ısıtıcı desteği sağlanılmadan deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda eğimli konumlandırılmış kolektörün veriminin %83,68 ile %83,49 arasında değişmekte olup ortalama %83,63 olduğu; dik konumlandırılmış kolektörün veriminin ise %83,69 ile %83,59 arasında değişmekte olup ortalama %83,67 olduğu görülmüştür. Bununla birlikte eğimli konumlandırılmış kolektörden sağlanan enerjinin 582,71 W ile 316,83 W arasında değişmekte olup ortalama 422,19 W olduğu; dik konumlandırılmış kolektörden sağlanan enerjinin ise 337,96 W ile 267,51 W arasında değişmekte olup ortalama 295,05 W olduğu hesaplanmıştır. Kolektör sistemlerinden sağlanan yararlı enerji miktarlarının Ekim ayında kapalı hacmi ısıtmak için gerekli olan enerji miktarına oranlarının ise eğimli konumlandırılmış kolektör sisteminde ortalama %16,99'a, dik konumlandırılmış kolektör sisteminde ortalama %11,11'e denk geldiği görülmektedir.

01/11/2008, 02/11/2008, 04/11/2008 ve 05/11/2008 tarihlerinde eğimli konumlandırılmış kolektör sistemindeki ek ısıtıcı olan elektriksel direnç devreye sokulup ısı depolama sistemindeki suyun sıcaklığı 01-02/11/2008 tarihlerinde 45°C' ye, 04/11/2008 tarihinde 55°C' ye ve 05/11/2008 tarihinde 50°C' ye yükseltilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda eğimli konumlandırılmış kolektörün veriminin 01-02/11/2008 tarihlerinde %83,62 ile %82,58 arasında değişmekte olup ortalama %83,31 olduğu; 04/11/2008 tarihinde %83,61 ile %81,38 arasında değişmekte olup ortalama %83,09 olduğu; 05/11/2008 tarihinde %83,61 ile %80,81 arasında değişmekte olup ortalama %83,05 olduğu görülmüştür. Bu arada eğimli konumlandırılmış kolektörden 01-02/11/2008 tarihlerinde saat 09:30 ve 10:00' da, 04/11/2008 tarihinde saat 09:30, 10:00 ve 10:30' da, 05/11/2008 tarihinde saat 09:30 ve 10:00' da iş akışkanının kolektöre giriş sıcaklığının iş akışkanının kolektörden çıkış sıcaklığından daha yüksek olmasından ötürü yararlı enerji kazanımı olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca eğimli konumlandırılmış kolektörden sağlanan yararlı enerjinin, kapalı hacmi ısıtmak için gerekli olan enerji miktarının 01-02/11/2008 tarihlerinde ortalama %15,81'ini; 04/11/2008 tarihinde ortalama %20,92'sini; 05/11/2008 tarihinde ortalama %16,76'sını karşıladığı hesaplanmıştır.

22/01/2009 ve 23/01/2009 tarihlerinde gerçekleştirilen deneylerde eğimli konumlandırılmış kolektör sistemindeki depolama suyunun sıcaklığı elektriksel direnç kullanılarak 40°C' ye yükseltilmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda 22-23/01/2009 tarihlerinde eğimli konumlandırılmış kolektörün veriminin %83,52 ile %82,21 arasında değişmekte olup ortalama %83,03 olduğu; dikey konumlandırılmış kolektörün veriminin ise %83,69 ile %83,59 arasında değişmekte olup ortalama %83,66 olduğu hesaplanmıştır. Eğimli kolektör için gün içerisinde iş akışkanının kolektörden çıkış sıcaklığının kolektöre giriş sıcaklığını geçmemesinden ötürü, eğimli kolektör sisteminden yararlı enerji kazanımı olmamaktadır. Dik konumlandırılmış kolektörden sağlanan enerjinin ise maksimum 216,33 W, minimum 129,10 W ve ortalama 184,30 W olduğu; bu miktarların ise kapalı hacmi ısıtmak için gerekli olan ısı yükünün maksimum %1,74'üne, minimum %0,83'üne ve ortalama olarak da %1,34'üne tekabül ettiği belirlenmiştir.

15/05/2009, 16/05/2009 ve 17/05/2009 tarihlerinde mevsimsel olarak hava sıcaklığının yüksek olması göz önünde bulundurularak ek ısıtıcı devreye sokulmadan deneyler gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneyler neticesinde Mayıs ayı için ortalama olarak elde edilen sonuçlar göstermektedir ki eğimli kolektör sisteminden sağlanan enerji kapalı hacmin ısıtılması için gerekli olan ısıtma yükünün minimum %7,70'ini ve ortalama olarak %79,03'ünü karşılarken; dikey kolektör sisteminden sağlanan enerji kapalı hacmin ısıtılması için gerekli olan ısıtma yükünün minimum %4,26'sını ve ortalama olarak da %75,66'sını karşılamaktadır

Gerçekleştirilmiş olan deneylerden elde edilen sonuçlar irdelendiğinde iş akışkanının kolektöre giriş sıcaklığı ile dış ortam sıcaklığı arasındaki fark ne kadar az, ısıma akısı ne kadar fazla ise kolektör veriminin o derece yüksek olduğu belirlenmiştir. En yüksek verime, iş akışkanının kolektöre giriş sıcaklığının dış ortam sıcaklığına en çok yaklaştığı durumlarda elde edildiği tespit edilmiştir. Kolektör verimlerinin düşük olarak tespit edildiği durumlarda, ısıma akısının şiddetinin düşük olduğu veya iş akışkanının kolektöre giriş sıcaklığının yüksek olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Bakos, G.C., Tsagas, N.F., "Technology, thermal analysis and economic evaluation of a sunspace located in northern Greece", *Energy and Buildings*, 31: 261-266 (2000).
2. Atılgan, M., Öztürk, H.K., Deda, B., Yılmaz, E., "Doğal gazın ve yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye' nin enerji politikası açısından değerlendirilmesi", *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 72: 51-56 (2002).
3. Eskin, N., "Türkiye' de güneş enerjisi araştırma ve geliştirme", *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 91: 74-82 (2006).
4. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı "2006 yılı enerji dengesi (bin petrol eşdeğeri)" <http://www.enerji.gov.tr> (2008).
5. İnternet: Elektrik İşleri Etüt İdaresi "Güneş enerjisi çalışmaları" <http://eie.gov.tr> (2008).
6. Türkyılmaz, O., "Türkiye' nin yerli ve yenilenebilir enerji kaynakları", *Mühendis ve Makine Dergisi*, 576: 52-64 (2008).
7. Küçükçalı, R., "Isıtma sektöründe yeni teknolojiler ve gelecek", *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 78: 61-79 (2003).
8. Evcilmen, S., "Doğal enerji kaynağı güneş enerjisi ve güneş enerji sistemleri", *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 5: 26-29 (1993).
9. Al-Karaghoulı, A., Abood, I., "Thermal performance evaluation of an energy and environmental research center building during winter", *Applied Energy*, 65: 231-238 (2000).
10. Gunerhan, H., Hepbaslı, A., "Exergetic modelling and performance evaluation of solar water heating systems for building applications", *Energy and Buildings*, 39: 509-516 (2007).
11. Shah, L.J., Furbo, S., "Vertical evacuated tubular-collectors utilizing solar radiation from all directions", *Applied Energy*, 78: 371-395 (2004).
12. Lee, D.W., Sharma, A., "Thermal performance of the active and passive water heating systems based on annual operation", *Solar Energy*, 81: 207-215 (2007).
13. Öz, E.S., Özbaş, E., DüNDAR, R., "Vakum tüplü güneşli su ısıtma sistemi ile standart düz kolektörlü güneşli su ısıtma sistemlerinin performans ve verimlerinin deneysel olarak karşılaştırılması", *VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 991-999 (2007).

14. Kaşka, Ö., “Experimental investigation of performance of solar assisted heat pump space heating system with an energy storage”, Yüksek Lisans Tezi, **Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Gaziantep, 1-6 (2002).
15. Işık, M.A., “Güneş enerjisi destekli mahal ısıtma sisteminin Van ilinde sağladığı enerji tasarrufunun incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Van, 19-34 (2007).
16. Oruncak, H., “Güneş enerjisi destekli yerden ısıtma sisteminin Afyon ilinde uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, **Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Afyon, 79-83 (2000).
17. Argunhan, Z., “Güneş enerjisi ile konutlarda ısıtma ve sıcak su sağlama tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, **Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Şanlıurfa, 1-2 (1997).
18. Tekin, Y., “Güneş enerjisi ile yerden ısıtmanın deneysel incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kayseri, 59-70 (1999).
19. Cuadros, F., Lopez-Rodriguez, F., Segador, C., Marcos, A., “A simple procedure to size active solar heating schemes for low-energy building desing”, **Energy and Buildings**, 39: 96-104 (2007).
20. Nordell, B., Hellström, G., “High temperature solar heated seasonal storage system for low temperature heating of buildings”, **Solar Energy**, 69: 511-523 (2000).
21. Arda, K., “Güneş enerjisinin depolanması ve ısı analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kayseri, 69-75 (2006).
22. Yüre, T., “Güneş enerjisinden edilgen sistem yararlanmada güneş odası ekleme yönteminin iç ortam sıcaklığına etkisinin incelenmesi – İstanbul örneği”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 3-4 (2007).
23. Çengel, Y. A., “Heat transfer: a practical approach 2nd ed.”, **McGraw-Hill**, New York, 586-588 (2003).
24. Eberlein, M.B., Analysis and performance predictions of evacuated tubular solar collectors using air as the working fluid, PhD Thesis, **University of Wisconsin, Madison**, WI, 1-10 (1976).
25. Kalogirou, S. A., “Solar thermal collectors and applications”, **Progress in Energy and Combustion Science**, 30: 231-295 (2004).

26. Güngör, A., “Binaların doğal ısıtma ve soğutulması için güneş enerjili pasif sistemlerin kullanımı”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 5: 20-25 (1993).
27. Kılıç, A., “Güneş enerjisi ve uygulamaları”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 5: 6-14 (1993).
28. Duffie, J. A., Beckman, W. A., “Solar engineering of thermal processes 2nd ed.”, *John Wiley&Sons Inc.*, New York, 3-5, 515-516 (1991).
29. Tan, M., “Türkiye’ nin enerji seçenekleri”, *Türkiye’ nin Enerji Politikaları Paneli*, Ankara, 45-47 (1996).
30. Karakoç, T. H., “KTH kalorifer tesisatı hesabı”, *DemirDöküm Teknik Yayınları*, Eskişehir, 34-52 (2006).
31. Hsieh, J. S., “Solar energy engineering 1st ed.”, Soler, T. A., *Prentice-Hall*, New Jersey, 130-147, 208-211 (1986).
32. Genceli, O. F., “Ölçme tekniği (boyut, basınç, akış ve sıcaklık ölçmeleri)”, *Birsan Yayınevi*, İstanbul, 29-37 (1994).

EKLER

EK-1 24/10/2008 tarihindeki ölçüm değerleri

Saat	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Nemi (%)	Işıma Akısı (W / m^2)	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	İç Ortam Nemi (%)
09:00					
09:30					
10:00					
10:30					
11:00					
11:30					
12:00					
12:30					
13:00					
13:30					
14:00	18	35	126	18,1	38
14:30	19	34	155	18,1	39
15:00	19	34	170	18,2	39
15:30	17	34	119	18,2	39
16:00	17	34	83	18,2	40
16:30					
17:00					

Eğimli Kolektör				Dikey Kolektör		
Saat	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)
09:00						
09:30						
10:00						
10:30						
11:00						
11:30						
12:00						
12:30						
13:00						
13:30						
14:00	24,8	30,5	26,1	20,8	25,4	21,9
14:30	25,1	30,8	26,3	21,1	26,9	22,1
15:00	25,5	32,1	27,1	21,6	27,8	22,6
15:30	25,2	29,6	25,9	20,7	24,9	21,4
16:00	24,2	29,8	25,4	20,2	25,7	21,2
16:30						
17:00						

EK-2 25/10/2008 tarihindeki ölçüm değerleri

Saat	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Nemi (%)	Işıma Akısı (W / m^2)	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	İç Ortam Nemi (%)
09:00					
09:30					
10:00					
10:30	18	42	482	17,7	37
11:00	20	34	488	17,9	38
11:30	21	32	264	17,9	38
12:00	21	34	171	18	39
12:30	19	37	121	17,9	39
13:00	16	44	159	17,8	40
13:30	16	46	177	17,9	40
14:00	16	46	180	17,9	40
14:30	17	43	181	17,9	41
15:00	16	44	153	17,9	42
15:30	16	44	127	17,9	41
16:00	16	43	35	17,9	41
16:30					
17:00					

Eğimli Kolektör				Dikey Kolektör		
Saat	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)
09:00						
09:30						
10:00						
10:30	20,5	22,7	21,3	18,3	19,1	20,1
11:00	20,5	25,3	21,3	18,7	20,5	20,1
11:30	21,3	28	21,4	19,1	22,5	20,1
12:00	21,7	27	21,6	19,2	22,6	20,1
12:30	22	25,8	21,9	19,4	23,2	20,1
13:00	21,2	26,4	21,9	19	22,9	20,1
13:30	21,6	27,3	21,9	19,1	23,2	20
14:00	22,4	26,2	22,3	19,3	23,8	20
14:30	21,6	27	22,3	19,4	24,6	20
15:00	22,5	26,3	22,4	18,9	25	20
15:30	21,6	26,4	22,4	18,8	22,7	20,2
16:00	21,4	26,4	22,3	18,6	23	20,2
16:30						
17:00						

EK-3 26/10/2008 tarihindeki ölçüm değerleri

Saat	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Nemi (%)	Işıma Akısı (W / m^2)	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	İç Ortam Nemi (%)
09:00					
09:30					
10:00	19	41	549	17,5	41
10:30	20	32	531	17,6	41
11:00	21	23	193	17,7	42
11:30	21	24	409	17,7	42
12:00	22	27	182	17,8	42
12:30	19	33	170	17,9	42
13:00	19	33	152	17,9	42
13:30	19	33	122	17,9	42
14:00	18	34	103	17,9	42
14:30	18	35	71	17,9	42
15:00	18	36	88	18	42
15:30	17	36	63	18	42
16:00	17	36	77	18	42
16:30					
17:00					

Eğimli Kolektör				Dikey Kolektör		
Saat	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)
09:00						
09:30						
10:00	23,6	32,9	23,1	21,3	24,8	20,3
10:30	24,2	33,2	23,5	21,9	25,6	20,5
11:00	24,3	31,5	24,1	22	26,7	20,7
11:30	25,1	34,2	24,6	22,1	27,4	21,1
12:00	25,6	31,8	25,3	22,7	26,9	21,6
12:30	25,7	29,7	25,5	22,4	26,5	21,8
13:00	25,3	30,5	25,2	21,9	26,5	21,9
13:30	24,5	29,4	25,2	22,1	25,6	22
14:00	24,8	29,5	24,9	22,9	25,4	21,9
14:30	24,7	28,7	24,7	21,3	25,6	21,9
15:00	24,6	28,4	24,6	21,1	25,8	21,8
15:30	24,5	28	24,4	20,7	26,2	21,7
16:00	24,5	28,1	24,4	20,8	26,1	21,7
16:30						
17:00						

EK-4 27/10/2008 tarihindeki ölçüm değerleri

Saat	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Nemi (%)	Işıma Akısı (W / m^2)	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	İç Ortam Nemi (%)
09:00					
09:30					
10:00					
10:30	20	46	489	17,6	43
11:00	20	44	145	17,6	43
11:30	19	42	329	17,6	43
12:00	19	38	136	17,7	43
12:30	18	43	128	17,7	43
13:00	18	44	117	17,7	43
13:30	18	46	95	17,7	43
14:00	18	45	116	17,7	43
14:30	17	41	84	17,7	43
15:00	17	49	30	17,8	43
15:30					
16:00					
16:30					
17:00					

Eğimli Kolektör				Dikey Kolektör		
Saat	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)
09:00						
09:30						
10:00						
10:30	22,7	31,5	22,4	19,6	24,6	19,5
11:00	23,4	31,7	22,7	19,9	24,7	19,6
11:30	23,8	32,1	23,6	20,4	24,9	19,7
12:00	24,1	30,4	23,9	20,7	25,1	19,8
12:30	23,5	29,9	24,1	20,3	24,9	19,7
13:00	23,6	29,5	24	20,4	24,3	19,6
13:30	23,3	28,7	23,8	20,2	24,1	19,5
14:00	23,1	28,2	23,8	20,1	23,7	19,5
14:30	22,7	28,1	23,7	19,7	23,5	19,3
15:00	22,4	27,8	23,5	19,6	22,9	19,2
15:30						
16:00						
16:30						
17:00						

EK-5 29/10/2008 tarihindeki ölçüm değerleri

Saat	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Nemi (%)	Işıma Akısı (W / m^2)	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	İç Ortam Nemi (%)
09:00					
09:30	17	54	474	17	46
10:00	17	55	456	17,1	46
10:30	18	52	459	17,2	48
11:00	19	51	479	17,3	48
11:30	21	48	184	17,3	48
12:00	19	46	196	17,4	48
12:30	17	49	187	17,2	49
13:00	18	47	129	17,2	49
13:30	18	48	115	17,2	48
14:00	17	49	129	17,2	48
14:30	17	50	96	17,2	49
15:00	16	51	85	17,2	49
15:30					
16:00					
16:30					
17:00					

Eğimli Kolektör				Dikey Kolektör		
Saat	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)
09:00						
09:30	20,3	27,8	20,4	18,4	20,8	19,4
10:00	21,2	29,3	20,9	18,4	23,2	19,4
10:30	21,9	30,9	21,7	19,3	24,3	19,4
11:00	22,7	32,4	22,5	20,2	25,2	19,8
11:30	23,6	30,5	23,4	21,4	24,4	20,1
12:00	23,9	27,7	23,7	20,9	25,3	20,3
12:30	22,6	27,8	23,5	19,9	25,3	20,4
13:00	22,7	28,3	23,4	21,3	23,4	20,5
13:30	22,5	27,5	23,3	19,7	24,9	20,5
14:00	22,3	27,4	23,2	20,3	25,6	20,4
14:30	21,9	27,8	22,9	19,9	23,8	20,5
15:00	22,6	26,6	22,9	19,5	24,6	20,4
15:30						
16:00						
16:30						
17:00						

EK-6 30/10/2008 tarihindeki ölçüm değerleri

Saat	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Nemi (%)	Işıma Akısı (W / m^2)	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	İç Ortam Nemi (%)
09:00					
09:30	16	54	355	16,7	47
10:00	17	51	329	16,8	47
10:30	18	49	376	16,8	48
11:00	20	47	408	16,9	48
11:30	21	42	369	16,9	48
12:00	19	48	127	17	48
12:30	18	50	116	17	48
13:00	18	50	163	17	48
13:30	18	50	98	17	48
14:00	17	49	80	17	48
14:30	17	51	52	17	48
15:00	17	50	43	17	48
15:30	16	51	27	17,1	48
16:00	16	52	21	17,1	48
16:30					
17:00					

Eğimli Kolektör				Dikey Kolektör		
Saat	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)
09:00						
09:30	20,6	27,8	20,5	18,2	22,4	19,2
10:00	21,1	29	20,9	19,1	22,3	19,2
10:30	21,7	31,1	21,5	19,8	23,9	19,4
11:00	22,5	32,3	22,4	20,3	24,5	19,8
11:30	23,9	32,9	23,3	21,2	26,6	20,2
12:00	24,2	31,5	23,8	21,8	25,5	20,6
12:30	23,7	29,8	23,9	21,9	24,7	20,7
13:00	23,6	29,4	23,6	20,8	26,2	20,7
13:30	23,2	27,9	23,7	20,6	25,3	20,9
14:00	22,8	27,6	23,5	21,3	24,5	20,8
14:30	22,4	27,5	23,3	20,7	24,8	20,8
15:00	21,8	27,5	23	20,5	25,3	20,6
15:30	21,6	27,3	22,7	20,3	22,8	20,7
16:00	21,5	27,2	22,6	19,8	23,3	20,6
16:30						
17:00						

EK-7 31/10/2008 tarihindeki ölçüm değerleri

Saat	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Nemi (%)	Işıma Akısı (W / m^2)	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	İç Ortam Nemi (%)
09:00					
09:30	16	54	441	16,8	47
10:00	17	50	422	16,8	47
10:30	18	46	521	16,8	47
11:00	19	42	304	16,9	47
11:30	18	45	175	16,9	47
12:00	18	48	142	16,9	48
12:30	18	49	277	16,9	47
13:00	19	46	214	16,9	48
13:30	19	46	138	16,9	48
14:00	18	48	127	16,9	48
14:30	18	50	119	17	48
15:00	18	52	93	17	48
15:30	18	52	72	17	48
16:00	17	53	44	17	48
16:30					
17:00					

Eğimli Kolektör				Dikey Kolektör		
Saat	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)
09:00						
09:30	20,5	27,8	20,4	18,1	23	19,1
10:00	21,1	29,2	20,9	18,6	23,3	19,2
10:30	21,6	30,8	21,5	19,2	24,9	19,4
11:00	22,2	29,3	22,1	19,3	24,5	19,5
11:30	22,5	27,9	22,3	20,1	23,7	19,7
12:00	22,1	26,7	22,4	19,2	24	19,7
12:30	22,3	28	22,3	20,3	23,2	19,8
13:00	22,6	27,6	22,5	19,8	24,6	19,8
13:30	22,2	26,8	22,5	20	23,4	20
14:00	21,7	26,9	22,4	19,7	24,3	19,9
14:30	21,4	27,1	22,2	19,2	24,8	19,8
15:00	22,3	26,5	22,2	19,7	23,4	20
15:30	21,8	26,1	22,1	19,4	23,6	19,9
16:00	21,1	25,5	22	18,9	23,7	19,8
16:30						
17:00						

EK-8 01/11/2008 tarihindeki ölçüm değerleri

Saat	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Nemi (%)	Işıma Akısı (W / m^2)	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	İç Ortam Nemi (%)
09:00					
09:30	16	57	417	17,2	49
10:00	17	53	413	17,6	48
10:30	19	49	444	18,1	47
11:00	20	45	516	17,8	47
11:30	21	38	506	17,5	48
12:00	20	36	194	17,5	48
12:30	19	38	164	17,4	48
13:00	19	40	129	17,6	49
13:30	19	40	103	17,8	49
14:00	18	43	94	18,1	47
14:30	18	43	82	18	48
15:00	18	44	65	17,9	48
15:30	17	45	50	17,9	48
16:00	17	47	31	18	48
16:30					
17:00					

Eğimli Kolektör				Dikey Kolektör		
Saat	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)
09:00						
09:30	39,4	28,9	44,8	19,8	23,2	19,4
10:00	39,8	33,3	44,3	19,8	25,5	19,4
10:30	40,7	40,7	44,4	20,8	24,8	19,8
11:00	41,2	46,2	44,9	20,4	26,4	20,1
11:30	44,7	50,3	44,9	20,8	26,7	20,5
12:00	43,6	48,7	44,9	21,9	25,9	20,9
12:30	42,9	47,4	45,5	21,5	25,7	21,1
13:00	43	47	47,1	20,6	25,9	21,2
13:30	42,7	46,8	48,1	21,7	24,3	21,3
14:00	45	46,5	48,9	21,2	26,2	21,2
14:30	44,1	46,1	49	21	26,7	21
15:00	44,3	45,5	48,6	22,5	24,6	20,9
15:30	44	44,9	48,7	21,8	24,5	21
16:00	44,4	44,1	47,8	21,2	25	20,9
16:30						
17:00						

EK-9 02/11/2008 tarihindeki ölçüm değerleri

Saat	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Nemi (%)	Işıma Akısı (W / m^2)	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	İç Ortam Nemi (%)
09:00					
09:30	17	51	539	17,4	49
10:00	18	44	569	18,1	46
10:30	19	41	584	18,2	46
11:00	19	35	539	18,3	46
11:30	20	35	501	18,3	46
12:00	19	37	202	18,3	45
12:30	19	40	125	18,4	45
13:00	18	41	122	18,4	45
13:30	18	41	110	18,4	46
14:00	17	41	91	18,3	46
14:30	17	44	86	18,3	46
15:00	16	44	91	18,4	46
15:30	16	45	62	18,5	46
16:00	16	47	58	18,3	46
16:30					
17:00					

Eğimli Kolektör				Dikey Kolektör		
Saat	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)
09:00						
09:30	39,5	36,1	44	20	24	19,7
10:00	41,3	46,6	43,7	21,1	25,9	20,1
10:30	42,9	48,4	43,7	21,4	27,2	20,4
11:00	43,2	49,6	43,6	22,5	25,6	20,7
11:30	43,5	50,7	44,1	22,5	27,6	21,1
12:00	43,5	47,8	43,8	23,6	26,1	21,5
12:30	41,9	46,4	44,2	22,6	26,6	21,8
13:00	40,3	46	43,3	23,1	25,5	21,8
13:30	40,5	45,7	43,6	22	27,2	21,8
14:00	39,8	45,6	43,6	22,2	26	21,8
14:30	39,8	45,3	43,5	22,2	25,3	21,7
15:00	39,7	44,9	43,3	22,3	24,8	21,7
15:30	39,7	44,5	44,4	21,6	25,5	21,6
16:00	39,7	44	44,2	21,2	26	21,4
16:30						
17:00						

EK-10 03/11/2008 tarihindeki ölçüm değerleri

Saat	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Nemi (%)	Işıma Akısı (W / m^2)	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	İç Ortam Nemi (%)
09:00					
09:30	17	60	25	18,1	48
10:00					
10:30					
11:00					
11:30					
12:00	19	58	63	18,4	47
12:30	19	50	58	18,5	47
13:00	19	46	31	18,5	48
13:30	18	46	25	18,5	48
14:00	18	44	21	18,6	48
14:30	18	45	24	18,6	47
15:00	18	44	20	18,6	47
15:30	18	46	13	18,6	47
16:00	17	48	5	18,7	47
16:30					
17:00					

Eğimli Kolektör				Dikey Kolektör		
Saat	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)
09:00						
09:30	44,1	26,8	49	20,7	22,8	20
10:00						
10:30						
11:00						
11:30						
12:00	44,1	35,1	48,7	20,7	24,6	20
12:30	44,1	35,7	49,8	20,7	25	20
13:00	46	36,1	51,7	20,8	25,1	20,1
13:30	47,1	36,1	52,8	20,8	25,3	20,1
14:00	48,3	36	54,3	21	25,4	20,1
14:30	49,1	36	55,2	21	25,7	20,1
15:00	48,9	36	54,2	21	25,7	20,1
15:30	48,6	35,6	53,6	21	25,6	20,1
16:00	48,5	35,3	53,3	21	25,4	20,1
16:30						
17:00						

EK-11 04/11/2008 tarihindeki ölçüm değerleri

Saat	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Nemi (%)	Işıma Akısı (W / m^2)	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	İç Ortam Nemi (%)
09:00					
09:30	16	47	516	18,3	47
10:00	18	42	540	18,6	46
10:30	19	38	572	18,6	46
11:00	21	33	569	18,7	45
11:30	22	32	338	18,7	45
12:00	20	32	154	18,7	45
12:30	19	33	138	18,7	45
13:00	19	32	121	18,8	45
13:30	19	29	100	18,8	45
14:00	18	30	86	18,8	45
14:30	18	32	75	18,8	45
15:00	18	32	62	18,8	44
15:30	18	29	50	18,8	44
16:00	17	29	27	18,8	44
16:30					
17:00					

Eğimli Kolektör				Dikey Kolektör		
Saat	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)
09:00						
09:30	48,3	34,4	53,5	21,1	24,5	20,2
10:00	48,3	40,4	53,4	21,6	26,1	20,2
10:30	48,2	46,6	53,2	22,3	25,4	20,5
11:00	48,1	53,3	53,1	22,3	28,2	21
11:30	51,9	56,8	53,8	22	28,8	21,5
12:00	49,1	54,7	53,9	23	28,6	22
12:30	48,6	54	53,8	23,3	26,6	22,2
13:00	48,6	53,4	53,4	22,6	28,4	22,1
13:30	48,5	52,2	53,3	22,7	26,7	22,1
14:00	48,3	51,4	53,3	22,5	27	21,9
14:30	48,2	50,6	53,4	22,3	27,6	21,8
15:00	48,3	49,9	53,3	22,2	27,7	21,7
15:30	48,3	49,3	53,8	22,1	27,5	21,6
16:00	48,3	48	53,1	21,9	27,2	21,4
16:30						
17:00						

EK-12 05/11/2008 tarihindeki ölçüm değerleri

Saat	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Nemi (%)	Işıma Akısı (W / m^2)	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	İç Ortam Nemi (%)
09:00					
09:30	16	41	483	18,2	43
10:00	17	37	476	18,4	43
10:30	19	31	560	18,5	43
11:00	20	29	281	18,5	42
11:30	21	27	348	18,5	42
12:00	19	31	137	18,5	42
12:30	19	32	114	18,5	42
13:00	18	32	151	18,5	42
13:30	18	33	76	18,5	42
14:00	18	33	69	18,5	42
14:30	18	33	63	18,5	42
15:00	18	33	54	18,5	42
15:30	17	34	40	18,6	42
16:00	16	35	19	18,6	42
16:30					
17:00					

Eğimli Kolektör				Dikey Kolektör		
Saat	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)
09:00						
09:30	40,3	37,5	50,1	21,1	23,7	20,2
10:00	43,7	40,3	49,9	21,1	25,1	20,4
10:30	45,1	50,9	49,8	22,2	25,7	20,6
11:00	46,6	53,4	49,6	22,7	26,5	20,9
11:30	47,9	54,5	48,7	23,2	27,8	21,5
12:00	44,8	50,6	48,9	24	26,7	21,9
12:30	44,7	50,1	48,5	23,7	26,3	22,1
13:00	44,4	49,3	48,3	23,5	26	22
13:30	44,1	47,7	48,4	22,9	25,9	21,9
14:00	43,5	47,2	48,2	22,5	25,4	21,9
14:30	43,6	46,9	48,4	22,2	25,8	21,8
15:00	43,6	46,3	48,6	21,9	26,4	21,7
15:30	43,5	45,6	48,1	21,7	26,6	21,6
16:00	43,6	44,7	48,6	21,6	26,5	21,4
16:30						
17:00						

EK-13 15/11/2008 tarihindeki ölçüm değerleri

Saat	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Nemi (%)	Işıma Akısı (W / m^2)	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	İç Ortam Nemi (%)
09:00					
09:30	16	39	522	16,8	40
10:00	15	41	546	17,5	38
10:30	17	38	580	17,9	38
11:00	17	39	519	18,1	37
11:30	16	39	441	18,1	37
12:00	15	44	172	18,1	37
12:30	15	45	149	18,2	37
13:00	14	46	138	18,2	36
13:30	14	44	127	18,1	37
14:00	14	44	115	18,1	37
14:30	14	43	77	18,1	36
15:00	14	43	56	18,1	36
15:30					
16:00					
16:30					
17:00					

Eğimli Kolektör				Dikey Kolektör		
Saat	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)
09:00						
09:30	38,9	24,9	45,8	30,8	22,7	42,2
10:00	39,6	32,4	44,1	32,5	23,3	42,5
10:30	39,1	38,1	43,7	34,2	25,1	42,6
11:00	38,9	44,3	43,5	35,5	28,8	43,1
11:30	42,2	46,3	42,5	36,2	33,1	43,7
12:00	39,5	45,2	43,4	36,5	34,4	43,5
12:30	39,1	44,7	43,1	36,7	34,3	43,7
13:00	38,9	44,5	42,4	36,8	34,1	43,8
13:30	39	44,1	42,9	37,4	33,9	43,7
14:00	38,8	43,8	43	37,7	33,8	43,8
14:30	38,8	43,3	43,2	37,4	33,5	43,8
15:00	38,7	42,7	42,9	37,4	32,8	43,9
15:30						
16:00						
16:30						
17:00						

EK-14 22/01/2009 tarihindeki ölçüm değerleri

Saat	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Nemi (%)	Işıma Akısı (W / m^2)	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	İç Ortam Nemi (%)
09:00					
09:30					
10:00	9	54	374	10,1	42
10:30	10	55	380	10,1	42
11:00	11	52	492	10,2	43
11:30	12	50	515	10,2	43
12:00	12	50	145	10,2	42
12:30	12	51	134	10,1	42
13:00	11	53	124	10,2	43
13:30	10	56	111	10,2	42
14:00	9	59	82	10,1	43
14:30	9	58	78	10,1	43
15:00	9	59	56	10,1	43
15:30					
16:00					
16:30					
17:00					

Eğimli Kolektör				Dikey Kolektör		
Saat	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)
09:00						
09:30						
10:00	39,5	28,0	44,0	9,9	14,1	10,1
10:30	39,3	35,3	44,0	10,8	15,1	10,4
11:00	39,5	39,7	43,8	11,8	15,5	10,6
11:30	42,8	47,1	43,9	11,9	16,8	11,2
12:00	42,1	47,2	43,7	13,1	18,2	11,8
12:30	40,9	45,8	44,0	12,2	17,5	12,1
13:00	40,4	44,9	43,9	12,7	16,1	12,2
13:30	39,9	44,5	43,9	12,0	16,0	12,3
14:00	39,5	44,1	43,6	13,0	15,9	12,2
14:30	39,8	43,6	43,9	11,3	16,4	12,3
15:00	40,0	42,9	43,8	10,7	15,5	12,1
15:30						
16:00						
16:30						
17:00						

EK-15 23/01/2009 tarihindeki ölçüm değerleri

Saat	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Nemi (%)	Işıma Akısı (W / m^2)	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	İç Ortam Nemi (%)
09:00					
09:30					
10:00	7	32	152	10,8	38
10:30	8	36	202	10,8	38
11:00	9	36	167	10,8	39
11:30	9	47	93	10,9	39
12:00	8	56	56	10,9	39
12:30	8	59	53	11,0	39
13:00	7	65	50	10,9	40
13:30	7	64	47	11,0	40
14:00	6	66	39	11,0	40
14:30	6	67	35	10,9	40
15:00	6	65	31	10,9	40
15:30					
16:00					
16:30					
17:00					

Eğimli Kolektör				Dikey Kolektör		
Saat	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)
09:00						
09:30						
10:00	39,3	19,8	43,6	10,0	11,2	10,4
10:30	39,5	25,9	44,0	10,4	11,5	10,4
11:00	39,5	27,0	43,8	10,5	11,4	10,5
11:30	39,5	26,1	44,0	10,4	11,5	10,5
12:00	39,9	25,9	43,7	10,2	11,1	10,5
12:30	39,7	25,5	43,9	10,1	11,0	10,5
13:00	39,8	25,4	43,6	9,8	10,8	10,4
13:30	40,2	25,1	43,8	9,7	10,4	10,4
14:00	39,9	24,7	44,0	9,5	10,3	10,4
14:30	39,8	24,6	43,9	9,1	10,1	10,3
15:00	40,0	23,9	44,0	9,0	9,8	10,3
15:30						
16:00						
16:30						
17:00						

EK-16 15/05/2009 tarihindeki ölçüm değerleri

Saat	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Nemi (%)	Işıma Akısı (W / m^2)	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	İç Ortam Nemi (%)
09:00					
09:30					
10:00	16	43	163	17,8	52
10:30	17	39	493	18	54
11:00	18	34	510	18	55
11:30	20	31	560	18	56
12:00	22	27	569	18,3	58
12:30	22	26	558	18,3	58
13:00	23	25	551	18,3	58
13:30	23	24	540	18,3	58
14:00	23	23	530	18,3	58
14:30	24	22	501	18,4	58
15:00	24	21	500	18,4	58
15:30	25	20	478	18,5	58
16:00	24	19	499	18,5	58
16:30	23	22	161	18,6	58
17:00	21	24	122	18,6	58

Eğimli Kolektör				Dikey Kolektör		
Saat	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)
09:00						
09:30						
10:00	22,1	26,5	21,1	20,8	24,2	19,5
10:30	22,4	25,6	21,4	21,5	24,5	19,7
11:00	22,6	26,1	21,5	21,9	24,8	19,7
11:30	22,9	30,1	21,8	22,4	24,4	20
12:00	23,9	32,7	22,6	23,2	24,4	20,3
12:30	24,8	33,2	23,5	23,6	25,3	20,9
13:00	26,4	34,9	24,9	24,3	25,6	21
13:30	27,3	35,7	25,7	24,5	26,4	21,3
14:00	28	36,2	26,3	24,6	27,9	21,5
14:30	28,2	37	26,8	24,2	27,8	21,7
15:00	29,4	36,9	27,5	24,8	28,2	22,3
15:30	29,9	36,8	28,4	25,5	29,1	22,8
16:00	30,2	36,6	29	26,8	30,2	23,1
16:30	29,9	33,1	28,7	25,8	29,5	23,3
17:00	28,4	32,6	28,4	25,6	28,8	23,4

EK-17 16/05/2009 tarihindeki ölçüm değerleri

Saat	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Nemi (%)	Işıma Akısı (W / m^2)	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	İç Ortam Nemi (%)
09:00					
09:30					
10:00	17	41	172	17,9	56
10:30	18	37	506	17,9	57
11:00	19	35	540	17,9	57
11:30	20	33	516	18	59
12:00	20	29	533	18	59
12:30	21	31	546	18,2	60
13:00	22	32	556	18,2	60
13:30	22	32	563	18,2	60
14:00	23	28	564	18,4	60
14:30	24	24	478	18,6	60
15:00	25	20	393	18,7	60
15:30	24	20	479	18,8	60
16:00	23	20	117	18,8	60
16:30	22	20	85	18,8	60
17:00	22	21	69	18,9	60

Eğimli Kolektör				Dikey Kolektör		
Saat	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)
09:00						
09:30						
10:00	21,8	27,9	21,8	21,3	24,5	20,2
10:30	22,3	29,5	21,9	21,8	24,8	20,3
11:00	23,2	31,3	22,1	21,9	24,9	20,6
11:30	23,9	32,8	22,4	22,1	25,3	20,8
12:00	24,5	34,1	23,1	22,9	25,7	21,1
12:30	25,1	35	24	23	26,2	21,3
13:00	25,3	35,2	24,5	23,3	26,4	21,4
13:30	25,5	35,4	25,1	23,5	26,8	21,6
14:00	26,8	35,7	25,9	24,1	27,2	21,8
14:30	27	36,4	26,7	24,6	27,7	22,2
15:00	27,8	37,7	27,5	25,3	27,8	22,7
15:30	28,3	36,6	28	25,1	28,6	22,9
16:00	28,6	34,9	28,1	25,4	29	23,4
16:30	28,1	33,3	28,1	25,2	28,9	23,4
17:00	27,5	32	27,8	24,5	28,5	23,3

EK-18 17/05/2009 tarihindeki ölçüm değerleri

Saat	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Nemi (%)	Işıma Akısı (W / m^2)	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	İç Ortam Nemi (%)
09:00					
09:30					
10:00	16	37	151	18,8	58
10:30	18	32	458	18,8	58
11:00	19	30	484	18,9	58
11:30	20	27	545	18,9	59
12:00	22	24	516	18,9	59
12:30	23	22	540	19	60
13:00	23	21	558	19	60
13:30	24	20	574	19,1	60
14:00	24	19	573	19,2	60
14:30	25	18	555	19,3	61
15:00	25	17	540	19,4	61
15:30	26	16	523	19,5	59
16:00	24	18	116	19,5	59
16:30	24	19	90	19,6	58
17:00	23	19	65	19,6	58

Eğimli Kolektör				Dikey Kolektör		
Saat	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)	Kolektör Giriş (°C)	Kolektör Çıkış (°C)	Boyer Çıkış (°C)
09:00						
09:30						
10:00	23,2	30,4	22,2	21,9	25,1	20,8
10:30	24,1	31,7	23	22,4	25,5	21,1
11:00	24,8	32,8	23,7	22,7	25,8	21,4
11:30	25,7	34,1	24,6	22,9	26,2	21,5
12:00	26,2	34,9	25,3	23,2	26,6	21,8
12:30	26,9	35,8	25,9	23,7	26,9	22
13:00	27,1	36,2	26,1	23,9	27,1	22,1
13:30	27,4	36,5	26,4	24,2	27,5	22,4
14:00	28,2	37,1	26,7	24,5	28,2	22,8
14:30	29,1	38,2	26,8	25,2	29,3	23
15:00	29,9	39,3	27	25,6	29,4	23,6
15:30	30,4	40,1	27,1	26,1	30,1	23,9
16:00	30,5	38,9	27,3	25,3	30,9	24,5
16:30	30,3	38,2	27,4	25,5	29,8	24,6
17:00	29,3	37,6	27,5	24,7	29,5	24,6

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇAKIR, Gökçe
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 06.08.1984 Kayseri
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (532) 554 41 13
e-mail : cakirgokce@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Makine Mühendisliği	2009
Lisans	Gazi Üniversitesi / Makine Mühendisliği	2006
Lise	Ankara Atatürk Lisesi	2002

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006-...	BOTAŞ Genel Müdürlüğü	Makine Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Fotoğrafçılık, Basketbol, Yüzme