

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAVALI GÜNEŞ TOPLAYICILARI İLE
SU ISITMA

Mak. Müh. Şükrü Emre KARAKOÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Doğan ERYENER
ŞUBAT/2010-EDİRNE

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAVALI GÜNEŞ TOPLAYICILARI İLE
SU ISITMA

Mak. Müh. Şükrü Emre KARAKOÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği Anabilim dalı
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Doğan ERYENER
EDİRNE-2010


T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


HAVALI GÜNEŞ TOPLAYICILARI İLE
SU ISITMA

Mak. Müh. Şükrü Emre KARAKOÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bu tez 25.2.2010 tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Kabul Edilmiştir.


Yrd. Doç. Dr. Doğan ERYENER
(Tez Yöneticisi)


Yrd. Doç. Dr. Birsen ERDOĞAN


Yrd. Doç. Dr. Semiha KARTAL

ÖZET:

Güneşli hava ısıtıcıları olarak da adlandırılan havalı güneş toplayıcıları uzun ömürlü, ağırlıkça hafif, hacim ısıtması için uygun, donma ve korozyon gibi problemleri olmayan basit cihazlardır. Havalı güneş toplayıcıları, ek ısıtıcılarla birlikte bina ısıtılmasında, tarımsal ürünlerin kurutulmasında rahatlıkla kullanılabilir. Ayrıca orta ve düşük sıcaklık uygulamalarında ihtiyaç duyulan sıcak hava, güneşli hava ısıtıcıları ile üretilebilir.

Bu tezde havalı güneş toplayıcılarının kışın çalıştırılıp binaların ön ısıtılmasında kullanılmasına rağmen yazın etkin olmaması üzerinde durulmuştur. Sistemin yazın dışarı attığı ısıdan nasıl faydalanabileceğinin araştırması yapılmıştır.

Bu sebeple de havalı güneş toplayıcılarından yazın da faydalanabilmek için bir su ısıtma sistemi geliştirilmiş, bu araştırma kapsamında bir zorlanmış dolaşimli hava toplayıcısı, model olarak kurulmuştur. Bu model üzerinden kılcal borular kullanarak su ısıtma için en uygun akış düzenlemesi, su giriş -çıkış sıcaklıklarının tespiti, farklı debilerin ısıtma performansına etkisi yaz mevsimi için incelenmiştir

Anahtar Kelimeler: Havalı güneş toplayıcıları ile su ısıtma, Güneş enerjisi

SUMMARY:

Unglazed transpired solar collector, which are also called as perforated collectors are simple instruments which are long lasting, light, appropriate for volume heating and not having problems like freezing or corrosion. Unglazed transpired solar collector can be easily used with additional heaters for heating buildings and drying agricultural products. Also, perforated collectors can produce the warm air that is needed for the applications of low and medium temperatures.

The main point of this thesis is that; although unglazed transpired solar collector are used for the pre-heating of buildings in winter, they are not efficient in summer. The uses of the heat discharged by the system in summer were studied.

For that reason, a water heating system was developed to be able to benefit from the perforated collectors in summer. In the scope of this research a straitened circulated air collector was constructed as a model. The most suitable flow regulation for water heating by using capillary pipes, the determination of water input-output temperature and the influence of water flow on heating performance was investigated for summer by using this model.

Keywords: Heating water with unglazed transpired solar collector, solar energy

ÖNSÖZ

Dünya nüfusundaki hızlı artış, teknolojik gelişmeler ve mevcut olan enerji kaynaklarının tükenmekte oluşu, daha ucuz ve çevreyi kirletmeyecek yeni enerji kaynaklarının araştırılmasını ve geliştirilmesini zorunlu hale gerektirmektedir. Alternatif enerji kaynakları arasında güneş enerjisi bol ve tükenmeyen enerji kaynağı olarak ön plana çıkmaktadır. Güneş enerjisi uygulamalarından bir tanesi de güneş enerjisinden havalı güneş toplayıcıları ile su ısıtma uygulamasıdır. Bu sistemden aynı zamanda sıcak su elde edilmesi, böylece sistemin yıl boyunca sürekli olarak çalışması bu sistemi diğer sistemlerden ayıran en büyük unsurlardan biri olup araştırmacıların son yıllarda ilgisini çeken " havalı güneş toplayıcıları ile su ısıtma" konusunda bana çalışma imkanı veren ve çalışmalarımda yardım ve bilgilerini esirgemeyen hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Doğan ERYENER'e teşekkürlerimi sunarım

Anlayış ve desteğinden dolayı, aileme ve eşime teşekkürlerimi borç bilirim.

Şükrü Emre KARAKOÇ

ŞUBAT 2010

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
SUMMARY	II
ÖNSÖZ	III
İÇİNDEKİLER	IV
TABLolar DİZİNİ	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
SİMGELER DİZİNİ	XI
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMALARI	3
2.1. Güneşin Genel Tanımı	6
2.2. Güneş Enerjisi Hakkında Genel Bilgiler	6
2.3. Güneşte ve Yeryüzünde Enerji Dönüşümü	7
2.4. Güneş Enerjisi Kullanımının Tarihsel Gelişimi	8
2.5. Türkiye’de Güneş Enerjisi Gelişiminin Tarihçesi	9
2.6. Türkiye’nin Güneş Enerji Potansiyeli	11
2.7. Güneş Enerjisinin Avantaj ve Dezavantajları	13
2.8. Tezin Amacı ve Kapsamı	14
3. GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ	16
3.1. Güneş Enerjisi Uygulama Alanları	16
3.2. Güneş Toplayıcıları	18
3.2.1. Düzlem Yüzeyle Güneş Toplayıcıları	18
3.2.2. Odaklamalı Tip Güneş Toplayıcıları (Yoğunlaştırıcı)	20
3.2.2.1. Doğrusal Odaklamalı	21
3.2.2.2. Noktasal Odaklamalı	22

3.2.3. Havalı Güneş Toplayıcıları	23
3.2.4. Vakumlu Güneş Toplayıcıları	23
3.3. Güneş Enerjisiyle Su Isıtma Sistemleri	24
3.3.1. Sıcak Su Hazırlama Sistemlerinin Çeşitleri	24
3.3.1.1. Doğal Dolaşımli Sistemler	25
3.3.1.2. Basınçlı Sistemler (Pompa)	26
4. HAVALI GÜNEŞ TOPLAYICILARI	27
4.1. Havalı Güneş Toplayıcıların Sınıflandırılması	27
4.1.1. Camlı Havalı Güneş Toplayıcıları	29
4.1.1.1. Saydam Örtü	30
4.1.1.2. Hava Boşluğu	32
4.1.1.3. Yutucu Yüzey	33
4.1.1.4. Yalıtım	44
4.1.1.5. Kasa	44
4.1.1.6. Sızdırmazlık Malzemeleri	45
4.1.2. Camsız Delikli Güneş Toplayıcıları	45
4.2. Havalı Toplayıcıların Avantaj ve Dezavantajları	48
5. DELİKLİ HAVALI TOPLAYICILARIN TEORİK ANALİZİ	50
5.1. Enerji Denkliği	50
5.1.1 Emici Plaka Denge Denklemi	51
5.2. Isı Transfer Denklemleri	52
5.2.1. Konveksiyonla Isı Transferi	52
5.2.2. Işınımli Isı Transferi	54
5.3. Toplayıcı Verimi	55
5.4. Etkenlik	56

6. DELİKLİ HAVALI TOPLAYICILARDAN SICAK SU TEMİNİ	57
6.1. Giriş	57
6.2. Sistem Tasarımı	62
6.3. Kılcal Boru Sistemi ve Teknik Özellikleri	63
6.4. Isı Transfer Mekanizması	65
6.5. Etkenlik Analizi	66
7. DENEYSEL ÇALIŞMA	77
7.1. Delikli Güneş Toplayıcısı	78
7.2. Kılcal Boru Sistemi	79
7.3. Deneylerin Yapılması ve Verilerin Toplanması	83
8. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	84
8.1. Örnek İnceleme	89
8.2. Ekonomik Analiz ve Sistemin Geri Ödemesi	98
KAYNAKLAR	103
ÖZGEÇMİŞ	107

TABLOLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli	12
Tablo 2.2. Türkiye'nin yıllık güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	13
Tablo 4.1. Bazı malzemelerin ısı iletkenlikleri	37
Tablo 4.2. Yutucu plakaların özellikleri	41
Tablo 4.3. Bazı yüzeylerin güneş ışınımını yutma, ısı ışıma neşretme oranları	43
Tablo 6.1. Işıma değerine göre katsayılar	72
Tablo 6.2. Sıcaklık artışı ve kolektör iç sıcaklığı	72
Tablo 6.3. Delikli kolektörden suya aktarılacak ısı enerjisi	74
Tablo 7.1. Deney tesisatında kullanılan ölçüm cihazları ve yerleri	82
Tablo 8.1. Fan debisine bağlı olarak etkinliğin değişimine ilişkin bir örnek	87
Tablo 8.2. Mayıs ayı için 500 m ² delikli toplayıcıdan elde edilebilecek sıcak su enerjisi	89
Tablo 8.3. Haziran ayı için 500 m ² delikli toplayıcıdan elde edilebilecek sıcak su enerjisi	91
Tablo 8.4. Temmuz ayı için 500 m ² delikli toplayıcıdan elde edilebilecek sıcak su enerjisi	92
Tablo 8.5. Ağustos ayı için 500 m ² delikli toplayıcıdan elde edilebilecek sıcak su enerjisi	94
Tablo 8.6. Eylül ayı için 500 m ² delikli toplayıcıdan elde edilebilecek sıcak su enerjisi	96
Tablo 8.7. Kılcal boru sisteminden üretilecek ortalama ısı güç	99

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 8.8. Kılcal boru sisteminin yapacağı tasarruf	100
Tablo 8.9. Tahmini maliyet	100
Tablo 8.10. Parametreler	100
Tablo 8.11. Kılcal boru sisteminin yapacağı tasarrufun parasal akışı	101

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1. Düzlemsel güneş toplayıcıları ve kısımları	19
Şekil 3.2. Doğrusal yoğunlaştırıcı toplayıcı	22
Şekil 3.3. Noktasal yoğunlaştırıcı toplayıcı	22
Şekil 3.4. Vakumlu toplayıcının görünüş ve kısımları	24
Şekil 3.5. Doğal dolaşimli açık devreli sistem	25
Şekil 3.6. Zorlanmış dolaşimli sistem	26
Şekil 4.1. Pencere tipi havalı güneş toplayıcısı	28
Şekil 4.2. Duvar tipi havalı güneş toplayıcısı	28
Şekil 4.3. Havalı güneş toplayıcılarında farklı yutucu yüzey tasarımları	29
Şekil 4.4. Havalı güneş toplayıcısının kesit görünüşü	30
Şekil 4.5. Tek camlı toplayıcıda enerji prosesleri	31
Şekil 4.6. Farklı havalı toplayıcı tasarımları	33
Şekil 4.7. Havalı toplayıcıların yutucu yüzey şekilleri	34
Şekil 4.8. Havalı toplayıcı emici plakası	38
Şekil 4.9. Zıt yönlü, iki akışlı emici plaka	39
Şekil 4.10. Aynı yönlü, iki akışlı emici plaka	39
Şekil 4.11. Oluklu plakalı hava kolektörü	40
Şekil 4.12. Parlak metal üzerine gelen kızıl ötesi ışınları	42
Şekil 4.13. Seçici yüzeyin ışığı emmesi ve neşretmesi	42
Şekil 4.14. Ağaç kesitli hava toplayıcısı	44
Şekil 4.15. Havalı güneş toplayıcısı	46
Şekil 4.16. İç fan	46
Şekil 4.17. Çatı tipi ısıtma havalandırma ünitesi	47
Şekil 5.1. Havalı güneş toplayıcısında ısı transfer değişimi	50
Şekil 6.1. Isı değiştiricisi ile sıcak su eldesi (1)	59
Şekil 6.2. Isı değiştiricisi ile sıcak su eldesi (2)	60

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 6.3. Havalı güneş toplayıcısı ile yaz soğutması	62
Şekil 6.4. Havalı güneş toplayıcısı ile sıcak su temini	63
Şekil 6.5. Kazanlar için sıcaklığa bağlı ısıtma yükü değişimi	64
Şekil 6.6. Delikli havalı toplayıcı ile kılcal boru sistemi arasındaki ısı geçişi	65
Şekil 6.7. Kılcal boru ile ortam arasındaki sıcaklık farkının ısı geçiş katsayısına etkisi	68
Şekil 6.8. Kılcal boru ile ortam arasındaki sıcaklık farkının ısı geçiş katsayısına etkisi(2)	69
Şekil 6.9. Kılcal boru sistemini dolaşarak farklı su debileri için, kılcal boru ile ortam arasındaki sıcaklık farkına bağlı olarak elde edilebilecek sıcaklık artışı	70
Şekil 6.10. Güneş ışınımına bağlı olarak delikli toplayıcıda gerçekleşen sıcaklık artışı	71
Şekil 7.1. Deney tesisatının şematik şekli	77
Şekil 7.2. Kılcal boru sistemi teknik özellikleri	79
Şekil 7.3. Kılcal boru sisteminin delikli hava toplayıcısına yerleştirilmiş hali	80
Şekil 7.4. Deney düzeneği	81
Şekil 7.5. İklimlendirme tesisatı ve kolektör bağlantı	82
Şekil 8.1. Toplayıcı içi sıcaklığının 45 C sabit olması için, fan debisinin artışına bağlı olarak farklı su debileri için su çıkış sıcaklığının değişimi	84
Şekil 8.2. Su debisine bağlı olarak toplayıcıda elde edilen su çıkış sıcaklığı	85
Şekil 8.3. Toplayıcı fan debisi ile ısı geçiş etkinliğinin, sabit su debisi ve farklı toplayıcı iç sıcaklıkları için değişimi	86
Şekil 8.4. Gerçekleşen ısı transferi ile teorik ısı transferi arası fark	88

SİMGELER DİZİNİ

- A_s = Toplayıcı alanı (m²)
 $C_{P.hava}$ = Havanın özgül ısısı (kJ/kg K)
 $C_{P.ap}$ = Arka plakanın özgül ısısı (kJ/kg K)
 $C_{P.kol}$ = Emici plakanın özgül ısısı (kJ/kg K)
 D = Delik çapı (m)
 d_{kutu} = Kutu derinliği (m)
 H = Emici yüksekliği (m)
 h = Isı taşınım katsayısı (W/m² K)
 I_T = Toplayıcıya gelen güneş ışımasını (W/m² K)
 K_{hava} = Havanın ısı iletkenliği (W/m K)
 $m_{ç.hava}$ = Toplayıcı içindeki havanın kütlesi (kg/s)
 m_{ap} = Arka plakanın kütlesi (kg)
 m_{kol} = Toplayıcının kütlesi (kg)
 Nu = Nusselt sayısı
 P = Delik çapları arası mesafe (m)
 Q_{konv} = Konveksiyon ısısı (W)
 $Q_{rad.}$ = Radyasyon ısısı (W)
 Re = Reynold sayısı
 $T_{çevre}$ = Çevre sıcaklığı (°C)
 $T_{çıkı}$ = Çıkış sıcaklığı (°C)
 T_{ap} = Arka plaka sıcaklığı (°C)
 T_{kol} = Ortalama toplayıcı sıcaklığı (°C)
 $T_{gök}$ = Gökyüzü sıcaklığı (°C)
 $v_{giriş}$ = Giriş hızı (m/sn)
 v_{kutu} = Kutu hızı (m/sn)

$v_{rüzgar}$ = Rüzgar hızı (m/sn)

W = Emici genişliği (m)

α_{kol} = Toplayıcı yüzeyinin güneş absorpsiyonu

β = Emicinin gözenekliliği

ΔP = Basınç düşümü (Pa)

$\varepsilon_{etk.}$ = Etkenlik

ρ_{hava} = Havanın yoğunluğu (kg/m^3)

ρ_{kol} = Emicinin yoğunluğu (kg/m^3)

ρ_{ap} = Arka plaka yoğunluğu (kg/m^3)

η_{kol} = Toplayıcı verimi

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında enerji tüketiminin artması, birincil enerji kaynaklarının biteceği düşüncesi, ortaya çıkan enerji krizleri araştırmacıları yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmekte; enerji kaynakları yenilenebilir olmaları, ekonomik olmaları, çevreye zarar vermemeleri nedeniyle tercih edilmektedir. Bu durumda güneş enerjisi, alternatif enerji kaynağı olarak gündeme gelmiştir. Güneş enerjisinin önem kazanması daha çok 1973 yılındaki dünya enerji krizi ile başladı. Petrol fiyatlarının gittikçe artması, yeni kaynaklar üzerindeki çalışmaları artırmış, özellikle güneş enerjisi, üzerinde en çok konuşulan konu olmuştur. Güneş enerjisinin yenilenebilir bir enerji kaynağı oluşu, çevre kirleticiler malzemelerin olmayışı, yerel olarak uygulanabilmesi, ileri teknoloji gerektirmemesi güneş enerjisini araştırma konularının başında tutmaktadır.

Güneş enerjisi, enerji kaynakları arasında kolay faydalanılabilen enerjilerin başında gelmektedir. Fakat yer kürede birim yüzeye gelen enerjinin sınırlı oluşu, geceleri hiç olmaması, gün içinde de havanın durumuna bağlı olarak değişiklik göstermesi, uygulama alanının önemli bir seviyeye gelmemesinin unsurlarıdır.

Türkiye’de birim m² başına düşen güneş enerjisi, diğer bir çok ülkeden fazla olmaktadır. Bulunduğu konum itibariyle güneş kuşağı içerisinde yer alan ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli oldukça yüksektir. 36°ve 42° Kuzey enlemleri arasındaki güneş kuşağında bulunan ülkemiz, yıllık ortalama güneş ışınımı 3.6 kWh/m² gün olan, yıl boyunca toplam güneşlenme süresi yaklaşık 2640 saat olan ülkemizde, düz yüzeyli toplayıcılar hariç güneş enerjisi yaygın olarak kullanılmamaktadır. Şu an için güneş enerjisinin kullanımı oldukça azdır, ancak gelecekte enerji gereksiniminin karşılanmasında, hali hazırda kullanılan enerji kaynaklarının yanında önemli seçeneklerden biri olacağı düşünülmektedir. Yurdumuzda en yüksek güneş enerjisi potansiyeli Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgesindedir (Uçar,1999).

Gelişmiş ülkelerde, güneş enerjisi ile hacim ısıtma, soğutma, pişirme, kurutma ve elektrik üretme gibi konular, güneş enerjisinin kullanıldığı alanlardır. Bugüne kadar binaların ısıtılması için birçok çalışma yapılmıştır, fakat hem ülkemizde hem

de dünya da havalı güneş toplayıcıları kullanılarak iç ortam ısıtılması için fazla bir çalışma yoktur. Yeni keşifler ile zorlanmış dolaşimli hava toplayıcıların bina ısıtmasındaki önemi çok artmış, Avrupa'da yeni binaların yapım aşamasında, zorlanmış dolaşimli havalı toplayıcılar kullanılmaya başlanmıştır. Genel olarak, ısıtma amaçlı zorlanmış dolaşimli hava toplayıcılarının yalnızca kışın kullanılması ve yazın kapatılması, büyük yüzeylere sahip bu toplayıcılardan bahar ve yaz mevsimlerinde hiç faydalanılmamasına neden olmaktadır. Bu çalışma, teknik olarak yeni bir yaklaşım içermesi ve havalı toplayıcılar için su ısıtma potansiyelinin belirlenmesi bakımlarından önemli bir araştırmadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMALARI

1942 yılında Hottel ve Woertz, düz plakalı hava ısıtmalı güneş toplayıcıların performansı ile ilgili ayrıntılı ilk çalışmaları yapmıştır. Bu çalışmalar, deneysel olarak güneş enerjisi ile ısıtılmış konutlarda denenmiştir

1987 yılındaki çalışmalarında, Yeh ve Ting yutucu plaka ile cam arasını demir talaşıyla doldurmuş ve deneyler sonucunda demir talaşıyla doldurulmuş toplayıcı için verimin, siyah yüzeyin toplayıcı ortasında olduğu verime göre %38 oranında daha fazla olduğunu göstermişlerdir.

Yeh ve Ting (1990), hava ısıtmalı güneş toplayıcılarına kanatlar ilave ederek, toplayıcı verimini arttırmayı hedeflemiştir. Kanat sayısının artışıyla toplayıcı veriminin %12 oranında arttığı sonucuna varmışlardır.

Yeh ve Lin (1995), düz plakalı hava ısıtmalı güneş toplayıcılarının, toplayıcı verimleri üzerinde birbirlerine paralel olan engellerin etkisini deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Engelleri uygun aralıklarla yerleştirerek, deneysel çalışmaları engellerin farklı bölgelerinde yapmışlardır. Maksimum toplayıcı verimi için, optimal engel yerinin toplayıcı merkezinin olduğu ve engel sayısının artışıyla toplayıcı veriminin arttığı gözlenmiştir

Yeh ve Lin (1996), hava akışının siyah yüzeyin üst kısmında olduğu hava ısıtmalı güneş toplayıcıların verimi üzerinde toplayıcı boyutunun etkisini, deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Bu çalışmada toplayıcı boyutu (L/D) arttığı zaman verimin yaklaşık olarak %10 arttığı ve havanın, yutucu plakanın yukarisından aktığı toplayıcı için verimin, hava akışının siyah yüzeyin altında olduğu toplayıcıya göre %18 daha fazla olduğunu göstermektedirler.

Tabor (1962), paralel plakalar arasındaki taşınım ile ısı transferinde, yeni bir bağıntı geliştirerek, Hottel ve Woertz'in kayıp hesaplarını düzeltmiştir. Düzeltilmiş ısı kayıp katsayısını kullanarak, Hottel ve Woertz'in değerlerini tekrar hesaplamış, deneysel ve teorik değerler arasında mükemmel bir uyum olduğunu göstermiştir.

Parker ve arkadaşları 1988, V oluklu yutucu plakalı güneş enerjili hava ısıtıcıların ısı performans deneyini ve ısı analizini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada üç toplayıcı tipi denenmiştir. Bunlar, yutucu plakanın yukarisından akış, yutucu plakanın

her iki yüzeyinden akış ve yutucu plakanın altından akıştır. İmalat farklılıkları nedeniyle meydana gelen ısı performans değerlerini kontrol etmek için aynı tip toplayıcılar için ortak denemeler yapmışlardır.

1991 yılında Giorgi vd. tarafından yapılan araştırmada hava ısıtılmalı güneş enerjisi sistemlerinin uygulaması olarak bir yerin ısıtılması üzerinde çalışılmıştır. Verimin daha da artırılması için tasarımı yapılan güneş enerjisi sistemine ek olarak elde edilen ısıyı depolayacak sistemin tasarımı da yapılmıştır.

Ertekin ve Bilgili (1998), çalışmalarında, hava ısıtılmalı güneş toplayıcılarını tanıtarak bunların yapımında kullanılan yutucu yüzeyler, geçirgen örtüler, yalıtım malzemeleri ve kasalar hakkında bilgi vererek, ısı verimin belirlenmesinde kullanılan ısı kazanç faktörü, verimlilik faktörü ve toplam ısı kayıp katsayıları ile ilgili formüller vermişlerdir

1998 yılında; İnallı, vd. ; Çift geçişli hava ısıtılmalı güneş toplayıcılarından yutucu yüzey konumunun ısı verime etkisini, üç tip toplayıcı ile Elazığ iklim şartlarında araştırmışlardır. 1. tip toplayıcıda hava, siyah yüzeyli levha ile saydam üst örtü arasındaki kanaldan, 2. Tip toplayıcıda siyah levhanın her iki yüzeyinde akmaktadır. 3. tip toplayıcıda ise alt plaka ile saydam örtü arasındaki kanala saçtan kanallar yerleştirmişlerdir. Deneyler sonucunda en verimli toplayıcı olarak 3. tip toplayıcıyı seçmişlerdir. Elazığ'da açık günlerinde ölçülen 200-600 W/m² güneş ışınımı değerleriyle, çoğu tarımsal ürünlerin kurutulması için elverişli olan 20-40°C'lik sıcaklık farkları elde edilebileceğini bulmuşlardır.

2000'de Can ve Eryener; yaptıkları çalışmada hasattan sonra yüksek nem oranına sahip kabak çekirdeklerinin, güneş enerjisiyle ısıtılmış hava ile kurutulmasını araştırmıştır. Deneysel bulunmuş sonuçları değerlendirdiklerinde, kabak çekirdeği kurutmasında, kurutma havası sıcaklığı ve hızının etkili parametreler olduğunu görmüşlerdir. Kurutma havası sıcaklığının ve hızının artmasına bağlı olarak, kabak çekirdeği kuruma hızının arttığını tespit etmişlerdir

2000 yılında Olgun ve Ayhan; güneş enerjisi yardımıyla fındık kurutulması için yapılan çalışmada kabinet ve çadır tipli olmak üzere iki farklı güneş enerjili kurutucu kullanmışlardır. Bu iki kurutucuda; dalından toplanmış, nem oranı yüksek ve cürufundan ayrılmış fındığı kurutmuşlardır. Çalışma sonuçlarını açık havada doğal yolla yapılan kurutma sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak ise kabinet tipli

kurutucu ile çadır tipli kurutucunun hemen hemen aynı kuruma zamanı verdikleri görülmüştür. Açık havada yapılan kurutmaya göre daha hızlı bir kurutma sağlandığını tespit etmişlerdir.

2002'de Toğrul ve Pehlivan; çift geçişli hava ısıtmalı güneş toplayıcılarında yutucu yüzey konumunun ısı verime etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada, çift geçişli hava akış kanalında dolgu malzemesi bulunan yeni dizayn edilmiş bir konik yoğunlaştırıcı hava ısıtıcının termal performansına farklı absorber yüzey kullanımının etkisi araştırmışlardır. Bu amaçla, standart siyah boyalı bakır boruyu, seçici yüzeyi ve yapay olarak pürüzlendirilmiş absorber yüzeyini ayrı ayrı kullanarak, en yüksek termal verimin seçici yüzey kullanımı ile elde edildiğini görmüşlerdir.

2001 yılında Durmuş ve Kurtbaş, yaptıkları çalışmada, Elazığ yöresinde yetişen kayısıların yine aynı bölge şartları altında güneş enerjisi yardımıyla kurutulmasında, kayısı yüzey sıcaklığının deneysel olarak tespit edilmesini incelemişlerdir. Deneylerde havalı güneş toplayıcıları ve dikey konumlu tepsili kurutucu kullanmışlardır. Çalışmada havalı güneş toplayıcısı olarak ondülin yüzey profilli yeni bir tip toplayıcı tasarlamışlardır.

Kurutma ortamındaki hava sıcaklığı, hava debisinin ayarlanması ile değiştirilebilmektedir. Tepsili kurutucu giriş hava sıcaklığını 270°C ile 490°C aralığında değiştirmişler. Deneyler boyunca kayısılar sürekli tartılarak kütle kaybı tespit edilmiş, kurutulan ürünün renk ve tat değişimlerini sürekli kontrol altında tutmuşlardır. Deneyler Elazığ ilinde 2000 yılının Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında, istimlenmiş ve çekirdeği çıkartılmış, yaklaşık eşit büyüklüklere sahip kayısılar üzerinde yapılmışlar

Halen İspanya'da 1983'te yapılan, 330m² alanda faaliyet gösteren Los Molinos projesi, İtalya'da 45.enlemde 40 dairesel bir toplu konut örneği olan Orbassano projesi, Fransa'da 48. paralelde 19 blok, 593 konutun enerji, ihtiyacını gideren Lievre D'or projesi , Hollanda'da 52.paralelde, 1985-1987 yıllarında yapılmış ve 275 dubleks ev için tasarlanan Overbos 8 projesi, İrlanda'da 52.3 paralelde, 22 tane güneş evini içeren Clombel projesi, dünya üzerinde güneş enerjisinden faydalanarak konutların ısınma ve sıcak su ihtiyacını temin eden projelere somut birer örnektir.

2.1. Güneşin Genel Tanımı

Güneş, manyetik bir alana sahip olan, dönen ve çekirdeğinde enerji üreten, hidrojen ve helyum gazlarından oluşan orta büyüklükte bir yıldızdır. Dünya ile Güneş arasındaki mesafe 150 milyon km' dir. Evrendeki diğer yıldızlara göre daha parlak ve daha büyük bir yıldızdır.

Güneş enerjisi, 15 milyon K(Kelvin) sıcaklıktaki ve yeryüzü atmosfer basıncından milyarlarca kez fazla olan çekirdeğindeki, hidrojenin helyuma dönüşmesinden kaynaklanır. Çekirdek tepkimeleri sonucu serbest kalan enerji, yüzeye gelir ve buradan uzaya yayılır. Güneş enerjisinin ancak 2.2 milyarda biri yer küre tarafından absorbe edilir ve yaşam için gerekli koşulların oluşması sağlanır.

Güneşten, X ışınlarından radyo dalgalarına kadar her dalga boyunda enerji yayılır. Güneşin görünen yüzeyine ışık küre (fotosfer) denir. Bu yüzeyin üzerinde, renk küre (kromosfer) yer alır. Güneşte ışınım kuvveti ve çekme kuvveti denge halinde bulunur. 700.000 km çapa göre çekirdekte oluşan ışığın hızı da göz önüne alındığında yüzeye yaklaşık iki saniyede gelmesi gerekirken, aşırı hidrojen yoğunluğuna bağlı olarak bu süre 1 milyon yıldır. Bu yüzden biz güneşin 10 milyon yıl önce oluşturduğu ışığı görürüz. Dünya'ya güneşten gelen enerji, Dünya'da bir yılda kullanılan enerjinin 20 bin katıdır (Akat, 1995).

2.2. Güneş Enerjisi Hakkında Genel Bilgiler

Güneşin çapı	: 1.392.700 km (yer çapının 110 katı)
Uzaklığı (Dünya'dan)	: 149.500.000 km
Yüzey alanı	: 6,087 x 10 ¹² km ² (Yer yüzey alanının 12 000 katı)
Hacmi	: 1,412 x 10 ¹⁸ km ³ (Yer hacminin 1 306 000 katı)
Kütlesi	: 1,99 x 10 ³⁰ kg (Yer kütlesinin 333 40 katı)

Işık hızı	: 300.000 km/s
Ses hızı	: 340 m/s
Dünyanın Çapı	: 12.660 km
Güneş ışığının dünyaya geliş süresi:	8 dakika
Güneş yüzeyi sıcaklığı	: 6000°C
Işık şiddeti	: $3,17 \times 10^{27}$ mum
Güneşten Dünyaya gelen enerji	: 15.1017 kWh/yıl
İç yapısı	: Yoğunluğu 150.000 kg/m ³
Basıncı	: 4×10^{16} N/m ² (pascal)
Yer yüzüne gelen ışımaya	: 1000 W/m ²
Atmosfer dışı güneş ışınım şiddeti	: 1360 W/m ²

2.3. Güneşte ve Yer Yüzünde Enerji Dönüşümü

Çapı 110, kütlesi 334.320, yer yüzey alanının 12.000, yer hacminin ise 1.306.000 katı dünyamızdan büyük olan güneşte hidrojenin helyuma dönüşmesi ile 1 kg He başına 1,39.1011 kJ' lük enerji açığa çıkar. Güneş saniyede $3,86 \times 10^{33}$ erglik enerji yaymakta kütle-enerji eşdeğerliği uyarınca bu enerji üretimi, Güneş'in saniyede 4,7 milyon ton kütle kaybettiği anlamına gelir, bir başka deyişle güneş yılda toplam kütesinin 10^{11} 'de birini kaybetmektedir.

Güneş'ten gelen enerjinin yaklaşık %30'u yansıma ve saçılmalarla uzaya geri gider. Yaklaşık %20'si hava kürede soğurulur. Geri kalan %50'si de yeryüzünde soğurulur.

Yeryüzüne ulaşan bu güneş enerjisi doğal dönüşümlere uğrar. Bu dönüşümlerden biri, suların buharlaştırılarak dünyadaki su döngüsünün sağlanmasıdır. Bu işlem, gerek biz insanlar için, gerekse tüm canlılar için çok önemlidir. Böylece derelerimiz akabilir, yer altı sularımız kurumaz, yağmur ve kar yağışları olabilir. Bu gün sadece Türkiye üzerine bir yılda düşen yağış tutarının 500 milyar ton su olduğu göz önüne alınırsa, bu işlemin ne denli önemli olduğu anlaşılabilir.

İkinci bir dönüşüm, ışıkla birleşimdir. Bu işlem, dünyadaki canlılar için yaşam demektir. Bir saniyede gelen güneş enerjisinin yaklaşık onbinde ikisi bu işlem için harcanır. Ya da başka bir deyişle, bitkilerde toplanır. Bitkiler, gelen güneş enerjisini kullanarak ışıkla birleşim yapmakta ve böylece biokütle oluşturmaktadırlar. Yani, gelen güneş enerjisinin bu kesri, biokütleye dönüştürmektedir. Tüm canlıların besin kaynağı bu enerjidir. Biokütle ile otlar oluşur; otları yiyen otoburlar oluşur; otoburları yiyen etoburlar oluşur. Güneş enerjisinin bir diğer dönüşümü de rüzgarlar ve deniz dalgalarıyla okyanus akıntılarıdır. Rüzgarların oluşması temelinde havanın bazı bölgelerinin değişik etkenler sonucu diğer bölgelere kıyasla daha sıcak ya da daha soğuk olmasından kaynaklanan basınç farklılıkları etkin olmaktadır. Bu ısınma ve soğumalarda da güneş etken rol oynamaktadır. Deniz dalgaları ve akıntıları temelde rüzgarın etkisiyle ortaya çıkarlar. Dolayısıyla, hem rüzgar, hem de deniz dalgaları, akıntılar birer güneş enerjisi türevidir (Öztürk, 2008).

2.4. Güneş Enerjisinin Kullanımının Tarihsel Gelişimi

Güneş enerjisi, son yıllarda yenilebilir enerji kaynakları içinde, üzerinde en çok çalışılan olmuştur. Güneş dünyamıza ve diğer gezegenlere enerji veren büyük bir enerji kaynağıdır. Bitkiler, canlı doku üretmek ve besin yapabilmek için güneş enerjisinden faydalanırlar. Rüzgar, güneş ışınlarının sıcaklık farkı hasil etmesinden meydana gelir. Kömür ve bitki artıklarından petrol meydana gelmesi de güneş enerjisi sayesinde.

Güneş ışınları, asırlardan beri yeryüzüne geldiği halde, faydalanmaya başlama oldukça yenidir.

M.Ö.400 yılında Sokrat evlerin güney yönüne fazla pencere koyarak güneş ışınımının içeri alınmasını sağlamıştır.

M.Ö.250 yılında Arşimed iç bükey aynalarla güneş ışınımını odaklayarak Sirakuza'yı kuşatan gemileri yakmıştır.

1600' lü yıllarda Galile'nin merceği bulmasıyla Güneş enerjisi konusunda çalışmalar hızlanmıştır.

1725 yılında ilk defa Fransa'da Belidor tarafından güneş enerjisi ile çalışan pompa

yapılmıştır.

1860 yılında Mouchot, parabolik aynalar yardımıyla güneş ışınlarını odaklayarak, küçük bir buhar makinası yapmıştır.

1868 yılında Ericsson ilk defa güneş enerjisi ile çalışan, hava çevrimli makinayı geliştirmiştir.

Bu yıllarda güneş enerjisi konusunda çalışmalar yoğunlaşmış , tatlı su elde edilmesi ve güneş ocakları ile ilgili çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Adams, Hindistan'da yedi askerin yemeğini en soğuk ay sayılan Ocak ayında, konik yansıtıcı güneş ocağıyla iki saatte pişirmiştir. Shuman ve Boys, 1913 yılında parabolik aynalar yardımıyla bir buhar üreticisi yapmışlar ve bundan faydalanarak Nil nehrinden su çeken 50 BG'deki sulama pompasını çalıştırmışlardır.

Birinci Dünya Savaşı esnasında petrolün önem kazanması ile güneş enerjisine yönelik çalışmalar azalmıştır. 1930 yılında itibaren ilgili çalışmalar artmışsa da fazla uygulama alanı bulamamış, çalışmalar araştırma kurumların dışına çıkmamıştır.

Ancak 1960'lı yıllardaki petrol krizinin ortaya çıkması insanları alternatif enerji kaynakları konusunda çalışma yapmaya itmiştir. Öncelikli olarak çalışmalar, temiz ve masrafsız enerji kaynakları olan güneş enerjisi üzerine yoğunlaştırmıştır.

2.5. Türkiye'de Güneş Enerjisi Gelişiminin Tarihçesi

Türkiye'deki Güneş enerjisi araştırmalarını temel olarak iki ana grupta toplamak mümkündür:

1. Güneş enerjisi potansiyelinin tespiti ve tayini hakkındaki çalışmalar
2. Güneş enerjisi uygulamaları ve teknolojisi ile ilgili çalışmalar

Güneş enerjisi, zirai ürünlerin kurutulması, soğuk mevsimlerde mahal ısıtılması, evlerde havalandırma amacıyla ve tüm dünyada bilhassa gelişmiş ülkelerdeki yaygın uygulamaları ile kullanılmaktadır. Ülkemizde 1960'ların başlarında güneş enerjisi ilk defa alternatif enerji kaynağı olarak anlaşılmış ve bazı yatırımcılar ve üniversitelerde verilen tezler ile bu konuda çalışmalar başlamıştır.

1970'lerin ortalarında, dünyadaki güneş enerjisi teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak, ülkemizde de bilhassa güneş enerjisinin ısıl uygulamaları konusu üniversiteler, devlet ve endüstri açısından önem kazanmıştır ve güneş enerjisi çalışmaları bu tarihten itibaren artan bir hızla gelişmiştir.

1975 yılında güneş enerjisi konusundaki ilk kongre İzmir'de gerçekleşmiştir. Yine ilk pasif güneş enerjisi uygulaması Orta Doğu Teknik Üniversitesi bünyesinde 1975 yılında gerçekleşmiştir. Güneş enerjisi konusundaki çalışmalar ağırlıklı olarak ODTÜ, İTÜ, Yıldız ve Ege Üniversiteleri tarafından yaygın olarak yürütülmekle beraber, Türkiye'deki tek Güneş Enerjisi Enstitüsü, Ege Üniversitesi bünyesinde 1978 yılında kurulmuş ve o günden itibaren faaliyet göstermektedir. 1980'lerin sonunda bu konudaki çalışmaları devlet destekli TÜBİTAK bünyesindeki Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü (MBEAE) yürütmektedir. MBEAE, Güneş enerjisi düşük sıcaklık uygulamaları ve Türk endüstrisinin ısıl enerji ihtiyacının modellenmesi konusundaki projeleri 1977-1985 yılları arasında ağırlıklı olarak desteklemiştir. Yine TÜBİTAK bünyesinde 1986 yılında kurulan Ankara Elektronik Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü güneş pillerinin tasarımı ve üretimi konusundaki çalışmaları desteklemektedir.

Uluslararası Güneş Enerjisi Derneği Türkiye Şubesi (International Solar Energy Society Turkey Branch UGET-TB) 1992 yılından itibaren Türk devletinin izniyle aktif olarak çalışmalarını sürdürmektedir. Devlet Meteoroloji Enstitüsü (DME) geçen yüzyılın başından itibaren gittikçe artan sayıdaki istasyonlarda iklimsel verilerin kayıt edilmesi, değerlendirilmesi ve bilginin dağıtılması konusunda aktif olarak çalışmakta, diğer taraftan Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) de güneş enerjisi ile su ısıtma, aktif ve pasif mahal ısıtması, yoğunlaştırıcılar ve güneş pilleri konusundaki çalışmalara imkân sağlamaktadır. Bu kuruluş 1982 yılından itibaren yenilenebilir enerji kaynaklarının ve özellikle güneş ve rüzgâr enerjisinin geliştirilmesinden sorumludur. Bu kuruluşun geçmişte bu konudaki çalışmaları daha ziyâde araştırma ve geliştirme ve projelerin tanıtılması konusunda olmakla beraber son yıllarda kaynakların tespiti ve potansiyel tayini ağırlık kazanmıştır. Makina ve Kimya Enstitüsü (MKE) kurumu ise düzlemsel ve silindirik parabolik toplayıcıların üretimi, testleri ve pazarlanmasına yönelik çalışmaları kısa sürelerle gerçekleştirmiştir (Kılıç, 1993)

2.6. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye dünya üzerinde 36° - 42° kuzey enlemleri ve 26° - 45° doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Türkiye'nin yıllık ortalama güneş ışıını 1303 kWh/m²yıl, ortalama yıllık güneşlenme süresi ise 2623 saattir. Bu rakam günlük 3,6 kWh/m² güce, günde yaklaşık 7,2 saat, toplamda ise 110 günlük bir güneşlenme süresine denk gelmektedir. 9,8 milyon TEP (ton eşdeğer petrol) ısı uygulamalarda kullanılmak üzere yıllık 26,2 milyon TEP enerji potansiyeli mevcuttur. Yılın 10 ayı boyunca teknik ve ekonomik olarak ülke yüzölçümünün %63'ünde ve tüm yıl boyunca %17'sinden yararlanabilir.

Güneş radyasyonu bu dünyanın atmosferine dik ise, bir düşme 1.367 W/m² dir.(güneşi sabit kabul edersek, yoksa dünya döndüğü için bu açı devamlı olarak değişecektir) 1.367 W/m² olan bu değer 50 W/m² atmosferde emilir ve yeryüzüne 1.000 W/m²'lik bir değer ile ulaşır. Yıllık bazda, Türkiye'de bu değer 1.100 kWh/m² yıl ile 1.300 kWh/m²yıl arasında değişmekle beraber, çöllerde 2.500 kWh/m² yıl'ı bulmaktadır.

Bulutlu yaz günlerinde ışığın %80'lik kısmı emilmesine karşın 300 W/m²'lik bir güç oluşmaktadır. Gerekli yatırımların yapılması halinde Türkiye yılda birim m²'sinden ortalama 1.100 kWh'lik güneş enerjisi üretebilir. Güneşten dünyaya saniyede yaklaşık 170 milyon MW enerji gelmektedir. Güneşten bir saniyede dünyaya gelen güneş enerjisi miktarı, Türkiye'nin yıllık enerji üretiminin 1700 katıdır (EİE, 2006)

Tablo 2.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli

Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli			
Kaynak: EİE Genel Müdürlüğü			
Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi (Saat/ay)
	(kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	
Ocak	4,45	51,75	103,0
Şubat	5,44	63,27	115,0
Mart	8,31	96,65	165,0
Nisan	10,51	122,23	197,0
Mayıs	13,23	153,86	273,0
Haziran	14,51	168,75	325,0
Temmuz	15,08	175,38	365,0
Ağustos	13,62	158,40	343,0
Eylül	10,60	123,28	280,0
Ekim	7,73	89,90	214,0
Kasım	5,23	60,82	157,0
Aralık	4,03	46,87	103,0
Toplam	112,74	1311	2640
Ortalama	308,0 cal/cm ² -gün	3,6 kWh/m ² -gün	7,2 saat/gün

Türkiye'nin en fazla güneş alan bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi olup, ikinci sırada Akdeniz Bölgesi gelmektedir. Türkiye'nin aylık ve yıllık Güneş enerjisi potansiyelleri Tablo 2.1 ve Tablo 2.2' de gösterilmiştir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi ülkemizin enerji bakımından en zengin bölgesidir. Bu bölgeye gelen yıllık toplam güneş enerjisi miktarı 1460 kW/m² ve yıllık toplam güneşlenme süresi ise 2993 saattir. Bunun yanında Karadeniz Bölgesi Türkiye'nin en az güneş enerjisi potansiyeline sahip bölgesidir. Bu verilen ışığında Türkiye'de toplam olarak yıllık alınan enerji 10¹⁵kWh kadardır.

Tablo 2.2. Türkiye'nin yıllık güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı

Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı		
Kaynak: EİE Genel Müdürlüğü		
Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)
G.Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

2.7. Güneş Enerjisinin Avantaj ve Dezavantajları

Güneş enerjisinin diğer enerji türlerine göre çok sayıda avantajı mevcuttur. Bunlar şöyle sıralanabilir:

- Tükenmeyen enerji kaynağıdır.
- Temiz enerji türüdür.
- Doğabilecek ekonomik bunalımdan etkilenmez.
- Mahalli uygulamalara elverişlidir.
- Çok sayıdaki ülkede faydalanılabilir.
- Karmaşık teknolojiye ihtiyaç duyulmamaktadır.
- İşletme masrafları çok azdır.

ğ) Güneş enerjisinin gaz, duman, kükürt veya radyasyon gibi zararlı artıkları yoktur.

Enerjiden, ihtiyaç duyulduğu bölgede faydalanılabileceğinden, enerjinin nakil problemi de yoktur. Güneş enerjisinin diğer enerji kaynaklarına göre çok sayıda üstünlükleri olmasına rağmen, günümüzde uygulamalarının az oluşunun sebepleri vardır.

Bunlar:

- a) Birim yüzeye gelen güneş ışınları devamlı olmadığından depolama gerekmektedir,
- b) Enerji ihtiyacının fazla olduğu kış aylarında, güneş ışınları az ve geceleri ise hiç yoktur,
- c) Güneş enerjisinden faydalanılan birçok tesisatın ilk yatırım masrafları fazladır.

Günümüzde, özellikle petrol fiyatlarının çok hızlı artması, güneş enerjisini gittikçe cazip kılmakta ve güneş enerjisinden faydalanılan sistemlerin sayısı her geçen gün artmaktadır. Güney ve batı sahillerimizde çok sayıda güneş enerjili sıcak su sistemi mevcuttur (Uyarel ve Öz, 1987).

2.8. Tezin Amacı ve Kapsamı

Genel olarak; kışın ısıtma amaçlı kullanılan, cephe sistemleri şeklinde binaların yüzeylerine kurulan, büyük yüzey alanına sahip olan havalı güneş toplayıcıları yazın devre dışı bırakılmaktadır. Bu tezde yazın sistemin dışarı attığı ısıdan faydalanabilme yolları olup olmadığının araştırılması yapılmıştır.

İlk olarak, zorlanmış dolaşımli bir hava toplayıcısı model olarak kuruldu.

Bu tasarım üzerine kılcal boru düzeneği hazırlanarak, havadan borulara ısı geçişi sağlanacaktır.

İkinci aşamada, havalı toplayıcının metre karesindeki ışınım değeri belirlenerek, bu ışınım değerinde, farklı debilerde hava gönderilip, ısıtma performansını nasıl etkilediği,

bu ısının suya ne kadarının aktarıldığı, suyun giriş-çıkış sıcaklığının ne kadar değiştiği araştırılarak, en uygun akışa ulaşılmaya çalışıldı.

Son kısımda ise tasarlanan modelin performansını etkileyen parametreler kontrol edilerek deneyin sonuçları incelendi. Bu çalışma teknik olarak yeni bir yaklaşım içermesi ve havalı toplayıcılar için su ısıtma potansiyelinin belirlenmesi bakımından önemli bir araştırmadır.

3. GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ

Güneş enerjisi sistemleri yöntem, malzeme ve teknolojik düzey açısından çok çeşitlilik göstermekle birlikte, iki ana başlık altında incelenir.

- 1) Güneş ısı sistemleri
- 2) Güneş elektrik sistemleri

Bu sistemlerde öncelikle güneşin ışınım enerjisinden ısı enerjisi elde edilir. Güneş ısı sistemlerinin düşük ve yüksek sıcaklıktaki uygulamaları vardır. Düşük sıcaklıktaki uygulamalar; yapıların ısıtılması, konut, sanayi ve tarımda çeşitli ısı gereksinimlerin karşılanmasını kapsarken, yüksek sıcaklıktaki uygulamalar buhar üretiminden maden eritmeye kadar uzanmaktadır. Isıl uygulamalar içinde su ısıtıcılar, yapıların ısıtılması ve soğutucular önemlidir. Güneş enerjisinin diğer ısı uygulamaları kurutma, acı ve tuzlu suların arıtılması, sıcak hava motorları ile diğer termodinamik ısı çevrimler olup, tarımda ve çeşitli sanayi kesimlerinde bu uygulamalardan yararlanır (Ültanır, 1998).

3.1. Güneş Enerjisi Uygulama Alanları

Güneş enerjisinden direkt faydalanılan sistemler, aktif ve pasif sistemler diye iki kısımdan incelenmektedir. Toplayıcılar veya diğer herhangi bir dönüştürücü ile güneşten enerji teminine aktif faydalanma denir. Özellikle binaların yön, geometri ve yapı elemanlarının değişimiyle güneşten enerji teminine pasif faydalanma denir.

Güneş enerjisinden faydalanma şekillerinden bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 1) Sıcak su temini,
- 2) Meskenlerin ısıtılması,
- 3) Meskenlerin serinletilmesi,

- 4) Kurutma,
- 5) Tarımda faydalanma,
- 6) Güneş fırınları ve güneş ocakları,
- 7) Güneş pompaları,
- 8) Yüzme havuzlarının ısıtılması,
- 9) Isı pompası,
- 10) Elektrik elde edilmesi,
- 11) Soğutma sistemlerinde,
- 12) Tuz temini,
- 13) Deniz suyundan saf su elde edilmesi,
- 14) Yapma fotosentez,
- 15) Sera ısıtması.

Yukarıda belirtilen uygulamaların birçoğunda güneş ışınları bir ısı değiştircisi (genellikle düz toplayıcı) aracılığıyla bir akışkana (su, hava) aktarılır. Sıcaklığı artan akışkan, faydalanma maksadına göre depolanır veya sisteme gönderilir.

Genel olarak uygulama alanları birkaç grupta toplanabilir.

- 1) Düşük sıcaklık (30-100°C) uygulamaları: Bu tür uygulamalarda düz güneş toplayıcıları kullanılır. Sıcak su sistemleri, hacim ısıtması, soğutma, kurutma, güneş pompası, ısı pompası, su damıtılması gibi uygulamaları mevcuttur.
- 2) Orta sıcaklık (100-300°C) uygulamaları: Odaklı toplayıcıların kullanıldığı orta sıcaklık uygulamalarına örnek olarak buhar üretme sistemleri ve güneş ocakları verilebilir
- 3) Yüksek sıcaklık (300-5000°C) uygulamaları: Heliostatlı güneş fırınları, elektrik güç sistemleri

- 4) Direkt elektrik üreten (fotovoltaik) sistemler
- 5) Fotokimyasal ve termokimyasal işlevler
- 6) Fotosentetik işlevler

Isıl uygulamalarda, güneş enerjisi ile bir akışkanın ısıtılması sağlanır ve daha sonra toplanan bu enerjiden doğrudan veya diğer bir enerji türüne dönüştürülerek yararlanır.

3.2. Güneş Toplayıcıları

Güneş toplayıcıları, güneş radyasyonunu alıp, bir akışkan (sıvı ya da hava) bünyesine geçiren birer ısı değiştiricidirler.

Dört grupta sınıflandırılırlar;

- 1- Düzlemsel yüzeyli güneş toplayıcıları
- 2- Odaklamalı (yoğunlaştırıcı) tip güneş toplayıcıları
 - a) Doğrusal odaklamalı
 - b) Noktasal odaklamalı
- 3- Havalı güneş toplayıcıları
- 4- Vakumlu güneş toplayıcıları

Güneş toplayıcıları ısı taşıyıcı akışkana göre sınıflandırıldıklarında ise;

- 1-Sıvılı kolektörler
 - 2-Havalı kolektörler
- olmak üzere ikiye ayrılırlar (Gedik, 2007).

3.2.1.Düzlem Yüzeyli Güneş Toplayıcıları

Düzlem toplayıcıları, güneş enerjisini toplayan ve bir akışkana ısı olarak aktaran çeşitli tür ve biçimlerdeki aygıtlardır. Düzlem toplayıcılar, genellikle konutlarda sıcak su ısıtma amacıyla kullanılır. (Şekil 3.1.) Ulaştıkları sıcaklık 70°C civarındadır. Bu sistemler konutların yanında, yüzme havuzları ve sanayi

tesisleri için de sıcak su sağlanmasında kullanılır. Düzlemsel güneş toplayıcıları, üstten alta doğru, camdan yapılan üst örtü, cam ile absorban plaka arasında yeterince boşluk, metal veya plastik absorban plaka, arka ve yan yalıtım ve bu bölümleri içine alan bir kasadan oluşmuştur. Şekil 3.1' de görüldüğü üzere üst örtü, emici plaka, ısı yalıtımı, toplayıcı kasası ve bunların birleştirilmesinde kullanılan parçalar düzlemsel yüzeyli güneş toplayıcısını oluşturur



Şekil 3.1. Düzlemsel güneş toplayıcıları ve kısımları

Toplayıcılar, yörenin enlemine bağlı olarak en yüksek oranda güneş alacak şekilde, sabit bir açıyla yerleştirilirler. En uygun eğim açısı aşağıdaki gibi belirlenir.

- Bütün yıl için yaklaşık olarak eğim açısı= enlem derecesi
- Yaz mevsimi için eğim açısı = enlem derecesi - 10°
- Kış mevsimi için eğim açısı = enlem derecesi + 10°

Düzlem toplayıcılar ısı taşıyıcı akışkana bağlı olarak, havalı ve sıvılı tip olmak üzere iki grupta incelenir. Havalı toplayıcılar, genellikle konutların ve küçük ticari binaların ısıtılmasında ve kurutma işlemlerinde kullanılmalarına karşın, sıvılı toplayıcılar büyük binaların ısıtılmasında, endüstriyel ısıtma işlemlerinde ve güneş enerjisiyle soğutma uygulamalarında kullanılabilir. Sıvılı toplayıcılar, daha fazla enerji toplar ve verimleri daha yüksektir. Bunun nedeni, havalı toplayıcıların daha fazla ısı kaybetmesidir.

Havali toplayıcılar soğurucu plakasının sıcaklığı daha yüksek olacağından çevreye olan ısı kaybı da artar. Suyun ısı taşıma verimliliği daha yüksek olduğundan, sıvılı toplayıcılarda soğurucu plakanın sıcaklığı, içindeki ısı taşıyıcı akışkandan sadece birkaç derece yüksektir. Hava iyi bir ısı taşıyıcı akışkan değildir. Bu nedenle, havali toplayıcıların soğurucu plaka sıcaklığı, içlerinde dolaşan hava sıcaklığından 15° C daha yüksektir. Soğurucu plakasının sıcak olması, daha fazla ısı kaybına sebep olur ve dolayısıyla verim düşer.

Düz toplayıcıların özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 1) Konstrüksiyonu daha basittir.
- 2) Yayılı ışıınımdan da faydalanabilir.
- 3) Tesisatın yerleştirileceği zeminin hazırlanması kolaydır.
- 4) Hareketli kısımları yoktur.
- 5) Hava şartlarına karşı mukavim ve daha uzun ömürlüdür.
- 6) İşletme masrafları azdır.
- 7) Ancak 100°C sıcaklığa kadar çıkabilir.

3.2.2. Odaklamalı Tip Güneş Toplayıcılar (Yoğunlaştırıcı)

Güneş enerjisi uygulamalarında düzlemsel güneş toplayıcı sistemlerinin yanı sıra daha yüksek sıcaklıklara ulaşmak için yoğunlaştırıcı toplayıcı sistemleride kullanılmaktadır. Düzlemsel güneş toplayıcıları için kullanılan kavram ve tarifler, yoğunlaştırıcı toplayıcılar için de geçerlidir. Bununla birlikte yoğunlaştırıcı toplayıcı teknolojisinin daha karmaşık olması nedeniyle, yeni tariflerin yapılması gereklidir.

Toplayıcılarda güneş enerjisinin düştüğü net alana "açıklık alanı" ve güneş enerjisinin yutularak ısı enerjisine dönüştürüldüğü yüzeye "alıcı yüzey" denir. Düzlemsel güneş toplayıcılarında açıklık alanı ile alıcı yüzey alanı birbirine eşittir. Yoğunlaştırıcı toplayıcılarda ise güneş enerjisi, alıcı yüzeye gelmeden önce optik olarak yoğunlaştırıldığı için alıcı yüzey, açıklık alanından daha küçük olmaktadır.

Güneş enerjisini yoğunlaştıran toplayıcılarda en önemli kavramlardan biri "yoğunlaştırma oranı" dır. Yoğunlaştırma oranı; açıklık alanının alıcı yüzey alanına oranı şeklinde tarif edilir (Uyarel ve Öz, 1987). Yoğunlaştırma oranı, iki boyutlu yoğunlaştırıcılarda (parabolik oluk) 300, üç boyutlu yoğunlaştırıcılarda (parabolik çanak) 40000 mertebesindedir. Bu tür toplayıcılarda güneş enerjisi, yansıtıcı veya ışın kırıcı yüzeyler yardımı ile doğrusal ya da noktasal olarak yoğunlaştırılabilir.

3.2.2.1. Doğrusal odaklamalı güneş toplayıcıları

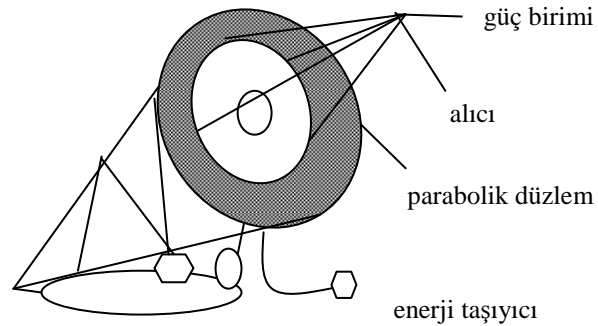
Doğrusal yoğunlaştırıcı termal sistemlerin en yaygınıdır. Toplayıcılar, kesiti parabolik olan yoğunlaştırıcı dizilerden oluşur. Toplayıcının iç kısmındaki yansıtıcı yüzeyler, güneş enerjisini, toplayıcının odağında yer alan ve boydan boya uzanan siyah bir absorban boruya odaklarlar. Toplayıcılar genellikle, güneşin doğudan batıya hareketini izleyen tek eksenli bir izleme sistemi üzerine yerleştirilirler. Enerjiyi toplamak için absorban boruda bir sıvı dolaştırılır. Toplanan ısı, elektrik üretimi için enerji santraline gönderilir. Bu sistemler yoğunlaştırma yaptıkları için daha yüksek sıcaklığa ulaşabilirler. (350–400°C) Doğrusal yoğunlaştırıcı termal sistemler ticari ortama girmiş olup, bu sistemlerin en büyük ve en tanınmış olanı 350 MW gücündeki şimdiki Kramer&Junction eski Luz International santralidir. Parabolik oluk toplayıcılar, Şekil 3.2'de görüldüğü gibi doğrusal yoğunlaştırma yapan ve kesiti parabolik olan dizilerden oluşur.



Şekil 3.2. Doğrusal yoğunlaştırıcı toplayıcı (EİE, 2006).

3.2.2.2. Noktasal odaklamalı güneş toplayıcıları

Parabolik çanak sistemler, iki eksende güneşi takip ederek, sürekli olarak güneşi odaklama bölgesine yoğunlaştırırlar. Termal enerji, odaklama bölgesinden uygun bir çalışma sıvısı ile alınarak, termodinamik bir dolaşıma gönderilebilir ya da odak bölgesine monte edilen bir Stirling makine yardımı ile elektrik enerjisine çevrilebilir. Çanak-Stirling bileşimiyle güneş enerjisinin elektriğe dönüştürülmesinde % 30 civarında verim elde edilmiştir. Şekil 3.3' de noktasal yoğunlaştırıcı toplayıcı tipi görülmektedir.



Şekil 3.3. Noktasal yoğunlaştırıcı toplayıcı (EİE, 2006).

Odaklı toplayıcıların özellikleri aşağıdaki gibidir:

- 1) Yüksek sıcaklıklar elde edebilir.
- 2) Konstrüksiyonları daha zor ve daha pahalıdır.
- 3) Sadece direkt güneş ışınlarından faydalanılabilir.
- 4) Tesisatın yerleştirilmesi için özel yerler hazırlanmalıdır.
- 5) Güneşi takibeden mekanizmalara ihtiyaç duyulur.
- 6) İşletme masrafları düz toplayıcılara göre daha fazladır.

3.2.3. Havalı Güneş Toplayıcıları

Havalı güneş toplayıcıları, güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştüren en basit araçlardan biridir. Genel olarak bir cam veya plastik geçirgen örtü, emici plaka, plakaya entegre edilmiş veya altına yerleştirilmiş borular veya kanallar, yalıtım malzemesi ve kasadan oluşmaktadır. Bu toplayıcıların en önemli elemanı, gelen güneş enerjisini yutan ve bu enerjiyi çalışma akışkanına aktaran emici plakalardır. Bu konu dördüncü bölümde ayrıntılı olarak incelenmiştir.

3.2.4. Vakumlu Güneş Toplayıcıları

Vakum borulu toplayıcının dışında geçirgenliği yüksek cam boru veya cam plaka ve bunun içinde eş aksenal durumda madeni boru yada selektif malzemeyle kaplanmış cam borudan oluşur (Şekil 3.4.) İç ve dıştaki boru arasındaki hava boşaltıldığından taşınım kayıpları azaltılmıştır. İç borunun içinden su yerine hava geçirilirse sıcak hava elde edilir ve sıcak hava ısıtma tesisatlarında kullanılır.



Şekil 3.4. Vakumlu toplayıcının görünüş ve kısımları

3.3. Güneş Enerjisiyle Su Isıtma Sistemleri

Bu sistemler, güneş ışınlarının toplanarak kullanım sıcak suyu hazırlamasını sağlarlar. Güneş enerjili sistemlerin en ekonomik, en yaygın ve en yüksek verimle kullanıldığı sistemlerin başında, sıcak su hazırlama sistemleri gelir. Güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri dışında her hangi bir işletme giderleri yoktur.

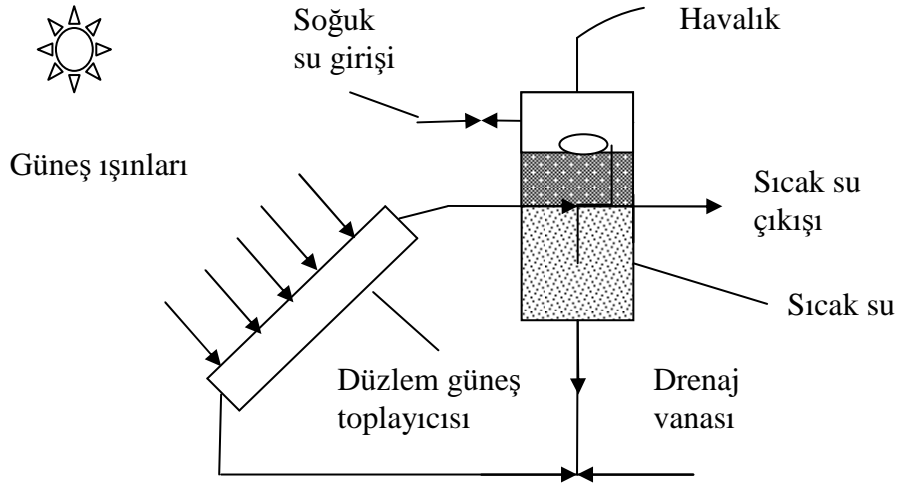
3.3.1. Sıcak Su Hazırlama Sistemlerinin Çeşitleri

Güneş enerjisi ile sıcak su hazırlama sistemleri, hazırlanacak suyun kullanılma yeri ve amacına göre değişiklikler gösterir. Bunların çoğunluğu bilhassa konutlarda uygulanan doğal dolaşimli sistem ile, daha fazla sayıda konut ve endüstriyel tesislere, sıcak su hazırlayan pompalı sistemlerdir. Her iki sistemde doğrudan ve dolaylı ısıtmalı olarak yapılabilir.

Güneş enerjisiyle su ısıtma sistemleri, doğal dolaşimli ve basınçlı sistemler olmak üzere ikiye ayrılır. Her iki sistem de ayrıca açık ve kapalı sistem olarak tasarlanabilir.

3.3.1.1. Doğal dolaşimli sistemler

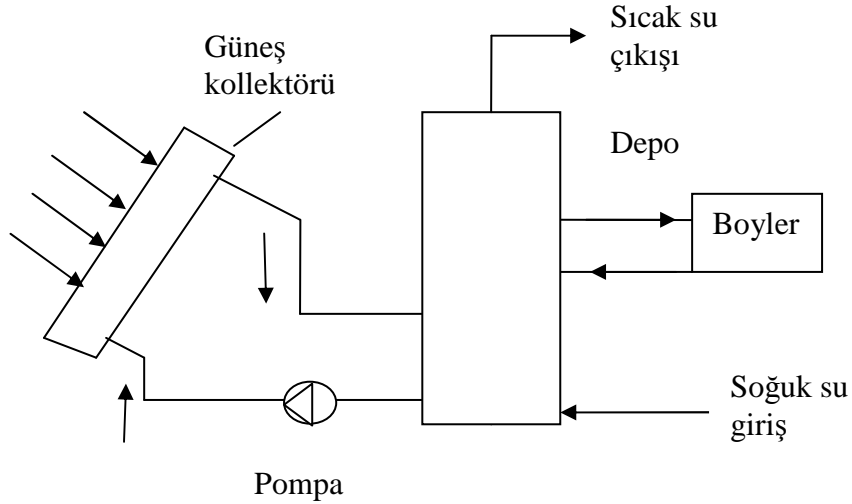
Doğal dolaşimli sistemler, ısı taşıyıcı akışkanının kendiliğinden dolaştığı sistemlerdir. Doğal dolaşimli bir sistem, toplayıcılarda ısınan suyun yoğunluğunun azalması ve yükselmesi ilkesine bağlı olarak çalışır. Deponun alt seviyesinden alınan soğuk su, toplayıcıda ısınarak hafifler ve deponun üst seviyesine yükselir. Gün boyu devam eden bu olay sonunda depodaki su ısınmış olur. Şekil 3.5’de görülen doğal dolaşimli sistemler daha çok küçük miktarda su gereksinimleri için uygulanırlar. Pompa ve otomatik kontrol devresi gerektirmediği için, pompalı sistemlere göre biraz daha ucuzdur. Bu tip sistemlerde akışkan hareketi, yoğunluk farkı ile gerçekleştiğinden, boru hatları hatları için sürtünme ve dinamik kayıplar çok iyi hesaplanmalıdır.



Şekil 3.5. Doğal dolaşimli açık devreli sistem(Uyarel ve Öz, 1987)

3.3.1.2. Basınçlı sistemler (pompalı)

Basınçlı sistemler, ısı taşıyıcı akışkanın pompa ile dolaştırıldığı sistemlerdir. (Şekil 3.6.) Deponun yukarıda olma zorunluluğu yoktur. Büyük sistemlerde su hatlarındaki direncin artması, doğal dolaşımın olmaması ve büyük bir deponun yukarıda tutulması zorluğu nedeniyle pompa kullanma zorunluluğu doğmuştur. Basınçlı sistemler, otomatik kontrol devresi yardımı ile çalışır. Depo tabanına ve toplaç çıkışına yerleştirilen diferansiyel termostatın algılayıcıları; toplaçlardaki suyun, depodaki sudan 10°C daha sıcak olması durumunda, pompayı çalıştırarak sıcak suyu depoya alır. Bu fark 3°C olduğunda ise, pompayı durdurur. Pompa ve otomatik kontrol devresinin zaman zaman arızalanması nedeniyle, işletilmesi doğal dolaşımli sisteme göre daha zordur. Pompalı sistemlerin projelendirilmesi kolaydır. Otomatik kontrol sayesinde yüksek konfor ve verim elde edilir. Sistem yaz-kış çalışabilir.



Şekil 3.6. Zorlanmış dolaşımli sistem (Öz, 1987)

4. HAVALI GÜNEŞ TOPLAYICILARI

Güneş Enerjili havalı toplayıcılarda, güneş ışınım enerjisi, ısı taşıyıcı akışkan olarak kullanılan havanın yardımıyla, ısı enerjisine dönüştürülür. Havalı toplayıcılar, tarım ve orman ürünlerinin kurutulması için uygundur. Havalı toplayıcılarla ısıtılan hava, doğrudan kullanılabilir veya güneş ışınımı olmayan sürelerde ısı gereksinimini karşılamak üzere ısı enerjisi depolayabilir. Sıcak su üretimi için yaygın olarak kullanılan sıvılı toplayıcılar ile hava toplayıcılar temel çalışma ilkeleri aynı olmakla birlikte, kullanılan ısı taşıyıcı akışkanların termodinamik ve taşıma özelliklerindeki farklılıklar nedeniyle, birbirlerine karşı bazı üstünlük ve olumsuzlukları vardır. Bunları şu şekilde özetleyebiliriz, akış kanalının şekli ve boyutları her iki toplayıcıda çok farklıdır. Aynı ısı ihtiyacı için hava ısıtmalı sistemlerde kullanılacak akışkan miktarı, havanın düşük yoğunluğu nedeniyle sıvılı sistemlerde gerekli akışkan hacmine göre daha fazladır. Aynı nedenle hava ısıtmalı güneş toplayıcıların boyutları da daha büyüktür. Havanın düşük ısı kapasitesi nedeniyle enerji depolanmasında havalı sistemlerde, sıvılı sistemlere göre daha büyük depo hacimlerine gerek duyulur.

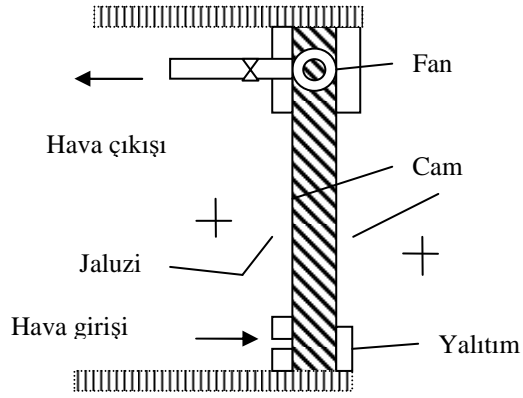
Sıvı ve hava ısıtmalı güneş toplayıcılarında yutucu plaka ile akışkan arasındaki ısı transfer mekanizmaları farklıdır. Sıvılı toplayıcılarda yutucu plakaya gelen enerji, akışkanın geçtiği borulara taşınım ile aktarılır, bu da ısı iletim katsayısı büyük yutucu plaka kullanımını gerektirir. Havalı toplayıcılarda ise hava akımı yutucu plaka ile temas ettiğinden ısı transferinin, ısı verim üzerine etkisi sıvılı toplayıcıya göre daha azdır.

4.1. Havalı Güneş Toplayıcıların Sınıflandırılması

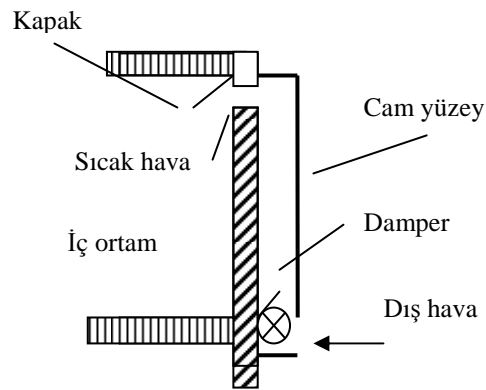
Havalı güneş toplayıcıları aşağıdaki gibi sınıflandırılır:

1. Camlı Havalı Güneş Toplayıcısı
2. Camsız Havalı Güneş Toplayıcısı
 - 2.1. Delikli
 - 2.2. Deliksiz

Binaların ısıtılmasında kullanılan çeşitli havalı güneş toplayıcı sistemleri mevcuttur. Şekil 4.1’de pencere tipi kolektörün güneş enerjisini absorbe ederek konut ısıtılmasında kullanılışı gösterilmiştir. Şekil 4.2’de duvar tipi güneş enerjili hava ısıtıcısı görülmektedir. Yurt dışında binaların ısıtılmasında kullanılan duvar tipi havalı güneş toplayıcıları, çalışma prensibi olarak diğer toplayıcılardan farklı değildir. Toplayıcının hava sirkülasyonu damper ile sağlanır. İsteğe göre sadece oda içindeki hava veya dış hava, toplayıcıdan geçirilerek bina içine doğal veya zorlanmış taşınım ile alınabilir.



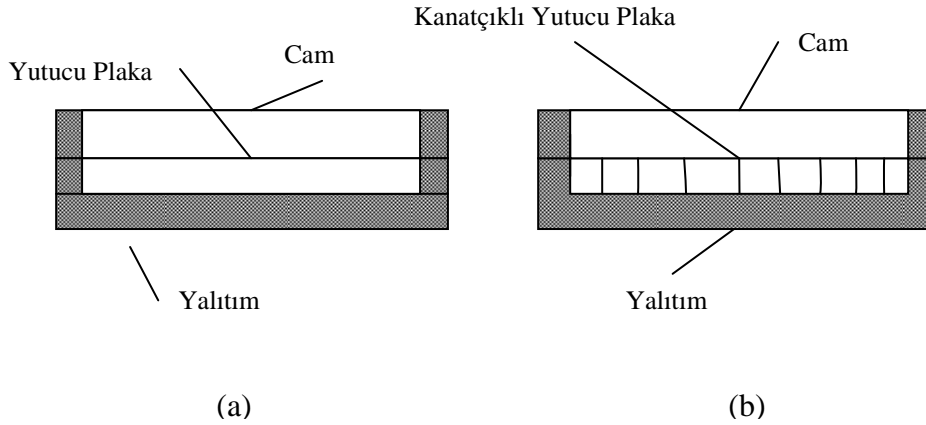
Şekil 4.1.Pencere tipi havalı toplayıcı



Şekil 4.2.Duvar tipi havalı toplayıcı

4.1.1.Camlı Havalı Güneş Toplayıcısı

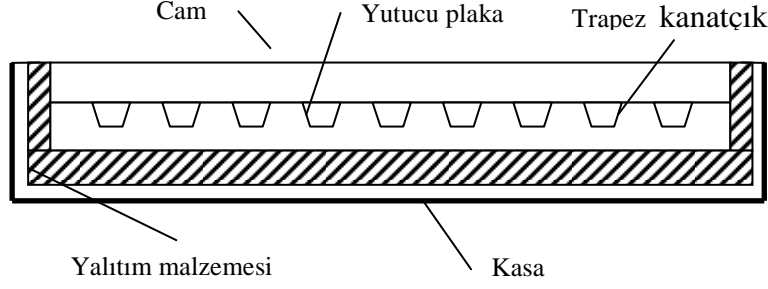
Camlı güneş enerjili hava ısıtıcısı, bir yutucu plaka, hava akımının geçişi için paralel plaka veya plakalardan meydana gelmiş bir kısım, en üstte bir cam veya plastik örtü ve alt ve yan kısımlarından yalıtılmış bir kasadan meydana gelir. (Şekil 4.3) Hava ısıtıcıların tasarımı ve bakımı sabittir. Korozyon ve sızıntı problemleri sıvılı güneş toplayıcılarına göre daha azdır. Temel eksikliği yutucu plaka ile hava akımı arasındaki ısı transfer katsayısının düşük olması ve böylelikle ısı veriminin düşük olmasıdır. Yutucu plaka ile hava arasındaki ısı transfer katsayısını iyileştirmek için birçok tasarım önerilmiş ve uygulanmıştır. Bunlar yutucu plakaya kanatçık takmak, dalgalı yutucu plakalar, katı dolgu malzemeli, delikli küre veya V şekli verilmiş yutucu plakalı değişikliklerdir. Tüm bu düzenlemeler ısı verimini iyileştirirken, özellikle yüksek hacimsel hava debilerinde basınç kayıplarını önemli bir miktarda artırmaktadır. Kanatçıklı düzenlemelerin temel amacı yutucu plaka ile hava arasındaki ısı transfer katsayısını artırma çabalarıdır. Düz paralel plakalı havalı güneş toplayıcısının kesit görünüşü Şekil 4.4’de verilmiştir. (Bulut, 2006).



Şekil 4.3. Havalı güneş toplayıcılarında farklı yutucu yüzey tasarımları

a) Düz paralel plakalı havalı güneş toplayıcısı

b) Kanatçıklı havalı güneş toplayıcısı



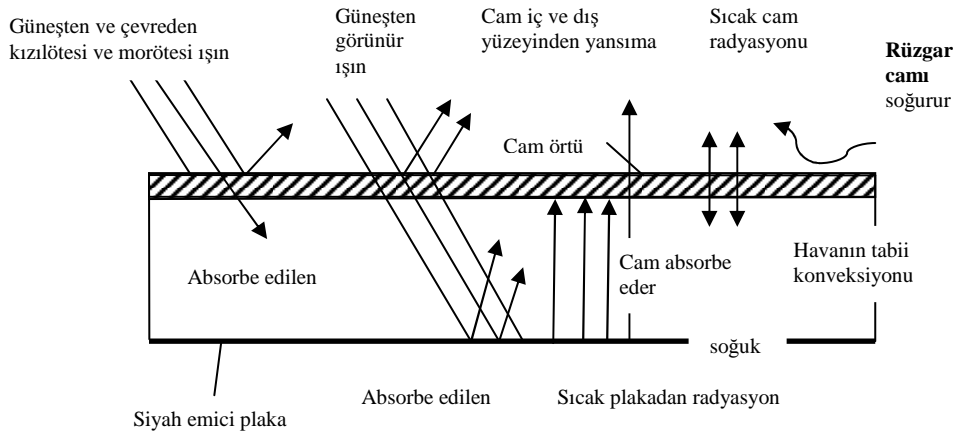
Şekil 4.4. Havalı güneş toplayıcısı kesit görünüşü

4.1.1.1. Havalı toplayıcılarda saydam örtü

Toplayıcı örtüsü, taşınım ile çevreye olan ısı kaybını azaltmanın yanında toplayıcıya güneş ışını girişinin sağlanması ve yutucu yüzeyi yağmur, dolu, toz gibi dış etkenlerden de korunmasını sağlar. Saydam örtünün amacı, güneş ışınımını içeri alıp, çevreye olan ısı kayıplarını azaltmaktır. Örtüler, gelen güneş ışınımının büyük bir kısmını geçiren, buna karşılık çevreye taşınım ile ısı transferini ve yutucu yüzeyin yaydığı uzun dalga boylu ışınım kayıplarını en aza indiren levha veya film türünde malzemelerdir. Kısa dalga boylu güneş ışınımını geçirme oranı büyük, yutucu levhadan yayılan uzun dalga boylu ışınımının dışarı çıkmaması içinde uzun dalga boylu ışınımı geçirme oranının küçük olması istenir. Ayrıca kullanılan örtü malzemesi yüksek geçirgenlik oranına sahip olmalı, yutma ve yansıtma oranları minimum tutulmalıdır. Toplayıcı örtüsü olarak genellikle cam veya plastik esaslı şeffaf malzemeler kullanılmaktadır. Camın avantajı, optik ve mekanik özelliklerinin uzun dönem kararlılığıdır. (Şekil 4.5.) Plastik malzemeler ise cama göre daha dayanıklı ve elastiktir. Ancak çizilmeye ve aşınmaya karşı daha düşük dirençlidir ve hava koşullarından çabuk etkilenebilirler. Güneş toplayıcısının vazgeçilmez bir parçası ışığı geçiren örtüdür. Cam yada plastik olan örtü her zaman gerekli olmayabilir. Dış hava sıcaklığının yüksek olduğu yaz aylarında bir yüzme havuzu toplayıcısız örtüsüz daha iyi çalışabilir. Dış hava sıcaklığı düştüğünde, toplanacak ısı

enerjisinin artırılması için, örtü malzemesi önemli olmaktadır. Örtü malzemesi ısı kayıplarını iki şekilde düşürür. Bunlardan birincisi, görünür ışınları geçirerek, kızıl ötesi ışınları geçirmeme özelliğidir. Üzerlerine gelen güneş ışınlarının görülebilir olanlarını emici plakaya geçirir. Emici plakadan olan radyasyonu dışarıya bırakmayarak bir kısmını tekrar emici plakaya geçirirler. İkincisi; örtü malzemesi, rüzgar ve tabii taşınım yoluyla, emici plakanın soğumasını önleyerek ısı kayıplarını önemli ölçüde düşürür (Uyarel ve Öz, 1987).

Toplayıcı örtü malzemelerinin optik özelliklerinin dışında mekanik özellikleri de test edilmelidir. Dolu hasarı ve kar yüküne direnci belirlenmelidir. Yüksek miktarlarda kar yağışının olduğu bölgelerde minimum 30° lik eğim açısı tavsiye edilir. Kar, yüksek eğim açısı yardımı ile toplayıcının üzerinden atılabilir.



Şekil 4.5. Tek camlı toplayıcıda enerji prosesleri

3 mm kalınlığındaki cam, üzerine düşen güneş ışığının, görülebilir kısmının %82-90' ını geçirir. Yaklaşık %8 oranındaki ışık geriye yansıtılır. Geriye kalan kayıp, ışığın camdan geçişi sırasında cam tarafından absorbe edilişindedir. Absorbe edilen az miktarı, camın ihtiva ettiği demir oksit miktarı(Fe_2O_3) oranına bağlıdır. Normal camda demir bulunur, ve üzerinden geçen ışığın yaklaşık %6-7'sini absorbe eder. Demir

oranının artması ile absorbe edilen ışık miktarı artar. Fazla demir ihtiva eden cam, kenarlarından bakıldığında daha yeşil görünür. Kaliteli camlar güneş toplayıcısının verimliliğini yükseltir. Kaliteli camların fiyatları da daha pahalıdır.

Örtü malzemesinin geçirgenliği diğer faktörlere bağlıdır. Güneş ışınlarının örtü malzemesine geliş açısı eğik ise camın absorbe ettiği ışın miktarı artarken, camdan geçen ışın miktarı azalır. Bu nedenle, güneş ışınlarını dik alabilen toplayıcının verimi daha yüksektir. Bundan başka örtü malzemesinin sayısı geçirgenlikte etkili olur.

Genel olarak örtü malzemesinin sayısı arttıkça,

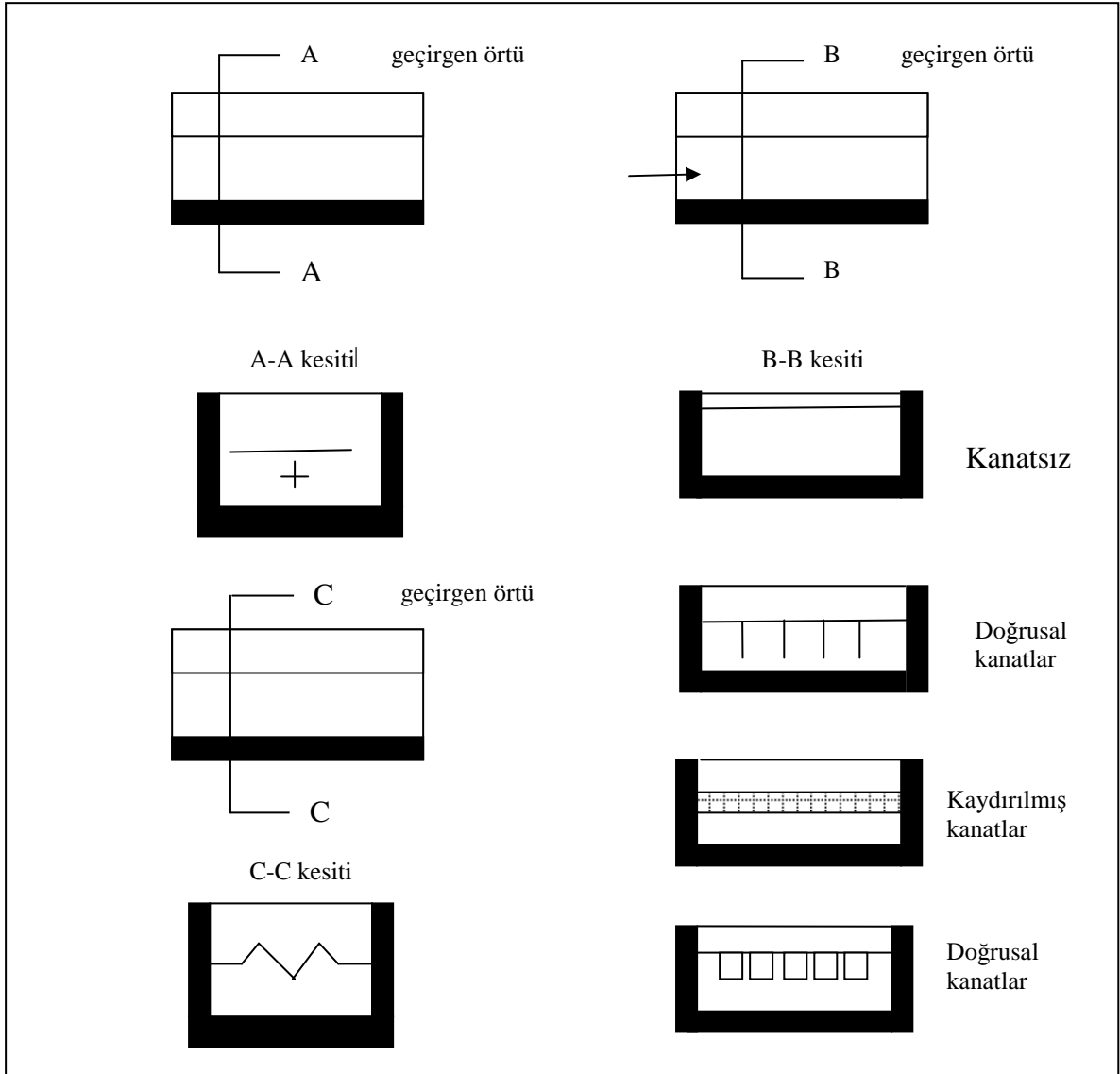
* Toplayıcının ısı kayıpları azalır.

* Toplayıcının alabileceği güneş ışını azalır.

İki cam ideal olurken, üç cam yüksek çıkış sıcaklığı sağlar, fakat verimi düşürür.

4.1.1.2. Havalı toplayıcılarda hava boşluğu

Yutucu yüzey ile üst örtünün arasında kalan hava boşlukları veya yutucu yüzey ile kolektörün arasında kalan hava boşlukları, ısıtılmamış havanın ısıtmak üzere toplayıcıya taşınmasına yardımcı olur. Şekil 4.6. da havalı toplayıcı tasarımları görülmektedir.



Şekil 4.6. Farklı havalı toplayıcı tasarımları (Doğan, 1999)

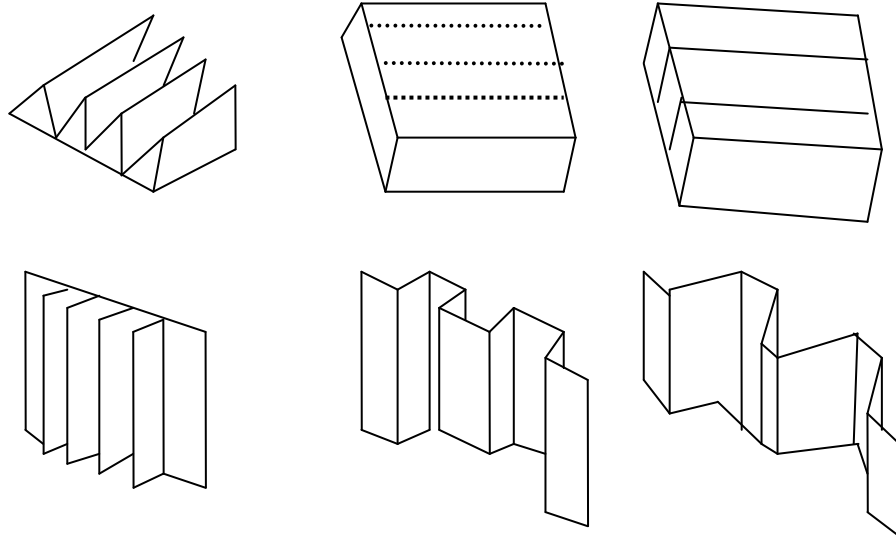
4.1.1.3. Havalı toplayıcıda yutucu yüzey

Havalı toplayıcıların en önemli elemanı, güneş enerjisini toplayan ve bu enerjiyi çalışma akışkanına aktararak, faydalı enerjiye dönüştüren yutucu yüzeydir. Soğurucu yüzey, soğurulan güneş ışınım enerjisini ısı taşıyıcı akışkana büyük ölçüde aktarmalıdır.

Isıl kapasitesi yüksek olan soğurucu yüzeyler, güneş ışınım enerjisindeki ani değişimlere daha yavaş tepki verirler. Ayrıca, toplanan enerjinin bir kısmı , yüksek ısı kapasite nedeniyle kullanılmadan kalır. Havalı toplayıcılarda soğurucu yüzey ile hava arasındaki ısı transfer katsayısı küçük olduğundan, seçilen malzemenin ısı transfer alanı/hacim oranının büyük olması gerekir. Soğurucu yüzeyin ısı transfer alanı/hacim oranının büyük olması durumunda

- Soğurucu yüzeyin ısı transfer alanı artar.
- Isı taşıyıcı akışkan olan havaya aktarılan enerji miktarı artar.
- Soğurucu yüzey tarafından soğurulan ışınım miktarı artar.
- Soğurucu yüzeyden daha az ısı kaybı olur

Toplayıcının verimi yutucu yüzey kaplamasına, geometrisine ve yüzey için seçilen malzemenin özelliğine bağlı olarak değişir. Güneş toplayıcısının verimini arttıran en önemli parametre yutucu yüzeye uygulanan kaplama özeliğidir. Yutucu yüzey kaplamalarının görevi güneş ışınımını mümkün olduğu kadar yutması ve ısıya dönüştürmesidir. Yutucu yüzey kaplaması olarak siyah mat boya ve seçici yüzey kaplamaları kullanılır. Siyah mat boyanın güneş ışınımını yutma miktarı (%90-98) yüksektir. Buna karşılık, yayıcılığı da çok yüksek boyuttur.



Şekil 4.7. Havalı toplayıcıların yutucu yüzey şekilleri (Doğan, 1999)

Havalı güneş toplayıcıları yutucu yüzeye göre şu şekilde sınıflandırılır,

Basit düzlemsel toplayıcı

Bu tip de yutucu yüzey olarak düz levha kullanılır, hava akışı sadece üstten olduğu gibi hem üstten hem de alttan olabilir .

Kanatlı toplayıcı

Düz levhaya kanatlar eklenerek elde edilen yutucu yüzeyin kullanıldığı toplayıcıdır.

Oluklu toplayıcı;

Düz levhaya V-şekli gibi farklı geometri şekiller verilerek oluşturulan yutucu yüzeyin kullanıldığı toplayıcıdır.

Düzlemsel geçirgen toplayıcı

Bu tip toplayıcılarda kısmen karartılmış geçirgen düzlemsel levhalar (cam, plastik) aralarında boşluk bırakılarak üst üste yerleştirilir ve aralarından akışkan geçirilir.

Matris yüzeyli toplayıcı

Bunda, yutucu matris (bal peteği şeklinde dik kanallar) örtü ve düz bir yüzey olan ikinci yüzey arasına oturtulur. Böylece ısı transferi/hacim oram artırılmış olur. Matrisin tasarımı iyi bir şekilde yapılırsa sürtünme azalır.

Gözenekli malzemeye sahip toplayıcı;

Yutucu yüzey malzemelerin (sinek teli, kümes teli vb.) kullanıldığı toplayıcıdır. Bu tip toplayıcılarda yutucu yüzey içinden de akışkan geçişi olur. Bazen yutucu yüzeyler öyle üst üste getirilir ki, dışarıdan toplayıcı içine bakıldığında gözenekler hiç görülmez.

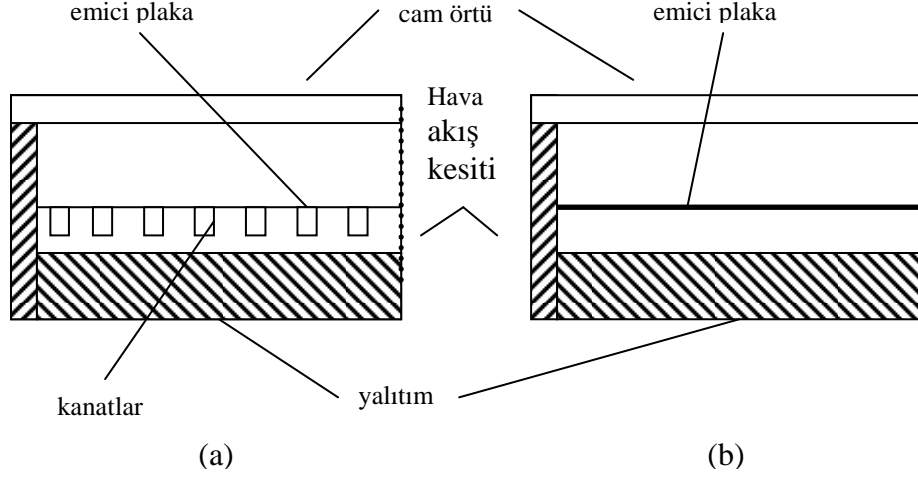
Havalı toplayıcılar için soğurucu yüzey tasarımında aşağıdaki etmenler dikkate alınmalıdır:

- Soğurucu yüzeyin pürüzlü olması ısı transferini ve ısı verimi artırır.
- Tasarımı kolay ve ucuzdur.
- Soğurucu yüzeyin pürüzlü tasarımı, toplayıcıda oluşacak basınç kaybını, dolayısıyla kullanılacak fanın gücünü de artırır.
- Soğurucu yüzeyin güneş ışınlarını soğurma oranı yüksek, uzun dalga ışınım yayma oranı ise düşük olmalıdır.
- Çalışma süresince sıcaklık değişmelerinden etkilenmemelidir.
- Işınım özellikleri zamanla değişmemelidir.
- Soğurucu yüzey; metal, cam ve polimer esaslı malzemelerden tasarımlanabilir.
- Soğurucu yüzey için metal malzeme olarak; alüminyum, çelik ve paslanmaz çelik kullanılabilir. Bu malzemeler, güneş ışınlarını kuvvetli bir şekilde soğuramazlar. Bu nedenle, soğurma özellikleri yüzeyleri uygun örtü malzemeleri ile kaplanarak iyileştirilir.
- Soğurucu yüzey dış örtü olarak polimer esaslı malzeme kullanılması durumunda, maliyet düşer ve kullanım süresi uzar. Çalışma sıcaklığının fazla yüksek olmaması durumunda, polimer esaslı malzemedan tasarımlanan soğurucu yüzeylerde, ısı transfer hızı yeterli değildir ve toplayıcıda verim kabul edilebilir değerlerdedir.
- Seçici yüzey kaplamasının; pahalı, üretim ve yüzey uygulamasının zor olması , kullanımları önemli ölçüde kısıtlar.
- Havalı toplayıcılarda ısı transfer yüzeyini arttırmak amacıyla, soğurucu yüzey değişik şekillerde tasarımlanabilir. Isı taşınımı, diğer bir deyişle toplayıcı verimi, önemli düzeyde arttırılabilir.

Tablo 4.1. Bazı malzemelerin ısı iletkenlikleri

Malzeme	(W/m K)
Demir (Çelik)	0.13
Alüminyum	0.56
Bakır	0.96
Kırmızı tuğla	0.0017

Isı taşıyıcı olarak havanın kullanılması, basit bir toplayıcı dizaynının yanında, sıvılı toplayıcıya göre bazı üstünlükler sağlar. Havanın emici plakaya korozif etkisi yoktur. Hava donmaz ve kaynamaz. Hava sızıntılarının, su sızıntıları gibi, zararlı etkisi de yoktur. Havanın iyi bir taşıyıcı olmaması bir dezavantajdır. Su ve diğer sıvılar gibi, ısıyı çabuk alıp bırakma özelliği zayıftır. Bu nedenle, havalı toplayıcı emici plakaları, ısıtılan yüzeyleri çoğaltmak ve ısı transferi geliştirmek için kanatlı yapırlar. (Şekil 4.8.) Toplayıcıda dolaştırılan hava debisinin arttırılması da ısı transferini artırır. Hava debisinin arttırılması hava kanallarının ölçülerini de büyütür. Genel olarak havalı toplayıcıların verimliliği, sıvılı toplayıcılara göre daha düşüktür.

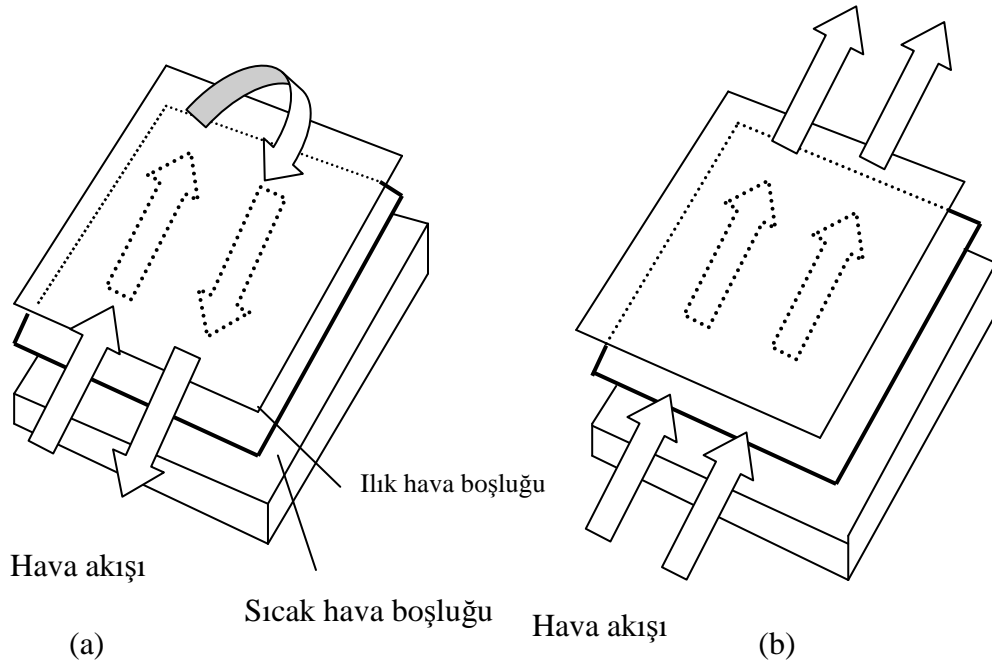


Şekil 4.8. Hava toplayıcı emici plakası a) Kanatlı b) Kanatsız (Uyarel ve Öz, 1987)

Havalı toplayıcılarda, havanın toplayıcı içinden akışı camla emici plaka arasından yapılmamalıdır. Aksi takdirde, emici plakadan ısı olarak ısınan hava camdan dışarıya ısı kaybeder. Havada bulunabilecek tozlarında emici plaka üzerinde kalarak plakanın verimliliğini düşürmesi söz konusudur. Havanın akışı emici plakanın altından yapılarak yukarıda belirtilen sakıncalar giderilebilir.

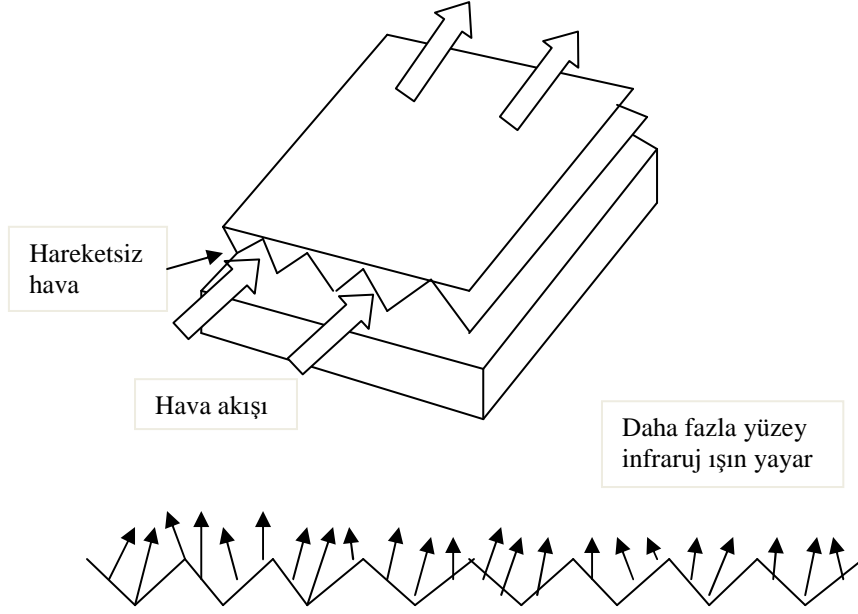
İki yönlü hava akışı olan düz yüzeyli toplayıcılarda daha soğuk olan, toplayıcıya giriş havası, emici plakanın üzerinden geçer. Kısmen ısınmış olan havanın çıkışı emici plakanın altından olur. Daha sıcak olan hava camla temasta olmadığı için ısı kayıpları azalır. Bu basit toplayıcının maliyeti de ucuzdur.

Aynı yönlü, iki akışlı toplayıcıda hava, emici plakanın alt ve üstünden aynı yönde akar. Böylece emici plakanın yüzeyi iki kat artırılmış olur. Cam tarafındaki üst yüzeyde ısı kaybı olur. Fakat kazanılan ısı kaybedilenden fazladır.



Şekil 4.9. Zıt yönlü, iki kışlı emici plaka Şekil 4.10. Aynı yönlü, iki akışlı emici

Şekil 4.11. de oluklu bir emici plaka görülmektedir. Oluklar, kanatlı plandakiler gibi görev yapar. Emici plakanın yapımı kanatlı plakadan daha kolaydır. Oluklu emici plakalar, düz yüzeyli plakalar kadar iyi çalışmazlar. Oluklar plaka yüzeyini artırır. Plaka yüzeyinin artırılması infraruj ışın radyasyonunu da artırır. Böylece ısı kayıpları artacağından verim düşer.



Şekil 4.11. Oluklu plakalı hava toplayıcısı (Uyarel ve Öz, 1987)

Hava toplayıcıların performansını yükseltmek için göz önüne alınması gerekenler şunlardır:

- *Hava toplayıcının yüzeyi gören yüzleri düzgün olmalıdır.
- *Hava akışı sırasında, hava geniş yüzeylere temas etmelidir.
- *Havanın kolektör içinde akışı türbülanslı olmalıdır.
- *Hava emici plakanın arkasından geçmeli, ölü hava hacmi emici plakanın ön yüzünde olmalıdır.
- *Kullanılan emici plaka malzemesi metal olmalıdır. (Alüminyum ya da galveniz saç)

Bir hava toplayıcısında hava, akışı sırasında fazla yüzeyle temas etmelidir. Isı transfer yüzeyinin artırılması, hava bünyesine geçen ısının artırılması demektir. Kanatlı plakalar bu yüzden daha verimlidir.

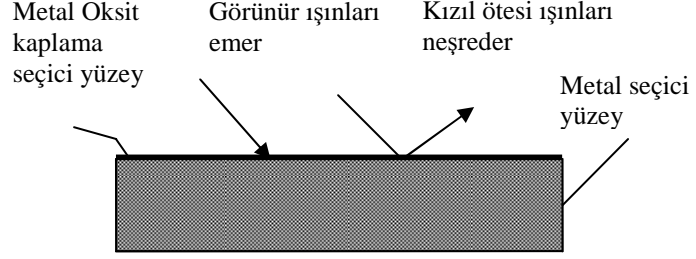
Havalı toplayıcılardan verimli bir şekilde faydalanabilmek için emici plakanın malzemesinin seçimi dikkate alınmalıdır. Genellikle alüminyum yada

galvenizli sa tercih edilir. Korozyon hava için pek önemli değildir. Metal malzemenin ısı iletimi iyi olduğundan plakada sıcaklık farkları olmaz

Tablo 4.2. Yutucu plakaların zellikleri (Doğan, 1999)

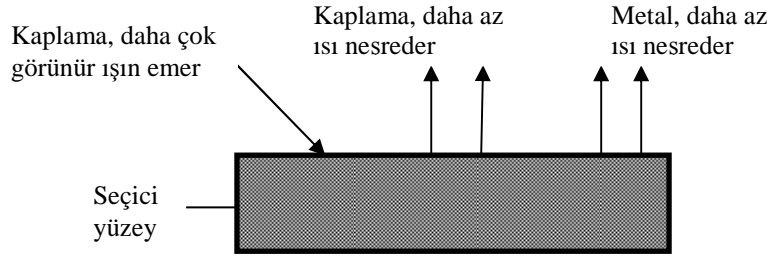
Malzemeninin zelliği	Yutma	Neğretme	Kırılma sıcaklığı	Yorumlar
Siyah Krom	0,87	0,1		
Alkyd Emay	0,9	0,9		Yüksek sıcaklıklara dayanıklılığı sınırlı
Siyah akrilik boya	0,92-0,97	0,84-0,9	350	Silikon esaslı 10µb (kalınlık için neğretmeye sahip)
Siyah inorganik boya	0,89-0,96	0,86-0,93		
Siyah silikon boya	0,86-0,94	0,83-0,93		
PPbs/silikon boya	0,94	0,4		
Düz silikon boya	0,95-0,98	0,89-0,97	200	Yüksek sıcaklıkta bozulmaz
Seramik emay	0,9	0,5		
Siyah inko	0,9	0,1		
Alüminyum bakır oksit	0,94	0,11		
Bakır zerine siyah bakır	0,85-,9	0,08-0,12	450	Rutubette oksitlenir
Nikel zerine siyah krom	0,92-0,94	0,07-0,12	450	Yüksek sıcaklıkta bozulmaz
Nikel zerine siyah nikel	0,93	0,06	450	Yüksek sıcaklıklarda rutubetten etkilenmez
elik zerine siyah demir	0,9	0,1		
Siyah emayelenmiğ elik üzerine kalayoksit	0,92	0,13	350	Mekanik kimyasal mukavemeti iyi
Nikel zerine Ni-Zn-S	0,96	0,97	200	

Bir emici plakanın en önemli fonksiyonu güneş radyasyonunu termal (ısı) enerjiye dönüştürmesidir. (Şekil 4.12.)



Şekil 4.12. Parlak metal üzerine gelen kızıl ötesi ışınları

İnce metal oksit kaplama, görünür ışınları emer, kızıl ötesi ışınları yayar. (Şekil 4.13.)



Şekil 4.13 Seçici yüzeyin ışığı emmesi ve neşretmesi

Seçici yüzeyler, görünür ışınları emerken, ısı neşretme özellikleri oldukça zayıftır. (Tablo 4.3.)

Tablo 4.3. Bazı yüzeylerin güneş ışınımı yutma, ısı ışınım neşretme oranları (Doğan, 1999)

Yutucu yüzey	α (absorbsiyon)	ϵ (emissiyon)	α/ϵ (seçicilik)
Magnezyum karbonat	0,025-0,04	0,79	0,03-0,05
Beyaz sıva	0,07	0,91	0,08
Kar(taze yağmış)	0,13	0,82	0,16
Beyaz boya	0,2	0,91	0,22
Beyaz kağıt	0,25-0,28	0,95	0,26-0,29
Buz	0,31	0,96	0,32
Yeşil yağlı boya	0,5	0,9	0,56
Kırmızı tuğla	0,55	0,92	0,6
Parlatılmış mermer	0,5-0,6	0,9	0,61
Pürüzlü beton	0,6	0,97	0,62
Yeşil çim	0,67	0,88	0,68
Kuru çim	0,68	0,9	0,76
Meyve bahçeleri	0,7	0,9	0,78
Çöl	0,75	0,9	0,83
Sürülmüş tarla	0,75-0,8	0,9	0,83-0,89
Meşe ormanı	0,82	0,9	0,96
Çamlık arazi	0,86	0,9	0,96
Gri boya	0,75	0,95	0,79
Kırmızı yağlı boya	0,74	0,9	0,82
Amyant	0,81	0,96	0,84
Kuru tuz	0,82	0,9	0,95
Su	0,94	0,95-0,96	0,98
Siyah boya, cilalı	0,9	0,9	1
İs	0,98	0,95	1,03
Siyah boya mat	0,94-0,98	0,88	1,07-1,11
Grafit	0,78	0,41	1,9
Alimünyum	0,15	0,05	3
Krom	0,49	0,08	6,13
Parlatılmış çinko	0,46	0,02	23
Galvenizli çelik,temiz	0,65	0,13	5
Galvenizli çelik oksitlenmiş	0,8	0,28	1,86

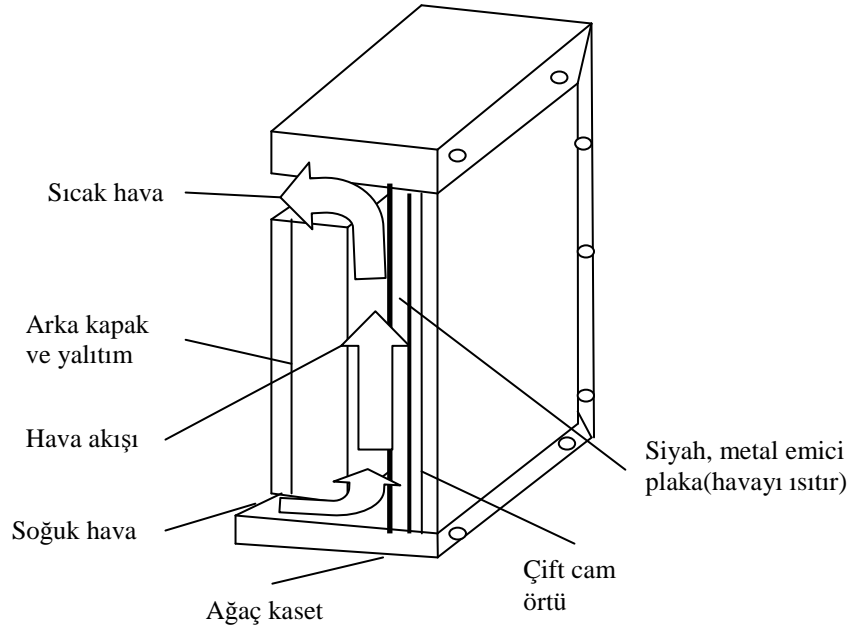
4.1.1.4. Havalı toplayıcıda yalıtım

Yalıtım sıvılı tip toplayıcıda olduğu gibi hava tipi toplayıcıda da gereklidir. Kullanım prensipleri sıvı tip toplayıcılardakiyle aynıdır. İzolasyon malzemesi olarak cam yünü, taş yünü, poliüretan köpük veya levha kullanılır. Havalı toplayıcılarda cam yünü veya taş yünü kullanılması durumunda dış gaz akımı incelenmelidir.

4.1.1.5. Havalı toplayıcılarda kasa

Sıvılı tip toplayıcılarda olduğu gibi, havalı tip toplayıcılarda da kasa aynı malzemeden yapılmaktadır.

Havalı toplayıcılarda kasa malzemesi olarak genellikle kasa kalınlığı 1 mm olan normal veya galvanizli sac kullanılmaktadır. Alüminyum, plastik, polyester ve hatta keresteden imal edilen kasalar da vardır. Kasanın en belirgin özelliği mukavemetidir. Buna göre boyutlandırılmalıdır. Taşıyıcı görevi, koruyucu görevi, ısı yalıtım görevi gibi görevleri yerine getirmelidir. Bazı hallerde alüminyum kasalara galvaniz sac taban konulmaktadır. Bazı hallerde tamamen alüminyumdan imal edilmiş kasalar kullanılmaktadır. (Şekil 4.14.)



Şekil 4.14. Ağaç kesitli hava (Uyarel ve Öz, 1987)

Toplayıcı yapımında kullanılan malzemelerin ısıl genleşmeleri dikkate alınmadan boyutlandırılmaları bazı zararlı sonuçlar doğurur. Özellikle camın uzaması dikkate alınmazsa, çevresindeki yuvasında kendi kendine kırılır.

4.1.1.6. Sızdırmazlık malzemeleri

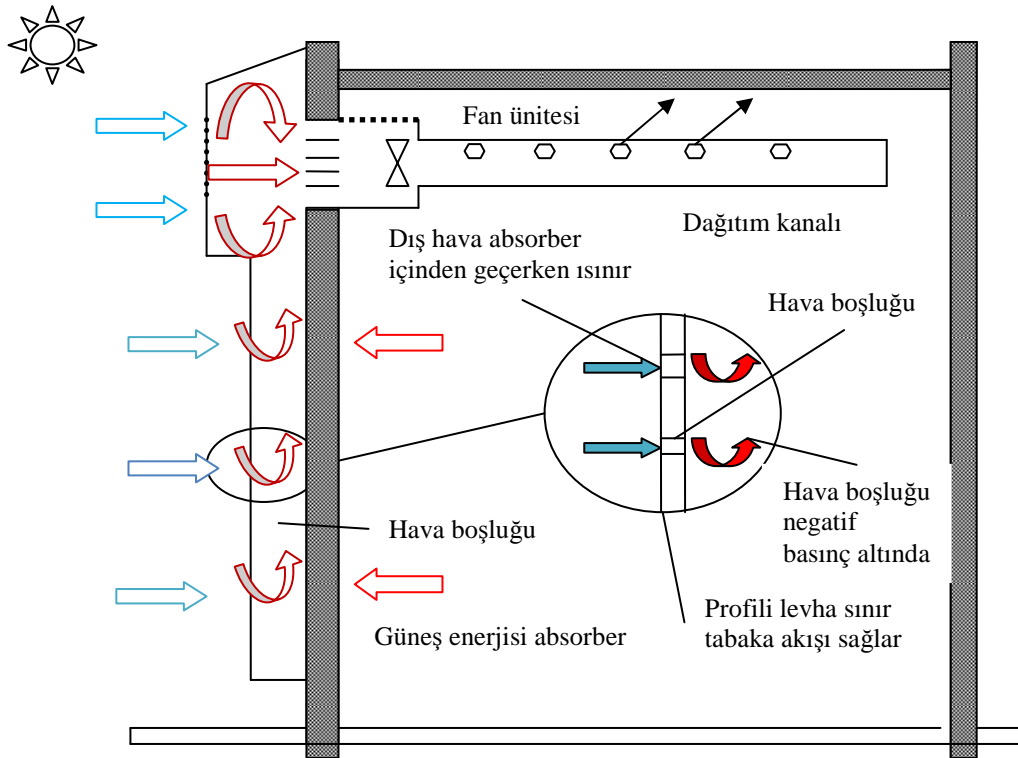
Havalı toplayıcılarda, hava akış kanalı ile örtü arasındaki bağlantı kaçaklarının önlenmesi büyük önem taşır. Bu amaçla, en yaygın kullanılan sızdırmazlık malzemeleri; silikon lastik, neopren ve akriliktir. Sızdırmazlık malzemeleri, elastik malzeme olabileceği gibi, macun yapısında da olabilir. Macun şeklindeki sızdırmazlık malzemeleri, kullanımdan kısa bir süre sonra sertleşirler. Sızdırmazlık malzemesinin sertleşmesi, yapısındaki çözünenin buharlaşmasıyla gerçekleşir. Buharlaştıran çözünen örtü üzerinde veya yutucu yüzeyde yoğunlaşabilir. Bu durum, örtünün ışık geçirgenliğinin azalmasına, soğurucu yüzeyde yoğunlaşma halinde ise yüzeyde bazı bozulmalara neden olabilir. Sızdırmazlık malzemelerinin; yüksek sıcaklıklara/atmosferik koşullara dayanımı ve mekanik özellikleri önemlidir.

4.1.2. Camsız Delikli Güneş Toplayıcıları

Camsız delikli güneş toplayıcısı güneşle hava ısıtmalı bir metal duvar sistemidir, yeni veya eski binaların iç hacimlerini havalandırmak ve ısıtmak için güneş enerjisini kullanır. (Şekil 4.15.) Burada temel eleman güneş enerjisini emen panellerdir. Panellerin üzerinde, delikler mevcuttur. Panellerin arkasında oluşturulan negatif basınç sayesinde deliklerden sızan dış hava, paneller tarafından emilen güneş enerjisi sayesinde ısıtılır. (Binaların güney, güneydoğu, güney - batı, doğu cepheleri paneller için uygundur) Isıtılan hava, binanın mevcut havalandırma sistemine bağlantı yapılarak veya ayrı bir fan kanal sistemiyle binaya gönderilir. Böylece binanın mevcut ısıtma sistemi daha az çalışır; büyük yakıt ve para tasarrufu sağlar.



Şekil 4.15. Havalı güneş toplayıcısı (Solarwall, 2001/2006)



Şekil 4.16. İç fan (Solarwall, 2001/2006)

UTC hakkında ısı ve kütle transferi, verim, hava dağılımı, basınç düşümü ile alakalı çalışmalar 1991'den beri sürdürülmektedir. Bu çalışmalar sistemin termal performansını tahmin etmek için teorik ve deneysel çalışmaları kapsamaktadır.

Bu konu ile alakalı temel ısı kaybı teorisini Kutscher (1993) , Hollands (1998), Cao (1993), Golneshan ve Hollands (1998) detaylı şekilde incelemiştir.

4.2. Havalı Toplayıcıların Dezavantaj ve Avantajları

Bu tip toplayıcıların konstrüksiyonunda üç önemli etken vardır:

1. Isı taşınım katsayısı düşük olduğundan ısı transfer yüzeyinin geniş tutulması gerekir. Örneğin bir boru levha düzeneği düşünülmez.
2. Havalı toplayıcılarda basınç düşüktür, mukavemet açısından sulu toplayıcılarda gösterilen özene gerek yoktur.
3. Hava korozif değildir.

Dezavantajları şunlardır:

- Havanın ısı taşınım katsayısı düşüktür.
- Bu nedenden dolayı toplayıcı boyutları büyüktür.
- Doğrudan doğruya hava ile hacim ısıtması yapabilmek için büyük depo hacimlerine gereksinim vardır.
- Isınmış havanın bir yerden başka bir yere nakledilebilmesi geniş kesitli hava kanallarına gereksinim gösterirler.
- Kullanma suyu için mutlaka bir ısı eşanjörü gerekir.
- Kanallarda akan hava duyulabilir derecede ses yapabilir.

Avantajları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Havalı güneş toplayıcılarında birden fazla yutucu yüzey kullanılabilir.
- Sıvılı toplayıcıda, yutucu yüzeyde absorbe edilen enerji çalışma akışkanına, geçtiği borulardan iletimle transfer edildiğinden, akış kanalı ile yutucu yüzey arasındaki bağlantının, ısı iletiminin yeterli düzeyde gerçekleşmesi için çok iyi

olması gerekir. Havalı tiplerde ise akışkan ve yutucu yüzey doğrudan temas ettiğinden bu tür hassas bağlantı sorunlarıyla karşılaşılmaz.

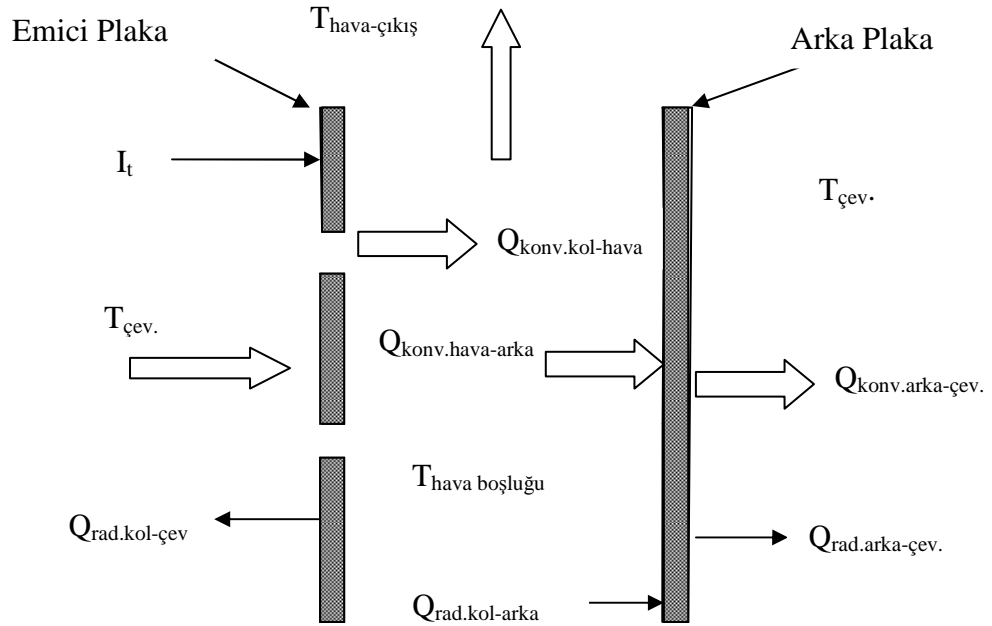
- Özel hiçbir önlem alınmasa dahi donma tehlikesi yoktur.
- Toplayıcı bünyesinde korozyon, kimyasal kirlenme (kireç taşı), bağlama sorunları yoktur.
- Kaynama, aşırı ısınma söz konusu değildir.
- Çok küçük sızıntı ve kaçaklar problem yaratmaz.
- Havalı toplayıcılarda tesisat masrafı sıvılı düzlemsel toplayıcılara göre daha azdır.
- Havalı ısıtıcılar ağırlıkça sıvılıya göre daha hafiftir.
- İyi bir düzenleme ile hacim ısıtmada kullanılan sistem, yazın serinletmede kullanılabilir.

5. DELİKLİ HAVALI KOLLEKTÖRLERİN TEORİK ANALİZİ

5.1. Enerji Denkliği

Bir havalı toplayıcının termal performansını tespit etmek için çıkış sıcaklığının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için delikli güneş toplayıcısı temel enerji denge denklemlerini kullanarak enerji denkliğini belirlemek gerekir.

Toplayıcının genel yapısı Şekil 5.1 'de verilmiştir. Enerji denkliğini oluşturmak için delikli güneş toplayıcısı üç bölgeye ayrılabilir: Emici yüzey, hava boşluğu ve arka plaka. Bu bölgeler ve bölgeler arasında ısı transferi Şekil 5.1'de tanımlanmıştır.



Şekil 5.1. Havlı güneş toplayıcısında ısı transfer değişimi (Kumar ve Leon, 2007)

Havlı toplayıcıda sisteme enerji girişi, emici plakanın ön yüzeyinden güneş ışınımı ile olmaktadır. Sistemdeki ısı kayıpları ise emici plaka yüzeyinden ve arka plakadan, ışınım ve taşınım gerçekleşmektedir. Bu üç bölge için enerji denge denklemleri temel ısı transferi denklemleri kullanılarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

5.1.1. Emici Plakada Denge Denklemi

Genel olarak, bir delikli güneş toplayıcısından geçen havanın aldığı ısı enerjisi, emici yüzeyin ışıınım yoluyla topladığı enerji ile toplayıcıda gerçekleşen ısı kaybı arasındaki farka eşittir. Toplayıcıda gerçekleşen ısı kayıpları üç farklı mekanizma ile gerçekleşir:

- Emici yüzeyden çevreye olan ışıınım kayıpları
- Toplayıcı arka plakasından çevreye taşınım ile olan ısı kayıpları
- Toplayıcı arka plakasından çevreye ışıınım ile olan ısı kayıpları

Buna göre toplayıcı için genel olarak enerji dengesi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$m_{kol} C_{p \cdot kol} \left(\frac{dT_p}{dt} \right) = (\alpha_{kol} I_t A_s) - (Q_{konv.kol-hava} + Q_{rad.kol-ap} + Q_{rad.kol-çev.}) \quad (5.1)$$

m_{kol} = Emici plakanın kütlesi (kg)

$C_{p.col}$ = Emici plakanın özgül ısı kapasitesi (J/kg K)

dT_p/d_t = Sıcaklık farkı (K)

α_{kol} = Toplayıcı yüzeyinin solar absorpsiyonu

I_t = Toplayıcı üzerinde güneş radyasyonu (W/m^2)

A_s = Toplayıcı alanı (m^2)

$Q_{konv.kol-hava}$ = Emici plakadan havaya konveksiyonla ısı transferi (W)

$Q_{rad.kol-ap}$ = Emici plakadan arka plakaya radyasyonla ısı transferi (W)

$Q_{rad.kol-çev}$ = Emici plakadan çevreye radyasyonla ısı transferi (W)

Burada her bir terim için aşağıda açıklanan temel ısı transfer denklemlerini kullanarak toplayıcının termal performansını belirlemek mümkündür.

5.2. Isı Transfer Denklemleri

Havalı güneş toplayıcısında gerçekleşen taşınım ve radyasyonla ısı transfer bağıntıları aşağıda gösterilmiştir.

5.2.1. Taşınım İle Isı Transferi

Toplayıcıda taşınım havaya olan ısı geçişi, ısı taşınım katsayısına, ısı transfer yüzey alanına, yüzey ile sistemden geçen hava arasındaki sıcaklık farkına bağlıdır. Kumar tarafından delikli havalı toplayıcılar için verilen ortalama taşınım ısı geçiş katsayıları korelasyonla belirlenmiştir. Aşağıda ilgili ısı transfer denklemleri verilmektedir:

Emici plakadan-hava boşluğuna taşınım ısı transferi

$$Nu_1 = 2.75 \left[\left(\frac{P}{D} \right)^{-1.21} Re_1^{0.43} + 0.011 \beta Re_1 \left(\frac{v_{rüz}}{v_{giriş}} \right)^{0.48} \right] \quad (5.2)$$

Nu = Nusselt sayısı

P = Delik aralığı (m)

D = Delik çapı (m)

Re_1 = Reynolds sayısı

β = Geçirgenlik

$v_{rüz.}$ = Emici plaka ve arka plakada rüzgar hızı (m/s)

$v_{giriş}$ = Giriş hızı (m/sn)

$$Re_1 = \left(\rho_{hava} v_{delik} D \right) / \mu_{hava} \quad (5.3)$$

ρ_{hava} = Havanın yoğunluğu (kg/m^3)

v_{delik} = Delik hızı (m/sn)

μ_{hava} = Çevrenin viskozitesi ($kg/m \cdot s$)

$$h_{konv.kol-hava} = \left(Nu_1 K_{hava} \right) / D \quad (5.4)$$

$h_{konv.}$ = Taşınım ısı transfer katsayısı ($W/m^2 K$)

K_{hava} = Havanın termal iletkenliği (W/m K)

$$Q_{\text{konv.kol-hava}} = h_{\text{konv.kol-hava}} (T_{\text{kol}} - T_{\text{hava.boş.}}) \quad (5.5)$$

$Q_{\text{konv.kol-hava}}$ = Emici plakadan, havaya taşınım ile ısı transferi (W)

T_{kol} = Toplayıcı sıcaklığı (K)

$T_{\text{hava boş.}}$ = Hava boşluğu sıcaklığı (K)

Hava boşluğundan-arka plakaya

$$Nu_2 = 0.664(Re_2)^{0.5} (Pr_2)^{0.333} \quad (5.6)$$

Pr_2 = Prandtl sayısı

$$Re_2 = (\rho_{\text{hava}} v_{\text{kutu}} H) / \mu_{\text{hava}} \quad (5.7)$$

v_{kutu} = Hava boşluğu hızı (m/s)

H = Emici plaka yüksekliği (m)

μ_{hava} = Çevre havasının viskozitesi (kg/m s)

$$Pr_2 = (C_{p,\text{hava}} \mu_{\text{hava}}) / K_{\text{hava}} \quad (5.8)$$

$C_{p,\text{hava}}$ = Havanın özgül ısısı (J/kg K)

$$h_{\text{konv.hava-ap}} = (Nu_2 K_{\text{hava}}) / d_{\text{kutu}} \quad (5.9)$$

d_{kutu} = Hava boşluğu derinliği (m)

$$Q_{\text{konv.hava-ap}} = h_{\text{konv.hava-ap}} (T_{\text{hava.kutu}} - T_{\text{ap}}) \quad (5.10)$$

$Q_{\text{konv.hava-ap}}$ = Havadan arka plakaya taşınım ile ısı transferi (W)

$h_{\text{konv.hava-ap}}$ = Taşınım ile ısı transfer katsayısı (W/m² K)

$T_{\text{hava.kutu}}$ = Hava boşluğu sıcaklığı (K)

T_{ap} = Arka plaka sıcaklığı (K)

Emici plakadan-çevreye taşınım ile ısı geçişi

Kutscher'in (1992,1994) çalışmalarına göre delikli havalı toplayıcıların gözenekli bir yapı oluşturmasından dolayı, emici plaka yüzeyinden dış ortama taşınım ile ısı kaybı ihmal edilecek seviyededir. Bu nedenle bu çalışmada dikkate alınmamıştır.

Arka plakadan-çevreye

$$Nu_3 = 0.664(Re_3)^{0.5} (Pr_3)^{0.333} \quad (5.11)$$

$$Re_3 = (\rho_{hava} v_{rüzgar} W) / \mu_{hava} \quad (5.12)$$

W = Emici plakanın genişliği (m)

$$h_{konv.ap-çevre} = (Nu_3 K_{air}) / L_c \quad (5.13)$$

$$Q_{konv.ap-çevre} = h_{konv.ap-çevre} (T_{ap} - T_{çevre}) \quad (5.14)$$

5.2.2. Işınlama ile Isı Transferi

Emici plakadan-çevreye ışınlama ile ısı kaybı

$$Q_{rad.kol-çevre} = \epsilon_{kol} \sigma_{sb} A_s (T_{kol}^4 - F_{gök} T_{gök}^4 - F_{yer} T_{yer}^4) \quad (5.15)$$

ϵ_{kol} = Toplayıcının yayıcılığı

A_s = Toplayıcı alanı (m²)

$F_{gök}$ = Gökyüzü faktörü

$T_{gök}$ = Gökyüzü sıcaklığı (K)

F_{yer} = Yer faktörü

T_{yer} = Yer sıcaklığı (K)

Radyasyonla ısı kaybı hem gökyüzüne hem de çevreye olur. Emici plakanın eğim faktörüne de bağlıdır. Formülde gökyüzü için birkaç farklı korelasyon kullanılabilir.

Emici plakadan-arka plakaya ışınlama ısı geçişi

$$Q_{rad.kol-ap} = \sigma_{sb} A_s (T_{kol}^4 - T_{ap}^4) / (1/\epsilon_{kol.in} + 1/\epsilon_{ap} - 1) \quad (5.16)$$

ϵ_{ap} = Arka plakanın yayıcılığı

Arka plakadan-çevreye ışınlama ısı kaybı

$$Q_{rad.ap-çevre} = \epsilon_{ap} \sigma_{sb} A_s (T_{ap}^4 - T_{çevre}^4) \quad (5.17)$$

5.3. Toplayıcı Verimi

Delikli havalı toplayıcıların ısı verimi Termodinamiğin I. Yasasına göre aşağıdaki gibi yazılır:

$$\eta_{kol} = m_{hava,çıkış} C_{p,hava} (T_{hava,çıkış} - T_{çevre}) / I_T A_s \quad (5.18)$$

η_{kol} = Toplayıcı verimi

$m_{hava-çıkış}$ = Toplayıcı içindeki havanın kütlesi (kg)

$C_{p,hava}$ = Havanın özgül ısısı (J/kg K)

$T_{hava-çıkış}$ = Çıkış sıcaklığı (K)

$T_{çevre}$ = Çevre sıcaklığı (K)

I_t = Toplayıcı üzerindeki güneş radyasyonu (W/m²)

A_s = Toplayıcı alanı (m²)

Verim, toplayıcıdan elde edilen ısı enerjisi ile toplayıcıya gelen güneş enerjisi arasındaki orandır.

5.4. Etkenlik

Havanın gerçek sıcaklık artışının, maksimum emici plakadaki sıcaklık artışına oranı olarak tanımlanır. Etkenlik hesabı için iki farklı logaritmik ilişkiye başvurulur.

Bu iki ifade çıkış sıcaklığı, emici sıcaklığı ve çevre sıcaklığı arasında bağıntıdan oluşur:

$$\varepsilon_{ETK.} = \frac{T_{hava.boş.} - T_{çevre}}{T_{kol} - T_{çevre}} \quad (5.19)$$

$\varepsilon_{etk.}$ = Isı değışiklik etkinliği

$T_{hava.boş.}$ = Hava boşluğu sıcaklığı (K)

$T_{çevre.}$ = Çevre sıcaklığı (K)

T_{kol} = Toplayıcı sıcaklığı (K)

$$\varepsilon_{ETK.} = 1 - e^{-h_{KOV.KOL-HAVA} \cdot A / m_{hava.çıkı} \cdot C_{p.hava}} \quad (5.20)$$

6. DELİKLİ HAVALI TOPLAYICILARDAN SICAK SU ÜRETİMİ

6.1. Giriş

Bu bölümde, delikli havalı toplayıcılardan yazın enerji üretimi yapabilmek için geliştirilmiş olan yöntem açıklanmaktadır. Havalı güneş toplayıcılarının uygulamaları, genellikle bina cephesinde çok büyük yüzey oluşturacak şekilde yapılmaktadır. Günümüzde delikli havalı toplayıcılarının bina ısıtmasında ticari uygulamasını yapan tek firma Conserval Engineering adlı firmadır. Conserval Engineering vermiş olduğu bilgilere göre, günümüzde yapılmış olan ticari uygulamalarında delikli havalı toplayıcıların, bina yüzeylerinde 10000 m² kadar büyüklükte kullanıldıkları görülmektedir.

Conserval Engineering üretmiş olduğu paneller, ticari olarak SolarWall-Güneş Duvarı adlandırmasıyla satılmaktadır. Firma verilerine göre her bir SolarWall paneli ortalama olarak 500 W/m² 'lik bir ısı güç üretir. Bu güç havanın daha açık ve güneşin daha fazla olduğu bahar-yaz döneminde daha da artarak 1000 Watt/m² 'e kadar ulaşabilmektedir. Örneğin 500 m²'lik küçük bir SolarWall uygulamasında yaz aylarında yaklaşık 40.000 Watt'lık ısı güç atıl durumda kalmaktadır. Dolayısıyla ısıtmanın yapılmadığı bahar ve yaz aylarında böyle bir ısı güçten faydalanmak çeşitli şekillerde yapılabilir. Örneğin bu ısı gücün bir apsorpsiyonlu soğutma çevriminde enerji tasarrufu amaçlı olarak kullanımı mümkündür, bununla birlikte binada apsorpsiyonlu soğutma sisteminin kurulu olması da gerekmektedir. Dolayısıyla bu örnekte görüleceği üzere, SolarWall sistemin ısıtma amaçlı olarak kullanılmadığı aylarda sistemin içerdiği atıl enerjiden faydalanılması belli şartlara bağlı olmaktadır.

Bu noktada SolarWall gibi çok büyük alanlarda uygulaması yapılan delikli toplayıcılar içerdiği enerjiden yaz aylarında faydalanmak için bir konsept geliştirilmesi önemli hale gelmektedir. Bu konseptin aşağıda verilen içeriğe sahip olması tez kapsamında yapılan çalışmanın hedefleri arasındadır.

1. SolarWall'dan yaz aylarında olabilecek en düşük yatırım maliyeti ile faydalanmak.

2. Teknik olarak sistem basit olmalı.
3. İşlevsel olmalı, birden fazla şekilde atıl ısıdan faydalanılabilmeli.
4. Sistemin ana çalışmasına zarar vermemeli.
5. İşletme maliyeti düşük olmalı.
6. Kolay uygulanabilmeli, gerektiğinde sistem devre dışı bırakılabilmelidir.

Termodinamik yasalarına göre teorik olarak yaz aylarında SolarWall'un içerdiği enerjiden üç farklı şekilde faydalanmak mümkündür.

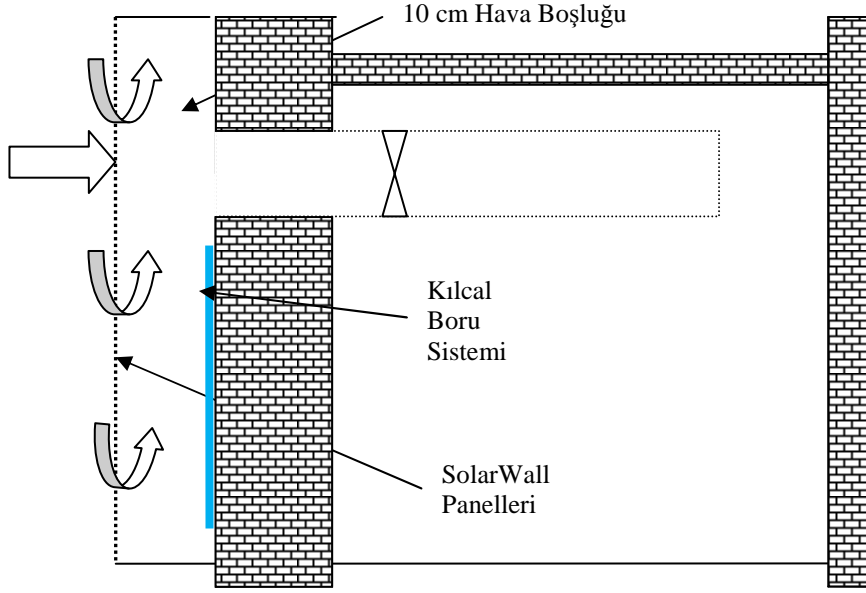
1. Elektrik üretimi,
2. Soğutma amaçlı kullanım,
3. Isıtma amaçlı kullanım.

Elektrik üretimi, Termodinamiğin 2. Yasasına göre yapılabilecek bir ısı makinası ile teorik olarak mümkündür, ancak pratikte gerçekçi değildir çünkü SolarWall'un yaz aylarında üretmiş olduğu sıcaklık iyi bir ısı verim için yeterli değildir.

Soğutma amaçlı kullanımda ise buradaki atıl enerjiden kurutma veya adsorpsiyonlu soğutma için faydalanmak mümkündür. Temel şart binada bu tür bir sistemin mevcut olmasıdır aksi halde binada yeni bir sistem kurulumu gerekeceğinden atıl ısıdan faydalanmak için yüksek miktarda yatırım yapılması gerekecektir. Ancak binada mevcut bir soğutma sistemi varsa buradaki atıl ısıdan yararlanmak çok işlevsel olacaktır.

Isıtma amaçlı faydalanmada, SolarWall'un yazın üretebileceği sıcak havadan özellikle kurutma amaçlı ısı enerjisi olarak faydalanmak çok yaygındır. Ancak bunun için binada bir kurutma uygulamasının olması gerekmektedir. Ayrıca bir diğer faydalanma imkanı, atıl enerjinin bir ısı değiştiricisi ile herhangi bir akışkana aktarılmasıdır.

Bu noktada yukarıda verilmiş olan sistem konseptine göre en uygun yararlanma şeklinin SolarWall'dan yaz aylarında sıcak su üretimi olduğu aşıkardır.



Şekil 6.2. Isı değiştirici ilavesi ile sıcak su eldesi

Her iki yöntem incelendiğinde teknik olarak panellerin içinde ısı geçişi yapmak daha faydalı olacaktır. Isı geçişi teorisine göre bir yüzey üzerinde iki akışkan arasındaki ısı geçişi,

$$Q = K.A.\Delta T \quad (6.1)$$

formülüne göre belirlenir.

Burada;

K =Isı taşınım katsayısı ($W/m^2 K$)

A =Isı geçişine dik alan (m^2)

ΔT =İki akışkan arası sıcaklık farkı ($^{\circ}C$)

SolarWall çıkışına ısı değiştirgeci konulması halinde, SolarWall ıkış sıcaklığı ve debisi çok yüksek olmadığından istenen ısı enerjisini sağlamak için büyük yüzeye gereksinim olacaktır. Bu da kanatçıklı veya çok levhalı bir ısı değiştirgeci anlamına

gelmektedir. Bu hem maliyet anlamında olumsuz olacaktır, ama daha önemlisi sistemin kış çalışmasına zarar verecektir, çünkü sistemde çok önemli bir basınç kaybına neden olacaktır, dolayısıyla bu yöntem faydalı olmakla birlikte pek çok noktada teknik ve maliyet bakımından olumsuzluklar içermektedir. Ayrıca hacim darlığından dolayı istenen ısı geçişi için gerekli yüzeyin elde edilememesi söz konusudur.

Panel boşluğuna yerleştirilecek bir ısı değiştirgeci ise, her şeyden önce daha fazla yüzey imkanı sağlayacaktır. Bundan öte sistemin kış çalışmasına zarar vermeyecek şekilde ısı değiştiricisi montajını yapmak mümkündür.

Dolayısıyla teorik olarak bakıldığında, hem yüzey fazlalığı sağlamasından hem de kış çalışmasına zarar vermemesinden dolayı panel boşluğunda ısı geçişi sağlanması daha uygun olmaktadır. Bu noktada sorulması gereken soru, hangi tip ısı değiştiricisinin kullanılması gerekliliğidir.

Kullanılacak ısı değiştiricisi;

1. Basınç kaybına neden olmayacak, yani kanatçık olmamalı,
2. Yüksek ısı geçişi sağlamalı yani, ısı iletim katsayısı yüksek olmalıdır,
3. Maliyeti çok düşük olmalı, çünkü SolarWall zaten belirli bir maliyete sahip olup, geri ödemesi ortalama 1-6 yıl arasındadır. Burada yapılacak ilavenin maliyeti arttırma ihtimali vardır bu nedenle maliyeti olabilecek en düşük sistem olmalıdır,
4. Kolay kurulabilmeli, gerektiğinde sökülebilmelidir,
5. Bakım gerektirmemelidir.

Bu tip bir ısı değiştirici için tipik olarak birkaç malzeme karşımıza çıkmaktadır,

1. Bakır malzemedan ısı değiştiricisi yapmak,
2. Alüminyum malzemedan ısı değiştiricisi yapmak,
3. Plastik esaslı malzemedan ısı değiştiricisi yapmak,

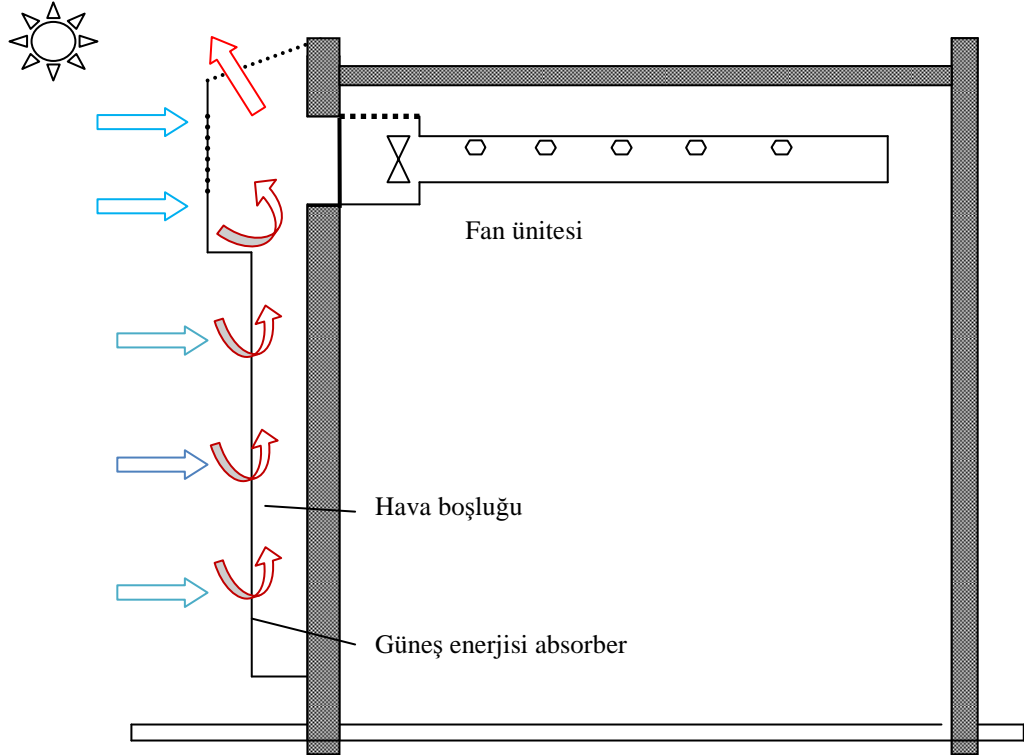
Bu noktada izleyen bölümde yukarıdaki konseptte uygun olarak havalı güneş toplayıcısından sıcak su üretmek için bir sistem önerisi yapılmıştır.

6.2. Sistem Tasarımı

Kışın ısıtma amaçlı olarak faydalanılan bu tip toplayıcılar yazın binada pasif soğutma yapmaktadır. Ancak pasif soğutma sırasında yüksek miktarda enerji dışarıya kullanılmadan atılmaktadır.

Tez kapsamında, yaz aylarında dışarıya atılan bu enerjiden faydalanmak için bir yöntem geliştirilmiştir.

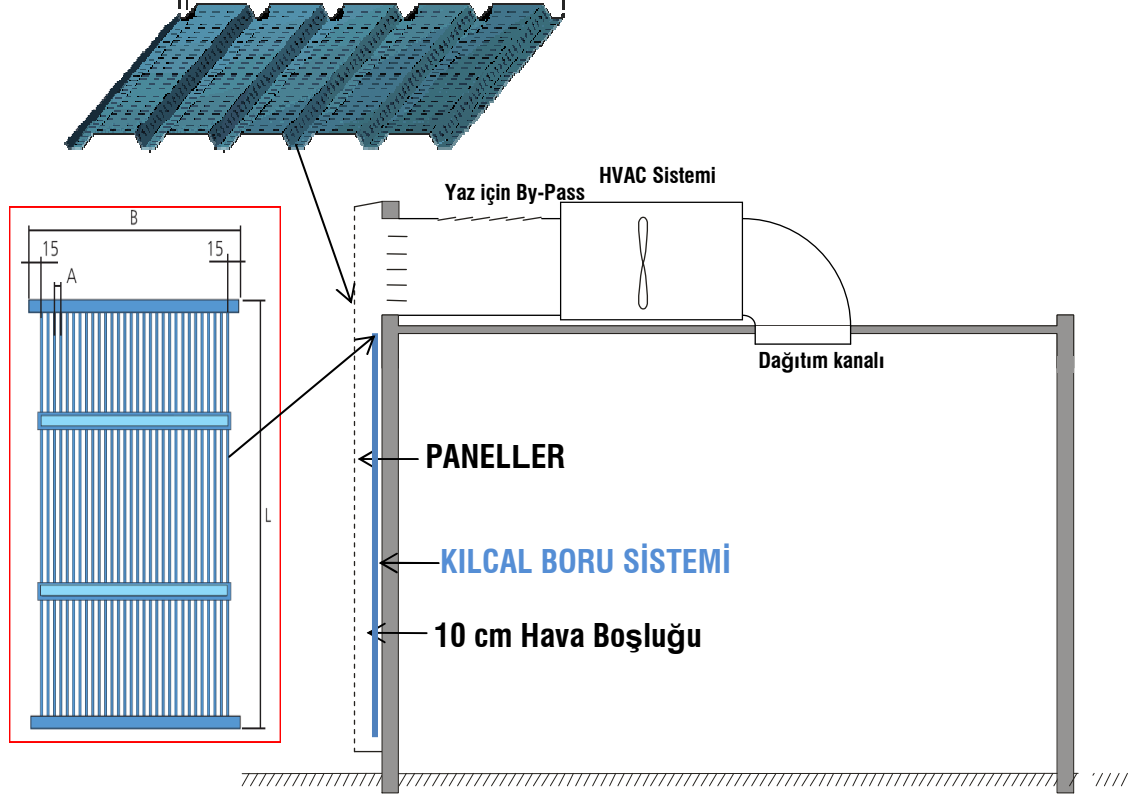
Genel olarak ticari olarak uygulaması yapılan havalı güneş toplayıcıları, bina ile toplayıcı arasında, hava akışını sağlamak için belirli miktarda bir hava boşluğunun bırakılmasını gerektirir. Şekil 6.3’de görüldüğü gibi yazın boşluktaki sıcak havanın dışarıya atılması sağlanarak binada pasif soğutma sağlanır.



Şekil 6.3. Havalı güneş toplayıcıları ile yaz soğutması

Bu boşluktaki sıcak hava kullanılarak, bu yönteme göre panel ile duvar arasındaki hava boşluğunda yüksek ısı geçişine imkan tanıyan özel bir boru sistemiyle su ısıtılması düşünülmüştür.

6.3. Kılcal Boru Sistemi ve Teknik Özellikleri

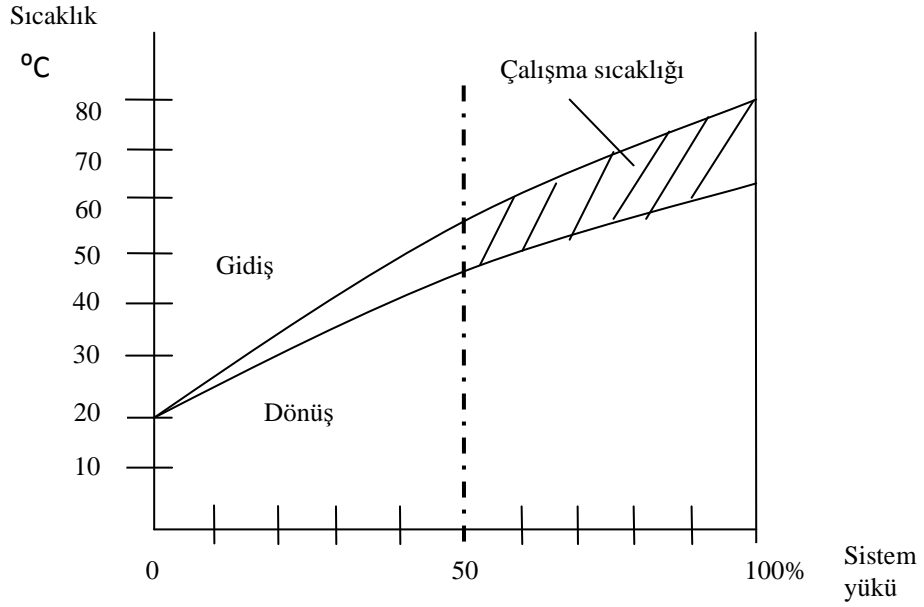


Şekil 6.4. Havalı güneş toplayıcısı ile sıcak su temini

Bu yöntemde havalı toplayıcılardan sıcak su üretmek için kılcal boru sistemi kullanılmıştır. Kılcal boru sisteminin en büyük özelliği, ısı transfer yüzünün çok büyük olmasıdır. Havanın düşük taşınım katsayısı böylece bertaraf edilmiş olur. Kılcal boru sisteminde kılcallara herhangi bir kaplama uygulanmadığı için yüksek ısı değerleri elde edilir.

Kılcal boru sistemi, hacim ısıtması ve soğutması amacıyla binaların iç yüzeylerinde kullanılan bir radyant ısıtma-soğutma sistemidir. Kılcal boru sisteminin, en temel özelliği, kullanılan özel boru malzemesi ve yapısı sayesinde, çok düşük su sıcaklıkları ile ortam ısıtmasını olanaklı hale getirmesidir. Böylece Şekil 6.5’de görüldüğü gibi, ısıtma sisteminin yükü önemli ölçüde azalırken, boru malzemesinin özelliği nedeniyle hızlı ısıtma sağlanabilmektedir.

Kılcıcal boru sisteminin en temel özelliklerinden biri, borularda gerçekleşen ısı geçişinin %70 ışınlım %30 taşınlımla gerçekleşmesidir. Bu nedenle literatürde radyant ısıtma sistemi olarak adlandırılmaktadır. Işınlımla ısı geçiş oranının yüksek olmasından dolayı sistem diğler sıcak-soğuk su boru sistemlerine göre 2-3 kat daha fazla ısı geçişine imkan tanımaktadır. (Glück, 1999)

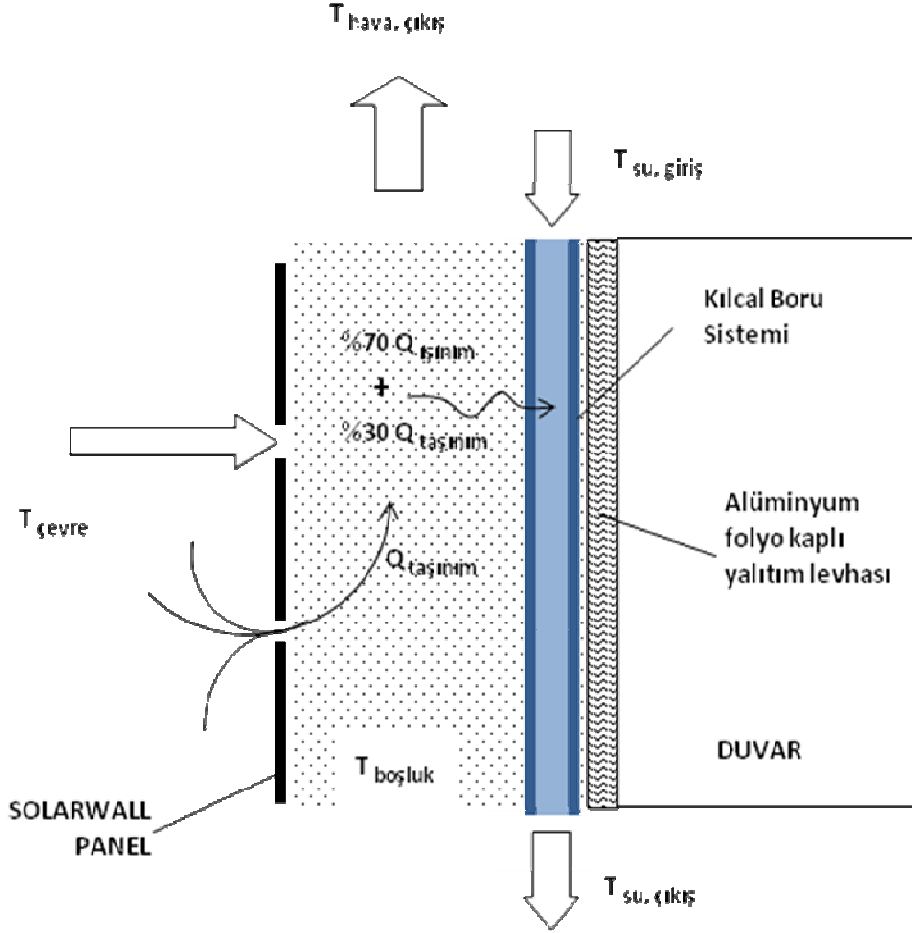


Şekil 6.5. Kazanlar için sıcaklığı bağılı ısıtma yükü değışimi

Bu çalışmada, kılcıcal boru sistemi bina iç yüzeyinde değıl bina dışında, havalı toplayıcı emici yüzeyin arkasında kullanılmıştır. Böylece kılcıcal boru sisteminin sağlayacağı yüksek ısı geçiş etkinliğinden yararlanarak yaz aylarında havalı toplayıcılardan sıcak su elde etmek mümkün olacaktır.

6.4. Isı Transfer Mekanizması

Delikli havalı toplayıcı ile kılcal boru sistemi arasındaki ısı geçiş mekanizması Şekil 6.6'deki gibi şematik olarak verilebilir.



Şekil 6.6. Delikli havalı toplayıcı ile kılcal boru sistemi arasındaki ısı geçiş Mekanizması

Şekil 6.6'de görüldüğü gibi delikli güneş toplayıcısının ısıttığı yüksek havadan kılcal boru sistemi içerisinde akan soğuk suya ısı geçişi olmaktadır. Sistem tipik olarak bir ısı değiştiricisidir ve ısı değiştiricileri teorisine göre en yüksek ısı geçişi sağlayan ters akış düzenlemesine göre tasarım yapılmıştır.

6.5. Etkinlik Analizi

Isı değiştircileri analizinde genel olarak iki yöntem kullanılır. Logaritmik sıcaklık farkı yöntemi ve Etkinlik-NTU yöntemi. Logaritmik sıcaklık farkı yöntemi ısı değiştircisine giren akışkanların giriş ve çıkış sıcaklıklarının bilinmesi halinde, boyutların veya toplam ısı geçiş katsayısının belirlenmesi için en uygun yöntemdir. Etkinlik-NTU yöntemi ise akışkanların çıkış sıcaklıklarının bilinmemesi halinde kullanılan bir yöntemdir. Bu çalışmada, toplayıcı ve sıcak su çıkış sıcaklıkları bilinmediği için, toplayıcı boşluğunda hareket eden sıcak hava ile kılcal borudaki su arasındaki ısı geçişinin etkinliğini belirlemek için Etkinlik-NTU yöntemi kullanılmıştır.

Etkinlik NTU yöntemine göre, bir ısı değiştircisinde gerçekleşen ısı geçişi ile ısı değiştircisinde gerçekleşebilecek maksimum ısı transferi arasındaki oran etkinlik olarak tanımlanır.

$$E = Q/Q_{\text{mak.}} \quad (6.2)$$

Burada alınan ısı(Q), toplayıcıdan suya aktarılan ısı enerjisidir.

$$Q = m_{\text{su}} C_p \text{su} (T_{\text{su ıkış}} - T_{\text{su giriş}}) \quad (6.3)$$

Maksimum ısı geçişi ise toplayıcı boşluğunda akan havanın sıcaklığı ile evre şartlarında ısı değiştircisine giren su sıcaklığı arasındaki farkın, minimum ısıl kapasite ile çarpımına eşittir.

$$Q_{\text{mak.}} = C_{\text{min}} (T_k - T_{\text{sugiriş}}) \quad (6.4)$$

C_{min} , sıcak ve soğuk akışkanlardan ısıl kapasitesi dūřük olanıdır.

Literatürde delikli havalı toplayıcı boşluğunda akan sıcak hava için, Kutscher tarafından verilmiş etkinlik bağıntısı vardır. Bu bağıntıya göre, delikli bir güneş toplayıcısının boşluğundaki ısı geçiş etkinliği şöyle belirlenmektedir: (Kutscher, 2003)

$$\varepsilon = 1 - \exp[-hA/C_{\min}] \quad (6.5)$$

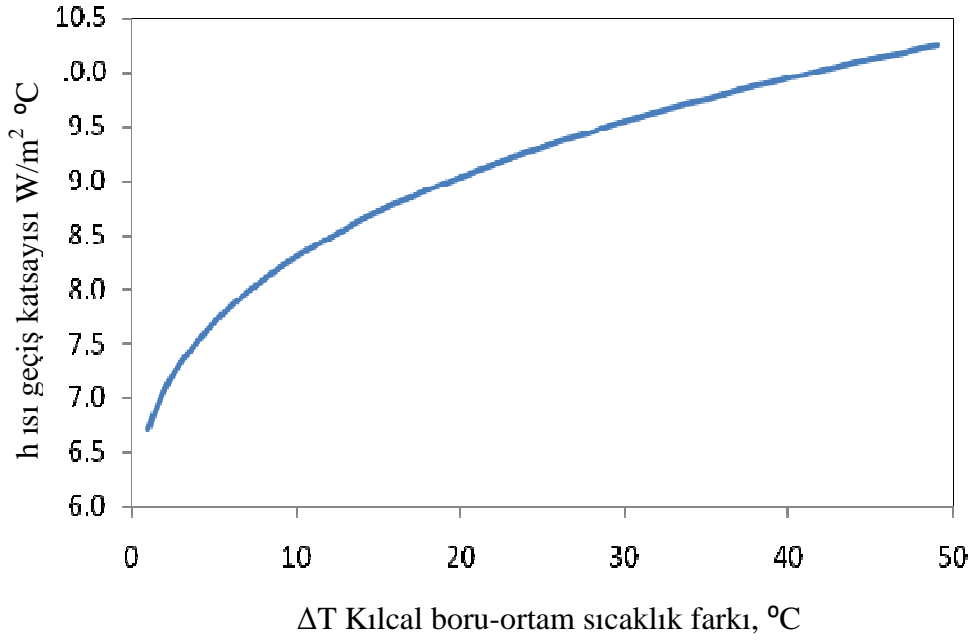
Burada h (W/m K) ısı geçiş katsayısı, A (m²) ısı geçiş yüzeyi, C_{\min} (J/kg K), sıcak ve soğuk akışkanlardan ısı kapasitesi düşük olanı göstermektedir.

Kılcal boru sistemiyle, delikli güneş toplayıcısında sıcak su üretmenin teorik analizi için en önemli nokta, kılcal boru sistemi için ısı geçiş katsayısının teorik olarak belirlenmesidir. Normalde ısı değiştiricilerinde ışınlama ısı geçişi genel olarak ihmal edilirken, kılcal boru sisteminde ışınlama ısı geçişi, toplam ısı geçişinin büyük bir yüzdesini oluşturmaktadır. Bununla birlikte kılcal boru sistemi için literatürde yapılmış çok az sayıda çalışma vardır. Bu çalışmalar arasında en önemli olanı Glück'ün çalışmasıdır. Glück'ün (1999) yapmış olduğu çalışmaya göre, bir kılcal boru sisteminden, ısıtma veya soğutma yapılan ortama ısı geçiş katsayısı, ışınlım ve taşınım birlikte içerecek şekilde aşağıdaki gibi verilmektedir:

$$h_i = 5.1 + 1,6\Delta T^{0,3} \quad (\text{W/m}^2 \text{ K}) \quad (6.6)$$

Burada ΔT ; kılcal boru içinden akan akışkanın ortalama sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki farktır.

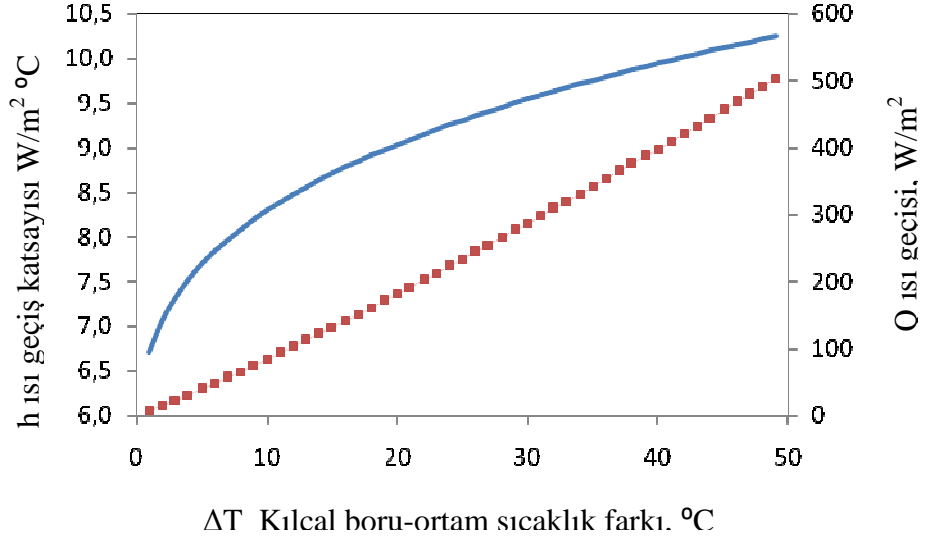
Bu çalışmanın başlangıç hesaplarında Glück'ün vermiş olduğu ısı geçiş katsayısı kılcal borularda gerçekleştirilecek ısı transferi için kullanılmıştır. Buna göre kılcal boru ile ortam arasındaki sıcaklık farkının değişimi için ısı geçiş katsayısı Şekil 6.7'deki gibi değişmektedir.



Şekil 6.7. Kılcal boru ile ortam arasındaki sıcaklık farkının ısı geçiş katsayısına etkisi

Şekil 6.7'den görüleceği üzere sıcaklık farkının bir noktadan sonra artmasıyla ısı geçiş katsayısı artmaktadır; ancak düşük sıcaklıklar için bu artış daha fazla olmaktadır. Isı geçiş katsayısını teorik olarak belirleyebilmek, bu sistemden ne kadar sıcak su elde edilebileceğini belirlemek açısından önemlidir.

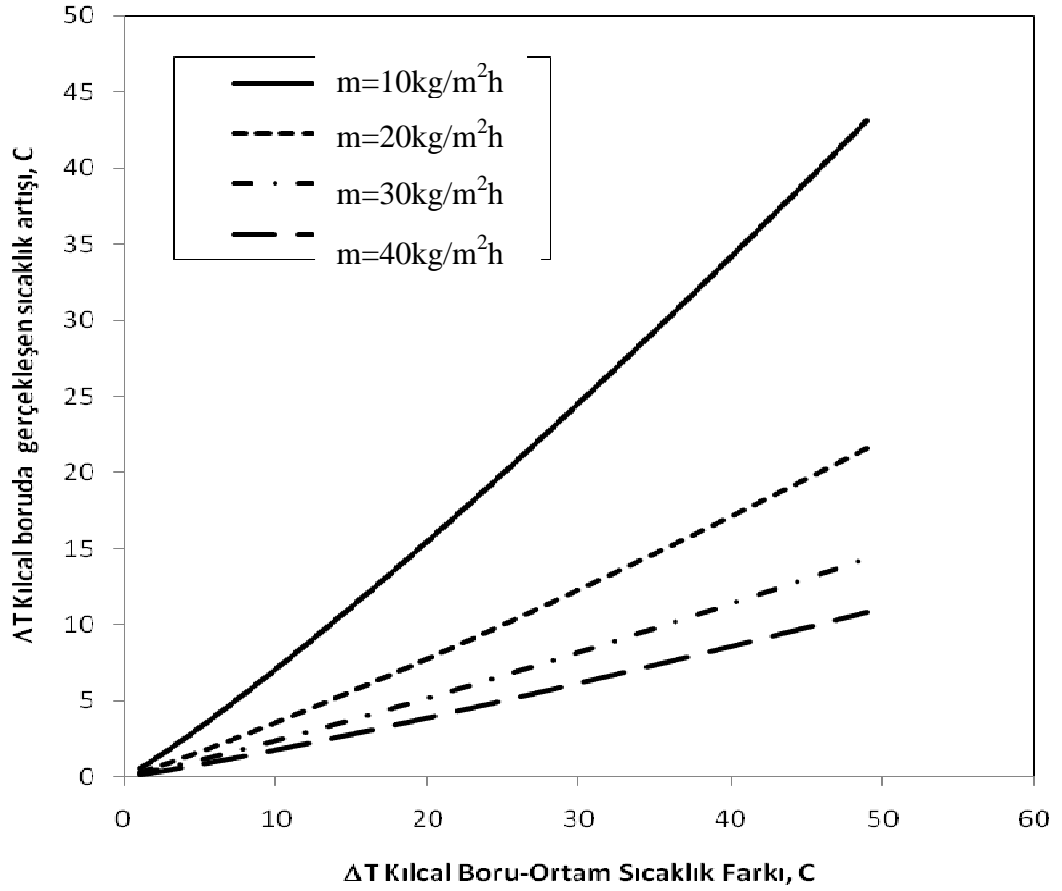
Şekil 6.8'de birim toplayıcı yüzeyi için, kılcal boru ile ortam arasındaki sıcaklık farkının değişimi ile ısı geçiş katsayısı ve ısı geçiş miktarının değişimi verilmektedir. (Glück, 1999)



Şekil 6.8. Kılcal boru ile ortam arasındaki sıcaklık farkının ısı geçişine etkisi (2)

Şekilden görüleceği üzere sıcaklık farkı arttıkça ısı geçişi artmaktadır, birim toplayıcı alanında yüksek miktarda ısı, teorik olarak kılcal boru içindeki suya aktarılabilmektedir. Böylece kılcal boru sisteminden geçecek debiye bağlı olarak suyu ısıtmak mümkündür. (Beka, 2000)

Genel olarak kılcal boru sistemlerinde birim alanda geçen debi 10-45 kg/(m² h) arasında değişmektedir. Bu verilere göre, hesaplamalar ışığında elde edilebilecek kılcal boru sistemi birim alanında, farklı su debileri için teorik olarak elde edilebilecek sıcaklık artışları Şekil 6.9' da verilmiştir.

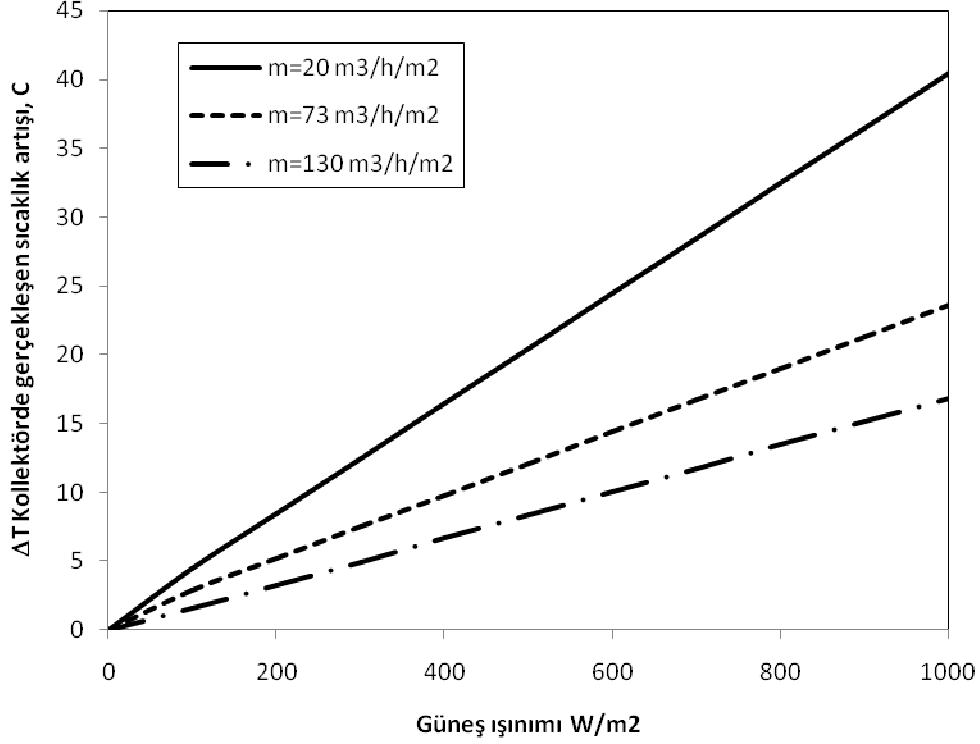


Şekil 6.9 Kılcal boru sisteminde dolaşacak farklı su debileri için, kılcal boru ile ortam arasındaki sıcaklık farkına bağlı olarak elde edilebilecek sıcaklık artışları

Şekil 6.9'dan görüldüğü üzere, toplayıcı iç sıcaklığı ile kılcal boru arasındaki sıcaklık farkının neden olduğu 500 Watt'a varan ısı geçişi, kılcal borudan geçecek farklı su debilerine göre önemli oranda sıcaklık artışı sağlamaktadır. Su debisi azaldıkça sıcaklık artışı olmaktadır.

Bu durumda en önemli nokta bir delikli toplayıcıda elde edilebilecek sıcaklık artışının belirlenmesidir. Teorik olarak toplayıcıda gerçekleşebilecek sıcaklık artışları, bölümde verilen enerji denge denklemleri ile belirlenebilir. Bununla birlikte, dünyada ticari olarak delikli güneş toplayıcılarının üretimin yapan firma olan Conservall Engineering'in uzun yıllar süren araştırmaları sonucu elde edilmiş deneysel verilerinden faydalanmak toplayıcıda elde edilebilecek sıcaklıkları belirlemek açısından daha rasyonel sonuçlar verecektir. Conservall Engineering tarafından yapılan çalışmalara

göre, toplayıcıdan geçecek farklı hava debileri ve güneş ışınımı için elde edilecek sıcaklık artışları Şekil 6.10'da verilmiştir



Şekil 6.10. Güneş ışınımına bağlı olarak delikli toplayıcılarda gerçekleşen sıcaklık artışı (SolarWall, 2006)

Bu çalışmada, havalı toplayıcılarda olabilecek sıcaklık artışını farklı ışınım değerleri ve farklı debiler için belirleyebilmek için, Şekil 6.10'da verilen grafik verileri üzerinden hareketle %0.001 hassasiyetle Bivariate Quadratic Regresyon analizi yapılmıştır. Bu analize göre regresyon denklemi şöyledir:

$$f(X, Y) = A1 + A2 \times X + A3 \times Y + A4 \times X^2 + A5 \times Y^2 + A6 \times X * Y \quad (6.7)$$

Burada, X, ışınım, Y debi değerini ifade etmektedir. A1-A6 ise regresyonla elde edilmiş katsayılarıdır. Bu katsayılar ışınım değerlerine göre şöyle olmaktadır:

Tablo 6.1. Işınım değerine göre katsayılar

Işınım Aralığı W/m ²	0-300	300-600	600-1000
A1	1.991236287	0.995266247	0.99737261
A2	0.046096417	0.052204606	0.053478243
A3	-0.062438005	-0.103712589	-0.172854309
A4	-1.33E-05	-8.45E-06	-5.92E-06
A5	0.000399928	0.000688363	0.001147272
A6	-0.000216544	-0.000226255	-0.000226255

Böylece yukarıdaki regresyon analizini kullanarak havalı toplayıcıda ışınım ve debiye bağlı olarak sıcaklık artışını belirlemek mümkündür.

Bu noktada Edirne ili iklim koşulları Ağustos ayı için bir simülasyon yapılırsa eğer, sistemden geçecek 20 m³/h/m² hava debisi için gün boyu elde edilecek sıcaklık artışı Denklem 6.7. kullanılarak Tablo 6.2' deki gibi elde edilir:

Tablo 6.2 Edirne ağustos ayı, tam güney, dik yüzeye gelen ışınımına bağlı olarak anlık elde edilebilecek sıcaklık artışları ve toplayıcı iç sıcaklığı (hava verileri Avrupa Birliği Sunbird web sitesinden alınmıştır.)

Güneş saati	Anlık ışınım	Hava sıcaklığı	Hava debisi	SICAKLIK ARTIŞI	Toplayıcı iç sıcaklığı
h	(W/m ²)	(°C)	(m ³ /h/m ²)	(°C)	(°C)
5.38	16	16	20	1.57	17.57
5.63	25	16.7	20	1.94	18.64
5.88	33	17.4	20	2.27	19.67
6.13	41	18.1	20	2.59	20.69
6.38	48	18.8	20	2.88	21.68
6.63	54	19.5	20	3.12	22.62
6.88	61	20.1	20	3.40	23.50
7.13	97	20.7	20	4.83	25.53
7.38	122	21.3	20	5.80	27.10
7.63	148	21.9	20	6.79	28.69
7.88	173	22.4	20	7.73	30.13
8.13	198	23	20	8.65	31.65

8.38	222	23.5	20	9.52	33.02
8.63	245	23.9	20	10.33	34.23
8.88	267	24.4	20	11.10	35.50
9.13	288	24.8	20	11.83	36.63
9.38	307	25.3	20	13.04	38.34
9.63	324	25.7	20	13.76	39.46
9.88	340	26	20	14.43	40.43
10.13	354	26.4	20	15.02	41.42
10.38	367	26.7	20	15.56	42.26
10.63	378	27	20	16.01	43.01
10.88	387	27.3	20	16.38	43.68
11.13	394	27.6	20	16.67	44.27
11.38	399	27.9	20	16.87	44.77
11.63	403	28.1	20	17.04	45.14
11.88	405	28.3	20	17.12	45.42
12.13	405	28.5	20	17.12	45.62
12.38	403	28.7	20	17.04	45.74
12.63	399	28.8	20	16.87	45.67
12.88	394	28.9	20	16.67	45.57
13.13	387	29	20	16.38	45.38
13.38	378	29.1	20	16.01	45.11
13.63	367	29.2	20	15.56	44.76
13.88	354	29.2	20	15.02	44.22
14.13	340	29.3	20	14.43	43.73
14.38	324	29.3	20	13.76	43.06
14.63	307	29.3	20	13.04	42.34
14.88	288	29.2	20	11.83	41.03
15.13	267	29.2	20	11.10	40.30
15.38	245	29.1	20	10.33	39.43
15.63	222	29	20	9.52	38.52
15.88	198	28.9	20	8.65	37.55
16.13	173	28.8	20	7.73	36.53
16.38	148	28.6	20	6.79	35.39
16.63	122	28.5	20	5.80	34.30
16.88	97	28.3	20	4.83	33.13
17.13	61	28.1	20	3.40	31.50
17.38	54	27.8	20	3.12	30.92
17.63	48	27.6	20	2.88	30.48
17.88	41	27.3	20	2.59	29.89
18.13	33	27	20	2.27	29.27
18.38	25	26.7	20	1.94	28.64
18.63	16	26.4	20	1.57	27.97

Tablodan görüleceği üzere, delikli toplayıcıda 45° C derecelere varan bir iç sıcaklık elde edilebilmektedir. Yaz aylarında havanın çoğunlukla açık olduğu dikkate alındığında bulutsuz gökyüzü durumu oluşacaktır ve daha yüksek sıcaklık artışı elde etmek mümkün olacaktır.

Bu sonuçlara göre , ağustos ayında elde edilebilecek toplayıcı iç sıcaklığına göre, kılcal boru sisteminde elde edilecek sıcak su için iyi bir potansiyel söz konusudur. Yukarıdaki sonuçlara bağlı olarak, aynı hava debisi için Denklem 6.1 kullanılarak elde edilebilecek ısı geçişi şu şekilde olacaktır.

Tablo 6.3. Edirne ağustos ayı, delikli toplayıcıdan suya aktarılabilecek ısı enerjisi (su giriş sıcaklığı 15° C olarak kabul edilmiştir.)

Güneş saati	Anlık ışıınım	Toplayıcı iç sıcaklığı	Su giriş sıcaklığı	Isı geçiş katsayısı	Isı Geçişi
h	W/m ²	°C	°C	W/m ² C	W/m ²
5.38	16	17.6	15	7.22	18.54
5.63	25	18.6	15	7.46	27.13
5.88	33	19.7	15	7.64	35.65
6.13	41	20.7	15	7.80	44.38
6.38	48	21.7	15	7.93	52.93
6.63	54	22.6	15	8.04	61.27
6.88	61	23.5	15	8.14	69.20
7.13	97	25.5	15	8.34	87.83
7.38	122	27.1	15	8.48	102.61
7.63	148	28.7	15	8.61	117.86
7.88	173	30.1	15	8.71	131.84
8.13	198	31.6	15	8.82	146.85
8.38	222	33.0	15	8.91	160.52
8.63	245	34.2	15	8.98	172.82
8.88	267	35.5	15	9.06	185.75
9.13	288	36.6	15	9.12	197.30
9.38	307	38.3	15	9.22	215.09
9.63	324	39.5	15	9.27	226.84
9.88	340	40.4	15	9.32	237.11
10.13	354	41.4	15	9.37	247.58
10.38	367	42.3	15	9.41	256.56

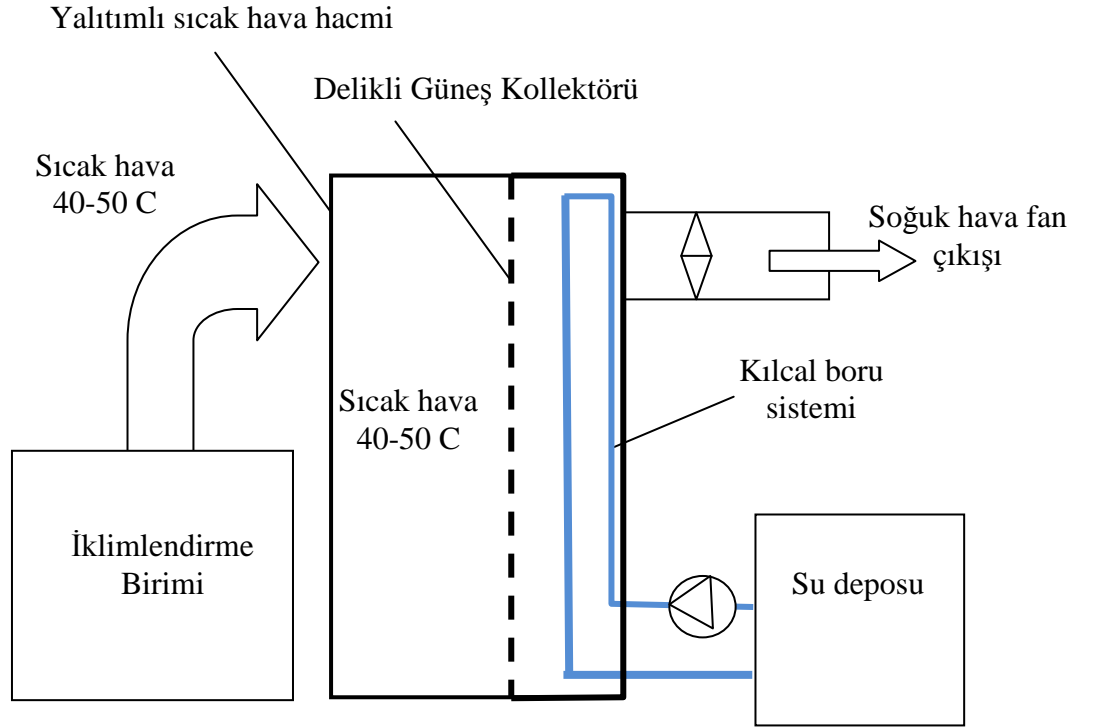
10.63	378	43.0	15	9.45	264.66
10.88	387	43.7	15	9.48	271.89
11.13	394	44.3	15	9.51	278.24
11.38	399	44.8	15	9.53	283.71
11.63	403	45.1	15	9.54	287.66
11.88	405	45.4	15	9.56	290.73
12.13	405	45.6	15	9.57	292.91
12.38	403	45.7	15	9.57	294.20
12.63	399	45.7	15	9.57	293.51
12.88	394	45.6	15	9.56	292.36
13.13	387	45.4	15	9.56	290.32
13.38	378	45.1	15	9.54	287.37
13.63	367	44.8	15	9.53	283.51
13.88	354	44.2	15	9.50	277.65
14.13	340	43.7	15	9.48	272.40
14.38	324	43.1	15	9.45	265.15
14.63	307	42.3	15	9.42	257.42
14.88	288	41.0	15	9.35	243.42
15.13	267	40.3	15	9.32	235.77
15.38	245	39.4	15	9.27	226.60
15.63	222	38.5	15	9.23	216.97
15.88	198	37.5	15	9.17	206.88
16.13	173	36.5	15	9.12	196.30
16.38	148	35.4	15	9.05	184.61
16.63	122	34.3	15	8.99	173.47
16.88	97	33.1	15	8.92	161.63
17.13	61	31.5	15	8.81	145.37
17.38	54	30.9	15	8.77	139.61
17.63	48	30.5	15	8.74	135.25
17.88	41	29.9	15	8.70	129.53
18.13	33	29.3	15	8.65	123.42
18.38	25	28.6	15	8.60	117.34
18.63	16	28.0	15	8.55	110.89

Tablo 6.3’de görüldüğü gibi, gün boyu anlık olarak birim alanda 300 Watt’a varan ısı enerjisini kılcal boru sistemine aktarmak mümkündür. Bu, delikli toplayıcıların çok büyük yüzeyler oluşturdukları düşünüldüğünde önemli miktarlarda ısıнын aktarılması anlamına gelmektedir.

Bununla birlikte, önemli olan husus, gerçekte toplayıcıdan kılcal boru sistemine aktarılacak ısının tespit edilmesidir, bu amaçla bir deney tesisatı kurulmuş ve sistem etkinliği tespit edilmiştir.

7. DENEYSEL ÇALIŞMA

Delikli güneş toplayıcılarından yaz aylarında sıcak su elde etmek için önerilen sistemin teorik olarak etkinliği önceki bölümde gösterilmiştir. Gerçekte ise sistemin hangi etkinlikte çalışacağı ve teorik sonuçlarla uyumlu olup olmadığının belirlenmesi gerekmektedir. Bununla birlikte tez kapsamında yapılan çalışmaların kış aylarına gelmesinden dolayı, ısı geçiş etkinliğini belirlemek için özel bir deney tesisatı kurulmuştur. Aşağıdaki şekilde deney tesisatı gösterilmiştir.



Şekil 7.1. Deney tesisatının şematik şekli

Şekil 7.1' de görüldüğü gibi güneş toplayıcısı içinde laboratuvar şartlarında sıcak hava elde etmek için bir iklimlendirme ünitesi kullanılmıştır. Toplayıcının dış yüzeyinde, yalıtılmış bir hacim yapılmış, iklimlendirme ünitesinden bu hacme sıcak hava aktarılarak, hacmin sıcaklığının 40-50° C arasında olması sağlanmış ve toplayıcı fanı çalıştırıldığında, toplayıcı içinde sıcak hava akışı elde edilmiştir. Böylece kurulan

deney düzeneği ile bir anlamda yaz aylarında toplayıcı içinde gerçekleşecek sıcak hava akımı yapay olarak elde edilmiştir.

Bu deney tesisatının laboratuvar şartlarında yapay olarak çalıştırılmasının temel amaçlarından birisi, toplayıcı içinde farklı sıcaklık ve farklı hava debilerinde akış yaratarak, kılcal boru sistemi ile sıcak hava arasındaki ısı geçişi karakteristiğinin çıkarılması olmuştur. Sistemdeki sıcak havanın istenilen değer elde edilebilecek şekilde kontrol edilebilmesi bu karakteristiğin elde edilmesi bakımından büyük bir avantaj teşkil etmektedir. Normalde tesisatın dış ortamda denenmesi halinde, güneş enerjisindeki anlık değişimlerden dolayı, süreksizlik gerçekleşecek ve sistem etkinliği tam olarak belirlenemeyecektir.

Bu model üzerinde kılcal boru sistemi kurularak su ısıtma için en uygun akış düzenlemesi, su giriş-çıkış sıcaklıklarının tespiti, farklı debilerin ısıtma performansına etkisi, basınç ölçümü, sıcaklık ölçümü gibi parametreler deney çalışmaları boyunca laboratuvar koşullarında incelenmiştir ve kayıt edilmiştir. Deney çalışmaları ile benzer bir sistem kurulması halinde elde edilebilecek sistem veriminin hangi mertebelerde olacağı, sistemden sağlanabilecek gerçek faydanın ne olacağı konularına açıklık getirmesine çalışılmıştır.

Deney tesisatının elemanları aşağıda verilmektedir.

7.1. Delikli Güneş Toplayıcısı

Bu çalışmada kullanılan delikli toplayıcı, delikli toplayıcıların dünyadaki tek üreticisi olan Conserval Engineering'in Türkiye yetkili satıcısı Beltkon Mühendislik'ten temin edilmiştir. Ticari olarak SolarWall olarak adlandırılan toplayıcı, toplamda 5 m² alana sahip olup, yüksekliği 2.5 m genişliği 2 m, derinliği 10 cm'dir.

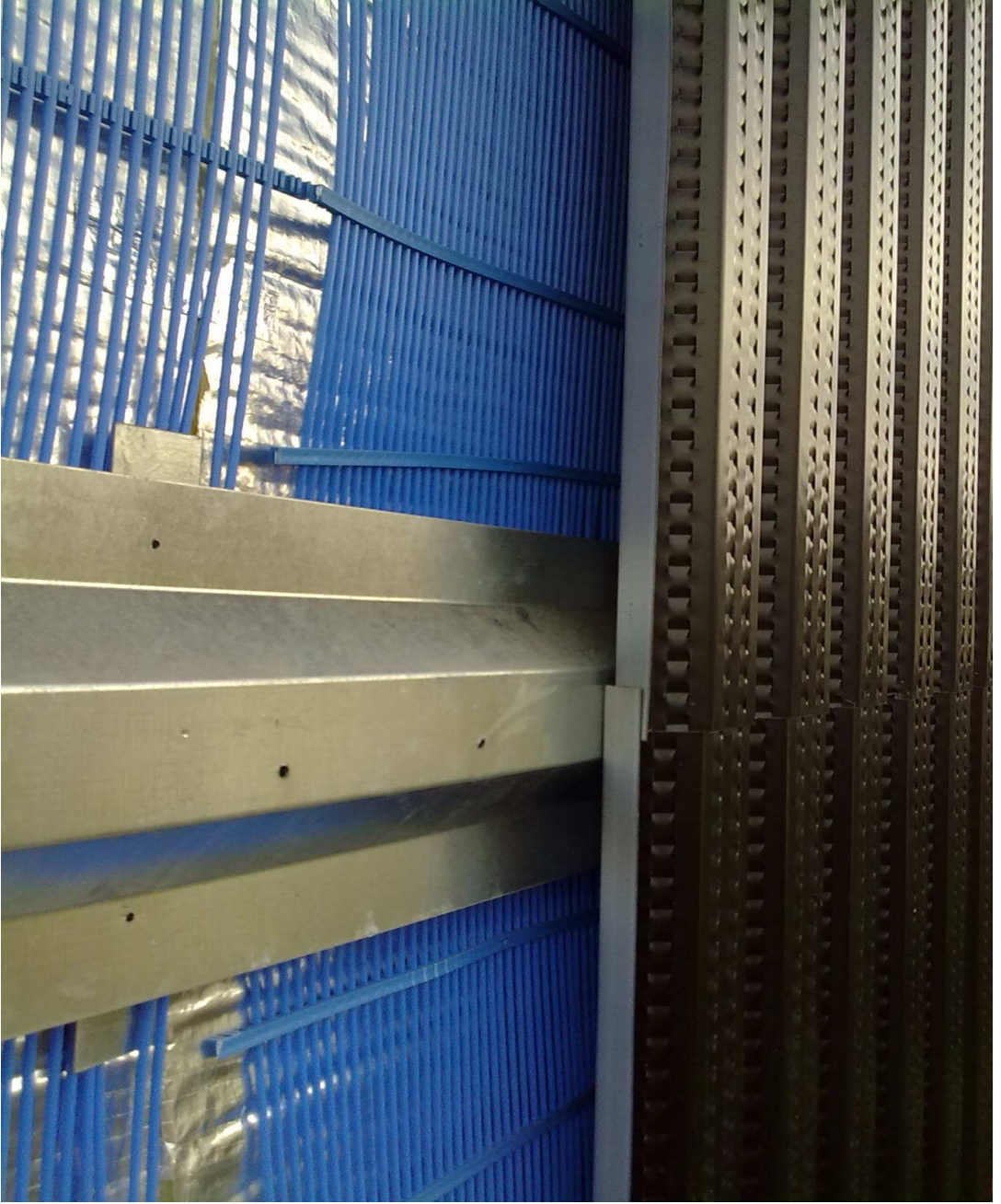
7.2. Kılcal Boru Sistemi

Deney tesisatında kullanılan kılcal boru sistemi, Almanya’da faaliyet gösteren Beka und Klima Heizung GMBH firmasından temin edilmiştir. Firmanın ürettiği çok sayıda kılcal boru türü vardır. Bunlardan deney için en uygun olanı, P.VG10 adlı model seçilmiştir. Modelin teknik özellikleri Şekil 7.2’de verilmektedir. Deney düzeneğinde 2 m² kılcal boru kullanılmıştır.

PVG10		BEKA Capillary Tube Mat for pressure PN20
Material	Polypropylene Random Copolymer Type 3, DIN 8078	
Ø Collector pipe	20 × 3,4 mm	
Ø Capillary tube	4,5 × 0,8 mm	
Capillary tube distance (A)	10 mm	
Length (L)	750 - 6000 mm (in steps of 10 mm)	
Width (B)	400 - 1200 mm (in steps of 10 mm)	
Massis filled	1438 g/m ² (without collector)	
Exchange surface	1,357 m ² /m ²	
Water contents	0,64 l/m ²	
Cooling capacity *	80 W/m ²	
Allow. heating water temp.	80°C	
Operating pressure	max. 20 bar	
Connection variation with quick-action couplings	00, without connections	
Operation area	Earth absorber Surface heating in concrete	

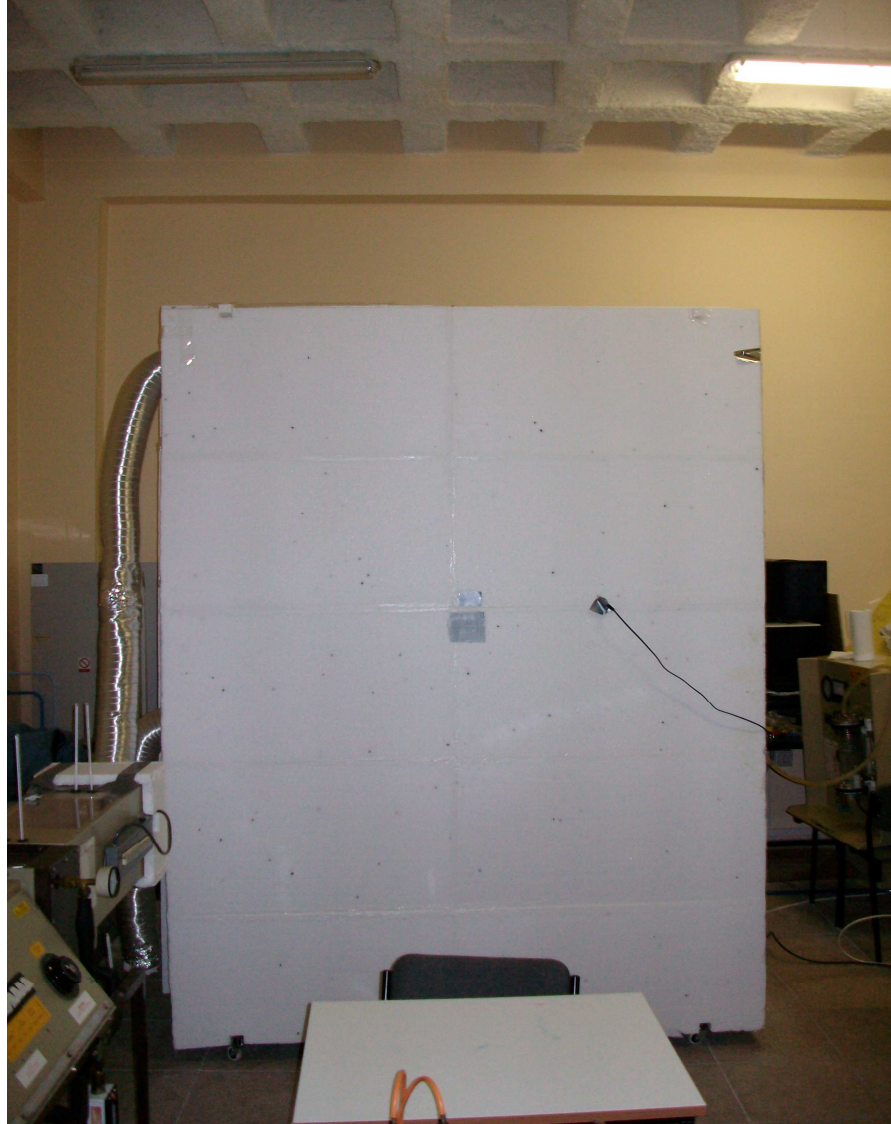
* Capacity is reached at defined conditions
Other collector pipe dimensions (20x2 PN10 or 22x2,1)
for BEKA plug-in systems are available per your inquiry.

Şekil 7.2’de Kılcal boru sisteminin teknik özellikleri



Şekil 7.3. Kılcal boru sisteminin delikli hava toplayıcısına yerleştirilmiş hali.

Şekil 7.4' de toplayıcı için oluşturulan kapalı, yalıtımlı sıcak hava hacmi gösterilmektedir. Kapalı hacmin boyutları $2.5\text{ m} \times 2\text{ m} \times 0.3\text{ m}$ olup toplamda 1.5 m^3 'lük bir sıcak hacimde iklimlendirme tesisatı ile sıcaklık kontrolü yapılmaktadır.



Şekil 7.4. Deney Düzenegi

Şekilde iklimlendirme tesisatı ve sıcak hacim arasındaki bağlantı gösterilmektedir.



Şekil 7.5. İklimlendirme tesisatı ve toplayıcı bağlantısı

Deney tesisatının ölçüm noktalarını ve açıklaması Tablo 7.1’de verilmektedir.

Tablo 7.1. Deney tesisatında kullanılan ölçüm cihazları ve yerleri

Ölçüm cihazı	Ölçüm yeri
Sıcaklık ölçer-Pt100	Kılcal boru sistemi su girişi sıcaklık ölçümü
Sıcaklık ölçer-Pt100	Kılcal boru sistemi su çıkış sıcaklık ölçümü
Rota metre	Kılcal boru su debisi ölçümü ve ayarı
Hızölçer	Toplayıcı fan çıkışı hız ölçümü
Sıcaklık ölçer-Pt100	Yalıtılmış hacim sıcaklık ölçümü
Sıcaklık ölçer-Pt100	Toplayıcı iç sıcaklık ölçümü
Sıcaklık ölçer-Pt100	Toplayıcı fan çıkışı sıcaklık ölçümü
Debi ayar	İklimlendirme cihaz çıkışı
Data Logger	Tüm ölçüm noktalarında veri toplayıcı

7.3. Deneylerin Yapılması ve Verilerin Toplanması

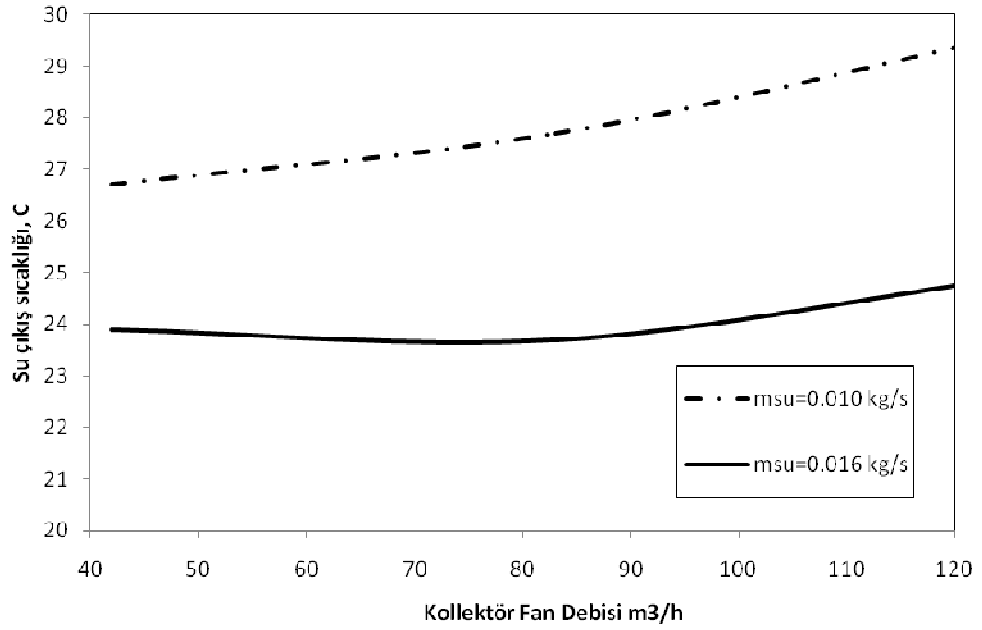
Deney yapılması esnasında göz önünde bulundurulan ve ölçümlerde dikkat edilen hususlar şöyledir:

1. Deneylerin başlangıcında iklimlendirme tesisatından panel önündeki kapalı hacme sıcak hava gönderilerek, hacimde istene sıcaklığın elde edilmesi ve deney koşullarının kararlı rejim haline gelmesi için belirli bir sürenin geçmesi beklenilmiştir.
2. Kapalı hacimde kararlı rejim oluşturulduktan sonra, deneyler süresince hacim sıcaklığını istenen değere ayarlayabilmek için, iklimlendirme tesisatına ısıtıcı güç ve fan debi kontrolü yapılmıştır. Böylece hacim sıcaklığı istenen değere hassas şekilde ayarlanabilmiştir.
3. Kapalı hacimde kararlı hal elde edildikten sonra toplayıcı fanı çalıştırılmış ve toplayıcı içinde sıcak hava akışı elde edilmiştir.
4. Toplayıcı içindeki sıcak hava akışı kararlı hale geldikten sonra, kılcal boruda şebekeden alınan su bir sirkülasyon pompası vasıtasıyla, kılcal boruda 3-4 bar basınçta su akışı olacak şekilde dolaştırılmıştır.
5. Sistemin etkinliğini anlık olarak belirlemek için sürekli şebekeden gelen soğuk su sisteme verilmiş ve toplayıcı çıkışında yine şebekeye aktarılmıştır
6. Deneyler, farklı toplayıcı iç sıcaklıkları ve farklı su debileri için tekrarlanmıştır
7. Ölçümler, bir veri okuyucu tarafından kaydedilmiştir

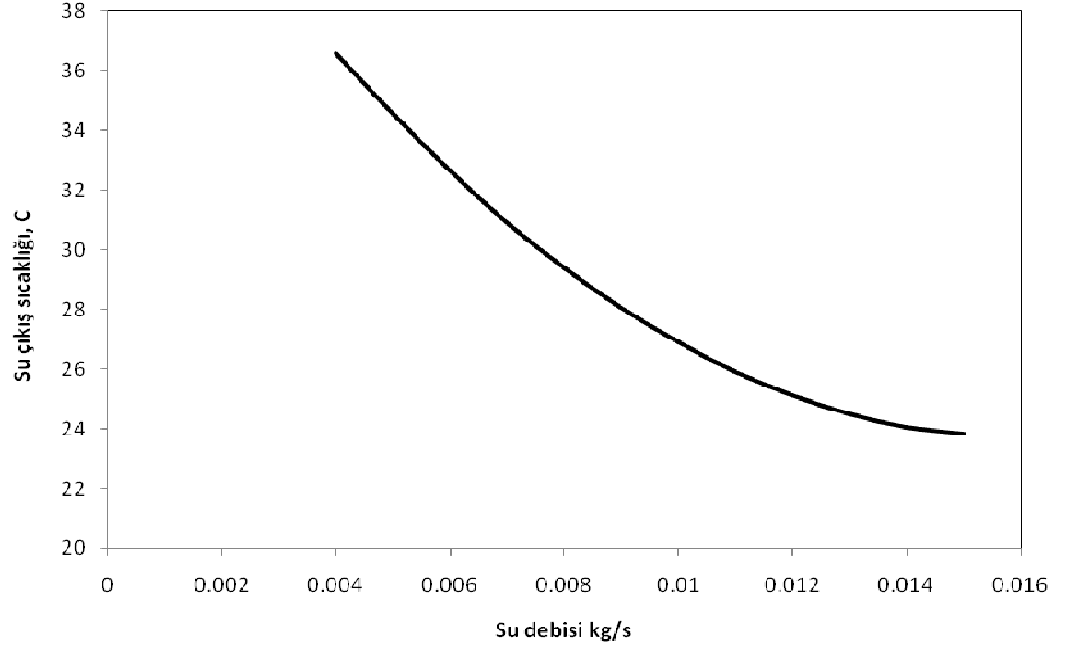
8. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Laboratuar şartlarında yapılan deneyler göstermiştir ki, kılcal boru sistemi ile delikli güneş toplayıcısından sıcak su elde etmek mümkündür. Toplayıcı içindeki hava sıcaklığına bağlı olarak yüksek bir etkinlikle 40° C civarında laboratuar şartlarında sıcak su elde edilmiştir. Bununla birlikte burada daha önemli olan husus, yüksek sıcaklık elde edilmesinden çok yüksek miktarda enerji elde etmektir.

Şekil 8.1’de görüldüğü üzere, toplayıcı iç hava sıcaklığının sabit olması durumu için, fan debisi arttıkça sistemden geçen hava miktarı artmakta böylece kılcal boru sisteminden geçen suya daha fazla enerji aktarımı mümkün olmakta ve daha yüksek sıcaklık artışı elde edilmektedir.

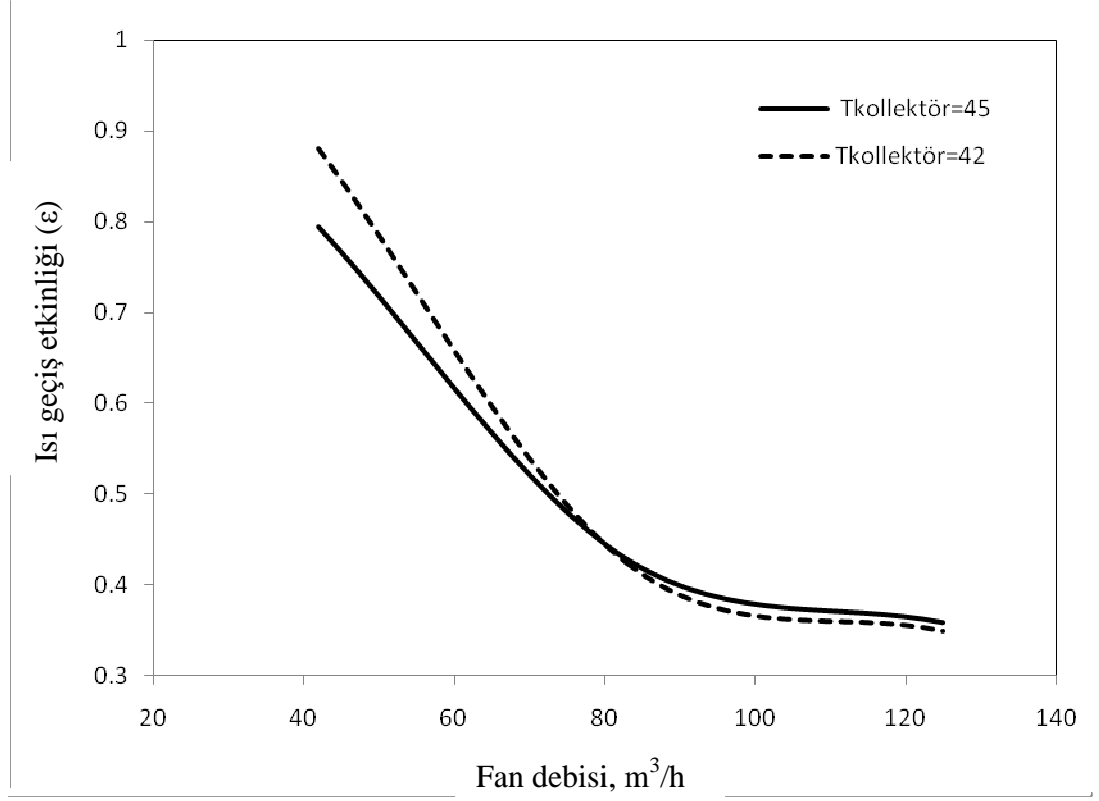


Şekil 8.1 Toplayıcı içi sıcaklığının 45° C sabit olması durumu için, fan debisinin artışına bağlı olarak farklı su debileri için su çıkış sıcaklığının değişimi, (su giriş sıcaklığı 18° C’ dir.)



Şekil 8.2 Su debisine bağlı olarak toplayıcıda elde edilen su çıkış sıcaklığı (su giriş Sıcaklığı 20° C, toplayıcı iç sıcaklığı 45° C)

Şekil 8.2’de su debisine bağlı olarak sistemden elde edilen sıcak su sıcaklığı verilmiştir. Su debisinin artmasıyla birlikte ısıtılacak su miktarı arttığından çıkış sıcaklığı azalmaktadır. Burada en önemli noktalardan biri, sistemden geçen su debisinin azaltılmasıyla, 45° C toplayıcı iç sıcaklığında 38° C’ a kadar sıcak su elde etme olanağının olmasıdır.



Şekil 8.3 Toplayıcı fan debisi ile ısı geçiş etkinliğinin, sabit su debisi ve farklı toplayıcı iç sıcaklıkları için değişimi ($m_{su}=0.01$ kg/s)

Şekil 8.3'te fan debisinin artmasıyla etkinliğin değişimi gösterilmektedir. Kılcal boru sistemi ile toplayıcı iç sıcaklığı arasındaki etkinlik ifadesi

$$\varepsilon = \frac{m_{su} c_{su} (T_{su,çıkış} - T_{su,giriş})}{C_{\min} (T_{kollektör\ iç} - T_{su,giriş})} \quad (8.1)$$

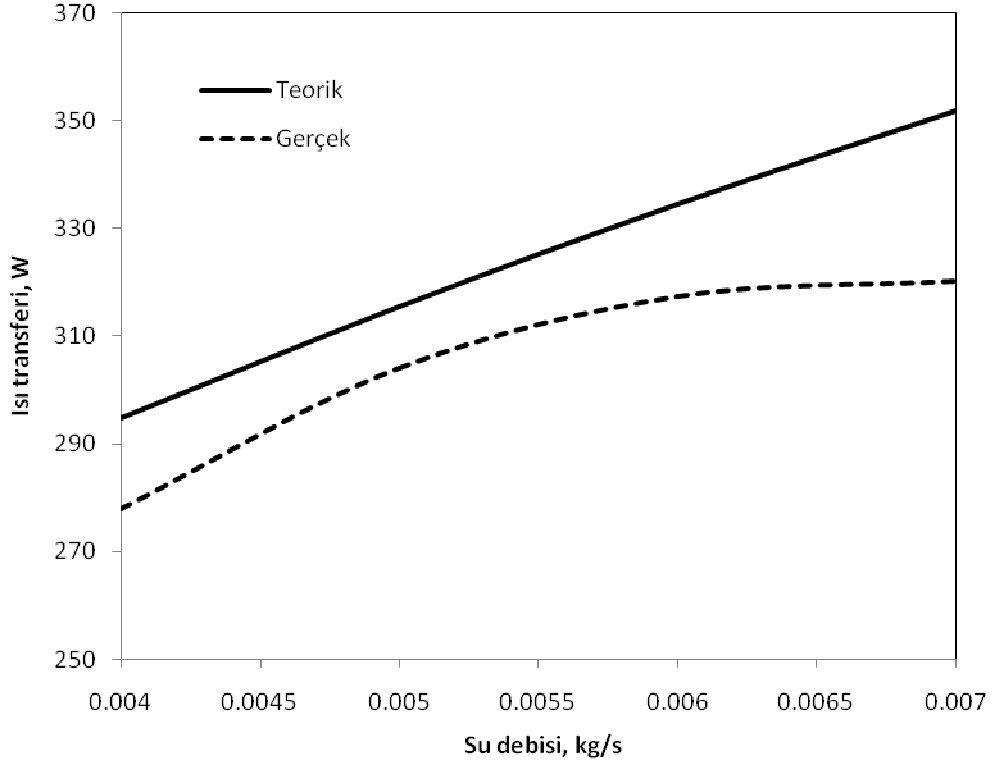
şeklinde ifade edilmektedir. Burada, C_{\min} , sistem içerisinde ısı kapasitesi düşük olan akışkandır ve C_{\min} , toplayıcı fan debisine bağlı değişmektedir. Sistemdeki dolaşan suyun ısı kapasitesi Tablo 8.1'de görüldüğü üzere, genel olarak havanın ısı kapasitesinden daha yüksektir, fan debisi çok artınca suyun ısı kapasitesi daha düşük

olmaktadır. Bununla birlikte fan debisi arttıkça, etkinlik düşecektir ancak daha fazla ısı aktarımını gerçekleştirecektir.

Tablo 8.1. Fan debisine bağlı olarak etkinliğin değişimine ilişkin bir örnek

Debi(kg/s)	Fan debisi(m ³ /h)	C _{su} (W/K)	C _{hava} (W/K)	C _{min} (W/K)	ε	Q (W)
0.01	42	41.86	14.07	14.07	0.794207	263.72
0.01	83	41.86	27.805	27.805	0.428438	301.39
0.01	125	41.86	41.875	41.86	0.358566	376.74

Bir önceki bölümde teorik olarak sistemden elde edilebilecek ısı miktarı Glück tarafından verilen ısı geçiş katsayısı kullanılarak belirlenmişti. Normalde Glück tarafından verilen ısı geçiş katsayısı, ortam ısıtmasında belirli şartlar için kullanılan bir katsayıdır. Deneysel sonuçlarla birlikte, bu katsayının sıcak su eldesinde kullanımının mümkün olup olmayacağı tespit edilebilir. Deneyde elde edilen sıcaklık değerlerine göre ısı transferini belirlemek için Glück tarafından verilen ısı geçiş katsayısı kullanılırsa, gerçek ısı transferi ile arasındaki farklar tespit edilebilir. Böylece bu sistem için ısı geçişini veren yeni bir denklem elde etmek mümkün olabilecektir. Şekil 8.4'deki sistemde gerçekleşen ısı transferi ile teorik ısı transferi arasındaki fark gösterilmiştir.



Şekil 8.4. Literatürde kılcal borular için verilen ısı geçiş katsayısını kullanarak teorik olarak belirlenen ısı transferi ile gerçek ısı transferi arasındaki fark

Şekil 8.4'ten görüldüğü üzere, Glück'ün vermiş olduğu ısı geçiş katsayısı, sistemden elde edilecek olan ısı transferinin belirlenmesinde kullanılabilir, Glück tarafından verilen ısı geçiş bağıntısı, normalde hacim ısıtmasında belirli şartlar için verilmiştir, bu bakımdan sisteme kısmen uygun olmaktadır. Dolayısıyla Glück tarafından verilen ısı geçiş katsayısının kullanımı ile bir delikli havalı toplayıcıdan elde edilebilecek enerji miktarını önemli bir doğrulukla belirlemek mümkün olacaktır.

Bu noktada çalışma kapsamında, Edirne şartları için ortalama büyüklükte bir güneş duvarının kurulması halinde, sistemin ısıtma amaçlı kullanılmayacağı bahar-yaz aylarda, sıcak su eldesinin bir simülasyonu yapılmıştır.

8.1. Örnek İnceleme

Bu kısımda, bir örnek alınarak, sistemin sağlayabileceği enerji için bir simülasyon gerçekleştirilmiştir. Örnek incelemede, Edirne’de bir binanın güneye bakan duvarında 500 m² delikli hava toplayıcısı olduğu varsayılmıştır. Bu kollektörün, Mayıs-Eylül ayları arasında ortam ısıtmasında kullanılmayacağını göz önüne alarak, sistemden anlık ve ortalama olarak her ay elde edilebilecek sıcak su enerjisi tablolarında verilmiştir. Toplayıcının yaz aylarındaki fan çalışma debisi maksimum 20 m³/h olarak alınmıştır. Böylece kollektör içinde daha yüksek sıcaklık elde edilmesi amaçlanmıştır. Edirne için ışınım ve hava verileri Avrura Birliği Komisyonunun SUNBIRD adlı sitesinden alınmıştır.

Tablo 8.2. Mayıs ayı için 500 m² delikli toplayıcıdan elde edilebilecek sıcak su enerjisi

Güneş saati	Anlık ışınım (W/m ²)	Hava sıcaklığı (°C)	Sıcaklık Artışı (°C)	Toplayıcı iç Sıcaklığı (°C)	Su giriş sıcaklığı (°C)	h (W/m ² K)	Q (W/m ²)	Elde edilebilecek toplam ısı enerjisi (W)
4.88	5.00	10.10	1.11	11.21	20.00	0.00	0.00	0.00
5.13	13.00	10.70	1.44	12.14	20.00	0.00	0.00	0.00
5.38	22.00	11.30	1.81	13.11	20.00	0.00	0.00	0.00
5.63	30.00	11.90	2.14	14.04	20.00	0.00	0.00	0.00
5.88	37.00	12.40	2.43	14.83	20.00	0.00	0.00	0.00
6.13	45.00	13.00	2.75	15.75	20.00	0.00	0.00	0.00
6.38	52.00	13.50	3.04	16.54	20.00	0.00	0.00	0.00
6.63	58.00	14.00	3.28	17.28	20.00	0.00	0.00	0.00
6.88	64.00	14.50	3.52	18.02	20.00	0.00	0.00	0.00
7.13	70.00	15.00	3.76	18.76	20.00	0.00	0.00	0.00
7.38	75.00	15.50	3.96	19.46	20.00	0.00	0.00	0.00
7.63	118.00	15.90	5.65	21.55	20.00	6.92	10.70	5348.53
7.88	138.00	16.40	6.41	22.81	20.00	7.28	20.48	10238.96
8.13	158.00	16.80	7.17	23.97	20.00	7.52	29.84	14920.58
8.38	177.00	17.20	7.88	25.08	20.00	7.71	39.12	19560.03
8.63	196.00	17.60	8.58	26.18	20.00	7.86	48.56	24281.20
8.88	214.00	18.00	9.23	27.23	20.00	8.00	57.81	28905.55
9.13	232.00	18.30	9.87	28.17	20.00	8.11	66.25	33127.10
9.38	248.00	18.70	10.44	29.14	20.00	8.21	75.02	37509.17
9.63	263.00	19.00	10.96	29.96	20.00	8.29	82.60	41298.09
9.88	277.00	19.30	11.45	30.75	20.00	8.36	89.88	44940.87
10.13	289.00	19.60	11.86	31.46	20.00	8.43	96.55	48274.57

10.38	301.00	19.80	12.78	32.58	20.00	8.52	107.20	53600.04
10.63	310.00	20.10	13.16	33.26	20.00	8.57	113.74	56870.48
10.88	318.00	20.30	13.50	33.80	20.00	8.62	118.94	59469.50
11.13	324.00	20.60	13.76	34.36	20.00	8.66	124.31	62153.69
11.38	329.00	20.80	13.97	34.77	20.00	8.69	128.31	64155.39
11.63	333.00	21.00	14.14	35.14	20.00	8.72	131.91	65956.98
11.88	334.00	21.10	14.18	35.28	20.00	8.73	133.31	66653.43
12.13	334.00	21.30	14.18	35.48	20.00	8.74	135.27	67635.63
12.38	333.00	21.40	14.14	35.54	20.00	8.74	135.84	67920.62
12.63	329.00	21.60	13.97	35.57	20.00	8.75	136.15	68076.39
12.88	324.00	21.70	13.76	35.46	20.00	8.74	135.06	67531.59
13.13	318.00	21.80	13.50	35.30	20.00	8.73	133.56	66777.67
13.38	310.00	21.90	13.16	35.06	20.00	8.71	131.21	65606.25
13.63	301.00	21.90	12.78	34.68	20.00	8.68	127.47	63736.16
13.88	289.00	22.00	11.86	33.86	20.00	8.62	119.48	59738.10
14.13	277.00	22.00	11.45	33.45	20.00	8.59	115.51	57755.48
14.38	263.00	22.00	10.96	32.96	20.00	8.55	110.86	55429.96
14.63	248.00	22.00	10.44	32.44	20.00	8.51	105.85	52924.19
14.88	232.00	22.00	9.87	31.87	20.00	8.46	100.47	50236.25
15.13	214.00	21.90	9.23	31.13	20.00	8.40	93.45	46725.58
15.38	196.00	21.90	8.58	30.48	20.00	8.34	87.34	43671.91
15.63	177.00	21.80	7.88	29.68	20.00	8.26	79.95	39972.52
15.88	158.00	21.70	7.17	28.87	20.00	8.18	72.54	36270.01
16.13	138.00	21.60	6.41	28.01	20.00	8.09	64.79	32397.49
16.38	118.00	21.50	5.65	27.15	20.00	7.99	57.06	28531.13
16.63	75.00	21.30	3.96	25.26	20.00	7.73	40.67	20336.65
16.88	70.00	21.20	3.76	24.96	20.00	7.69	38.13	19066.26
17.13	64.00	21.00	3.52	24.52	20.00	7.62	34.43	17214.99
17.38	58.00	20.80	3.28	24.08	20.00	7.54	30.76	15380.76
17.63	52.00	20.60	3.04	23.64	20.00	7.46	27.13	13565.30
17.88	45.00	20.30	2.75	23.05	20.00	7.34	22.41	11206.52
18.13	37.00	20.10	2.43	22.53	20.00	7.21	18.25	9123.52
18.38	30.00	19.80	2.14	21.94	20.00	7.05	13.71	6853.39
18.63	22.00	19.60	1.81	21.41	20.00	6.88	9.73	4863.88
18.88	13.00	19.30	1.44	20.74	20.00	6.56	4.88	2438.88
19.13	5.00	18.90	1.11	20.01	20.00	5.51	0.06	30.16
ORTALAMA	173.4	18.9	7.7	26.7	20.0	6.5	63.0	31522

Tablo 8.3. Haziran ayı için 500 m² delikli toplayıcıdan elde edilebilecek sıcak su enerjisi

Güneş saati	Anlık ışınım (W/m ²)	Hava sıcaklığı (°C)	Sıcaklık Artışı (°C)	Toplayıcı iç sıcaklığı (°C)	Su giriş sıcaklığı (°C)	h (W/m ² K)	Q (W/m ²)	Elde edilebilecek toplam ısı enerjisi (W)
4.63	10	13.7	1.32	15.02	20.00	0.00	0.00	0
4.88	18	14.4	1.65	16.05	20.00	0.00	0.00	0
5.13	26	15	1.98	16.98	20.00	0.00	0.00	0
5.38	34	15.7	2.31	18.01	20.00	0.00	0.00	0
5.63	41	16.3	2.59	18.89	20.00	0.00	0.00	0
5.88	48	16.9	2.88	19.78	20.00	0.00	0.00	0
6.13	55	17.5	3.16	20.66	20.00	6.51	4.29	2146
6.38	61	18	3.40	21.40	20.00	6.87	9.62	4811
6.63	67	18.6	3.64	22.24	20.00	7.14	16.00	7998
6.88	72	19.1	3.84	22.94	20.00	7.31	21.50	10749
7.13	77	19.6	4.04	23.64	20.00	7.46	27.14	13570
7.38	82	20.1	4.24	24.34	20.00	7.58	32.90	16450
7.63	85	20.6	4.36	24.96	20.00	7.69	38.09	19047
7.88	89	21	4.51	25.51	20.00	7.77	42.85	21423
8.13	143	21.5	6.60	28.10	20.00	8.10	65.60	32802
8.38	162	21.9	7.32	29.22	20.00	8.22	75.73	37867
8.63	180	22.3	7.99	30.29	20.00	8.32	85.60	42798
8.88	196	22.7	8.58	31.28	20.00	8.41	94.83	47414
9.13	212	23	9.16	32.16	20.00	8.49	103.16	51579
9.38	227	23.4	9.70	33.10	20.00	8.56	112.12	56061
9.63	241	23.7	10.19	33.89	20.00	8.62	119.81	59905
9.88	253	24	10.62	34.62	20.00	8.68	126.83	63413
10.13	265	24.3	11.03	35.33	20.00	8.73	133.85	66927
10.38	274	24.6	11.35	35.95	20.00	8.77	139.87	69936
10.63	283	24.9	11.65	36.55	20.00	8.81	145.90	72951
10.88	290	25.1	11.89	36.99	20.00	8.84	150.27	75134
11.13	296	25.3	12.10	37.40	20.00	8.87	154.30	77149
11.38	300	25.6	12.74	38.34	20.00	8.93	163.76	81880
11.63	303	25.7	12.87	38.57	20.00	8.94	166.06	83029
11.88	304	25.9	12.91	38.81	20.00	8.96	168.51	84254
12.13	304	26.1	12.91	39.01	20.00	8.97	170.53	85267
12.38	303	26.2	12.87	39.07	20.00	8.97	171.12	85558
12.63	300	26.3	12.74	39.04	20.00	8.97	170.83	85417
12.88	296	26.5	12.10	38.60	20.00	8.95	166.36	83179
13.13	290	26.5	11.89	38.39	20.00	8.93	164.30	82151
13.38	283	26.6	11.65	38.25	20.00	8.92	162.90	81451
13.63	274	26.7	11.35	38.05	20.00	8.91	160.80	80400
13.88	265	26.7	11.03	37.73	20.00	8.89	157.67	78837
14.13	253	26.7	10.62	37.32	20.00	8.86	153.49	76743

14.38	241	26.7	10.19	36.89	20.00	8.84	149.28	74638
14.63	227	26.7	9.70	36.40	20.00	8.80	144.33	72167
14.88	212	26.7	9.16	35.86	20.00	8.77	139.01	69503
15.13	196	26.6	8.58	35.18	20.00	8.72	132.31	66153
15.38	180	26.6	7.99	34.59	20.00	8.68	126.56	63279
15.63	162	26.5	7.32	33.82	20.00	8.62	119.08	59542
15.88	143	26.4	6.60	33.00	20.00	8.55	111.22	55611
16.13	89	26.3	4.51	30.81	20.00	8.37	90.49	45247
16.38	85	26.2	4.36	30.56	20.00	8.34	88.09	44044
16.63	82	26	4.24	30.24	20.00	8.31	85.13	42563
16.88	77	25.9	4.04	29.94	20.00	8.29	82.36	41182
17.13	72	25.7	3.84	29.54	20.00	8.25	78.69	39343
17.38	67	25.5	3.64	29.14	20.00	8.21	75.02	37512
17.63	61	25.3	3.40	28.70	20.00	8.16	71.01	35506
17.88	55	25	3.16	28.16	20.00	8.10	66.12	33059
18.13	48	25	3	28	20	7.92	102.65	51326
18.38	41	24.5	2.59	27.09	20	8.08	104.67	52333
18.63	34	24.3	2.31	26.61	20	8.23	106.72	53359
18.88	26	24	1.98	25.98	20	8.40	108.81	54405
19.13	18	23.7	1.65	25.35	20	8.43	110.86	55430
19.38	10	23.3	1.32	24.62	20	8.46	112.84	56422
ORTALAMA	156.5	23.4	7.0	30.4	20.0	7.56	98.0	49015

Tablo 8.4. Temmuz ayı için 500 m² delikli toplayıcıdan elde edilebilecek sıcak su enerjisi

Güneş saati	Anlık ışınım (W/m ²)	Hava sıcaklığı (°C)	Sıcaklık Artışı (°C)	Toplayıcı iç sıcaklığı (°C)	Su giriş sıcaklığı (°C)	h (W/m ² K)	Q (W/m ²)	Elde edilebilecek toplam ısı enerjisi (W)
4.88	9	16.4	1.28	17.68	20.00	0.00000	0.00	0
5.13	17	17.1	1.61	18.71	20.00	0.00000	0.00	0
5.38	24	17.8	1.90	19.70	20.00	0.00000	0.00	0
5.63	32	18.4	2.23	20.63	20.00	6.48978	4.06	2029
5.88	39	19	2.51	21.51	20.00	6.91093	10.44	5221
6.13	46	19.7	2.80	22.50	20.00	7.20506	17.98	8990
6.38	53	20.3	3.08	23.38	20.00	7.40537	25.02	12510
6.63	59	20.8	3.32	24.12	20.00	7.54678	31.09	15547
6.88	65	21.4	3.56	24.96	20.00	7.68695	38.13	19067
7.13	70	21.9	3.76	25.66	20.00	7.79142	44.10	22052
7.38	75	22.4	3.96	26.36	20.00	7.88711	50.16	25080
7.63	79	22.9	4.12	27.02	20.00	7.97076	55.94	27972
7.88	128	23.4	6.03	29.43	20.00	8.23670	77.67	38836

8.13	149	23.9	6.83	30.73	20.00	8.36057	89.70	44852
8.38	170	24.3	7.62	31.92	20.00	8.46491	100.88	50439
8.63	191	24.7	8.39	33.09	20.00	8.56126	112.09	56047
8.88	211	25.1	9.12	34.22	20.00	8.64815	122.99	61494
9.13	230	25.5	9.80	35.30	20.00	8.72706	133.55	66776
9.38	248	25.9	10.44	36.34	20.00	8.79911	143.78	71890
9.63	265	26.3	11.03	37.33	20.00	8.86521	153.67	76835
9.88	280	26.6	11.55	38.15	20.00	8.91763	161.87	80934
10.13	294	26.9	12.03	38.93	20.00	8.96597	169.72	84859
10.38	306	27.2	12.99	40.19	20.00	9.04177	182.60	91298
10.63	317	27.5	13.46	40.96	20.00	9.08607	190.46	95228
10.88	326	27.7	13.84	41.54	20.00	9.11885	196.43	98217
11.13	334	28	14.18	42.18	20.00	9.15413	203.02	101511
11.38	339	28.2	14.39	42.59	20.00	9.17647	207.28	103640
11.63	343	28.4	14.56	42.96	20.00	9.19626	211.11	105554
11.88	345	28.6	14.64	43.24	20.00	9.21139	214.07	107034
12.13	345	28.7	14.64	43.34	20.00	9.21669	215.11	107557
12.38	343	28.9	14.56	43.46	20.00	9.22283	216.33	108165
12.63	339	29	14.39	43.39	20.00	9.21926	215.62	107811
12.88	334	29.1	14.18	43.28	20.00	9.21344	214.47	107236
13.13	326	29.2	13.84	43.04	20.00	9.20084	212.00	106000
13.38	317	29.3	13.46	42.76	20.00	9.18582	209.08	104540
13.63	306	29.3	12.99	42.29	20.00	9.16051	204.23	102115
13.88	294	29.4	12.03	41.43	20.00	9.11255	195.27	97637
14.13	280	29.4	11.55	40.95	20.00	9.08551	190.35	95177
14.38	265	29.4	11.03	40.43	20.00	9.05572	185.04	92522
14.63	248	29.4	10.44	39.84	20.00	9.02089	178.98	89488
14.88	230	29.4	9.80	39.20	20.00	8.98268	172.50	86248
15.13	211	29.3	9.12	38.42	20.00	8.93457	164.59	82293
15.38	191	29.3	8.39	37.69	20.00	8.88846	157.27	78633
15.63	170	29.2	7.62	36.82	20.00	8.83118	148.52	74258
15.88	149	29.1	6.83	35.93	20.00	8.77097	139.72	69859
16.13	128	29	6.03	35.03	20.00	8.70751	130.87	65437
16.38	79	28.8	4.12	32.92	20.00	8.54735	110.42	55210
16.63	75	28.7	3.96	32.66	20.00	8.52648	107.94	53972
16.88	70	28.5	3.76	32.26	20.00	8.49371	104.14	52069
17.13	65	28.3	3.56	31.86	20.00	8.46012	100.34	50172
17.38	59	28.1	3.32	31.42	20.00	8.42217	96.18	48091
17.63	53	27.9	3.08	30.98	20.00	8.38310	92.03	46017
17.88	46	27.7	2.80	30.50	20.00	8.33907	87.52	43761
18.13	39	27.4	2.51	29.91	20.00	8.28387	82.10	41051
18.38	32	27.10	2.23	29.33	20.00	8.22621	76.71	38356
18.63	24	26.9	1.90	28.80	20.00	8.17201	71.89	35945
18.88	17	26.5	1.61	28.11	20.00	8.09781	65.66	32831
19.13	9	26.2	1.28	27.48	20.00	8.02579	60.01	30005
ORTALAMA	173.9	26.1	7.8	33.9	20.0	8.1	123.3	61661.6

Tablo 8.5. Ağustos ayı için 500 m² delikli toplayıcıdan elde edilebilecek sıcak su enerjisi

Güneş saati	Anlık ışınım (W/m ²)	Hava sıcaklığı (°C)	Sıcaklık Artışı (°C)	Toplayıcı iç sıcaklığı (°C)	Su giriş sıcaklığı (°C)	h (W/m ²)	Q (W/m ² K)	Elde edilebilecek toplam ısı enerjisi (W)
5.38	16	16	1.57	17.57	20.00	0.00	0.00	0
5.63	25	16.7	1.94	18.64	20.00	0.00	0.00	0
5.88	33	17.4	2.27	19.67	20.00	0.00	0.00	0
6.13	41	18.1	2.59	20.69	20.00	6.53	4.52	2262
6.38	48	18.8	2.88	21.68	20.00	6.97	11.68	5841
6.63	54	19.5	3.12	22.62	20.00	7.24	18.95	9475
6.88	61	20.1	3.40	23.50	20.00	7.43	26.01	13005
7.13	97	20.7	4.83	25.53	20.00	7.77	42.97	21484
7.38	122	21.3	5.80	27.10	20.00	7.98	56.66	28329
7.63	148	21.9	6.79	28.69	20.00	8.16	70.93	35466
7.88	173	22.4	7.73	30.13	20.00	8.30	84.12	42058
8.13	198	23	8.65	31.65	20.00	8.44	98.34	49172
8.38	222	23.5	9.52	33.02	20.00	8.56	111.37	55683
8.63	245	23.9	10.33	34.23	20.00	8.65	123.12	61559
8.88	267	24.4	11.10	35.50	20.00	8.74	135.52	67759
9.13	288	24.8	11.83	36.63	20.00	8.82	146.60	73302
9.38	307	25.3	13.04	38.34	20.00	8.93	163.74	81869
9.63	324	25.7	13.76	39.46	20.00	9.00	175.07	87537
9.88	340	26	14.43	40.43	20.00	9.06	185.00	92502
10.13	354	26.4	15.02	41.42	20.00	9.11	195.13	97567
10.38	367	26.7	15.56	42.26	20.00	9.16	203.83	101915
10.63	378	27	16.01	43.01	20.00	9.20	211.69	105843
10.88	387	27.3	16.38	43.68	20.00	9.23	218.7	109349
11.13	394	27.6	16.67	44.27	20.00	9.27	224.86	112432
11.38	399	27.9	16.87	44.77	20.00	9.29	230.18	115091

11.63	403	28.1	17.04	45.14	20.00	9.31	234.02	117011
11.88	405	28.3	17.12	45.42	20.00	9.32	237.00	118501
12.13	405	28.5	17.12	45.62	20.00	9.33	239.12	119561
12.38	403	28.7	17.04	45.74	20.00	9.34	240.38	120188
12.63	399	28.8	16.87	45.67	20.00	9.34	239.70	119851
12.88	394	28.9	16.67	45.57	20.00	9.33	238.59	119295
13.13	387	29	16.38	45.38	20.00	9.32	236.60	118302
13.38	378	29.1	16.01	45.11	20.00	9.31	233.74	116868
13.63	367	29.2	15.56	44.76	20.00	9.29	229.99	114993
13.88	354	29.2	15.02	44.22	20.00	9.26	224.29	112147
14.13	340	29.3	14.43	43.73	20.00	9.24	219.20	109600
14.38	324	29.3	13.76	43.06	20.00	9.20	212.16	106082
14.63	307	29.3	13.04	42.34	20.00	9.16	204.67	102336
14.88	288	29.2	11.83	41.03	20.00	9.09	191.11	95556
15.13	267	29.2	11.10	40.30	20.00	9.05	183.71	91853
15.38	245	29.1	10.33	39.43	20.00	9.00	174.85	87424
15.63	222	29	9.52	38.52	20.00	8.94	165.55	82777
15.88	198	28.9	8.65	37.55	20.00	8.88	155.82	77912
16.13	173	28.8	7.73	36.53	20.00	8.81	145.65	72825
16.38	148	28.6	6.79	35.39	20.00	8.73	134.42	67210
16.63	122	28.5	5.80	34.30	20.00	8.65	123.75	61873
16.88	97	28.3	4.83	33.13	20.00	8.56	112.43	56215
17.13	61	28.1	3.40	31.50	20.00	8.43	96.94	48470
17.38	54	27.8	3.12	30.92	20.00	8.38	91.48	45738
17.63	48	27.6	2.88	30.48	20.00	8.34	87.35	43673
17.88	41	27.3	2.59	29.89	20.00	8.28	81.93	40965
18.13	33	27	2.27	29.27	20.00	8.22	76.17	38085
18.38	25	26.7	1.94	28.64	20.00	8.16	70.45	35224
18.63	16	26.4	1.57	27.97	20.00	8.08	64.39	32196
Ortalama	237.61	26.44	10.33	36.77	20.00	8.71	150.68	75338

Tablo 8.6. Eylül ayı için 500 m² delikli toplayıcıdan elde edilebilecek sıcak su enerjisi

Güneş saati	Anlık ışınım (W/m ²)	Hava sıcaklığı (°C)	Sıcaklık Artışı (°C)	Toplayıcı iç sıcaklığı (°C)	Su giriş sıcaklığı (°C)	h (W/m ² K)	Q (W/m ²)	Elde edilebilecek toplam ısı enerjisi (W)
5.88	12	12.4	1.40	13.80	20.00	0.00	0.00	0
6.13	20	13.1	1.73	14.83	20.00	0.00	0.00	0
6.38	45	13.7	2.75	16.45	20.00	0.00	0.00	0
6.63	70	14.4	3.76	18.16	20.00	0.00	0.00	0
6.88	98	15	4.87	19.87	20.00	0.00	0.00	0
7.13	127	15.7	5.99	21.69	20.00	6.97	11.80	5898
7.38	157	16.2	7.13	23.33	20.00	7.40	24.63	12317
7.63	186	16.8	8.21	25.01	20.00	7.69	38.55	19273
7.88	215	17.4	9.27	26.67	20.00	7.93	52.84	26418
8.13	243	17.9	10.26	28.16	20.00	8.10	66.16	33081
8.38	270	18.4	11.21	29.61	20.00	8.25	79.30	39650
8.63	295	18.9	12.06	30.96	20.00	8.38	91.89	45944
8.88	319	19.3	13.55	32.85	20.00	8.54	109.72	54861
9.13	342	19.8	14.51	34.31	20.00	8.66	123.89	61944
9.38	362	20.2	15.35	35.55	20.00	8.74	135.96	67981
9.63	381	20.6	16.14	36.74	20.00	8.83	147.70	73849
9.88	398	20.9	16.83	37.73	20.00	8.89	157.67	78835
10.13	414	21.3	17.49	38.79	20.00	8.96	168.28	84138
10.38	427	21.6	18.01	39.61	20.00	9.01	176.67	88336
10.63	439	21.9	18.50	40.40	20.00	9.05	184.68	92340
10.88	448	22.2	18.86	41.06	20.00	9.09	191.47	95736
11.13	456	22.5	19.18	41.68	20.00	9.13	197.87	98934
11.38	462	22.7	19.42	42.12	20.00	9.15	202.42	101209
11.63	466	22.9	19.58	42.48	20.00	9.17	206.15	103073
11.88	467	23.1	19.62	42.72	20.00	9.18	208.64	104320
12.13	467	23.3	19.62	42.92	20.00	9.19	210.72	105362
12.38	466	23.5	19.58	43.08	20.00	9.20	212.39	106197
12.63	462	23.6	19.42	43.02	20.00	9.20	211.78	105888

12.88	456	23.7	19.18	42.88	20.00	9.19	210.32	105161
13.13	448	23.8	18.86	42.66	20.00	9.18	208.03	104014
13.38	439	23.9	18.50	42.40	20.00	9.17	205.31	102654
13.63	427	24	18.01	42.01	20.00	9.15	201.32	100661
13.88	414	24	17.49	41.49	20.00	9.12	195.87	97934
14.13	398	24	16.83	40.83	20.00	9.08	189.14	94572
14.38	381	24	16.14	40.14	20.00	9.04	181.99	90993
14.63	362	24	15.35	39.35	20.00	8.99	173.97	86986
14.88	342	24	14.51	38.51	20.00	8.94	165.52	82760
15.13	319	23.9	13.55	37.45	20.00	8.87	154.79	77394
15.38	295	23.8	12.06	35.86	20.00	8.77	139.06	69530
15.63	270	23.7	11.21	34.91	20.00	8.70	129.67	64836
15.88	243	23.6	10.26	33.86	20.00	8.62	119.53	59763
16.13	215	23.5	9.27	32.77	20.00	8.54	108.96	54478
16.38	186	23.3	8.21	31.51	20.00	8.43	97.02	48512
16.63	157	23.2	7.13	30.33	20.00	8.32	85.99	42996
16.88	127	23	5.99	28.99	20.00	8.19	73.66	36831
17.13	98	22.8	4.87	27.67	20.00	8.05	61.71	30853
17.38	70	22.6	3.76	26.36	20.00	7.89	50.17	25084
17.63	45	22.3	2.75	25.05	20.00	7.70	38.93	19465
17.88	20	22.1	1.73	23.83	20.00	7.49	28.72	14360
18.13	12	21.8	1.40	23.20	20.00	7.37	23.59	11796
ORTALAMA	284.8	21.1	12.2	33.3	20.0	7.75	121.1	60544

8.2. Ekonomik Analiz ve Sistemin Geri Ödemesi

Bir yatırımın ekonomik olup olmadığını değerlendirmek için birkaç yöntem vardır. Bu incelemede Ekonomik Analiz yapılırken dört farklı yöntem uygulanmıştır:

1. Basit geri ödeme süresi: Sistem kurulduğunda yakıt fiyatı ile elde edilen parasal tasarrufun kurulum maliyetine oranıdır. Basit geri ödeme süresi, yakıt enflasyonunun hiç olmadığı durumu içerir, yalnızca fikir vermesi için kullanılmaktadır.
2. Özsermaye geri ödeme süresi: Gerçekte yakıt fiyatları her yıl artış göstermektedir. Dolayısıyla enerji tasarrufu ile yapılacak parasal tasarruf her yıl bu artış oranından daha fazla olacaktır. Örneğin doğal gaz fiyatları son 10 yılda ortalama %25 oranında artış göstermiştir. Dolayısıyla gerçek geri ödeme süresi fiyat artışları dikkate alınarak hesaba katılması daha gerçekçi yorumu oluşturmaktadır.

$$GÖS = \frac{I}{F} \quad (8.1)$$

GÖS = Geri ödeme süresi

I = Toplam yatırım

F = Yıllık fayda

3. Kümülatif nakit akışı yöntemi: Geri ödeme süresi yönteminin dezavantajı, geri ödeme gerçekleşikten sonraki parasal tasarrufu hesaba katmamasıdır. Kümülatif nakit akışı yöntemi ile proje ömrü boyunca elde edilebilecek parasal tasarruf belirlenmektedir.

4. Net Bugünkü Değer Yöntemi: En doğru ve gerçekçi yöntemdir. Yatırımdan uzun bir zaman sonra alınacak nakitle ilgili birçok risk mevcuttur. Bu parayı alternatif yatırım araçlarında değerlendirmemenin bir fırsat maliyeti vardır. Bu durumda gelecekte kazanılacak nakit akışları projenin risk seviyesine bağlı olarak bugünkü değerlerine taşınır.

$$NBD = \sum_{m=m+1}^t \frac{Fn}{(1+i)^n} - \sum_{n=0}^m \frac{Mn}{(1+i)^n} \quad (8.2)$$

M_n = n.yıldaki yatırım

F_n = n.yıldaki fayda

m = Yatırımın tamamlanma yeri

$t-m$ = Projenin ekonomik ömrü

Özet olarak çoğu şirket daha kolay ve anlaşılır olması sebebiyle geri ödeme süresi yöntemini kullansa da, sadece geri ödeme süresi yöntemini kullanarak doğru kararlar vermek mümkün değildir ve bu yöntemin yanı sıra kümülatif nakit akışı ve nakit akışlarını bugünkü değere indirgeme yönteminin de yatırım kararları alınırken göz önünde bulundurulması gerekir.

Simülasyon sonuçlarına göre 500 m² 'lik bir güneş duvarından yazın sıcak su üretimi için faydalanılması halinde ortalama olarak aylara göre elde edilen enerji miktarları aşağıda Tablo 8.7' de verilmiştir.

Tablo 8.7. Kılcal boru sisteminden üretilebilecek ortalama ısı güç

Aylar	Isıl güç (W)
Mayıs	31552
Haziran	49015
Temmuz	61661
Ağustos	75388
Eylül	60544

Tablo 8.8. Kılcal boru sistemin, günde 6 saat çalışması halinde yapacağı tasarrufun belirlenmesi (tasarruf edilecek yakıt doğal gaz olarak seçilmiştir, doğal gaz birim fiyat 0.7 TL/m³, yanma verimi 0,85, yakıt alt ısı değer 8250 kcal/m³ olarak alınmıştır)

Tablo 8.8. Kılcal boru sistemin, günde 6 saat çalışması halinde yapacağı tasarruf

Aylar	Anlık güç	Aylık toplam enerji tasarrufu (kJ)	Tüketilmeyecek aylık doğal gaz miktarı (m ³)	Aylık Toplam tasarruf /TL)
Mayıs	31552	20445696	696.5	487.6
Haziran	49015	31761720	1082.0	757.4
Temmuz	61661	39956328	1361.2	952.8
Ağustos	75388	48851424	1664.2	1164.9
Eylül	60544	39232512	1336.5	935.6
Ort./Top.	55632	180247680	6140	4298.3

Kılcal boru sistemi genel itibariyle ucuz bir ürün olup burada 500 m2 kullanımı halinde sistem için gerekli bileşenler ve bunların tahmini maliyeti Tablo 8.9' da ki gibi olacaktır.

Tablo 8.9. Tahmini maliyet

İlk Yatırım Maliyeti			
Ürün	Birim Fiyat	Adet	Maliyet
Kılcal boru sistemi	20 €/m2	500	10000
Pompa ve dağıtım grubu	3000 €/adet	1	3000
Sıcak su deposu	1500 €/adet	1	1500
Toplam Maliyet (TL)			29.000

Tablo 8.10.Parametreler

Genel Finansal Parametreler		
Yakıt maliyeti artış oranı	%	25
Enflasyon oranı	%	10
İskonto oranı	%	10
Proje ömrü	Yıl	40
Basit geri ödeme*	yıl	6.7
Özsermaye geri ödeme*	yıl	3.8
Net Bugünkü Değer (NPV)	TL	1.593.810
Yıllık yaşam döngüsü tasarrufları	TL/yıl	169.070
Fayda-Maliyet oranı		55.96

* Sistem kurulumun yapıldığı günkü yakıt fiyatı ile elde edilen parasal tasarrufun kurulum maliyetine oranı

**Özsermaye geri ödeme süresi yakıt maliyetinin yıllık %25 artışı ile hesaba katılarak belirlenmiştir.

Tablo 8.11. Kılcal boru sisteminin yapacağı tasarrufun parasal akışı

Yıllık nakit akışları		
Yıl	Yıllık Para akışı	Kümülatif
#	TL	TL
0	-29,000	-29,000
1	5,374	-23,626
2	6,718	-16,908
3	8,397	-8,510
4	10,497	1,986
5	13,121	15,107
6	16,401	31,508
7	20,501	52,010
8	25,627	77,636
9	32,033	109,670
10	40,042	149,712
11	50,052	199,764
12	62,565	262,329
13	78,207	340,536
14	97,758	438,294
15	122,198	560,492
16	152,747	713,239
17	190,934	904,173
18	238,668	1,142,840
19	298,334	1,441,175
20	372,918	1,814,093
21	466,148	2,280,241
22	582,684	2,862,925
23	728,356	3,591,281
24	910,444	4,501,725
25	1,138,056	5,639,781
26	1,422,569	7,062,350
27	1,778,212	8,840,562
28	2,222,765	11,063,327
29	2,778,456	13,841,782
30	3,473,070	17,314,852

Yapılan deneyler göstermiştir ki, sıcak su eldesinde üç önemli parametre etkilidir.

Bunlar;

1. Havalı toplayıcı fan hızı: Eğer fan hızı düşük seçilirse, toplayıcı içinde daha yüksek sıcaklık elde etmek mümkün olacaktır, böylece daha yüksek sıcaklıkta su edilebilir, ancak eğer amaç yüksek miktarda enerji elde etmek ise, bu durumda toplayıcı debisi arttırılmalıdır, çünkü delikli toplayıcı birim alanından geçen hava debisi artınca sistem verimi yükselmekte ve daha fazla enerji elde edilmektedir
2. Kılcal boru su debisi: Kılcal boruda dolaşan su debisi, daha fazla enerji veya daha fazla sıcaklık artışı için belirleyici olan bir diğer parametredir.
3. Kılcal boru su giriş sıcaklığı: Kılcal boru su giriş sıcaklığı düştükçe toplayıcı iç sıcaklığı ile su sıcaklığı arasındaki fark artacağından daha fazla ısı geçişi imkanı olacaktır

Sonuç olarak, tez çalışması kapsamında önerilen model ile bir delikli güneş toplayıcıdan yaz aylarına yararlanmanın yolu araştırılmış, bunun için bir yöntem önerilmiş, bu yönteme uygun olarak bir deney tesisatında sistem etkinliği incelenmiştir.

Tez çalışmasının eksikliklerinden biri, zaman yetersizliğinden dolayı sistemin yaz aylarında test edilememiş olmasıdır. Bununla birlikte hem teorik hem de laboratuvar koşullarında deneysel elde edilen sonuçlar sistemin işleyişi hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Düşünülen yöntemin başarılı bir şekilde çalıştığı yapılan deney sonuçlarından görülmüştür. Sistem özellikle büyük alanlarda önemli miktarda enerji geri kazanımı vaat etmektedir. Teknik olarak basit yapısından dolayı kolay işletim imkanı sağlamaktadır. Bununla birlikte bir sistemin teknik olarak iyi olması her zaman bu sistemin kullanılacağı anlamına gelmez, sistemin ekonomik değerlendirmesi de önem kazanır. Çalışmanın son kısmında yapılan analiz göstermiştir ki ekonomik anlamda da bu sistemin uygulanabilirliği son derece olumludur. Yaklaşık dört yıl gibi kısa kabul edilebilecek bir geri ödeme süresi önemli bir üstünlük getirmektedir.

KAYNAKLAR

Bulut,H., Durmaz, A.F., 2006, Bir Havalı Güneş Kollektörünün Tasarımı, İmalatı ve deneysel analizi, UGHEK'2006: I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, 168-175.

Collins, M.R., Delilse, V., Model of a PV/Thermal Unglazed Transpired Collector, University of Waterloo

Doğan, T., 1999, Güneş Enerjisi Sistemleri ve İzmit'te Güneş Evinin Yapılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği

Durmuş, A., Kurtbas, İ., 2004, Efficiency and Exergy Analysis of a New Solar Air Heater, Renewable Energy 29, 1489-1501.

Dündar, R., 2007, Standart Düz Kollektörlü Güneşli Su Sistemleri ile Vakum Tüplü Güneşli Su Isıtma Sisteminin Verim ve Performanslarının Karabük İli Şartlarında Deneysel Olarak Karşılaştırılarak İncelenmesi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Makine Eğitim Anabilim Dalı, Bilim Uzmanlığı Tezi

Ertekin, C., ve Bilgili, E., 1998, Güneş Enerjili Hava Isıtıcılarında Isıl Verim, 5. Ulusal Soğutma ve İklimlendirme Tekniği Kongresi, Adana, s. 237-248.

Gedik, A., 2007, Düz ve zigzaglı emici plaka yüzeyine sahip farklı iki hava akışkanlı güneş kolektörü tasarımlarının deneysel olarak incelenmesi ve performanslarının kıyaslanması, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Zonguldak. Yüksek Lisans Tezi

Güngör, A., Günerhan, H., 1995, Güneş Enerjili Sistemlerin Tasarımı, Teskon

Gawlik, K.M., 1995. A numerical and experimental investigation of heat transfer in the practical utilization of unglazed, transpired solar air heaters. Ph.D. Dissertation, University of Colorado, Department of Civil, Environmental, and Architectural Engineering

Gawlik, K. M., Kutscher, C. F., 2002. Numerical and experimental investigation of low-conductivity unglazed transpired solar air heaters. In: Pearson, J.B., Farhi, B.N., (Eds.), Solar Engineering 2002: Proceedings of the International Solar Energy Conference. NREL Report No. 31708, ASME, Reno, Nevada, New York, pp. 47–55

Gawlik,K., Christensen, C., Kutscher, C., 2005.A numerical investigation of low-conductivity unglazed, transpired solar air heaters. Journal of Solar Energy Engineering 127, 153–155.

Glück B, 1999, Sonderausgabe Gesundheitsingenieur 120 Heft 4 Seiten 179 bis 185 Oldenbourg Verlag GMBH- München

Hottel, H.C. and Woertz, B.B., 1942, Performance of Flat-Plate Solar Heat Collectors Trans.ASME,64, pp. 91-104.

Kutscher, C.F., 1992. An Investigation of Heat Transfer for Air Flow Through Low Porosity Perforated Plates. Ph.D. dissertation, University of Colorado, Department of Mechanical Engineering.

Kutscher, C.F., 1994. Heat exchanger effectiveness and pressure drop for air flow through perforated plates, with and without crosswind. ASME Journal of Heat Transfer 116, 391–399.

Kutscher, C.F., 1997. Transpired solar collector systems: a major advance in solar heating. Energy Business Technology Sourcebook. In: Proceedings of the 19th World Energy Engineering Congress, NREL Report No. 24373, November 6–8, 1996, Atlanta, Georgia, Chapter 61. pp. 481–489.

Kutscher, C. F., Christensen, C., Barker, G., 1991. Unglazed transpired solar collectors: an analytic model and test results. In: Proceedings of ISES Solar World Congress 1991, Elsevier Science, Vol. 2:1. pp. 1245–1250.

Kutscher, C.F., Christensen, C., Barker, G., 1993. Unglazed transpired solar collectors: heat loss theory. ASME Journal of Solar Engineering 115 (3), 182–188.

Kutscher, C., Christensen, C., Gawlik, K., 2003. Letter to the Editor (in Response to wind heat loss paper by Fleck et al.). Solar Energy 74,353–354.

Kumar, S., Leon Augustus, M., 2007, Mathematical Modeling and Thermal Performance Analysis of Unglazed Transpired Solar Collectors, Science Direct, Solar Energy 81 (62-75)

Kırbaş, İ., 2006, Havalı Güneş Kollektörü Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi, Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi

Maurer, C.C., 2004, Field Study and Modeling of an Unglazed Transpired Solar Collector System, Mechanical and AeroSpace Engineering

MMO., 2007, 3.Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi

Öztürk, A., Kılıç A., 1981, Bina Isıtmasında Toplayıcıların Yaklaşık Boyutlandırılması. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi. 49-53.

Öztürk, H.H., 2008, Güneş Enerjisi ve Uygulamaları Kitabı

Özgen, M.N., 1990, Güneş Enerjisinden Isıtmada Yararlanma

Parker, B.F, Lindley, M.R., Colliver, D.G., Murphy, W.E., 1998, Thermal Performance of Three Solar Air Heaters, Solar Energy, Vol.13, No.7, pp.543-547

Retscreen International, 2002, Solar Air Heating Project Analysis, Canada

Sayım, B., 2005, Binaların Güney Cephelerinin Bir Güneş Enerjili Isıtıcı Olarak Kullanılmasının Araştırılması, Fırat Üniversitesi , Yüksek Lisans Tezi

Sugözü, İ., Sarsılmaz, C., 2006, Hava Kollektörlü Güneş Duvarının (Solarwall) Elazığ Şartlarında Kullanabilirliği, Termodinamik 161, 70-78

Solarwall, 2001, 2006. The SOLARWALL Solar Heating System. Conservall Engineering Inc., Canada.

Taşbilek, S., 1996, Hava Isıtılmalı Güneş Enerjisi Sisteminde Sıcak Elde Edilmesi, Erciyes Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi

Tabor, H., 1962, Solar Energy Research and the New States, Conference Held in Rehovot, Solar energy, Vol.6, No.4, pp. 168, İsrail

Uçar, A., 1999, Hava Isıtılmalı Güneş Kollektörlerinde Pasif Elemanlar Yardımıyla Verim Arttırma, Yüksek Lisans Tezi, Makine Anabilim Dalı , Elazığ.

Uyarel , A.Y ve Öz, E.S 1987, *Güneş Enerjisi ve Uygulamaları*, Birsen Yayınevi, Ankara, s.1–238.

Ültanır, 1998, 21.Yüzyıla Giderken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi. Yayın No:TÜSİAD-T/98-12/239

Van Decker, G.W.E., Hollands, K.G.T., Brunger, A.P., 1996. Heat exchange effectiveness of unglazed transpired-plate solar collector in 3D flow. In: Goietzburger, A., Luther, J. (Eds.), Proceedings of Euro Sun 96, Freiburg, Germany. DGS–Sonnen energie Verlags GmbH, Munchen, Germany, pp. 130–846.

Van Decker, G.W.E., Hollands, K.G.T., 1999. An empirical heat transfer equation for the transpired solar collectors, including no-wind conditions. In: Proceedings of the ISES 99 Solar World Congress, Australia.

Van Decker, G.W.E., Hollands, K.G.T., Brunger, A.P., 2001. Heat exchange relations for unglazed transpired solar collectors with circular holes on a square or triangular pitch. Solar Energy 71 (1),33–45.

Yeh,H.,Ting,C.,1990, Effeciency of Solar Air Heaters with Baffles Energy, Vol.16,No. 7, pp. 983-987

Yeh,H.,Ting,C.,1987, Effeciency of Solar Air Heaters Packed with İron Fillings, Energy, Vol.13,No.7,pp.543-547.

Yeh,H.,Lin,T.,1995, Effeciency of İmprovement of Flat-Plate Solar Air Heaters, Energy, Vol.21, No.6, pp.435-443.

Yeh,H.,Lin,T.,1996, The Effect of Collector Aspect Ratio on the Collector Efficiency of Upward-Type Flat-Plate Solar Air Heaters, Energy, Vol.21, No.10, pp.843-850

www.Solarwall.com

www.youthforhab.org.tr

ÖZGEÇMİŞ

Şükrü Emre Karakoç, 1982 yılında Edirne’de doğdu. İlk öğrenimini 1993 yılında Kurtuluş İlköğretim Okulunda, orta öğrenimini 1996 yılında Atatürk Orta Okulunda, lise öğrenimini 1999 yılında Edirne Fen Lisesinde tamamladı. 2000 yılında girdiği Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden, 2005 yılında Makine Mühendisi olarak mezun oldu. 2007 yılında Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Programında yüksek lisans öğrenimine başladı. 2006 yılından beri özel sektörde çalışmaktadır.