

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR BİRLEŞİK ENERJİ SİSTEMİNDE GÜNEŞ ENERJİSİ
DESTEĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Makine Müh. Özgen AÇIKGÖZ

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Olcay KINCAI (YTÜ)

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ.....	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1 Tarihsel Süreç	3
2.2 Konuyla İlgili Yapılan Çalışmalar.....	4
3. TEORİK ESASLAR.....	8
3.1 Soğutma Makineleri ve Isı Pompaları	8
3.2 Ters Carnot Çevrimi	10
3.3 İdeal Buhar Sıkıştırırmalı Soğutma Çevrimi	11
4. ISI KAYNAKLARININ İNCELENMESİ.....	14
4.1 Hava.....	14
4.2 Su	15
4.2.1 Yeraltı Suyu	15
4.2.2 Yerüstü Suyu	16
4.3 Toprak.....	16
4.4 Güneş	17
5. TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI TESİSLERİ	18
5.1 Toprak Kaynaklı Isı Pompası ile İlgili Temel Kavramlar	19
5.2 Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Çalışma Şekli ve Elemanları.....	20
5.2.1 Toprak Isı Değiştiricisi	21
5.2.1.1 Toprak Isı Değiştiricisi Türleri	22
5.2.1.1.1 Kapalı Çevrimli Sistemler	23
5.2.1.1.2 Açık Çevrimli Sistemler	25
5.2.1.1.3 Doğrudan Genleşmeli Sistemler	25
5.3 Toprak Kaynaklı Isı Pompası Avantaj ve Dezavantajları.....	26

5.3.1	Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Yararları.....	26
5.3.2	Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Sakıncaları	29
6.	SOĞUTUCU AKIŞKANLAR	31
6.1	Fiziksel özellikler	33
6.2	Donma Sıcaklığı	33
6.3	Kaynama Sıcaklığı ve Kritik Nokta.....	33
6.4	Çevresel Etkileri	33
6.5	Alternatif Soğutucu Akışkanlar	34
6.5.1	R134a.....	35
6.5.2	R123.....	36
6.5.3	Amonyak (NH ₃).....	36
7.	TOPRAK ISI DEĞİŞTİRİCİSİ TASARIM METODOLOJİSİ	37
7.1	Temel Kavramlar	37
7.1.1	Soğutma ve Isıtma Etki Katsayısı (COP)	38
7.1.2	Ortalama Yıllık Toprak Sıcaklığı (T _m)	38
7.1.3	Su Giriş Sıcaklığı / Isıtma (T _{EWT,min})	38
7.1.4	Su Giriş Sıcaklığı / Soğutma (T _{EWT,max})	38
7.1.5	Toprak Isıl Direnci (R _s)	39
7.1.6	Boru Direnci (R _p)	39
7.1.7	Etkilenmiş Toprak Sıcaklığı (T _h ve T ₁).....	40
7.1.8	İşletme Faktörü (F _H ve F _C).....	40
7.2	Isıtma ve Soğutma için Boru Uzunluğu	41
7.3	Toprak Isı Değiştiricisini Etkileyen Faktörler	42
7.4	Toprak Özellikleri.....	42
7.5	Toprak Kaynaklı Isı Pompası Tasarım Adımları.....	47
8.	GÜNEŞ ENERJİSİ	48
8.1	Genel Kavramlar.....	48
8.1.1	Güneş Deklinasyon Açısı (d).....	48
8.1.2	Zenit Açısı (z)	51
8.1.3	Güneş Yükseklik Açısı (y)	51
8.1.4	Güneş Azimut Açısı (a _g).....	53
8.2	Atmosfer Dışına Gelen Güneş Işınımı.....	53
8.3	Düz Toplayıcıların Kısımları ve Malzemeleri.....	55
8.3.1	Saydam Örtü	56
8.3.2	Yutucu Yüzey	58
8.3.3	Isı Yalıtımı	59
8.3.4	Toplayıcı Kasası	60
9.	BİRLEŞİK ENERJİ SİSTEMİNE GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEĞİNİN	
	ARAŞTIRILMASI	61
9.1	Bina Isı Kaybı Hesabı.....	61
9.2	Bina Soğutma Yüğü Hesabı	62
9.2.1	Yapı bileşenlerinden olan ısı kazancına bağlı soğutma yüğü.....	63
9.2.2	Pencerelerden olan ısı kazancına bağlı soğutma yükleri	63
9.2.3	Sızma (Enfiltrasyon).....	66
9.2.4	Havalandırma.....	67
9.2.5	İnsan Yoğunluğu.....	67

9.2.6	Ev araç, gereçleri	67
9.2.7	Soğutma Yüğü Toplamı.....	68
9.3	Bina Isıtma ve Soğutma Yüğülerinin Toprak Kaynaklı Isı Pompası ile Karşılanması Durumu	68
9.3.1	Isı Pompası Seçimi	69
9.3.2	İşletme Faktörü Hesabı	69
9.3.2.1	Isıtma Dönemi için İşletme Faktörü Hesabı	70
9.3.2.2	Soğutma Dönemi için İşletme Faktörü Hesabı.....	71
9.4	TKIP düzeneğine Güneş Enerjisi Desteğı	73
9.4.1	Kullanım Suyu İhtiyacının Güneş Enerjisi ile Desteklenmesi	73
9.4.2	Kullanım Suyu ve Isıtma İhtiyacının Güneş Enerjisi ile Desteklenmesi.....	75
9.4.3	Isıtma İhtiyacının Güneş Enerjisi ile Desteklenmesi.....	78
9.5	Birleşik Sisteme Güneş Enerjisi Katkısı.....	80
10.	HESAP VE KARŞILAŞTIRMALAR.....	82
10.1	Maliyet Analizi	84
11.	SONUÇ VE İRDELEME	88
	KAYNAKLAR.....	89
	ÖZGEÇMİŞ.....	91

SİMGE LİSTESİ

ΔT	Sıcaklık değişim derecesi ($^{\circ}\text{C}$)
a_g	Güneş azimut açısı
b_1, b_2, b_3	Güneş ışınımının doğrultu cosinüsleri
COP	Etkinlik katsayısı
d	Güneş deklinasyon açısı
d_0	Aylık deklinasyon açısı
ΔT	Sıcaklık farkı ($^{\circ}\text{C}$)
E	Enlem
E_G	m^2 'ye düşen aylık ortalama ışınım miktarı (W/m^2)
F	Güneş sabitinin günlere göre düzeltme faktörü, işletme faktörü
H	Saat açısı
I_0	Yatay düzlemin birim alanına bir anda gelen ışınım (W/m^2)
L	Toprak altı ısı değiştiricisi boru uzunluğu (m)
N	1 Ocaktan itibaren gün sayısı
P	Basınç (bar)
Q	Isı Kaybı veya Kazancı (W)
R_d	Bir anda gelen direkt güneş ışınımı için eğik düzleme gelenin yatay düzleme gelene oranı
R	Boru veya toprak ısı direnci (mK/W)
t_0	Aylık ortalama gün uzunluğu
$t_g(\text{saat})$	Gün uzunluğu
T	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
U	Toplam ısı geçiş katsayısı ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
W	Kompresör veya pompa işi (W)
x	Saat açısı
x_1, x_2	Ekvator düzleminde göz önüne alınan yerin boylamdan geçen ve buna dik doğruları
x_3	Kuzey kutbundan geçen eksen takımına göre bir yerdeki yatay düzlemin normalinin doğrultu cosinüsü
y	Güneş yükseklik açısı
z	Zenit açısı

KISALTMA LİSTESİ

ASHRAE	Amerika Isıtma, Soğutma ve Havalandırma Mühendisleri Derneği
C	Soğutma
CFC	Freonlar veya Florokarbonlar
CLTD	Duyulur soğutma yükü sıcaklık farkı
EWT	Entering Water Temperature (Giriş Suyu Sıcaklığı)
GLF	Pencere Camı Soğutma Yükü Faktörü
GPM	Galons Per Minute Flow (Dakikadaki galon akışı)
GS	Güneş Saati
GWP	Global Isınma Potansiyeli
H	Isıtma
I.P	Isı pompası
K	Kompresör
LWT	Leaving Water Temperature (Suyun Çıkış Sıcaklığı)
NRSC	Ulusal Soğutucu Güvenlik Kodu
ODP	Ozon Tahribat Potansiyeli
P	Boru Direnci, Pompa
S	Toprak Direnci
S.M	Soğutma makinesi
TKIP	Toprak Kaynaklı Isı Pompası
WPD	Water Pressure Drop (Su Basıncı Düşümü)
ZD	Zaman Düzeltmesi

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Isı Pompası Şematik Gösterimi	9
Şekil 3.2 İdeal Buhar Sıkıştırılmalı Mekanik Soğutma Çevrimi Şematik Gösterimi.....	12
Şekil 3.3 Carnot Çevrimini In P-h Diyagramında Gösterimi	13
Şekil 5.1 Yatay toprak ısı değiştiricili sistem	18
Şekil 5.2 Düşey toprak ısı değiştiricili sistem	19
Şekil 7.1 Toprak sıcaklığının derinliğe ve toprak özelliğine bağlı değişimi	43
Şekil 7.2 Toprağın ısıl direncinin yoğunluk ve nem içeriğine göre değişimi.....	44
Şekil 8.1 Gökküre Üzerinde Önemli Güneş Açılıları	49
Şekil 8.2 Deklinasyon Açısının Değişimi.....	49
Şekil 8.3 Zaman Düzeltmesinin Değişimi.....	51
Şekil 8.4 Türetilen Güneş Açılıları	52
Şekil 9.1 Isıtma Dönemi için Bina Isı Kaybı Eğrisi	70
Şekil 9.2 Soğutma Dönemi için Bina Isı Kazancı Eğrisi.....	71
Şekil 9.3 Kullanım Suyunun Kolektörlerden Sağlandığı Simulasyon	73
Şekil 9.4 Yıllık Toplam Kullanım Suyu İhtiyacının Güneş Enerjisince Aylık Karşılama Oranları	74
Şekil 9.5 Kolektör Yüzey Sıcaklıklarının Aylık Maksimum Değerleri	74
Şekil 9.6 Kullanım Suyu ve Isıtma Desteğinin Güneşten Sağlanması.....	76
Şekil 9.7 Yıllık Toplam Kullanım Suyu ve Isıtma Gereksiniminin Güneş Enerjisince Aylık Karşılama Oranları.....	77
Şekil 9.8 Kolektör Yüzey Sıcaklıklarının Aylık Maksimum Değerleri	77
Şekil 9.9 Güneş Enerjisinin Isıtma İhtiyacını Karşılama Oranı	79
Şekil 9.10 Kolektör Yüzey Sıcaklıklarının Aylık Maksimum Değerleri	79
Şekil 9.11 Güneş Enerjisi Destekli Toprak Kaynaklı Isı Pompası.....	80
Şekil 10.1 Toprak Altı Isı Değiştirici Uzunluğunun Yalnız Isıtma Desteği İçin Kolektör Sayısına Göre Değişimi	83
Şekil 10.2 Güneş Enerjisi Desteğinin TKIP'nın Kapasitesine Etkisi.....	83
Şekil 10.3 Kolektör Sayısının TKIP'nin Kapasitesine Etkisi.....	84
Şekil 10.4 Bina Isıtma ve Kullanım Suyu Gereksinimi İçin Seçilen Birleşik Sistemlerin İlk Yatırım Maliyetleri	87

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 6.1 Ulusal Soğutucu Akışkan Emniyet Kodu.....	31
Çizelge 6.2 Soğutucu akışkanların uygulama alanları.....	32
Çizelge 6.3 Soğutucu akışkanların fiziksel özellikleri	33
Çizelge 6.4 Akışkan Türleri Etkilerine Göre Sınıflandırılması.....	34
Çizelge 7.1 Derinlik ve Toprak Özelliklerine Bağlı Toprak Direnci Tablosu	39
Çizelge 7.2 Boru Çapına ve Yerleşimine Bağlı Boru Direnci.....	40
Çizelge 8.1 Aylık Ortalama Deklinasyon Açılırları.....	50
Çizelge 8.2 Bazı Saydam Örtülerin Özellikleri	57
Çizelge 8.3 Yutucu Yüzey Malzemelerinin Bazıları.....	59
Çizelge 9.1 Uygulama Binasına Ait Yapısal Özellikler	62
Çizelge 9.2 Bina mahalleri ısı kayıpları	62
Çizelge 9.3 Apartmanlar için soğutma yükü sıcaklık farkları	64
Çizelge 9.4 Yapı bileşenlerinden kaynaklanan ısı kazancı miktarı	64
Çizelge 9.5 Hem doğu hem de batı duvarları veya sadece kuzey ve güney duvarları dışı bakan tek atrı evler ve apartmanlar için soğutma faktörü $GLF (W/m^2)$	65
Çizelge 9.6 Binadaki tüm pencerelerden kazanılan ısı kazancı.....	66
Çizelge 9.7 Dış ortam hesap sıcaklığının fonksiyonu olarak bir saatteki hava değişimi	66
Çizelge 9.8 Ev içi araç gerecinden kaynaklanan soğutma yükü.....	68
Çizelge 9.9 Bina toplam soğutma yükü.....	68
Çizelge 9.10 Isıtma ve soğutma durumu için ısı pompası katalogundan okunan bazı değerler	69
Çizelge 9.11 Isıtma için İşletme Faktörü Hesabı.....	70
Çizelge 9.12 Soğutma için İşletme Faktörü Hesabı	71
Çizelge 9.13 Isı Pompası Seçimi ve Parametreleri Tablosu.....	72
Çizelge 9.14 Kullanım Suyu Hesabına Ait Kabuller.....	73
Çizelge 9.15 Kurulum Ekipmanının Özellikleri.....	74
Çizelge 9.16 Kullanım Suyu Hesap Çizelgesi.....	75
Çizelge 9.17 Isıtma ve Kullanım Suyu Destek Simulasyonuna Ait Ekipmanın Özellikleri ...	76
Çizelge 9.18 Kullanım Suyu ve Isıtma İhtiyacı Hesabı.....	77
Çizelge 9.19 Yalnızca Isıtma Desteği İçin Kurulan Sistem Ekipmanına Ait Özellikler	78
Çizelge 9.20 Isıtma İhtiyacı Kaynakların Karşılama Oranları	79
Çizelge 9.21 Bazı Değişkenlere Göre Güneş Enerjisi Kullanım Oranlarının Değişimi.....	80
Çizelge 10.1 Çeşitli Sayıdaki Kollektörlerdeki Enerji Dengesi	82

Çizelge 10.2 Yalnızca Kullanım Suyu ihtiyacının Karşılanması Durumu.....	84
Çizelge 10.3 Isıtma ve Kullanım Suyu İhtiyacının Karşılanması Durumu	85
Çizelge 10.4 Yalnızca Isıtma İhtiyacının Karşılanması Durumu (20 kollektör).....	85
Çizelge 10.5 Yalnızca Isıtma İhtiyacının Karşılanması Durumu (25 kollektör).....	85
Çizelge 10.6 Isı Pompası Seçiminin İlk Yatırım Maliyetine Etkisi	86

ÖNSÖZ

Bu çalışmada güneş enerjisi desteği olan toprak kaynaklı bir ısı pompası tasarlanmaya çalışılmıştır. İki sistemin birleştirilmesi sonucu kullanım suyu ihtiyacı, alan ısıtılması ve her ikisinin de sağlandığı durumlar için sistemin optimizasyonu üzerinde durulmuştur.

Sistem tasarımından sonra, çeşitli güneş enerjisi simulasyon modelleri ortaya konmuş, bu modellerin toprak kaynaklı ısı pompasının modeline ve toprak altı ısı değiştiricisine etkileri araştırılmış, maliyeti ne ölçüde etkilediği irdelenmiştir.

Çalışmam sırasında göstermiş olduğu özveri ve eksik etmediği desteğinden dolayı başta tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Olcay KINCAY olmak üzere, Kimya Yüksek Mühendisi Sayın Haluk AĞUSTOS'a, Arş. Gör. Sayın Uğur AKBULUT'a ve Mak. Müh. Sayın Nejat KİPER'e teşekkür ederim.

Ayrıca bana destek veren tüm Termodinamik ve Isı Tekniği Anabilim Dalı hocalarımıza, mesai arkadaşlarıma ve beni her zaman destekleyen aileme teşekkür ederim.

ÖZET

Güneş, dünyamızın en önemli enerji kaynağıdır. Yeryüzündeki hemen hemen tüm canlıların güneş olmadan hayatta kalması olanaksızdır. Bu çalışmada, kolektörler yoluyla direkt olarak güneş enerjisinden yararlanmanın yanında, topraktaki yıl boyunca hava sıcaklığından daha stabil olan ısı enerjiden de toprak kaynaklı ısı pompası vasıtasıyla yararlanmak amaçlanmıştır.

Isı pompası sistemleri, enerji tüketimi hızla artan dünyada yeni ve alternatif bir enerji türü olarak karşımıza çıkmakta, artan enerji fiyatları bu sistemleri gün geçtikçe daha da cazip hale getirmektedir. Isı pompalarının temel prensibi, ısıyı düşük sıcaklık ortamından yüksek sıcaklık ortamına taşımaktır. Toprak kaynaklı ısı pompaları da özetle bu şekilde çalışmakta, yazın toprağı ısının atıldığı yer olarak, kışın ise havadan daha sıcak olması nedeniyle ısının çekildiği yer olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada öncelikle şartlandırılacak mahalin ısı kayıp ve kazançları hesaplanmıştır. Birinci durum için binanın yalnızca ısı pompasıyla ısıtılması ve kısmen soğutulması sağlanmış, ikinci durum için güneş enerjisi destekli bir toprak kaynaklı ısı pompası sistemi tesis ederek, bina kullanım suyunun iki adet kolektörle sağlanması, mahallerin ısıtılması için de ısı pompasından yararlanılması sağlanmıştır. Üçüncü opsiyon olarak ise yine birleşik bir sistem kurulup, yirmi beş kollektörle ısı pompasını desteklemek yoluna gidilmiştir.

Bu üç opsiyon arasında, güneş enerjisinin ısıtmaya ve kullanım suyu ihtiyacına destek oranı irdelenmiş, güneş enerjisinin toprak ısı değiştiricisinin boyunu ne ölçüde değiştirdiği üzerinde durulmuş, opsiyonların ilk yatırım maliyetleri tartışılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Toprak kaynaklı ısı pompası, güneş enerjisi destekli toprak kaynaklı ısı pompası, güneş enerjisi.

ABSTRACT

Sun is the most important energy source of our world. Almost all of the lives on the earth can not be alive without sun. In this study, via collectors, directly using the solar energy and, using the energy of the ground which is more stable than the air during all year, via ground source heat pump is aimed.

Heat pump systems are being seen as a new and an alternative energy source in the rising energy consumption trend of the world. Main principle of the heat pump is rejecting the heat from low temperature atmosphere to higher temperature atmosphere. Ground source heat pumps also working with this principle, in heating season using ground a place to reject the heat, in cooling season using ground a place to deliver the heat.

In this study, first, heat loss and heat gains of the buiding to be conditioned have been calculated. In the first case, heating and partially cooling of the building have been supplied, for the second case, with establishing a solar assisted heat pump, domestic hot water need of the building have been supplied by two solar collectors and heating of the building have been supplied by the ground source heat pump. As a third option, with establishing a combined system -like the second option- with twenty five solar collectors, supporting the heat pump have been chosen.

Between these three options, support ratio of solar power to domestic hot water need and space heating need have been considered, the effect of solar power to the ground heat exchanger's length have been indicated and the investment costs of the options have been calculated.

Keywords: Ground source heat pump, solar assisted ground source heat pump, solar power.

1. GİRİŞ

Dünyada bilinen petrol rezervlerinin 41 yıl, doğalgaz rezervlerinin 62 yıl ve kömür rezervlerinin 230 yıl sonra tükeneceği tahmin edilmektedir. Fosil yakıt rezervlerinin azalması ve bu yakıtların yarattığı çevre kirliliği gibi sorunlar nedeniyle, tüm dünyada alternatif enerji kaynağı arayışları başlamıştır. Bu arayışlar jeotermal enerji, dalga enerjisi, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, ısı pompaları gibi farklı sonuçlara ulaşmıştır. Bulunan sonuçlar arasında ısı pompaları, düşük enerji tüketimleri, yüksek performans katsayıları ve çevreye zarar vermemeleri gibi özellikleri ile dikkat çekmektedir.

Güneş, yeryüzündeki en büyük enerji kaynağıdır. Fuel oil, gaz, kömür, bio enerji gibi fosil yakıtlar ve rüzgarın hepsi, güneş enerjisi kaynaklıdır. Güneş enerjisinin yayılma ve kararsız yapısı nedeniyle, doğrudan tutulması pahalı ve güçtür. Yer, iri bir yapıya sahip olduğu için, yeryüzüne ulaşan güneş enerjisinin hemen hemen yarısı jeokütlede yutulur ve depolanır.

Termodinamiğin II. Yasasına göre, ısı, yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru kendiliğinden geçer. Isı pompası sistemleri ısıyı bir ortamdan diğerine taşıyabilen ve ısıyı düşük sıcaklık kaynağından yüksek sıcaklığa aktarabilmesi özelliği dolayısıyla düşük sıcaklıktaki ısının kullanılmasına imkan veren sistemlerdir. Çalışma prensibi soğutma makinesi ile aynı, ancak kullanma amacı farklıdır. Pek çok kişiye oldukça yabancı bir kavram gibi görünen ısı pompaları aslında uzun zamandır hayatımızın içindedir. Evlerimizdeki buzdolabı, klima gibi cihazların hepsi ısı pompasının birer örneğidir. Toprak kaynaklı ısı pompaları, topraktan ısıyı su veya salamura(antifriz-su karışımı) aracılığıyla çekerler. Bunun için salamuranın içinde dolaştığı toprak altına yerleştirilen boruların tasarımı uygun bir şekilde yapılmalıdır. Bu boruların ve toprağa döşenmelerinin maliyeti ilk yatırım masrafını arttıracığından bu toprak ısı değiştirici tasarımına büyük bir dikkat gösterilmelidir. Ayrıca hem bu tasarıma, hem de istenilen ısıtma değerlerine uygun ısı pompası seçimi önem kazanmaktadır. Isıyı doğal akım yönünün tersine taşıdığı için ısı pompası adını almıştır. Toprağın ısı kaynağı olarak seçilmesinin nedeni, ısının genelde sabit olması yani aylara göre büyük farklılıklar göstermemesi ve atmosfer sıcaklığı aksine bir sıcaklığı aksine bir sıcaklığa sahip olması nedeni ile ısı farkının kullanımına daha geniş imkan vermesi, dolayısıyla ısı aktarımının daha kolay yapılabilmesine imkan vermesidir.

Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri'nde ısı pompaları yıllardır yaygın bir şekilde uygulanmakta ve bu devletler tarafından tüm uygulamalar teşvik edilmektedir. Avrupa'da toprak kaynaklı ısı pompasının gelişim süreci 1980 yılında Almanya'da yapılan bir uygulama

ile başlar. Daha sonraki yıllarda özellikle İsviçre ve İsveç'te yayılımını hızla sürdürmüş ve 90'lı yıllarda yakıt fiyatlarının artışı ile daha büyük kapasiteli ünitelerin kurulması başlamıştır. İsviçre'de şu anda yeni yapılan her dört konuttan en az ikisinde toprak kaynaklı ısı pompası kullanılmaktadır. İsveç'te ise bugün toplam kapasitesi 330 MW olan 55000 adet toprak kaynaklı ısı pompası uygulaması bulunmaktadır. Avustralya'da toprak kaynaklı ısı pompaları oransal olarak pazarın yaklaşık %95'ini teşkil etmektedir. Bunların çoğu 15 kW ısıtma yükünden daha küçük kapasitelidir. Hollanda ve Belçika'da toprak kaynaklı ısı pompası sayısı, özellikle 90'lı yılların ikinci yarısından sonra hızlı bir artış göstermiştir. Polonya'da ise yakın bir zamanda, ısıtma amaçlı kullanılan, yatay döşenmiş toprak ısı değiştirgeçli bir ısı pompası tesisi kurulmuştur. Sistemin en büyük özelliği komşu evlerin bu sisteme bağlanabilmesiyle yayılım gösterebilmesidir. (Rybach ve Sanner 1999). Dünyadaki 26 ülkede yalnız toprak kaynaklı ısı pompalarının kurulu gücü 6875 MW olup kurulu olan cihazların gerçek sayısı 512700 civarındadır. Ülkemizde ise son birkaç yıldır tanınmakta olan ısı pompalarının kurulu gücü 0,5 MW olup gerçek kullanım adedi 23'tür. Bunun yanı sıra, ülkemizde toprak kaynaklı ısı pompaları henüz imalat aşamasına gelmemiştir. Montaj çalışmaları yapan ve sistemi tanıtan firma sayısı çok azdır. Toprak kaynaklı ısı pompalı sistem, hava kaynaklı ısı pompasına göre yıllık toplam maliyet olarak %19 daha ucuzdur. Toprak kaynaklı ısı pompalı sistemin birim maliyeti ise 0,071 \$/kWh'tir. Isı pompaları, gerekli iyileştirmeler yapıldığı takdirde yüksek performansları ve düşük enerji tüketimleri ile, enerjiye yüksek bedeller ödeyen, üstelik birbiri ardı sıra enerji krizleri yaşayan ülkemize ekonomik anlamda büyük katkılar sağlayacaktır. Geleneksel ısıtma ve soğutma sistemlerine karşı tüm dünyada çekici bir seçenek oluşturacaktır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1 Tarihsel Süreç

İnsan yapımı ilk soğutucu, 1748 yılında Glasgow Üniversitesi'nden Dr. William Cullen tarafından eterin buharlaştırılması ile gerçekleştirilmiştir. Isı pompasının basit prensibi ise 1824 yılında Sadi Carnot tarafından önerilmiştir. 1850 yılında Lord Kelvin ısıtma için soğutma makinelerinin kullanılabilirliğini öne sürmüştür. Kelvin 1852 yılında yayımladığı yazısında, kompresör ile bağlantılı genişletici kullanan bir sistem tanıtmıştır. Fakat normal ısıtma masraflarına oranla makinenin masrafının çok daha yüksek olması nedeniyle, hava-ısıtma ısı pompası o zamanlar kurulamamıştır.

19. yüzyılda gazların sıcaklıklarının, basınçlarını ayarlayarak değiştirilebileceğinin anlaşılması ile dikkatleri ısı enerjisinin daha yüksek sıcaklıklara pompalanması olasılığına çevirmiştir. 1912 yılındaki İsviçre patenti ile yer kaynaklı ısı pompalarının faydaları ilk olarak toprağa gömülen metal serpantinler içinde salamura dolaştırılarak, 40'lı yıllarda çarpıcı şekilde gösterildi. Serpantin korozyon sorunları, toprak serpantinlerini kullanışsız kıldı ve hava kaynaklı ısı pompalarının gelişimini zorladı. Daha sonraları, plastik borular kullanılarak, korozyon sorunlarının üstesinden gelindi ve toprak kaynaklı ısı pompaları üzerine araştırmalar hızlandı (Couvillion, 1985).

Uygulamadaki ilk ısı pompası ise 1930 yılında İskoç Haldane tarafından yapılmış ve evinde kullanmaya başlamıştır. Haldane, bu uygulamada kaynak olarak havayı kullanmış ve hava koşullarının iyi olmadığı zamanlarda su ile desteklemiştir. Sistemin en eski uygulamalarından bir başkası da 1930'dan beri işletilen ve Connecticut'ta bulunan Amerikan ulusal deprem araştırmaları binasıdır.(Pratsch 1990). İkinci dünya savaşından sonra sadece birkaç şehirde uygulanan ısıtma soğutma sistemleri genellikle tiyatro, restoran gibi yerlerde kullanılmış, günümüzde ise hemen her yerde bu sistemlerle karşılaşmak mümkündür. 50'li yıllarda ısı pompasına ilgi görece artmasına karşın, petrol fiyatlarının o dönemde gerilemesi sonucu, ısı pompası teknolojisinin geliştirilebilmesi olanaklı olamamıştır. Yine 50'lerde Amerika ve İngiltere'de evsel ısı pompalarında toprak kaynağının kullanımı ile ilgili çalışmalara başlamıştır. Baker, 1950-51 kış ayları boyunca ortalama ısı tesir katsayısı 3'ün üzerine çıkan, çift tesirli toprak kaynaklı bir ısı pompası geliştirmiştir.

Ancak soğutma endüstrisinin gelişip, kimi zorlukların alt edilmesi ve yeni modellerin üretilmesine, bir de 1973-1974 yıllarında petrol fiyatlarının artması eklenince, ısı pompası

yeniden ilginin odağı olmuştur.

Buna paralel olarak artış gösteren jeotermal ısı pompalarının uygulama alanları artmıştır. Çin'in Shanghai şehrinde 1987'den itibaren toplam 130 ton kapasiteli ısı pompası uygulaması bulunmaktadır. (William, 1998).

Tüm bu gelişmelere paralel olarak, İsveç'te 1988 yılında 134.000 yer kaynaklı ısı pompasının olduğu bilinmektedir. (Sulatisky et al., 1991). Amerika'da, 1990 yılında, tahminen 100.000 toprak kaynaklı ısı pompası konut ve ticari uygulamalarda kullanılmıştır. 1985'te, sadece 14.000 yer kaynaklı ısı pompasının Amerika'da kurulduğu tahmin edilmektedir. Tüm imalatçılar satış rakamlarını bildirmemelerine karşın, 1993 yılında 1993 yılında 17.300 ünitenin satışı bildirilmiştir (Boissavy, 1997).

2.2 Konuyla İlgili Yapılan Çalışmalar

Genel bir literatür değerlendirilmesi yapıldığında; Wijsman ve ark.(1985, 1988), Hollanda'nın bir kasabasında 1984'den beri çalışan, mevsimlik ısı depolamalı ısıtma sistemini incelemiştir. Sistemde dokuz bloktan oluşan toplam 96 güneş evinden vardır. Konutlar mükemmel şekilde yalıtılmış olup tasarım şartlarındaki ısı yükü 6,3 kW ve toplam ısı yükü 1200 MWh/yıl'dır. Her bir ev için 25 m²'lik toplam yüzey alanı 2400 m² olan ısı toplayıcısı kullanılmıştır. Depolama sistemi günlük ve mevsimlik depolamadan oluşmuştur. Günlük ısı deposu, 100 m³'lük su tankı, mevsimlik ısı deposu ise 23000 m³'lük topraktır. Toprak; suya doymuş kumdur. Isı değiştiricisi toprak içerisinde düşey yerleştirilmiş olup U şeklindedir. Mevsimlik ısı depolamalı ısıtma sisteminde, tasarım için geliştirilmiş bir bilgisayar simülasyon programı kullanılmıştır. Bu programla, güneş enerjisi katkısının 310 kWh/m² ve toplayıcı yıllık veriminin %48 olduğu saptanmıştır. Ayrıca, simülasyon değerlerinde mevsimlik ısı deposunun 30-60⁰C arasında çalışacağı ve sistemin toplam elektrik tüketiminin 77 MWh (800 MWh/konut) olduğu belirlenmiştir.

Kavanaugh (1992a,b) Alabama'da 150 m² alanda yapılan dikey TKIP uygulaması ile pompanın ısıtma ve soğutma sezonlarındaki çalışma karakteristikleri tespit etmiştir. Sistem, 1988'de kurulmuş olup yapının ısıtma ve soğutma yükleri, sırasıyla, 13 kW ve 10 kW'tır. Su-hava ısı pompasında, soğutmada %10'un ve ısıtmada %15'in altında bir verime ulaşılmıştır. Bununla birlikte enerji kullanımında önemli bir azalma gözlenmiştir. Yapının 1989'daki aylık elektrik faturası en düşük 66,65 \$ ve en yüksek 98,15 \$ olarak gerçekleşmiştir. Ortalama aylık faturası ise 83 \$ olmuştur.

TKIP'ları ve ısı pompaları hakkında çok sayıda bilimsel çalışma vardır (Miles, 1994; Kavanaugh ve ark., 1991,1997; Chaturvedi ve ark.,1991,1997; Aziz ve ark., 1999;Healy ve ark., 1997 vb.). Bunlardan bazılarının çalışma konuları şöyle sıralanabilir: Lund (1988, 1989, 2000, 2003, 2004), Lund ve ark. (2000) tarafından Amerika Birleşik Devletleri'ndeki TKIP'lerin kullanım potansiyellerini, Sanner (1995) jeotermal ısı pompalarının Almanya'daki uygulamalarını, Chiasson ve ark. (2000) toprak kaynaklı ısı pompalarının sonlu elemanlar metodunu kullanarak tasarımı ve simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Zeng ve ark. (2003) dikey toprak altı ısı değiştiricilerinin ısı transfer analizini gerçekleştirmişlerdir. Kuang ve ark. (2003) geliştirdikleri güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemi ile sıcak su hazırlama sistemi kurmuşlar ve düzlemsel güneş toplayıcısını, evaporatör olarak çalıştırmışlardır. Bu sistemde toplayıcı verimi %40-60 iken, etkinlik katsayısı 4-6 arasında değişmektedir. Benzer şekilde Huang ve ark. (2003) tarafından yapılan bir çalışmada da, etkinlik katsayısı 1,7-2,5 olarak elde edilmiştir. Yumrutaş ve ark. (2004), güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemiyle mahal ısıtılmasını gerçekleştirmişler ve yerden ısıtma sistemi kullanmışlardır. Her türlü hava şartı için güneş enerjisinin sistemin etkinlik katsayısı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bi ve ark. (2004) teorik ve deneysel olarak güneş enerjisi destekli TKIP sistemi ile dikey çift sarmal borulu yersel eşanjörle sadece ısıtma sezonu için çalışma yapmışlardır. Sistemlerin tek başlarına çalışma konumunda etkinlik katsayısını 2.73-2.83 aralığında bulmuşlardır.

Yang ve ark. (2006), TKIP sisteminde toprağa gömülen serpantin boru çapları ve sisteminin çalışma süresi ile serpantin çevresindeki toprak sıcaklığının değişimi arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Li ve ark. (2006) simülasyon çalışması yaparak, 30 yıl boyunca topraktan çekilen ısı miktarı toprağa tekrar geri verildiğinde, güneş destekli ısı pompasının sürdürülebilir bir ısı çevrim düzeneği oluşturduğunu saptamışlardır. 5 yıl boyunca sadece topraktan ısı çekilirse toprak sıcaklığının 6 °C'ye kadar düşebileceği, toprağa 13 yıl boyunca ısı verilirse toprak sıcaklığının 35°C'nin üzerine çıkabileceği ve bu son şekli ile hava şartlandırmanın yapılamayacağını vurgulamışlardır. Toprağı ısı kaynağı ve ısı kuyusu olarak yüksek verimlilikle sürdürülebilir olarak kullanabilmenin yolunun, topraktan aldığımız kadar ısıyı toprağa geri vermek olduğu belirterek birleşik sistemleri önermişlerdir.

Yurtdışındaki çalışmaların yanında, ülkemizde de bu konuda birçok üniversitemizde çalışmalar yapılmaktadır, Hepbaşlı (1985), ısı kaynağı olarak topraktan yararlanarak, toprak-su/ısı pompası tesisi ile, konut ısıtılması üzerine çalışılmıştır. Kılış (1981) yayımladığı makalesinde, toprak kaynaklı ısı pompalarından genel olarak söz etmiş ve uygulama yöntemlerini irdelemiştir.

Ataman (1991) Göztepe’de inşa edilen bir konutun toprak kaynaklı ısı pompası ile ısıtılması ele almıştır, konutun ısı kaybı, derece-gün yöntemiyle hesaplanarak uygun ısı pompası seçilmiştir. Seçilen bu ısı pompasının çalışma şartlarına uygun olarak, toprak ısı değiştiricilerinin boyutlandırılması yapılmıştır.

Oskay ve Babür (1985,86), Makine Mühendisliği’nde var olan cihazları kullanarak toprak hava arasında çalışan bir ısı pompasının tasarımını ve yapımını gerçekleştirmişlerdir. İki devreden oluşan bir ısı pompası oluşturularak deneysel olarak toprak kaynaklı ısı pompalarını incelemişlerdir. Toprak altındaki boru demeti 10 m uzunluğunda 5/8” bakır borudan yapılmıştır. Topraktan soğurulan ısı gücü ölçülmüş ve bir kuramsal modelin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bunların dışında toprağın çeşitli bölgelerine yerleştirilen ısı seziciler ile, toprağın aylara ve ısıtma ihtiyacına göre sıcaklık değişimleri tespit edilip grafiksel olarak gösterilmiştir.

Kaygusuz (1992) tarafından Türkiye’nin Karadeniz bölgesinde evsel ısıtma için enerji depolama ile güneş destekli ısı pompasının yeterliliği üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu çerçevede, depolamayla güneş destekli ısı pompası sistemi ve depolamayla paralel ısı pompası sistemi, deneysel bir şekilde araştırılmakta ve karşılaştırılmaktadır. Deneysel ekipmanlar, 30 m² güneş kolektörleri , ısıtma amaçlar için 75 m² alan ile bir laboratuvar, iki evaporatör (hava- ve su-kaynaklı) ve bir kondenserli ısı pompası, bir su sirkülasyon pompası ve diğer ölçüm ekipmanlarından oluşmuştur. Deneysel sonuçlar, kullanılan iki ısı pompası sistemi için 1991’in ısıtma mevsiminde Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs’ta alınmaktadır. Deneysel alınmış sonuçlar, ısıtma mevsimi esnasında, kolektör etkisini, ısı pompası etki katsayısı, sistem etki katsayısı, depolama etkisi ve sistemin toplam enerji tüketimi hesaplamak için kullanılmaktadır. Kolektör etkisini, ısı pompası etki katsayısı, sistem etki katsayısı, depolama etkisi değerlerinin anlamı, % 70, 4.2, 4.0 ve 60 civarında olacaktır.

Hancıoğlu (2000), Hepbaşlı (2002a,b), Hepbaşlı ve ark. (2003, 2004) Güneş Enerjisi Enstitüsünde pasif ısıtma ve havalandırma özelliği olan 65 m²’lik bir sınıf için uygulanan 50 m düşey sondajlı ısı pompası sisteminin etkinlik, enerji ve ekserji analizlerini yapmışlardır.

Kıncay ve ark.(2002a,b, 2003) İstanbul’da yaptıkları bir uygulama ile dikey TKIP’da ısıtma sezonu için etkinlik katsayısının 2,5-3,2 arasında değiştiğini göstermişlerdir. Ayrıca bir villa için hesaplanan yüklerle göre de ısıtma ve soğutma amacı ile önce dikey TKIP sistemi sonra hava kaynaklı IP sistemi için tasarımlar yaparak TKIP sistemin yıllık toplam maliyetinin % 19

daha ucuz olduğu bulmuşlardır. Aynı villada sadece ısıtma amacı ile toprak ve göl kaynaklı IP sistemler ile doğalgaz ve LPG'li ısıtma sistemlerini kullanmak üzere gerekli hesaplamalar yapılmış ve tüm sistemlerin birim enerji maliyetleri çıkarılarak, eskalasyon oranının %3,2 değerinden sonra dikey tip ve %5,7 değerinden sonra da yatay tip TKIP sisteminin LPG ısıtma sistemine göre daha ekonomik olduğunu göstermişlerdir. IP sistemlerin ülkemizde işletme maliyetleri açısından konvansiyonel sistemlere göre çok daha ucuz, yatırım maliyetlerinin ise yüksek olduğunu söyleyen araştırmacılar bu sistemlerin ısıtma, pasif soğutma ve sıcak su ihtiyacının da karşılanması ile ilk yatırım maliyetin düşüceğini vurgulamışlardır. İnallı ve ark. (2004) yatay toprak altı ısı değiştiricilerinin performanslarını incelemişlerdir. Demir (2006) yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası kullanarak toprağın zamana bağlı sıcaklık eğrilerini çıkarmıştır. Dursun ve ark (2006) soğuk iklim bölgelerinde toprak/su kaynaklı ısı pompalarının kullanımını konularını genel olarak incelemişlerdir. Güneş enerjisi destekli ısı pompalarıyla özellikle sıcak su elde etmeye yönelik çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Yamankaradeniz ve ark.(1998), Hulin ve ark. (1999) güneş enerji destekli ısı pompasının teorik ve deneysel olarak karakteristikleri ile ısı pompalı sıcak su hazırlama sistemini incelemişlerdir. Hancıoğlu (2000), Ersöz (2000) yaptıkları benzer çalışmalar ile ısıtma sezonu için güneş toplayıcısı etkisini, ısı pompası ve sistem etkinlik katsayılarını, depolama etkisi ile sistemin toplam enerji tüketimini hesaplamışlardır. Ayrıca ekserji verimleri ve depolama etkisi de incelenmiştir. Özgener ve ark. (2005a,b,c,d, 2006) güneş enerjisi destekli, düşey toprak kaynaklı ısı pompası ile sera ısıtmasında TKIP'nın ve birleşik sistemin ekserji verimi 10,93 °C referans sıcaklığında sırasıyla, %71,8 ve %67,7 olarak elde edilmiştir. Sistemdeki en büyük tersinmezlikler, seranın fancoil ünitesi, kompresör, kondenser, kısılma vanası ve evaporatörde görünmektedir. TKIP sistemlerinin modellenmesi ve performanslarının değerlendirilmesinde, dikey ve yatay tip TKIP'nın etkinlik katsayıları sırasıyla; 3,64 ve 3,12 olarak bulunmuştur. Güneş enerjisi ile birlikte çalışan dikey ve yatay tip TKIP'nın etkinlik katsayıları ise 3,43 ve 2,72'dir. Akpınar ve ark. (2006), konut uygulamalarında güneş enerjisi destekli ve desteksiz iki TKIP sistemi için ekserji analizi yapılmış ve ekserji verimleri sırası ile 0.0144 - 0.0383 arasında olduğu tesbit edilmiştir. Her iki sistemdeki yüksek olan tersinmezliklerin; elektrik, mekanik ve izantropik verimlerdeki düşüşlere bağlı olduğu görülmüştür.

3. TEORİK ESASLAR

3.1 Soğutma Makineleri ve Isı Pompaları

Isı geçişinin azalan sıcaklık yönünde, başka bir deyişle sıcak bir ortamdan soğuk bir ortama olduğu bilinen bir gerçektir. Bu yönde ısı geçişi doğada kendiliğinden olur. Fakat bir ortamdan, daha yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı geçişi kendiliğinden olamaz, bunun bir soğutma makinesi aracılığı ile yapılması gerekir.

Soğutma makineleri bir çevrime göre çalışır, soğutma çevrimlerinde dolaşan akışkanlara da soğutucu akışkan adı verilir. Bir soğutma makinesinin genel çizimi Şekil 3.1 a’da verilmiştir. Burada Q_L soğutulan ortamdan çekilen ısı, Q_H ise daha sıcak ortama verilen ısıdır. T_L , soğutulan ortamın sıcaklığı, T_H ise ısı verilen ortamın sıcaklığı ve $W_{net,g}$ çevrimde dolaşan akışkan üzerinde yapılması gereken sıkıştırma işini göstermektedir. 5. Bölümde açıklandığı gibi Q_L ve Q_H ’nin yönleri indislerinden anlaşılmaktadır, bu nedenle her ikisi de artıdır.

Düşük sıcaklıktaki bir ortamdan, daha yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı geçişi, ısı pompası aracılığı ile de gerçekleştirilebilir. Soğutma makineleri ve ısı pompaları aynı çevrime göre çalışırlar, fakat kullanım amaçları farklıdır. Soğutma makinesinin amacı çevre sıcaklığından daha düşük sıcaklıkta olan bir ortamdan ısı çekerek, ortamı düşük sıcaklıkta tutmaktır. Daha yüksek sıcaklıktaki ortama ısı verilmesi sadece çevrimin tamamlanabilmesi için gerekli olan bir işlemdir. Isı pompasının amacı ise, ısıtılan bir ortamı istenen sıcaklıkta tutmaktır. Bunun için düşük sıcaklıktaki bir kaynaktan çekilen ısı, daha yüksek sıcaklıktaki ortama verilir. Örneğin, ısı çekilen kaynak, kuyu suyu veya soğuk dış hava, sıcak ortam ise bir evin içi olabilir.

Bir soğutma makinesi veya ısı pompasının ısıl değerlendirme, etkinlik katsayısı (COP) ile yapılır. COP, elde edilmek istenen soğutma veya ısıtma etkisinin, harcanan iş miktarına bölünmesi ile (3.1) ve (3.2) no’lu ifadelerle elde edilmektedir.

(3.1) no’lu ifade soğutma makinesinde çekilen ısı miktarının, verilen iş miktarına bölünmesini gösterirken;

$$COP_{SM} = \frac{Q_L}{W_{net,g}} \quad (3.1)$$

(3.2) no’lu ifade ise ısı pompasında ortama verilen ısı miktarının, verilen iş miktarına bölünmesini gösterir:

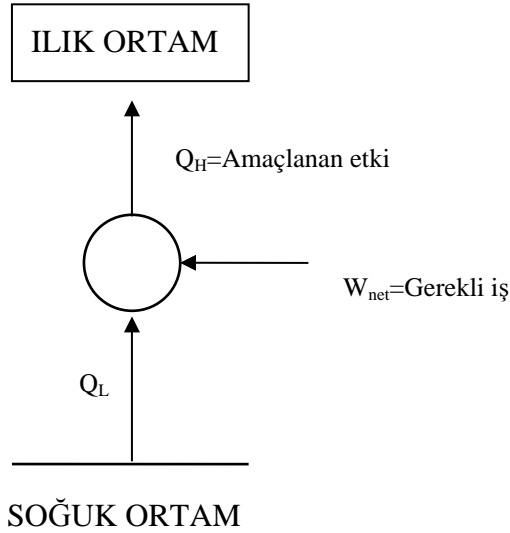
$$\text{COP}_{\text{IP}} = \frac{Q_H}{W_{\text{net},g}} \quad (3.2)$$

Belirli Q_L ve belirli Q_H değerleri için;

$$\text{COP}_{\text{IP}} = \text{COP}_{\text{SM}} + 1 \quad (3.3)$$

olduğu görülür. Bu bağıntı ısı pompası etkinlik katsayısının 1'den büyük olduğunu göstermektedir, çünkü COP_{SM} her zaman sıfırdan büyüktür. Başka bir deyişle, bir ısı pompası en kötü durumda bir elektrikli ısıtıcının etkinliğinde olacak, tükettiği elektrik kadar ısıl enerji sağlayacaktır. Bununla birlikte gerçek uygulamada Q_H 'nin bir bölümü borulardan ve kanallardan çevreye geçebilir ve dış hava sıcaklığı çok düşük olduğu zamanlarda ısı pompasının etkinlik katsayısı 1'in altına düşebilir. Bu durum gerçekleştiğinde ısı pompası, elektrikli ısıtıcı gibi çalıştırılır.

Bir soğutma sisteminin soğutma kapasitesi, soğutulan ortamdan birim zamanda çekilen ısı diye tanımlanır ve çoğu kez "ton soğutma" birimiyle ifade edilir. Bir ton soğutma, 0°C sıcaklıkta bir ton suyu 24 saatte 0°C sıcaklıkta buza dönüştürmek için çekilmesi gereken ısıl enerjiye eşittir. Bir ton soğutma 211 kJ/dakika veya 200 btu/dakika'ya eşdeğerdir. 200 m^2 kullanma alanı olan bir evin soğutma yükü yaklaşık olarak 3 ton (10kW) dolaylarındadır (Çengel 1996).



Şekil 3.1 Isı Pompası Şematik Gösterimi

Isının bir ortamdan diğer bir ortama nakledilmesi çeşitli şekillerde gerçekleştirilebilir. Buna göre ısı pompası çeşitleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- 1- Buhar sıkıştırırmalı çevrim
- 2- Adsorbsiyonlu ısı pompası
- 3- Gaz çevrimli ısı pompası
- 4- Jet püskürtmeli ısı pompası
- 5- Stirling çevrimli ısı pompası
- 6- Adsorbsiyonlu ısı pompası
- 7- Resorbsiyonlu ısı pompası
- 8- Rankine / Buhar sıkıştırırmalı ısı pompası
- 9- Termoelektrik ısı pompası

3.2 Ters Carnot Çevrimi

Carnot çevrimi, verilen bir sıcaklık aralığında en yüksek ısıl verime sahip çevrimdir. Bu nedenle, gerçek güç çevrimlerinin karşılaştırılabileceği bir standart oluşturur. Tersinir bir çevrim olduğu için, Carnot çevrimini oluşturan hal değişimleri ters yönde de gerçekleşebilir. Sonuç, ters Carnot çevrimi adı verilen çevrimdir. Ters Carnot çevrimine göre çalışan bir soğutma makinesi veya ısı pompası, Carnot soğutma makinesi veya Carnot ısı pompası diye bilinir.

Bir soğutucu akışkanın doyma bölgesi içinde gerçekleşen ters Carnot çevrimi ele alınsın. (Şekil 3.2). 1-2 hal değişimi sırasında, soğutucu akışkana, T_L sıcaklığındaki soğuk ortamdan, sabit sıcaklıkta Q_L miktarında ısı geçişi olur. Akışkan daha sonra izantropik bir hal değişimiyle 3 haline sıkıştırılır ve hal değişimi sonunda sıcaklığı T_H sıcaklığındaki ortama, sabit sıcaklıkta ısı geçişi olur ve daha sonra akışkan, 1 haline izantropik olarak genişleyerek çevrimi tamamlar. 4-1 hal değişimi sonunda akışkanın sıcaklığı T_L olur. 3-4 hal değişimi sırasında soğutucu akışkan, yoğuşturucuda doymuş buhardan doymuş sıvıya dönüşür.

Carnot soğutma makinesinin ve Carnot ısı pompasının etkinlik katsayıları şöyle tanımlanabilir;

$$\text{COP}_{\text{SM,Carnot}} = \frac{1}{T_H/T_L - 1} \quad (3.4)$$

$$\text{COP}_{\text{IP,Carnot}} = \frac{1}{1 - T_L/T_H} \quad (3.5)$$

Her iki etkinlik katsayısının da, sıcaklık aralığı azaldıkça, başka bir deyişle ΔT küçüldükçe yükseldiği belirtilmelidir.

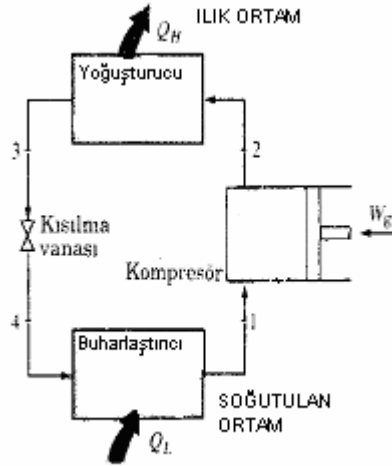
Ters Carnot çevrimi, belirli sıcaklıklardaki iki ısı enerji deposu arasında çalışan en etkin soğutma çevrimidir. Bu nedenle soğutma makineleri ve ısı pompaları için ideal çevrim olarak önce Carnot çevriminin incelenmesi doğaldır. Uygulanabilir olması durumunda Carnot çevriminin ideal çevrim olarak seçilmesi gerekir, fakat aşağıda belirtilen nedenlerle Carnot çevriminin uygulamaya aktarılması olanaksızdır.

Isı geçişinin olduğu iki izotermal hal değişimi uygulamada gerçekleştirilebilir, çünkü doyma bölgesinde basıncın sabit kalması, sıcaklığın da doyma sıcaklığında sabit kalmasını sağlar. Bu bakımdan 1-2 ve 3-4 hal değişimleri buharlaştırıcı ve yoğuşturuculardaki gerçek duruma yakındır. Fakat 2-3 ve 4-1 hal değişimlerinin uygulamada gerçekleştirilmesi zordur. Çünkü, 2-3 hal değişimi bir sıvı buhar karışımının sıkıştırılmasını, başka bir deyişle iki fazlı akışkanla çalışan bir kompresörü gerektirir. 4-1 hal değişimi ise sıvı oranı yüksek bir karışımın genişlemesidir.

Bu sorunların, Carnot çevrimini doyma bölgesinin dışında gerçekleştirerek çözüleceği düşünülebilir, fakat bu kez ısı geçişi işlemlerinde sabit sıcaklık koşulunun yerine getirilmesi zorluk çıkaracaktır. Bu nedenlerle ters Carnot çevriminin uygulamada gerçekleşmeyeceği ve soğutma çevrimleri için ideal bir model oluşturamayacağı sonucuna varılabilir. Bununla birlikte ters Carnot çevrimi, gerçek soğutma çevrimlerinin karşılaştırılabileceği bir standart oluşturur (Çengel 1996).

3.3 İdeal Buhar Sıkıştırırmalı Soğutma Çevrimi

Ters Carnot çevriminin uygulanmasındaki güçlükler, buharı sıkıştırmadan önce tümüyle buharlaştırarak ve 4-1 hal değişimindeki genişlemeyi bir kısılma işlemiyle gerçekleştirerek aşılabılır. Kısılma işlemi, sıvıyı bir kısılma vanasından veya kılcal borulardan geçirerek yapılabilir. Bu şekilde elde edilen çevrim, ideal buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi diye bilinir. Bu çevrimin genel çizimi Şekil 3.2 'de verilmiştir.



Şekil 3.2 İdeal Buhar Sıkıştırılmalı Mekanik Soğutma Çevrimi Şematik Gösterimi

Buhar sıkıştırılmalı çevrim soğutma makinelerinde, iklimlendirme sistemlerinde ve ısı pompalarında en çok kullanılan çevrimdir. Bu çevrimi oluşturan hal değişimleri şöyledir:

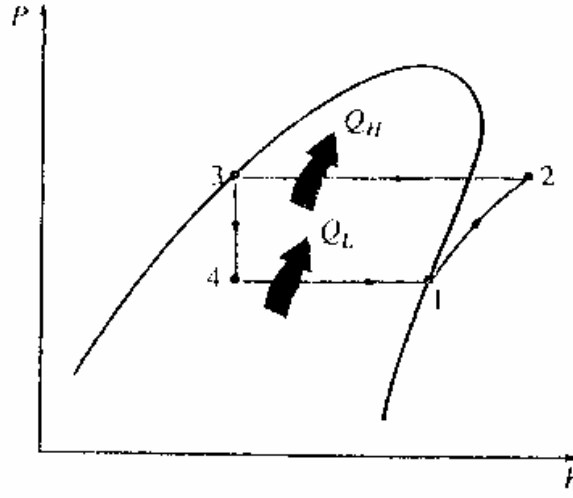
- 1-2 Kompresörde izantropik sıkıştırma
- 2-3 Yoğuşturucuda çevreye sabit basınçta ($P=\text{sabit}$) ısı geçişi
- 3-4 Kısıtma (genişleme ve basıncın düşmesi)
- 4-1 Buharlaştırıcıda akışkana sabit basınçta ($P=\text{sabit}$) ısı geçişi

İdeal buhar sıkıştırılmalı soğutma çevriminde, soğutucu akışkan kompresöre 1 halinde doymuş buhar olarak girer ve izantropik olarak yoğuşturucu basıncına sıkıştırılır. Sıkıştırma işlemi sırasında, soğutucu akışkanın sıcaklığı çevre ortam sıcaklığının üzerine çıkar. Soğutucu akışkan daha sonra 2 halinde kızgın buhar olarak yoğuşturucuya girer ve yoğuşturucudan 3 halinde doymuş sıvı olarak ayrılır. Yoğuşma sırasında akışkandan çevreye ısı geçişi olur. Soğutucu akışkanın sıcaklığı 3 halinde de çevre sıcaklığının üzerindedir.

Doymuş sıvı halindeki akışkan daha sonra bir genişleme vanası veya kılcal borulardan geçirilerek buharlaştırıcı basıncına kısılr. Bu hal değişimi sırasında soğutucu akışkanın sıcaklığı, soğutulan ortamın sıcaklığının altına düşer. Soğutucu akışkan buharlaştırıcıya 4 halinde, kuruluk derecesi düşük bir doymuş sıvı buhar karışımı olarak girer ve soğutulan ortamdaki ısı alarak tümüyle buharlaşır. Soğutucu akışkan buharlaştırıcıdan doymuş buhar halinde çıkar ve kompresöre girerek çevrimi tamamlar.

Bir ev buzdolabında, soğutucu akışkandan ısı çekilen buzluk, buharlaştırıcı işlevi görür.

Buzdolabının arkasında görülen borular, soğutucu akışkandan mutfak ortamına ısı geçişinin olduğu yoğuşturucudur (Çengel 1996).



Şekil 3.3 Carnot Çevrimini In P-h Diyagramında Gösterimi

4. ISI KAYNAKLARININ İNCELENMESİ

Kaynak sıcaklığının direkt kullanılmadığı yerlerde devreye ısı pompası girer. Isı pompasının maksimum verimde çalışabilmesi, ısının çekildiği ve atıldığı kaynakların aynı sıcaklıkta olması ile mümkündür. Isı kaynağını seçerken aşağıdaki faktörler göz önüne alınmalıdır.

- 1- Coğrafi durum
- 2- İklim şartları
- 3- İlk maliyet
- 4- Uygunluk

Bu sayılan unsurların yanında, ısı kaynağı sıcaklığının büyük değişimler göstermemesi de istenen önemli faktörler arasında sayılabilir. Isı pompalarında başlıca dört kaynaktan yararlanılabilir. Bunlar,

- 1- Hava
- 2- Su
- 3- Toprak
- 4- Güneş Enerjisidir.

Isı kaynağı olarak kullanılan suyu, yer altı ve yerüstü olarak iki başlık altında toplamak da mümkün hatta daha isabetlidir. Bunun yanında atık ısıların ve lağım sularının da ısı kaynağı olarak kullanılabilmesi mümkündür. Yukarıda sıralanan ilk üç ısı kaynağı tek başlarına kullanılabilir ancak güneş enerjisi genellikle yardımcı kaynak olarak kullanılmaktadır. Isı pompası tasarımında karşımıza çıkan en önemli problem, kullanılacak kaynaklar ile ilgili verilerin elde edilebilmesidir (Hancıoğlu 2000).

4.1 Hava

Isı pompaları için hava universal bir kaynaktır. Hava kaynaklı ısı pompalarının mevsimsel performansları, su kaynaklı ısı pompalarına göre %10-30 civarında düşük olsa da, bol ve ucuz bir ısı kaynağı ve sürekli bulunması en büyük avantajıdır. Kullanılan ekipmanların makul boyutlarda olması ve nispeten düşük işletme ve tesis maliyetleri sayılabilecek diğer avantajlarıdır. Bunların yanında hava kaynaklı ısı pompalarının iki büyük dezavantajı da vardır. Bunlar;

- Sıcaklık değişimi ve
- Buzlanma problemleridir.

Isı ihtiyacımızın yüksek olduğu anlarda kaynak sıcaklığının düşük olması, ısı pompasının ısıtma kapasitesinin düşmesine neden olur. Bu durumda arta kalan ısı ihtiyacı genellikle ek bir ısıtma kaynağı tarafından karşılanır. Bu bağlamda ısı kaynağı sıcaklığının bu şekilde değişken olması projelendirmeyi ve ekipman seçimini zorlaştırmaktadır (Bose , 1985). Kaynak sıcaklığı ile soğutucu akışkan arasında 10°C civarındaki sıcaklık farkı, hava kaynaklı ısı pompaları için geçişine olanak verir. Dolayısıyla buharlaştırıcı aynı kaynaktan ısı çeken diğer ısı değiştirgeçlere göre daha düşük sıcaklıkta çalışır. Buharlaştırıcı yüzey sıcaklığı 0°C 'nin altına düştüğünde, atmosferde bulunan su buharı buharlaştırıcı yüzeyleri üzerine yoğunlaşarak buzlanmaya sebep olur. Bu buz kütesinin buharlaştırıcı yüzeyinde birikmesi ile ısı geçişi engellenir. Sonuç olarak ısı pompasının ısıtma tesir katsayısı ve kapasitesi düşer. Buzun $9,8 - 14,6 \text{ kg/m}^2$ buharlaştırıcı yüzeyi mertebesine kadar ısı geçişini arttırıcı yönde rol oynadığı bilinmektedir. (ASHRAE, 1984). Ancak buzun daha fazla birikmesini önlemek için, periyodik olarak buzun buharlaştırıcı yüzeyinden çözülmesi gerekmektedir. Buna pratikte defrost yapma denir ki bu olay belli aralıklarla sıcak gaz geçirmesiyle veya elektrikli yapılır. Hava kaynaklı ısı pompalarında bir diğer problem ise ısı geçişinin düşük olmasıdır. Isı geçişini arttırmanın en pratik yolu fanlar vasıtası ile havayı cebri olarak buharlaştırıcı geçirmektir (Hancıoğlu 2000).

4.2 Su

Isı kaynağı olarak suyun kullanılması kuyulardan, göllerden, nehirlerden, şehir şebekesinden ve üretim işlerinden elde edilen su aracılığı ile olur. Daha genel olarak yer altı ve yerüstü suyu olarak ikiye ayırabiliriz (Hancıoğlu 2000).

4.2.1 Yeraltı Suyu

Kuyu suyu 45-150 metre derinliklerinde kuzey ülkelerinde 10°C , güney ülkelerinde ise 16°C civarında elde edilebilir. 10 metre ve daha fazla derinliklerde yeraltı suyunun sıcaklığının yıl boyunca çok az değişmesi önemli bir avantajdır. Kuyu suyundan yararlanıldığında, sıcaklığı düşmüş olarak, buharlaştırıcıyı terk eden suyun kaynak sıcaklığını düşürmemesi için, genellikle bir daha kullanılmamak üzere bir başka yere atılması gerekmektedir. Ayrıca sondaj ve bakım maliyetinin yüksek olması kullanımı zorlaştırmaktadır.

Yeraltı suyu yeterli miktar ve kalitede ve de uygun derinlikte bulunduğu takdirde, bu ısı kaynağı sıcaklık durumundan ötürü ısı pompaları için uygun olarak gösterilebilir (Hancıoğlu 2000).

4.2.2 Yerüstü Suyu

Su kaynağı olarak göller, nehirler gibi yerüstü sularından yararlanıldığında ise sıcaklık, kuyu sularına göre daha fazla değişmekle beraber, hava kadar değişmemektedir. Ülkemizde yerüstü sularının genellikle 0 °C'nin altına düşmemesi iyi bir avantajdır. Ayrıca denizlerde 25-50 m derinlikte sıcaklık 8 °C civarında uygun bir sıcaklığa sahiptir. (ASHRAE, 1984)

Yerüstü suyundan yararlanma çoğu durumda problemlidir. Zarar verici maddelerle buharlaştırıcıda ısı geçiş katsayılarının kötüleşmesine neden olunur. Bu yüzden boru demetli ısı değiştiricileri kullanılmaz. Ayrıca buharlaştırıcı kısa zaman aralıklarında temizlenmelidir (Hancıoğlu, 2000).

4.3 Toprak

Toprağın 1-2 metre derinliğinde yıl boyunca sıcaklık değişiminin az olması, toprağın ısı kaynağı olarak kullanılabilmesi için iyi bir özelliktir. Isı, bir yıl boyunca güneşin yeryüzüne ısıdığı ve toprağın depoladığı güneş enerjisinden kaynaklanmaktadır. Güneş, yazın öğle vaktinde 1000 W/m², kışın 50-200 W/m² ışınlar.

Buna rağmen ısı kaynağı olarak toprağın kullanılması diğer sistemlere göre daha pahalıdır. Isı değiştirgeci olarak toprak, toprak altına gömülen borulardan soğutucu akışkan veya daha ucuz olması bakımından, genellikle su ve salamura geçirilerek kullanılır. Bu ısı geçişini sağlayan yüzeyler toprak altına yatay veya düşey olarak iki şekilde yerleştirilir. Toprak ısı değiştirgecinin tasarımı sırasında, toprağın bileşimi, yoğunluğu, içerdiği nem miktarı ve gömme derinliği ısı değiştirgecinin seçimini ve boyutlandırılmasını etkiler. Toprağın önemli bir dezavantajı da toprak özelliklerinin zamana bağlı olarak değişmesidir. Isıtma mevsiminde toprak ısı değiştirgecine yakın yerlerde toprak sıcaklığı düşer. Özellikle soğuk yörelerde, ısıtma yapıldığı süre içinde toprağa yeteri kadar ısı geçişi olmasa; kış aylarında topraktan çekilen sürekli ısı nedeni ile toprağın donması söz konusudur. Toprak sıcaklığının düşmesinin doğurduğu bir diğer sonuç, nem miktarının ve toprağın özelliğini değişmesidir. Bütün bunların sonucu olarak ısı pompası geri dönüş suyu sıcaklığı düşer ve bu sebepten dolayı ısı pompasının kapasitesi yani ısıtma tesir katsayısı düşer.

Yukarıda sayılan bazı dezavantajlarına rağmen yine de toprak, sıcaklık sabiti, sıcaklık durumu, yerel ve zamansal varlığı ve de depolama imkanı açısından çok elverişli bir ısı kaynağıdır (Hancıoğlu 2000).

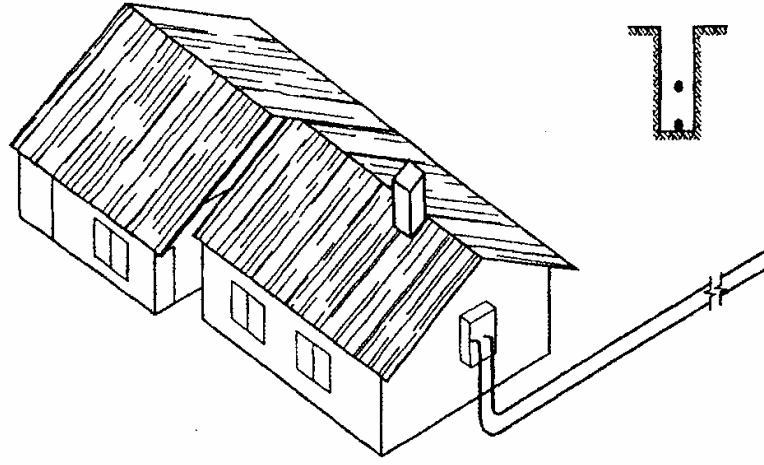
4.4 Güneş

Isıtma tesir katsayısının artması bakımından güneş enerjisinin çok yüksek sıcaklıklara çıkabilmesi iyi bir avantajdır. Kaynak olarak güneş enerjisinden yararlanıldığında iki temel sistem söz konusudur. Bunlar direkt ve indirekt sistemlerdir. Direkt sistemlerde buharlaştırıcılar doğrudan güneş kolektörüne yerleştirilir. Endirekt sistemlerde ise kolektörden su veya su buharı geçirilerek kaynak olarak bunlardan yararlanılır.

Güneş enerjisinin en büyük dezavantajı ısının depolanmasının zor ve pahalı olmasıdır. Özellikle ısı ihtiyacının fazla olduğu kış günlerinde güneş enerjisinin zayıflığı, ek bir ısıtma tesisine ihtiyaç duyulmasına yol açar. Bu da zaten pahalı olan sistemin maliyetinin daha da artmasına sebep olur (Hancıoğlu 2000).

5. TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI TESİSLERİ

Toprak kaynaklı ısı pompası toprağı ısı kaynağı veya ısı çukuru olarak kullanan bir ısı pompası sistemidir. Toprak kaynaklı bir ısı pompası toprakla, toprak ısı değıştiricisi yardımıyla ilişkilendirilmiştir. Yatay ve dikey yerleşim olmak üzere temelde iki tip uygulaması vardır. Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de bu iki temel düzen görölmektedir. Toprak ısı değıştiricisi doğrudan genişmeli veya ikincil akışkanlı olabilir. Doğrudan genişmeli tipte toprak ısı değıştiricisi ara bir ısı değıştiricisi olmadan doğrudan buharlaştırıcı veya yoğuşturucu olarak kullanılır. İkincil akışkanı tipte ise, ısı pompası ile toprak arasındaki ısı transferi ikincil bir devre ve ikincil bir akışkan (su veya antifrizli su çözeltisi) ile sağlanır.



Şekil 5.1 Yatay toprak ısı değıştiricili sistem

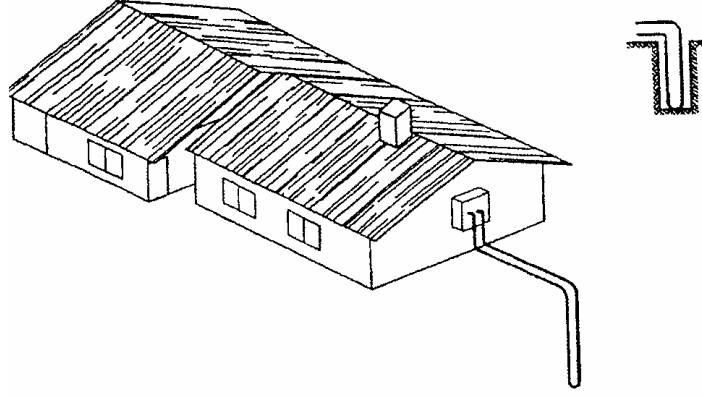
Büyük ısıl kapasitesi ve kararlı işletme koşulları toprağı ısı kaynağı veya çukuru olarak kullanmayı cazip hale getirir. Yaklaşık 2 m derinlikteki toprak sıcaklığı o bölgedeki yıllık ortalama hava sıcaklığı kadardır ve çok az değışim gösterir. Bu, havayla karşılaştırıldığında, ısıtma için yüksek sıcaklıkta ve kararlı bir kaynak sıcaklığı ve soğutma için düşük ve kararlı bir çukur sıcaklığı sunar. Bu nedenle toprak kaynaklı ısı pompaları hava kaynaklı ısı pompalarıyla karşılaştırıldığında daha az enerji tükettiğı gözlenir.

Aynı iklim şartlarında toprak kaynaklı ısı pompaları hava kaynaklı ısı pompalarına göre daha yüksek etkinlik değışerine sahiptirler. (Piechowski ve Charters, 1995). Bunun nedeni daha uygun sıcaklık aralıklarında çalışmalarıdır.

Toprağı ısı kaynağı olarak kullanan ısı pompası için ilk patent başvurusu 1912’de İsviçre’de Heinrich Zoeley (Wirth, 1995) tarafından yapılmıştır. Bu tarih toprak kaynaklı ısı pompasının resmi doğuş tarihi gibi olmasına rağmen gerçekte fikir daha eskilere dayanmaktadır.

(Prestwich, 1886; Everet, 1860, 1862, 1873; Thomson 1860).

Toprak kaynaklı ısı pompası üzerine yapılan mevcut çalışmalar daha çok ilk yatırım maliyetini azaltmaya yöneliktir. Bu da toprak ısı değiştiricisinin detaylı ve doğru incelenmesi ve tasarımı ile mümkündür. Ayrıca yeni malzemeler ve yeni kurulum yöntemlerinin de geliştirilmesi toprak ısı değiştiricilerinin gelişmesine yardımcı olacaktır (Demir 2006).



Şekil 5.2 Düşey toprak ısı değiştiricili sistem

5.1 Toprak Kaynaklı Isı Pompası ile İlgili Temel Kavramlar

Güneş bizim en büyük enerji kaynağımızdır. Kullandığımız tüm enerji kaynakları güneş enerjisinden türemektedir. Ancak, kararsız yapısı nedeniyle doğrudan depolanması ve kullanılması pahalı ve güç bir yöntemdir. Büyük bir kütleyle sahip olan jeokütle, yeryüzüne ulaşan güneş enerjisinin hemen hemen yarısını yutarak bünyesinde barındırır. Dolayısıyla yeryüzü, güneş enerjisini depolayarak soğutma sezonunda dış havadan daha düşük sıcaklıklara, ısıtma sezonunda ise dış havadan daha yüksek sıcaklıklara sahip bir enerji kaynağı olarak karşımıza çıkar. Güneş ışınlarının yeryüzüne çarpmasıyla jeokütlede depolanan ısı enerjisini yaşam alanlarına aktarmak amacıyla, toprak kaynaklı ısı pompaları tasarlanmıştır. Toprak kaynaklı ısı pompasının diğer ısı pompası sistemlerinden farkı, toprak kaynaklı sistemlerde, ısı taşıyan akışkan ile jeokütlenin bir toprak ısı değiştiricisi kullanılarak birleştirilmesidir. Yalnız, doğrudan genleşmeli sistemlerde ısı taşıyan akışkan jeokütle ile doğrudan temas etmektedir. Toprak ısı değiştiricileri, jeokütle içine yatay veya düşey olarak yerleştirilebilirler. Yatay ısı değiştiriciler genellikle 1-3 m, düşey ısı değiştiricileri ise 20-100 m derinliğe yerleştirilirler.

Isı kaynağı olarak toprağın kullanılması hava ve su kaynaklı sistemlere göre daha pahalıdır.

Toprağın altına gömülen borulardan oluşan sisteme toprak ısı değiştiricisi denir. Bu borular yardımıyla, toprağın ısısı ısı taşıyıcı akışkana veya çevrimin atık ısısı, ısı taşıyıcı akışkandan toprağa aktarılır. Toprak altına gömülen borularda ısı taşıyıcı akışkan olarak, su ve antifriz karışımı veya doğrudan genleşmeli sistemlerde soğutucu akışkanın kendisi dolaşır. Toprağın içine gömülü borularda doğrudan soğutucu akışkan kullanmak soğutucu akışkan ihtiyacının artmasına sebep olur. Buna bağlı olarak soğutucu akışkanın pahalı olması nedeniyle, genellikle ısı taşıyıcı akışkan olarak boru içerisinde su ve antifriz karışımı dolaşır.

Toprağın bileşimi, yoğunluğu, içerdęi nem miktarı ve gömme derinliği toprak ısı değiştiricisinin seçimini ve boyutlandırılmasını etkiler. Toprak özelliklerinin zamana bağlı olarak değişmesi ve ayrıca ısı pompası sisteminin çalışması sırasında boruların etrafında belirli bir bölgede ısı alışverişinden dolayı toprak özelliklerinin değişmesi, tasarım aşamasında ilgili hesaplamaların yapılmasını güçleştirir. Isı pompası ısıtma sezonunda kullanıldığında, toprak ısı değiştiricisine yakın bölgelerde toprağın ısısı suya aktarıldığından toprak sıcaklığı düşer. Dolayısıyla bu bölgede nem miktarı ve toprak özellikleri değişir. Isı taşıyıcı akışkanın buharlaştırıcıya giriş sıcaklığı da aynı sebepten ötürü düşer. Bu nedenle ısı pompası kapasitesi ve ısıtma tesir katsayısı da doğrudan etkilenir. Soğuk bölgelerde, ısıtma yapıldığı süre içerisinde toprağa yeteri kadar ısı girişi olmazsa, kış aylarında topraktan sürekli çekilen ısı nedeniyle, toprağın donma tehlikesi mevcuttur.

Ancak ısı kaynağı olarak toprak, havaya göre daha uygun sıcaklıklara sahiptir ve sıcaklık değişimi daha karardır. Ayrıca, salamura-soğutucu akışkan ısı değiştiricilerinin hava-soğutucu akışkan ısı değiştiricilerine göre daha düşük sıcaklık farkında çalışması toprak kaynaklı sistemlerin bir diğer avantajlı yanıdır.

Toprak kaynaklı ısı pompası toprak ısı değiştiricisinin uygun derinliğe gömülmesi belirli miktarda hafriyat veya delme gideri gerektirerek ilk yatırım maliyetinin artmasına sebep olur. Bunun yanı sıra kullanılması halinde yatay toprak ısı değiştiricisinin belirli bir bahçe alanı gerektirmesi toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin kullanımını kısıtlayan bir diğer etkindir (Demir, 2006).

5.2 Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Çalışma Şekli ve Elemanları

Toprak kaynaklı ısı pompaları konutlarda ısıtma, soğutma ve nem kontrolü sağlar. Ayrıca ilave ısıtma sağlayarak veya alışıl gelmiş sıcak su üreticilerinin yerine geçerek sıcak su temininde de kullanılabilir. Toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinde üç ana kısım veya alt

sistem bulunmaktadır. Bunlar:

- Toprak ısı değiştiricileri: Isı taşıyıcı akışkan ile jeokütlenin temasını sağlayarak ısı alışverişine imkan sağlayan boru düzenleri,
- Isı pompası: Jeokütleden alınan ısıyı binaya aktaran sistem,
- Isı dağıtım sistemi: Bina içindeki mahalleri ısıtmak veya soğutmak için kullanılan sistem.

Ayrıca, bu sistemlerde binanın sıcak su ihtiyacını desteklemek amacıyla kızgın buhar soğutucusu veya sıcak su ihtiyacının tümünü karşılamak üzere sıcak su ihtiyacının tümünü karşılamak üzere sıcak su üreticisi bulunur. Isıtma sezonunda ısı, toprak kaynaklı ısı pompası yardımıyla toprak ısı değiştiricisinde dolaşan akışkandan çekilir ve hava kanallı sistemlerle veya sıcak sulu sistemlerle binaya dağıtılır. Soğutma sezonunda ise ısı, soğutulacak ortamdan çekilerek toprak kaynaklı ısı pompası yardımıyla toprak ısı değiştiricisine oradan da jeokütleyle aktarılır (Demir, 2006).

5.2.1 Toprak Isı Değiştiricisi

Toprak ısı değiştiricileri, gömülerek jeokütle ile teması sağlayan boru düzenleridir. Isıtma sezonunda, jeokütlenin enerjisini ısı taşıyıcı akışkan yardımıyla ısı pompasının buharlaştırıcısına aktararak soğutucu akışkanın buharlaşmasını sağlarken soğutma sezonunda da ısı pompasının yaşam alanlarından çektiği ısıyı ısı pompasının yoğuşturucusundan alıp jeokütleyle atarak çevrimini tamamlar.

Toprak ısı değiştiricileri kapalı çevrim esasına göre çalışır. Toprak ısı değiştiricilerinde ısı taşıyıcı akışkanın yenilenmesine gerek yoktur. Dolayısıyla bu sistemlerde kullanılan ısı taşıyıcı akışkan miktarı değişmez. Aynı akışkan ısı pompasında kullanıldıktan sonra, tekrar ısıtılmak veya tekrar soğutulmak üzere toprak ısı değiştiricisinde dolaştırılır.

Boru düzenleri düşey veya yatay olabildiği gibi spiral, helisel, ve benzeri geometrilerde de olabilir. Bu geometrileri belirlerken boruların birbirleriyle olan ısıl etkileşimleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Toprak kaynaklı ısı değiştiricilerinde toprağa gömülen borular polietilen malzemeden yapılmaktadır ve genellikle içlerinden su ve antifriz karışımı dolaştırılmaktadır. Yalnızca doğrudan genleşmeli sistemlerde su ve antifriz karışımları yerine ısı pompasının soğutucu akışkanı dolaştırılır. Bu durumda salamurayı dolaştırmak için ilave pompa ve ısı değiştiricisi ihtiyacı ortadan kalkar. Bu sistemlerde bakırdan yapılmış boru düzenleri kullanılır ve ara ısı

değiştiricisi olmadığı için bu sistemler daha verimlidir.

Toprak ısı değiştiricileri, içerisindeki ısı taşıyıcı akışkanın akış şekline göre seri veya paralel olarak tasarlanabilirler. Sistemin seri veya paralel olarak seçilmesi, sistem etkinliğini, pompalama ihtiyacını ve maliyetini etkiler. Seri tipte tek bir akış yolu mevcuttur. Paralel ise birkaç akış yolu mevcuttur. Her iki akış türünün de avantaj ve dezavantajları mevcuttur.

Seri sistemin avantajlarını tek bir akış yolu bulunmasından dolayı tek tip ve boyutta boru kullanılabilmesi, sistemden hava almanın paralel sistemden daha kolay olması, boru çapının daha büyük olması nedeniyle birim boydaki borunun ısıl etkinliğinin daha iyi olması şeklinde sıralayabiliriz.

Seri sistemin dezavantajları ise; boru çaplarının daha büyük olması nedeniyle sistem içerisinde daha fazla ısı taşıyıcı akışkan dolaştırılması ve dolayısıyla daha fazla antifriz gerektirmesi, boru ve işçilik maliyetinin daha fazla olması, akışkan basınç kaybının boru çapına ve boyuna bağlı olarak artması nedeniyle pompalama giderlerinin artması ve bundan dolayı toprak ısı değiştiricisinin boru boyunun sınırlı olmasıdır.

Paralel sistemin avantajlarını kullanılan boru çapının daha küçük olması nedeniyle boru maliyetinin daha az olması, dolaştırılan ısı taşıyıcı akışkan miktarının ve gerekli antifriz miktarının daha az olması, basınç kayıplarının daha az olması ve buna bağlı olarak pompalama giderlerinin ve dolayısıyla işletme maliyetinin daha az olması şeklinde sıralayabiliriz (Demir, 2006).

5.2.1.1 Toprak Isı Değiştiricisi Türleri

Toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinde kullanılan ısı değiştiricileri üç ana grup altında toplanır.

- Kapalı çevrimli toprak ısı değiştiricileri,
- Açık çevrimli toprak ısı değiştiricileri,
- Doğrudan genleşmeli toprak ısı değiştiricileri.

Kullanılan toprak ısı değiştiricileri ısı pompası sisteminin etkinliğini, işletme giderlerini ve ilk yatırım maliyetini etkiler. En verimli toprak ısı değiştiricisi türünün seçiminde coğrafi özelliklerin, arsa alanının ve sistem ekonomikliğin göz önünde bulundurulması gerekir (Demir 2006).

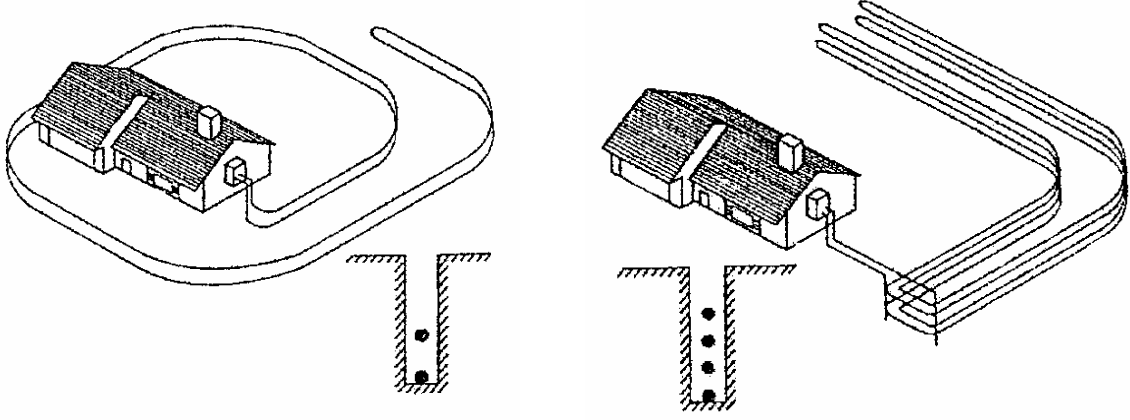
5.2.1.1.1 Kapalı Çevrimli Sistemler

Kapalı çevrimli sistemler yeraltına gömülü bir boru şebekesinden oluşur ve bu şebekeyi oluşturan yüksek güçlü plastik borular ısı değiştiricisi vazifesi görürler. Boru şebekesi ısı taşıyıcı akışkanla doldurulur ve genellikle ısı taşıyıcı akışkan olarak su veya su-antifriz karışımı kullanılır. Kapalı çevrimli sistemlerde, ısı taşıyıcı akışkanın borular içerisinde dolaşımını sağlamak üzere, bir pompa bulunur.

Tüm sistem göz önüne alındığında toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri soğutucu akışkan ile yaşam alanı arasında, ısı taşıyıcı akışkan il soğutucu akışkan arasında ve ısı taşıyıcı akışkan ile jeokütle arasında toplam üç adet çevrim gerçekleştirirler. Soğutucu akışkan çevrimi ile ısı taşıyıcı akışkan arasındaki enerji alışverişi bir ısı değiştiricisi vasıtasıyla sağlanır. Bu ısı değiştiricisi, toprak ısı değiştiricisi ile ısı pompası sisteminin ortak bir elemanıdır ve soğutma sezonunda soğutucu akışkanın yoğuşmasını sağlarken ısıtma sezonunda buharlaşmasını sağlar. Yazın soğutma ihtiyaçları nedeniyle toprak ısı değiştiricisindeki akışkanın sıcaklığı artar ve soğutucu akışkandan aldığı bu ısıyı daha düşük sıcaklıktaki toprağa verir ve çevrimini tamamlar. Kışın ise ısıtma ihtiyaçları nedeniyle sıcaklığı düşen ısı taşıyıcı akışkan kaybettiği enerjisini kendinden daha yüksek sıcaklıkta olan topraktan alarak çevrimini tamamlar. Kapalı çevrimli sistemlerde toprak ısı değiştiricilerinin yatay, spiral, düşey ve yüzey suyuna daldırılmış değişik kurulumları vardır.

Yatay toprak ısı değiştiricileri genellikle arsa alanının uygun olması durumunda kullanılır. Yatay sistemler tek bir hendek veya birbirine yakın hendekler içerisine bir veya birden fazla borunun yerleştirilmesiyle oluşur. Bu ısı değiştiricilerinin etkinlik derecesi borular arasındaki mesafeye bağlıdır.

Yatay toprak ısı değiştiricileri ısı taşıyıcı akışkanın akış tipine göre seri veya paralel olarak sınıflandırılabilirler. Bununla beraber toplam hendek uzunluğunu kısaltmak amacıyla tek bir hendek içerisine birkaç boru yerleştirilebilir. Borular, yüzey şartlarından en az etkilenmeleri amacıyla genelde 1.2-3.0 m derinlikte döşenirler.



Şekil 5.3 Paralel ve seri akışlı yatay toprak ısı değiştiricileri

Çok borulu yatay ısı toprak değiştiricilerinin bir diğer çeşidi de spiral toprak ısı değiştiricileridir. Spiral toprak ısı değiştiricileri yatay dizilişe sahip, hendeklerin içine yerleştirilmiş sarmal yapıda borulardan oluşmaktadır. Spiral toprak ısı değiştiricilerin bir başka kurulum şekli de, dar düşey hendeklerin içerisine dik olarak sarmal boruların yerleştirilmesi ile elde edilir.

Düşey toprak ısı değiştiricileri genellikle arsa alanının kısıtlı olduğu durumlarda kullanılır. Kuyuların derinlikleri 22.9-91.4 m arasındadır. Kapalı çevrimli toprak ısı değiştiricisindeki borular düşey kuyunun içerisinden geçirilirler. Toprak ısı değiştiricili ısı pompası sistemlerinin tasarımında ısı değiştiricisinin döşenmesi gereken alanın azaltılmasının bir amaç olduğu düşünülürse, düşey toprak ısı değiştiricili ısı pompası sistemlerinin diğer sistemlere üstünlüğü ortaya çıkar.

Genellikle çoklu kuyu sistemlerine ihtiyaç duyulur ve kuyular birbirlerinden 3.0-4.9 m aralıklarla yerleştirilir. Toplam ısı ihtiyacını karşılamak için borular seri veya paralel olarak yerleştirilebilir.

Düşey ısı değiştiricilerinin yatay ısı değiştiricilerine göre bazı avantajları vardır. Düşey ısı değiştiricilerinde genellikle boruların büyük bir bölümü toprak altındaki sulu bölgede yani toprağın düşük ısı direnç gösteren bölümündedir ve yer altı sularının hareketleri ısı değiştiricisinin iyilik derecesini yükseltmektedir. Ancak, dönüş ve besleme borularını aynı deliğe yerleştirme zorunluluğu, ısı geçişi bakımından kısa devreye sebebiyet vereceğinden, düşey tiplerin yerleştirilmesinde bu husus göz önünde bulundurulmalıdır. Borular arasındaki ısı geçişi, ısı değiştiricisi iyilik derecesinin düşmesine neden olur ve bu etki delik boyuyla birlikte artar.

Diğer yandan yatay ısı değiştiricisinin etkinlik derecesi ısıtma ve soğutma mevsimleri boyunca yağmur, kar ve diğer yuzyey olayları sebebiyle, ısı değiştiricisinin yuzyeye yakınlığı ile orantılı olarak etkilenir.

Eğer ortalama boyutlarda göl veya gölet mevcutsa toprak ısı değiştiricisi su kaynaklarına daldırılarak tesis edilebilir. Bu tip sistemlerde, hava şartlarına bağlı olarak, ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarını karşılamak için uygun olan ve derinliğe ihtiyaç duyulur (Demir 2006).

5.2.1.1.2 Açık Çevrimli Sistemler

Açık sistemlerde, kapalı sistemlerdeki ısı taşıyıcı akışkan yerine, ısı kaynağı olarak kullanılan yerüstü veya yer altı suyu doğrudan ısı taşıyıcı akışkan olarak kullanılır. Açık sistemler öncelikle suyun çekildiği ana kuyulardan, ana ve enjeksiyon kuyularından veya yuzyey su sistemlerinden oluşur.

Eğer su kaynağındaki su miktarı kısıtlı ise, ana kuyudan çekilen su ısı pompası ısı değiştiricisinde ısısını aktardıktan sonra, bir daha kullanılmamak üzere atılır. Aksi takdirde, kullanılan su kaynağa geri verilirse, kaynak sıcaklığının düşmesi tehlikesiyle karşı karşıya kalınır. Bazen enjeksiyon kuyuları kullanılarak suyun önemli bir kısmı kaynağa geri verilir ve kullanılmadan dışarı atılan su miktarı azaltılır.

Açık sistemleri tasarlarken birkaç özel faktör göz önünde bulundurulmalıdır. Birinci önemli faktör kullanılan suyun kalitesidir. Açık çevrimli sistemlerde soğutucu akışkan ile yerüstü veya yer altı suyu arasındaki ısı değiştiricisi kirlenme, korozyon veya tıkanma tehlikesi ile karşı karşıyadır. İkinci önemli faktör ısı kaynağı veya kuyusu olarak kullanılan su kütesinin yeterliliğidir. Üçüncü önemli faktör dönüş suyunun ne yapılacağının belirlenmesidir. Dönüş yer altı veya yerüstü suyu enjeksiyon kuyuları ile toprağa geri verilebildiği gibi göl, ırmak gibi yuzyey sistemlerine aktarılabilir. Bu konuda yerel kanunlar veya düzenlemeler açık sistemin fizibilitesini etkileyebilir. Kuyu tasarımına bağlı olarak açık sistemler, tüm toprak kaynaklı ısı değiştiricileri kurulumlarından daha fazla pompalama yüküne ihtiyaç duyar. Bununla birlikte ideal şartlarda, açık çevrim uygulaması toprak ısı değiştiricisi sistemleri içinde en ekonomik olanıdır (Demir 2006).

5.2.1.1.3 Doğrudan Genleşmeli Sistemler

Yukarıda bahsedilen tüm toprak ısı değiştiricisi sistemlerinde toprakla soğutucu akışkan arasında ısı geçişi sağlamak için ikisi arasında bir ısı taşıyıcı akışkanlardan faydalanılır. Soğutucu akışkanla toprak arasındaki ısı geçişi döngüsünde ısı taşıyıcı akışkan kullanılması

ısı pompası sisteminde sıkıştırma oranlarını yükseltir.

Doğrudan genişmeli sistemlerde aradaki ısı taşıyıcı akışkana, ısı taşıyıcı akışkanla soğutucu akışkan arasındaki ısı değiştiricisine ve dolaşım pompasına gerek yoktur. Bakır borular soğutucu akışkan ile toprak arasındaki ısı geçişini doğrudan sağlamak için toprağın altına yerleştirilirler. Sonuç olarak, ısı geçişi özellikleri ve termodinamik performans artar. Borular, derin düşey çukurlara veya geniş yatay çukurlara gömülebilirler. Düşey yerleşimler kumlu, killi veya kuru topraklar için önerilmezler. Toprak ısı değiştiricisi metal olduğu için korozyona sebep olabilir. Kışın ısıtma amaçlı kullanımda düşük toprak ısı değiştiricisi sıcaklığı nedeniyle topraktaki nem donabilir. Biriken buzun genişmesi borulara basınç uygulayarak bükülmesine sebep olabilir. Bu nedenle toprak ısı değiştiricileri donma potansiyeli olan yer altı su tabakalarına yakın bölgelere yerleştirilmemelidir. Yazın soğutma amaçlı kullanımda, yüksek toprak ısı değiştiricisi sıcaklığı topraktaki nemin buharlaşmasına sebep olabilir. Buna bağlı olarak nem miktarının değişmesi toprağın ısı geçişi özelliklerini değiştirir. Toprakla doğrudan genişmeli sistem arasında çok aşırı sıcaklık farkı mevcut olduğundan bu durumlar tasarım aşamasında göz önüne alınmalıdır (Demir 2006).

5.3 Toprak Kaynaklı Isı Pompası Avantaj ve Dezavantajları

Toprak kaynaklı sistemin diğer ısı pompası sistemlerine avantajları ve dezavantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Hepbaşlı, 1999).

5.3.1 Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Yararları

a)Yüksek Etkinlik ve Kararlı Kapasite

Toprak kaynaklı ısı pompaları uygun şekilde tasarlandığı zaman, çevrimlerdeki sıvı sıcaklığı, ekipmanın; alışlagelmiş hava kaynaklı ısı pompaları ve fosil yakıtlı düzeneklerden daha fazla yüksek bir etki katsayısıyla ve ekonomik olarak işletilmesini sağlar. Soğuk su, sıcak hava yerine ekipmanın kondenserine beslenir, böylece kompresör daha düşük güç ihtiyacı gerektirerek, düşük soğutucu akışkan basınç farklarında işletilir. Isıtma modunda, dış havadan daha fazla sıcak olan sıvılar, evaporatördeki (buharlaştırıcıdaki) soğutucu akışkana ısı verirler. Bu ise; daha yüksek kapasite ve hava sıcaklığı sağlar. Çevrim sıcaklıkları, dış hava sıcaklıklarıyla çok az değişir. Bu yüzden kapasitesi kararlıdır. TKIP'ları, aynı zamanda, daha büyük yapılarda yaygın olarak kullanılan merkezi ve değişken-hava debili sistemlere kıyasla, çok daha küçük fan ve pompa enerjisi gerekli kılar.

b) Konfor ve Hava Kalitesi

TKIP'ları, gizli soğutma kapasitesini içermeden, yüksek etki katsayısı sağlarlar. "Yüksek etki katsayısının, kompresörün basma basıncının emme basıncına oranının azaltılmasıyla elde edildiğini" tekrar hatırlatmakta büyük yarar vardır. Dış hava sıcaklığı, basma basıncının daha düşük limitini gösterdiği için, bazı imalatçılar etkinliği yükseltmek için emme basıncını arttırlar. Bu; konfor ve iç hava kalitesi sorunlarını bir bütün haline getiren, zayıf nem almaya yol açar. Bu sorunlar, özellikle, yüksek dış hava gerektiren halk ve ofis binalarında artış gösterir. TKIP'larında sık sık, birçok uygulamada belirgin olan ayrı nem alma veya gizli ısı geri kazanım ekipmanı olmadan, nemlendirme sorunlarıyla etkin bir şekilde uğraşılır. TKIP'ları ayrı zamanda, ısıtma modunda sıcak, konforlu hava verir.

c) Basit Kontroller ve Ekipman

Karmaşık kontroller, konforu ve kısmi yükteki etkinliği sağlamak için gerekli değildir. TKIP'sı sistemin giderini düşürmek için, pahalı ve özel cihazların kullanılmaması önerilir. Her zonda, optimum konforu sağlamak için yerel olarak kontrol edilebilen ayrı bir ısı pompası vardır. Hava debisi, sabit hacimde olup, merkezi kontrol sadece su pompasındaki isteğe bağlı değişken hızlı sürücüdür. Günümüzde, gider açısından en etkin ve verimli ekipman, yüksek verimli kompresörleri, alışıl gelmiş havalı serpantinleri, düşük sıcaklık yaklaşımı olan sulu serpantinleri, termostatik genişleme valfleri ve yüksek verimli fanları/motorları olan su/hava ısı pompalarıdır.

d) Düşük Basınç Giderleri

TKIP'ları, dış ünite olmadan kurulabilirler. Böylece, korozyon ve hava etkisiyle oluşan değişiklikler, olağan sorunlar değildir. Tüm ısı pompası ekipmanı, iç ünite şeklindedir. Ekipman, alışıl gelmiş ekipmanla ortaya çıkan yüksek veya düşük soğutucu akışkan basınçlarıyla asla karşı karşıya kalınmaz. Çoğu sistemde, yüksek bakımlı soğutma kulelerinden kaçınılabilir.

e) Hiçbir İlave Isıtma İhtiyacı Gerektirmemesi

TKIPlarının kapasitesi her zaman, ticari ve kuruluşa ait yapılarda zon ısıtma ihtiyacını aşar. Isıtma modu, dönüşüm vanasıyla (termostatla) kolayca gerçekleştirilebilir. Isıtma etkinliği ve ekonomisi, alışıl gelmiş ekipmandan üstündür.

f) Düşük Giderli Su Isıtması

Çoğu ticari yapılarda (hatta soğuk iklimlerde) soğutma sistemiyle yutulan iç yüklerden ortaya çıkan atık ısı söz konusudur. Bu atık ısı, su ısıtma ihtiyaçlarını karşılamak için, TKIP'larıyla

kolayca pompalanabilir. Bu; seçilen ısı pompalarındaki ısı geri kazanım serpantinleriyle veya bu amaçla kullanılan su/su ısı pompalarıyla yapılabilir. Gideri çok düşük olan ısıtma yöntemine ilaveten, ısı geri kazanımıyla, toprak ısı değiştiricisi için gerekli olan boyut azaltılabilir. Çünkü; ısının çoğu, kritik soğutma modunda toprak ısı değiştiricisine girmeden önce çekilir.

g) Hiçbir Dış Ünite Ekipmanı Gerektirmemesi

Çoğu TKIP'larında, göze hoş görünmeyen dış ünite gerekli değildir. Böylece, diğer kullanımlar için boş hacim sağlanır ve alışılmamış dış üniteyle oluşabilecek emniyet sorunları ile olası zararlar ortadan kaldırılır. Bu özellikle, okul uygulamalarında büyük önem taşır. Çünkü; çocukların dış üniteye girişini kısıtlamak için özel önlemlerin alınması gereklidir. Servis bakımından iç üniteli ısı pompalarına, genellikle kolayca ulaşılabilir.

h) Paket Şeklinde Soğutucu Ekipman

Su/hava ve su/su ısı pompalarının, kendi içinde bulunan soğutma sistemleri vardır. Bu; soğutucu akışkanın uygun olmayan saha doldurması veya bağlantıları nedeniyle, soğutucu akışkanın sızma ve arıza yapma olasılığını azaltır. Bu paket üniteler, aynı zamanda, alışılmamış ekipmanın soğutucu akışkan ihtiyacının sadece % 20 - % 70' ini gerektirirler.

i) Çevre Dostu

EPA raporuna göre, TKIP'ları; "analiz edilen tüm teknolojilerin en düşük CO₂ emisyonları ve en düşük toplam çevre giderleri" olarak tanıtılmaktadır. İyi tasarlanan ve kurulan TKIP'larının etkinliğinin artması, gerekli olan enerji miktarını azaltır. Böylece, bundan kaynaklanan kirleticiler ve diğer emisyonlar azaltılır.

j) Tasarım Esnekliği

TKIP'ları önemli ölçüde esneklik sağlarlar. Çünkü; değişik boyut ve yerleşim şekillerinde tasarlanabilir. Isı pompaları, çatı arası boşluğa veya küçük mekanik odalara konulabilir. Yapıda oturanların veya zon yükleri değişince, ilave bir ekipman veya daha büyük ısı pompaları eklenebilir.

k) Düşük Talep Karakteristikleri

Yurt dışında, soğutmada ticari yapılarda kullanılan ekipman türlerine göre, kW/ton olarak talep azaltmaları söz konusudur.

1) Mükemmel Ömür Gideri

TKIP'larının ilk yatırımı yüksek olmasına rağmen, bir yapım-kullanım ömrü gider hesabı (life-cycle cost) yapıldığı zaman, TKIP'larını belirgin olarak öncü kılan üç karakteristik ortaya çıkar: (i) Enerji ve talep giderlerinin düşük olması, (ii) Bakım giderinin düşüklüğü ve (iii) Ekipman ömrünün uzatılması

m) İlerleme İçin Çarpıcı Potansiyel

Tasarımcılar ve ekipman imalatçıları, daha çok TKIP'nın performansının yararı üzerinde odaklanmıştır. Oysa, standart ekipman etkinliği, imalat giderlerinde önemli artışlar olmadan çarpıcı bir şekilde iyileştirilebilir. Sıcak su üretimi, soğutma ekipmanı entegrasyonu ve ısı depolama kullanımı, tam olarak araştırılmayan konulardır (Hepbaşlı, 1999).

5.3.2 Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Sakıncaları

a) İlk Yatırım Giderinin Daha Yüksek Olması

Konaklama: Yatırım gideri, daima standart merkezi ekipmanın giderinin iki katıdır.

Ticari : Çatı üstü tek zonlu, sabit hava hacimliden % 20 - % 40 daha yüksektir.

- Multizonlu veya merkezi iki borulu soğutulmuş sulu sistemden % 0 - % 20 daha yüksektir.
- Dört borulu olandan % 0 - % 20 daha düşüktür.

b) Performansın, Toprak Isı Değiştiricisine ve Ekipmana Bağlı Olması

Birçok kişi, sistem "jeotermal" olduğu için, daha iyi olması gerektiğini farz etmektedir. Deneyimi olmayan kişiler ise, gideri yüksek ekipman olarak tanımlıyor ve toprak ısı değiştiricisinin tasarımı ile montaj kalitesi nasıl olursa olsun, yüksek performansta işletilmesini bekliyor. Toprak ısı değiştiricisi giderleri aşırı görüldüğü zaman bilinen başka bir uygulamaya göre, düşük kaliteli ısı pompaları ve adi su dolaşımli sistemler olarak belirtiliyor.

c) Nitelikli (Ehliyetli) Tasarımcıların Sayısının Sınırlı Olması

HVAC tasarımcıları; daralan konstrüksiyon bütçeleri, artan standart istemleri ve giderek çoğalan yasal sorumluluk arasında sıkışmış durumdadır.

d) Nitelikli Mütahhitlerin Sayısının Sınırlı Olması

Uzman toprak ısı değiştiricisi mütahhidi olmak için gerekli olan ekipman ve zamana yapılan yatırım önemlidir.

e) HVAC Ekipmanı Satıcı Karının Az Olması

TKIP'larının satıcılar bakımından çekiciliği düşüktür. Bununla beraber, TKIP'larının basitliği, bu konuda çalışan mühendisi daha fazla bağımsız kılmaktadır. Böylece, ekipman satıcıları için iş başına toplam kar daha az olup, alışıl gelmiş ekipmanı satmak genellikle daha fazla yararlıdır (Hepbaşı 1999).

6. SOĞUTUCU AKIŞKANLAR

Bir ısıtma veya soğutma sistemi tasarlanırken kullanılabilircek birçok aracı akışkan vardır. Bunlar arasında Freonlar veya kloroflorokarbonlar (CFC), amonyak, propan, etan etilen gibi hidrokarbonlar ve karbondioksit sayılabilir.

Soğutucu akışkanlar, toksite ve tutuşurluk özelliklerine göre 3 grupta sınıflanır.

- 1.grup: R11, R22, R12, R502, R500, R503, R744(CO₂); En güvenli soğutuculardır.
- 2.grup: R717 (Amonyak), R40 (Metilklorit), R764 (Sülfirdioksit); Toksik özellikte ve bir şekilde yanıcı.
- 3.grup: R600 (Bütan), R290 (Propan); Yanıcı.

Çizelge 6.1 Ulusal Soğutucu Akışkan Emniyet Kodu

Soğutucu Akışkan	NRSC Grup	Toksosite/NBFU-sınıflandırma
R11	1	6
R12	1	6
R22	1	5
R500	1	6
R502	1	6
R503	1	6
R744	1	5
R717	2	2

Endüstriyel ve ticari kesimlerde, zehirleyici olmasına karşın, amonyak yaygın olarak kullanılmıştır. Amonyakın iyi tarafları arasında, ucuzluğu, daha yüksek etkinlik katsayılarına olanak sağlaması ve bu nedenle işletim giderlerinin az olması, termodinamik ve ısı geçişi özelliklerinin üstünlüğü, buna bağlı olarak daha küçük ve ucuz ısı değiştiricileri gerektirmesi, sızma durumunda kolayca belirlenmesi ve ozon tabakasına zarar vermemesi sayılabilir. Fakat amonyakın zehirleyici olması kullanımını kısıtlayıcı bir unsurdur (Hancıoğlu 2000).

Çizelge 6.2 Soğutucu akışkanların uygulama alanları

Kaynama noktası °C, 1 atm.	Soğutucu Akışkan	Uygulama	
48	R113	Yüksek sıc.	Ticari ve endüstriyel iklimlendirme ve soğutmalar için, düşük kapasiteli santrifüj ünitelerde kullanılır. Çok düşük basınçlarda ve yüksek gaz hacimlerinde çalışırlar.
24	R11		Ticari chiller. (R113'ten daha yüksek sistem basınç ve kapasitede)
4	R114		Düşük sıcaklıklı sistemlerde ikinci soğutucu olarak kullanılır.
-30	R12	Orta sıc.	Bazı ticari chiller, hareketli soğutma, ticari buzdolapları, buz yapıcılar, otomobil iklimlendirme.
-33	R500		Bazı ticari chiller .
-41	R22		Büyük sanayi chillerler, buz makinaları, direkt genişmeli üniteler, ısı pompaları, ev ve ticari tipte soğutma sistemleri.R12'den daha yüksek basınçlarda kullanılır.
-46	R502		Ticari soğutmalar(süpermarket freezer,soğuk oda...). R22'dendaha düşük kompresör emme sıcaklığında çalışır. Daha düşük kompresyon oranı ve emme sıcaklıkları ile daha yüksek kapasite temin eder.
-58	R13B1		Bir veya iki kademeli kompresyon uygulamalarında kullanılır.
-78	R116	Düşük sıc.	Düşük sıcaklık uygulamalarında.
-82	R13		Kaskad soğutma sistemlerinin düşük sıcaklık kademesinde (-73°C gibi) düşük evaporatör sıcaklıklarının üretiminde kullanılır.
-89	R503		Bir azeotoptur. (R23 ve R13). Birinci kademedede R502, R12 ve R22 ile çalışan kaskad sistemin ikinci kademesinde düşük sıcaklık kabiliyetini ve kompresör kapasitesini iyileştirmek üzere kullanılır.
-128	R14		Üçlü cascade sisteminin 3.kademesindeki evaporatör sıcaklığının (-129)'a kadar indirildiği eksyonel kompresörler ile kullanılır.

6.1 Fiziksel özellikler

Çizelge 6.3'te, artan kaynama sıcaklıklarına göre soğutucu akışkanların, fiziksel özellikleri gösterilmiştir (Hepbaşlı,1987).

Çizelge 6.3 Soğutucu akışkanların fiziksel özellikleri

Freone	Kimyasal Formülü	Donma sıcaklığı °C	Kaynama sıcaklığı °C	Kritik sıcaklık °C	Kritik basınç bar
13B1	CBrF ₃	-168	-57,8	67,0	39,8
502	1)	-160	-45,6	82,2	40,8
22	CHClF ₂	-160	-40,8	96,2	49,9
115	C ₂ ClF ₅	-106	-38,0	80,0	31,3
500	2)	-159	-33,5	105,5	44,3
12	CCl ₂ F ₂	-158	-29,8	112,0	41,6
12B1	CBrClF ₂	-161	-3,7	154,6	41,2
114	C ₂ ClF ₄	-94	3,6	145,7	32,6
11	CCl ₃ F	-111	23,8	198,0	44,0
113	C ₂ Cl ₃ F ₃	-35	47,6	214,1	34,1
1) %48,8 CHClF ₂ (Kütlesel		2) %73,8 CCl ₂ F ₂ (Kütlesel)			
%51,2 C ₂ ClF ₅ (Kütlesel)		%26,2 C ₂ H ₄ F ₅ (Kütlesel)			

6.2 Donma Sıcaklığı

Çoğu ısı pompaları düşük basınç aralığında çalıştırılmadığı için, genelde donma sıcaklığı ısı pompalarının projelendirilmesi için bir anlam ifade etmemektedir. Sadece özel kullanımlarda yüksek bir donma sıcaklığı (örneğin R113'de 35 °C) gerekmektedir.

6.3 Kaynama Sıcaklığı ve Kritik Nokta

Buhar basınç eğrilerinin bu her iki noktalarıyla ısı pompaları için çevrim akışkanı şimdiden güvenli bir kullanma sahasında koordine edilebilir. Çünkü tesisin sıcaklık aralığıyla kaynama sıcaklığının (çevre basıncında) üstünde ve kritik sıcaklığın altında kalmak denilebilir.

6.4 Çevresel Etkileri

CFC'lar kimyasal olarak bir hayli kararlı olmalarına karşın, stratosferde kuvvetli radyasyon

etkisi ile kimyasal olarak ayrışmakta ve klorin atomu açığa çıkmaktadır. Bilindiği gibi CFC'ların atmosferik yaşam süreleri oldukça yüksektir. Çünkü bunlar strosfere ulaşıncaya kadar uzun süre bozulmazlar. Açığa çıkan klorin atomu ozon molekülü ile reaksiyona girmekte ve klorin monoksit ve oksijen açığa çıkmaktadır. Klorin monoksit tekrar ayrışarak yeni bir ozon molekülü ile reaksiyona girebilecek klorin atomu açığa çıkmaktadır. Bunun neticesinde strosferdeki ozon tabakası tahrip olmaktadır. CFC'ların ozon tabakasına bu şekilde zarar vererek mor ötesi ışınların geçmesini kolaylaştırdıkları ve kızıl altı ışınların geçmesini engelledikleri belirlenmiştir. Böylece CFC'lerin atmosferin sera etkisine ve yeryüzünün ısınmasına katkıda buldukları anlaşılmıştır (Çengel). 1987 yılında Birleşmiş Milletler tarafından soğutucu akışkanların ozon tabakasına etkisini belirlemek ve bu hususta alınacak önlemleri oluşturmak amacıyla Montreal'de bir toplantı düzenlendi. Bu toplantı neticesinde Bugün Montreal Protokolü olarak adlandırılan belge oluşturuldu. Bugün itibari ile bu gazların ODP (Ozon Tahribat Potansiyeli) ve GWP (Global Isınma Potansiyeli)'leri ve Montreal protokolü ve Kopenhag Revizyonuna göre getirilen sınırlamalar aşağıdaki gibidir (Kalataş,1995).

Çizelge 6.4 Akışkan Türleri Etkilerine Göre Sınıflandırılması

Akışkan	ODP*	GWP**
CFC-11	1.00	1.00
CFC-12	1.00	3.05
HCFC-22	0.05	0.37
HCFC-123	0.05	0.02
HCFC-134a	0.00	0.29

*ODP: Ozone Depletion Potential –İzafi ozon tahribat potansiyeli

**GWP:Global Warming Potential – Global ısınma potansiyeli

6.5 Alternatif Soğutucu Akışkanlar

Günümüzde kullanılan soğutucu akışkanların yerine onların olumsuzluklarını ortadan kaldırmak için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırmalar sonucunda ilk olarak R123 (HCFC 123) elde edilmiştir. Elde edilen bu soğutucu akışkan ticari soğutucularda R11

yerine kullanılmaktadır. Elde edilen bir başka soğutucu akışkan ise; R 124'tür. Bu akışkan ise R12 ve R500'ün yerine kullanılmaktadır.

Termodinamik açıdan bakıldığında soğutma sisteminin elemanlarından hiçbir değişiklik yapılmadan ufak verim kayıpları kabullenerek R12 yerine R134a'nın kullanılabilirliği ortaya çıkmıştır. Özellikle otomotiv endüstrisinde R134a kullanımı yaygınlaştırılmaktadır. Alternatif soğutucu akışkanlardan beklenen özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Zararlı etkileşimin minimum düzeyde olması. Eşdeğer buhar basınçlarına sahip olması. Artan soğutma kapasitesi ve performans katsayısı. Isıl iletkenlik, viskozite, çözünürlük gibi fiziksel özelliklerin iyi olması. Eşdeğer termodinamik özelliklere sahip olması. Yüksek sıcaklıklarda kararlı olması. Zehirli ve kolay tutuşabilir olmaması. Çevresel kabul edebilirlik. Düşük fiyat ve ekonomiklik (Hancıoğlu 2000).

6.5.1 R134a

Soğutma sistemlerinde şu anda en çok kullanılan soğutucu akışkan R12'dir. Bu gazın alternatifi olarak içinde hiç klor atomu bulunmayan R134a gazı üretilmiştir. Atmosfere hiç zararı olmayan bu gazın atmosferik ömrü oldukça kısadır ve soğutucu sistemin dışına çıktığında stratosfere ulaşmadan bozulur. Her iki soğutucunun kritik değerlerinin birbirine çok yakın olması hasebi ile birbirlerinin yerine rahatlıkla kullanılabilirler. R134a gazını tutuşmama özelliği ve zehirsiz olması onu iyi bir soğutucu akışkan yapar. Bunların yanında bazı olumsuz yanları da mevcut olan R134a gazının en önemli dezavantajı hala çok pahalı olmasıdır. Ayrıca kaynama sıcaklığı R12'ye göre biraz daha yüksektir. Dolayısıyla soğutma devresinde -30° C sıcaklıklarına ulaştığında kısmen atmosfer basıncının altında bir basınçta çalışmak zorunda kalabilir. Aynı aralıklarda çalışan bir çevrim için P-h diyagramı üzerinde bu iki soğutucuyu analiz edecek olursak R134a'nın özgül soğutma gücünün R12'ye oranla daha yüksek ve dolayısıyla birim soğutma için gerekli debinin daha az olduğu görülür. Ancak özgül kompresör gücü daha yüksek olduğu için R134a'nın teorik standart verim katsayısı R12'nin %4'ün altında kalmıştır. Bu sonuca göre R134a'lı soğutma sistemlerinin daha düşük verimle çalışacağı açıkça ortaya çıkmaktadır. Ek olarak, R134a'nın özgül hacminin daha büyük olması nedeni ile volümetrik soğutma gücü daha düşük çıkmaktadır. Ek olarak, R134a'nın özgül hacminin daha büyük olması nedeni ile volümetrik soğutma gücü daha düşük çıkmaktadır. Başka bir deyişle, R134a ile yapılacak 1 kW'lık bir soğutma için daha az kütleli debi gerekli iken kompresörün daha fazla hacimde soğutucu emmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, R134a kompresörlerinin strok hacimleri %6 daha fazla olmalıdır. Sıkıştırma oranı

R134a'da daha yüksektir. Bunun sonucunda mekanik kayıpların biraz daha yüksek olması beklenmelidir.

Kompresör çıkışında gaz sıcaklığının R134a'lı sistemlerde R12'ye oranla daha düşük olması bir avantajdır. Sonuç olarak, termodinamik bakımdan soğutma sisteminin elemanlarında herhangi bir değişiklik yapmadan ufak verim kayıpları kabullenerek R12 yerine kullanılabileceği ortaya çıkmaktadır (Güzel, 1997).

6.5.2 R123

Termodinamik özellikleri bakımından R 11'e benzemesine rağmen olumsuz sonuçları mevcuttur. Daha düşük akut zehirlilik seviyesine sahiptir. Ozon tabakasındaki tahrip açısından ve küresel ısınma potansiyelinde bir düşüş sunmaktadır (Hancıoğlu 2000).

6.5.3 Amonyak (NH₃)

Çevresel sorunların ortaya çıkması ve alternatif soğutucu akışkanların aranmaya başlaması, aslında endüstriyel çapta ilk kullanılan ve termodinamik olarak mükemmel özelliklere sahip olan amonyak gazına dikkatleri yeniden çevirmiştir. Amonyak CFC gruplarının dışındaki tek soğutucu akışkandır ve geniş olarak kullanılan ilk soğutucudur (R. King, 1971). 14.696 psia'daki -28 F'deki (-33,3° F) kaynama noktası, birçok soğutma uygulamalarında pozitif evaporatif basınca müsaade etmektedir. 271,4 F (133° C) olan yüksek kritik sıcaklık ve -108 F (-77,7° C) olan düşük donma sıcaklığının olması, amonyağın çok geniş sıcaklık aralığında kullanılmasını mümkün kılmaktadır.

Bunun yanında amonyağın yüksek buharlaşma gizli ısısı – ki bu birim miktar soğutucu için yüksek soğutma etkisi demektir, ısı değiştirgecinde gereken yüzey alanının azaltılmasını sağlayan mükemmel ısı transfer karakteristiğine sahiptir (Hancıoğlu 2000).

7. TOPRAK ISI DEĞİŞTİRİCİSİ TASARIM METODOLOJİSİ

7.1 Temel Kavramlar

Toprak kaynaklı sistemler, kuyu sistemlerinden farklı bir şekilde çalışır. Kuyu sistemlerinde, akiferdeki su, bir ısı kaynağıdır. Toprak kaynaklı sistemlerde, toprak kitlesi kendi kendine, bir ısı kaynağıdır. Boru içindeki sıvı sirkülasyonu ve istenilen ısı akımını almak toprak malzemesi arasındaki farklı sıcaklıktan dolayı, ısı pompası, en düşük 25 °F (-3,9 °C) ve en yüksek 100 °F (37,8 °C) sıcaklıkta sirküle eden sıvı ile çalışmak zorundadır.

Bu toprak kaynaklı uygulamalar için ısı pompası seçildiğinde, ünitenin, bu minimum ve maksimum sıcaklık alanlarında çalışması son derecede önemlidir. Piyasadaki bazı modeller, su giriş sıcaklığı 45 °F (7,2 °C)'tan 85 °F (29,4 °C) veya 60 °F (15,5 °C)'tan 85 °F (29,4 °C) gibi çok daha küçük çalışma alanlarına sahiptir. Bu üniteler, toprak kaynaklı uygulamalarda tatmin edici bir şekilde çalışmazlar.

Isı; ünite ve toprağa gömülmüş, içinden akışkanın geçtiği borular ile toprak arasında transfer edilir. Bir pompa, bu akışkanı sirküle etmek için kullanılmaktadır. Kazılmış yatay hendekler veya dikey deliklere yerleştirilmiş plastik borular, ısı transfer akışkanını taşımak için kullanılmaktadır. Yatay borular, genellikle kuzey yarım kürede 3 ft ila 6 ft (0,91 m ila 1,82 m)'in altındaki katmanlara döşenmektedir. Boruların derine gömülmesi, kışın güneşin etkisini azaltır.

Kullanılan sığ derinlik dolayısıyla, antifriz, sistemdeki suyun donmasını önlemek ve topraktaki suyun donması halinde, toprak malzemesinden alınan ısıyı kullanarak kapasite ve verim kazanmak için sisteme izin vermesi amacıyla sıvı sirküle sisteminde kullanılmaktadır. Kullanılan antifriz malzemesi, genellikle propilene glikol veya kalsiyum klorittir.

Güney yarım kürede, borular, 4 ft ila 12 ft (1,22 m ila 3,65 m)'in altındaki katmanlara döşenmektedir. Bu, sistem performansı üzerindeki yaz güneşinden kaynaklanan yüksek toprak sıcaklığının etkisini azaltmak içindir.

Kazılmış dikey delikler, 300 ft (91,44 m) derinde olabilir. Bu, delme esnasında karşılaşılan malzemenin tipine bağlı olacaktır. Çoklu delikler, bir derin delikten daha çok arzu edilebilir.(Hancıoğlu 2000)

7.1.1 Soğutma ve Isıtma Etki Katsayısı (COP)

Isıtma veya soğutma etki katsayısı (COP_h ve COP_c), bina ısı yükünü temin edebilmek için seçilen gerekli ısı pompası kapasitesinin, ısı pompası çevrimi içerisinde yer alan kompresör, pompa vs. gibi ekipmanın tükettiği elektrik enerjisi miktarını oranlanmasıyla bulunur.

$$COP_h = \frac{Q_c}{W_K + W_P} \quad (7.1)$$

$$COP_c = \frac{Q_h}{W_K + W_P} \quad (7.2)$$

7.1.2 Ortalama Yıllık Toprak Sıcaklığı (T_m)

Yıl boyunca değişen toprak sıcaklığının ortalamasıdır. Yıllık ortalama toprak sıcaklığı 15-45 m derinlikte kuyu suyu sıcaklığına eşit alınabilir, ya da ortalama yıllık hava sıcaklığına yaklaşık $1,1^\circ\text{C}$ eklenerek bulunabilir (Kıncay ve Çilingir,2002)

Toprak, yüzeyden uzaklığının yanı sıra, toprak malzemesinin yayınımlı olarak adlandırılan, toprak malzemesinin yoğunluğuna ve nem içeriğine bağlı olarak onun ısı alma ve verme kabiliyeti yüzünden, sıcaklık değişimi üzerine nemlilik etkisi vardır. Derinliğin artmasıyla, yıllık eğri azalır (Hancıoğlu 2000).

7.1.3 Su Giriş Sıcaklığı / Isıtma ($T_{EWT,min}$)

Toprak ısının alınması ile soğutulmaktadır. Bununla birlikte, değişiklik, oldukça azdır. Çünkü, atılan ısı, ünitenin toplam veya bütün kapasitesi olurken, çıkarılan ısı, ünitenin net kapasitesidir. Tam anlamıyla, ısı miktarı arasındaki farklılığa dayandırılarak, soğutma modunun, daha çok boru yüzeyi isteyeceği açıktır. Bununla birlikte, tüm faktörler incelendiğinde, bu daima uygulanmaz (Ersöz 2000).

7.1.4 Su Giriş Sıcaklığı / Soğutma ($T_{EWT,max}$)

Üniteye giren su sıcaklığı, toprak borularından ayrılan su sıcaklığı, toprağın normal sıcaklığından daha yüksek olacaktır. Bu, borular içinde dolaşan sudan toprağa ısının atılması nedeniyle. Sıcaklık farklılıkları, ısı transferini almak için bir ihtiyaçtır.

Bu sıcaklık farklarının bir miktarı, ısıyı iletmek için boru yüzeyinin bir miktarının yanı sıra atılan ısı miktarına bağlıdır. Ünitenin su sıcaklığı sınırlarını geçmeksizin arzu edilen iletim oranını elde etmek için, bu iki faktörün dengesine ulaşılmalıdır (Ersöz 2000).

7.1.5 Toprak Isıl Direnci (R_s)

Toprak boyunca akan ısı için önemli bir dirençtir. Toprak altına veya su içine gömülen boruların derinliğinin, boruların boyutlarının, açılan her bir hendeğe kaç boru konulduğunun, boruların yatay ve dikey olmasının, bir hendeğe birden fazla boru konulması durumunda boruların birbirleri arasındaki yatay ve dikey mesafelerin ve toprak cinsinin toprak direnci üzerinde etkisi büyüktür. Farklı boru yerleşimleri için toprak ısı direnci değerleri Çizelge 7.1'de verilmiştir. Yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası için verilen değerlerde kanalların içinde bulunan, boruların üzerinde görülen rakamlar, kanal derinliğini feet cinsinden göstermektedir. Bu değer 0,3048 ile çarpılarak metreye dönüştürülebilir (Kıncay ve Çilingir, 2002).

Çizelge 7.1 Derinlik ve Toprak Özelliklerine Bağlı Toprak Direnci Tablosu

		Toprak Direnci (mK/W)												
		**												
		Ağır Toprak-Nemli												
		Kuru veya Hafif Nemli Toprak												
		3	4	5	6	3	4	3	4	3	1	3	1	Kaya Nemli *
Boru Çapı	3/4"	0,59	0,613	0,63	0,642	0,757	0,792	1,185	1,243	1,22	1,087	0,347		
		0,798	0,832	0,85	0,861	1,023	1,064	1,59	1,653	1,647	1,462	0,613		
	1"	0,561	0,59	0,601	0,613	0,728	0,763	1,156	1,214	1,197	1,064	0,329		
		0,763	0,792	0,809	0,821	0,983	1,023	1,665	1,613	1,607	1,428	0,584		
	1 1/4"	0,532	0,561	0,572	0,584	0,705	0,734	1,133	1,185	1,168	1,035	0,312		
		0,723	0,757	0,775	0,786	0,942	0,983	1,509	1,572	1,659	1,387	0,555		
	1 1/2"	0,514	0,543	0,561	0,566	0,688	0,723	1,11	1,168	1,15	1,017	0,306		
		0,699	0,734	0,751	0,763	0,919	0,96	1,486	1,549	1,543	1,364	0,543		
2"	0,491	0,514	0,532	0,543	0,659	0,694	1,087	1,145	1,121	0,988	0,289			
	0,665	0,694	0,717	0,728	0,884	0,925	1,451	1,514	1,509	1,324	0,514			

7.1.6 Boru Direnci (R_p)

Toprağın korozif etkisinden en az etkilenen ve en uzun ömre sahip malzeme plastiktir. Toprak altı için dört çeşit boru üretilmiş olup bu borulara ait ısı direnci değerleri Çizelge 7.2'de verilmiştir (Kıncay ve Çilingir, 2002).

Çizelge 7.2 Boru Çapına ve Yerleşimine Bağlı Boru Direnci

		Boru Direnç Değerleri (mK/W)			
		Yatay Boru Direnci			
		Dikey Boru Direnci			
Boru Çapı		PE SCH 40	PE SDR-11	PB SDR-17	PB SDR-13.5
		3/4"	0,098	0,083	0,092
1"		0,067	0,055	0,064	0,081
		0,09	0,083	0,092	0,116
1 1/4"		0,063	0,055	0,064	0,081
		0,075	0,083	0,092	0,116
1 1/2"		0,051	0,055	0,064	0,081
		0,068	0,083	0,092	0,116
2"		0,046	0,055	0,064	0,081
		0,057	0,083	0,092	0,116
		0,039	0,055	0,064	0,081

7.1.7 Etkilenmiş Toprak Sıcaklığı (T_h ve T_l)

Isı değiştiricinin temas halinde bulunduğu toprak sıcaklığının artması veya azalması borunun gömüldüğü derinliğe bağlı olarak değişir ve genelde $5,56^\circ\text{C}$ olarak kabul edilir. Bunun anlamı ısıtma durumunda toprak sıcaklığının $5,56^\circ\text{C}$ azalması, soğutma durumunda ise $5,56^\circ\text{C}$ artmasıdır (Kıncay ve Çilingir,2002).

$$\text{Isıtma için } (T_h) = \text{Ortalama Toprak Sıcaklığı } (T_m) - 5,56^\circ\text{C} \quad (7.3)$$

$$\text{Soğutma için } (T_l) = \text{Ortalama Toprak Sıcaklığı } (T_m) + 5,56^\circ\text{C} \quad (7.4)$$

7.1.8 İşletme Faktörü (F_H ve F_C)

Isı kaybının veya kazancının en yüksek olduğu aylarda, cihazın bu yükleri karşılaması için gereken kapasitesine oranıdır. Isıtma ve soğutma için ayrı ayrı hesaplanarak boru uzunluğunu veren formülde yerine yazılır. Daha uzun olan boru boyu sistemin tasarımında kullanılır. Burada F_H ısıtma için çalışma faktörü, F_C ise soğutma için çalışma faktörüdür.

Çalışma faktörünü belirlemek için çeşitli yöntemler mevcut olmakla beraber, daha önce yapılmış gerek deneysel, gerekse teorik çalışmalarda kullanılan yöntem "sıcaklık aralığı yöntemi"dir. Bu yöntemde yapılacak ilk iş, uygulamanın yapılacağı bölgenin tüm yıl için saatlik sıcaklık değerlerini ve günlük ortalama sıcaklıkları elde etmektir. Aylık ortalama sıcaklığın en yüksek olduğu ay; soğutma sezonu için tasarım ayı, aylık ortalama sıcaklığın en düşük olduğu ay ise ısıtma sezonu için tasarım ayı olarak belirlenecektir. Daha sonra belirlenen tasarım ayındaki her bir sıcaklık aralığındaki toplam saat sayısı hesaplanacaktır. Bu

sıcaklık aralıklarının her birinin ortalaması alınacak, ısıtılacak veya soğutulacak binanın bu ortalama sıcaklıktaki ısıtma veya soğutma yükü tespit edilecektir. Elde edilen bu ısı yükleri ile, ısı yükünün ait olduğu sıcaklık aralığındaki saat sayısı ile çarpılacak ve saatlik kayıp/kazanç değeri bulunacaktır. Bulunan saatlik kayıp/kazanç değerleri toplanıp aydaki toplam saat sayısı [$24 \times (\text{tasarım ayındaki gün sayısı})$]'na bölünüp aylık ortalama ısı kayıp/kazancı bulmak mümkündür. Bulunan ortalama kayıp/kazancı seçilen pompasını ısıtma/soğutma kapasitesine böldüğümüz takdirde ısıtma/soğutma için işletme faktörünü elde ederiz.

Bu metodu kullanırken dikkat edilmesi gereken noktalardan bazılarını şöyle sıralamamız mümkündür:

Türkiye'de denge sıcaklığı konutlar için 20°C olarak belirlenmiştir. Ancak ısıtma, dış sıcaklık 18°C 'nin altına düştüğünde başlamaktadır. Sıcaklık aralığı metodu için yukarıda belirtilen sıcaklık aralıkları 2°C ile 5°C arasında alınır. Bu sıcaklık aralıklarında dış sıcaklığın kaç saat gerçekleştiğinin bulunması gerekmektedir. Dolayısıyla sıcaklık aralıklarının küçük tutulması bulunacak ısı yükünün daha hassas bir şekilde hesaplanmasını sağlar.

İlerleyen bölümde anlatılacak olan tasarım konusunda işletme faktörünün nasıl bulunduğu ayrıntılı olarak irdelenmiştir (Ersöz 2000).

7.2 Isıtma ve Soğutma için Boru Uzunluğu

Dünya kuzey iklimlerinde genellikle, ısıtma için gerekli boru boyu soğutmaya göre daha uzunken, güney iklim bölgelerinde ise bu durum tam tersidir. Fakat bu genelleme her zaman doğru olmayabilir. Dolayısıyla yapılacak uygulamalarda her iki şart için de hesaplama yapılması gerekir.

Soğutma mevsiminde amaç içerideki hacmi soğutmak olduğundan ünitenin içeride kalan ısı değiştiricisi buharlaştırıcı yani soğutucu görevini yaparken, toprak ısı değiştiricisi ise yoğunlaştırıcı görevi yapıp, suyun içerisinde muhafaza ettiği ısıyı toprağa bırakacaktır. Dolayısıyla, toprak ısı değiştiricisi girişindeki suyun sıcaklığı, çıkışta üniteye dönen suyun sıcaklığından yüksek olacaktır. Isıtma mevsiminde ise toprak ısı değiştiricisi; ünitenin, buharlaştırıcı tarafındaki ısı ihtiyacı için, toprak altında dolaştırılan sudan ısı çekecek, bu ısı ise topraktan taşınacak, dolayısıyla ısı değiştiricisi çıkışındaki suyun sıcaklığı girişindeki suyun sıcaklığından yüksek olacaktır.

Isıtma ve soğutma için toprak ısı değiştiricisi boru uzunluğu aşağıdaki denklikler yardımıyla bulunabilir:

$$L_H = \frac{Q_{H0} \cdot \frac{(COP_H - 1)}{COP_H} \cdot [R_P + (R_S \cdot F_H)]}{T_H - T_{EWT, \min}} \quad (7.5)$$

$$L_C = \frac{Q_{C0} \cdot \frac{(COP_C + 1)}{COP_C} \cdot [R_P + (R_S \cdot F_C)]}{T_{EWT, \max} - T_L} \quad (7.6)$$

Burada;

$$T_{EWT, \max} = T_m + 5,56 \text{ } ^\circ\text{C} + 8 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (7.7)$$

$$T_{EWT, \min} = T_m - 5,56 \text{ } ^\circ\text{C} - 3 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (7.8)$$

7.3 Toprak Isı Değiştiricisini Etkileyen Faktörler

Toprak ısı değiştiricisinin boyu, boru malzemesi dolayısıyla boru direnci, toprağın özelliği yani toprak direnci, çalışma faktörü, sistemin COP'si, ısı değiştiriciden dönüş suyu sıcaklığı ve toprak sıcaklığının bir fonksiyonudur. Yörenin iklim koşulları, dizayn kapasitesini ve toprak sıcaklığını etkilediğinden, ısı değiştiricisinin boru boyuna direk etkisi vardır.

Çalışma faktörü, toprak direnci ve boru direncinin artışı gerekli boru boyunun artışına neden olur. Toprak sıcaklığının artması soğutma için gerekli boru boyunun artmasını sağlar. Toprak sıcaklığının düşük olması bu durumu ters yönde etkiler.

Isı pompası dönüş sıcaklığının yüksek olması, soğutma için gerekli boru boyunun azalmasını sağlar. Isıtma boru boyu ihtiyacı ise artar. Dönüş suyu sıcaklığı daha düşükse, soğutma için boru boyu artar, ısıtma boru boyu ise azalır (Ersöz 2000).

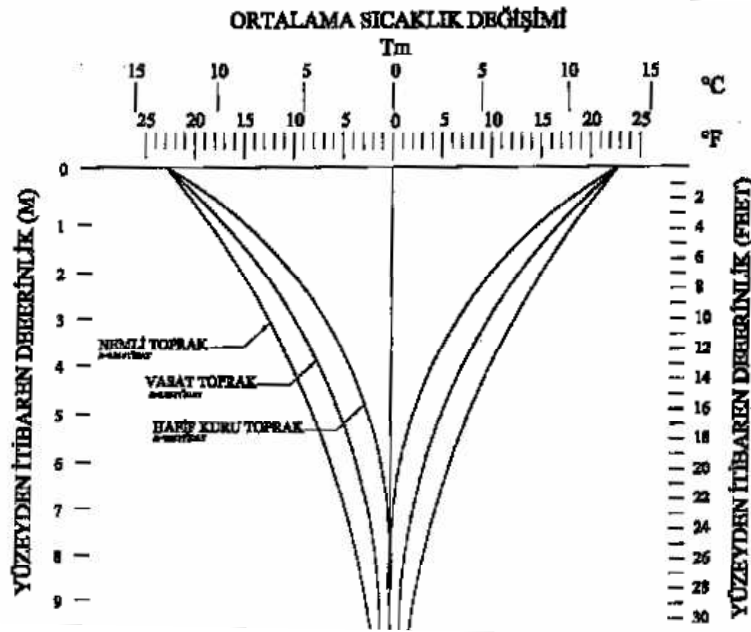
Bunların dışında ısı değiştiricinin döşeme şekli de, boru boyunu etkiler. Bunun yanı sıra çoklu döşemelerin yer ve sondaj açısından bir avantaj sağladığı ancak boru boyunda bir artışın olmadığı görölmektedir.

7.4 Toprak Özellikleri

Toprağın ısıl davranışını kontrol eden üç özelliği mevcuttur. Bunlar; toprağın yoğunluğu, içerdeği nem miktarı ve toprağı oluşturan taneciklerin materyal özellikleridir.

Toprak sıcaklığının, toprak kaynaklı ısı pompalarının üzerinde önemli etkisi vardır, dolayısıyla bu sıcaklık değişiminin hesaplanması ısı pompasının performansı açısından hayati önem taşır. Bir yörede, günlük ölçülen çevre sıcaklıklarının yıllık ortalaması, yaklaşık olarak o bölgenin yer altı su sıcaklığı ortalamasına eşit kabul edilmektedir.

Şekil 7.1, toprak sıcaklığının derinliğe ve toprağın özelliğine göre değişimini göstermektedir.

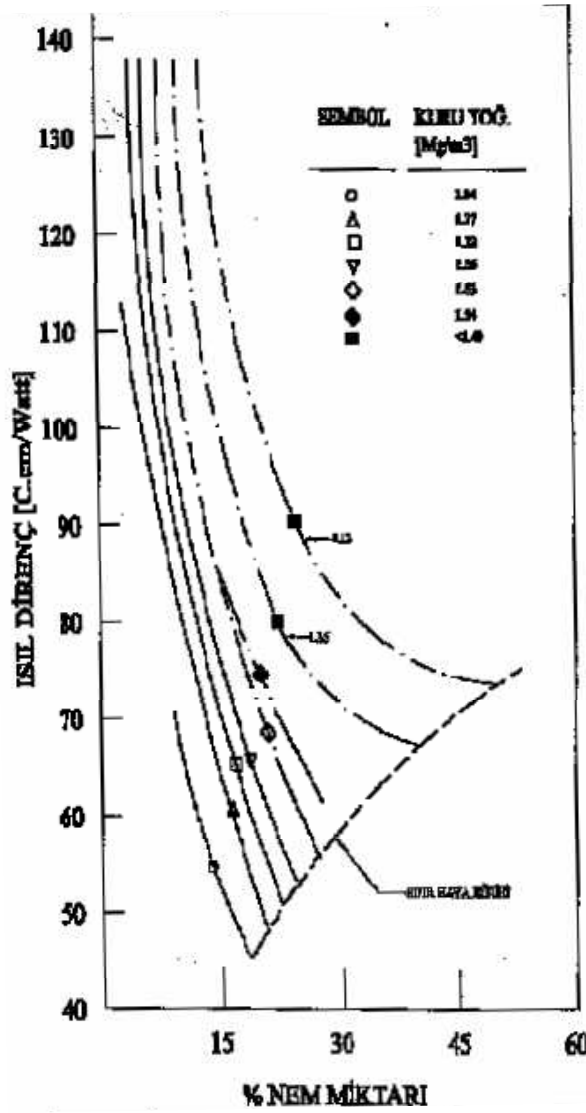


Şekil 7.1 Toprak sıcaklığının derinliğe ve toprak özelliğine bağlı değişimi

Verilen bir çevrim için sıcaklık düşümü oranı toprak tipine ve toprağın nemine bağlı olarak değişim göstermektedir. Topraktan ısıyı taşıma sırasında yerel sıcaklık, ısı pompasına dönüş sıcaklığının değişmesine neden olur. Isının toprağa atıldığı, soğutma çevrimi sırasında, yerel toprak sıcaklığı normal değerinin üstüne yükselir ve sonuç olarak ısı pompasına dönen su sıcaklığı yükselir.

Yoğunluk:

Toprağın yoğunluğu, doğal konumundaki yerleşme veya yerleştirilme şekline bağlı olmakla birlikte, toprağın bileşimine de bağlıdır. Toprağın ısı iletkenliğini tespit edebilmek için, kuru yoğunluk ve nem miktarı belirlenmelidir. Toprağın nem miktarına bağlı olarak buna karşılık gelen bir kuru yoğunluk değeri vardır. Toprak kuru yoğunluk değeri yükseldikçe, nem içeriği değeri azalır. Şekil 7.2'de değişik yoğunluklarda ve buna karşı gelen nem miktarlarında, toprağın ısı direnci gösterilmektedir. Sıfır hava eğrisi, su doyumunu yani verilen yoğunlukta en düşük ısı direnci gösterir.



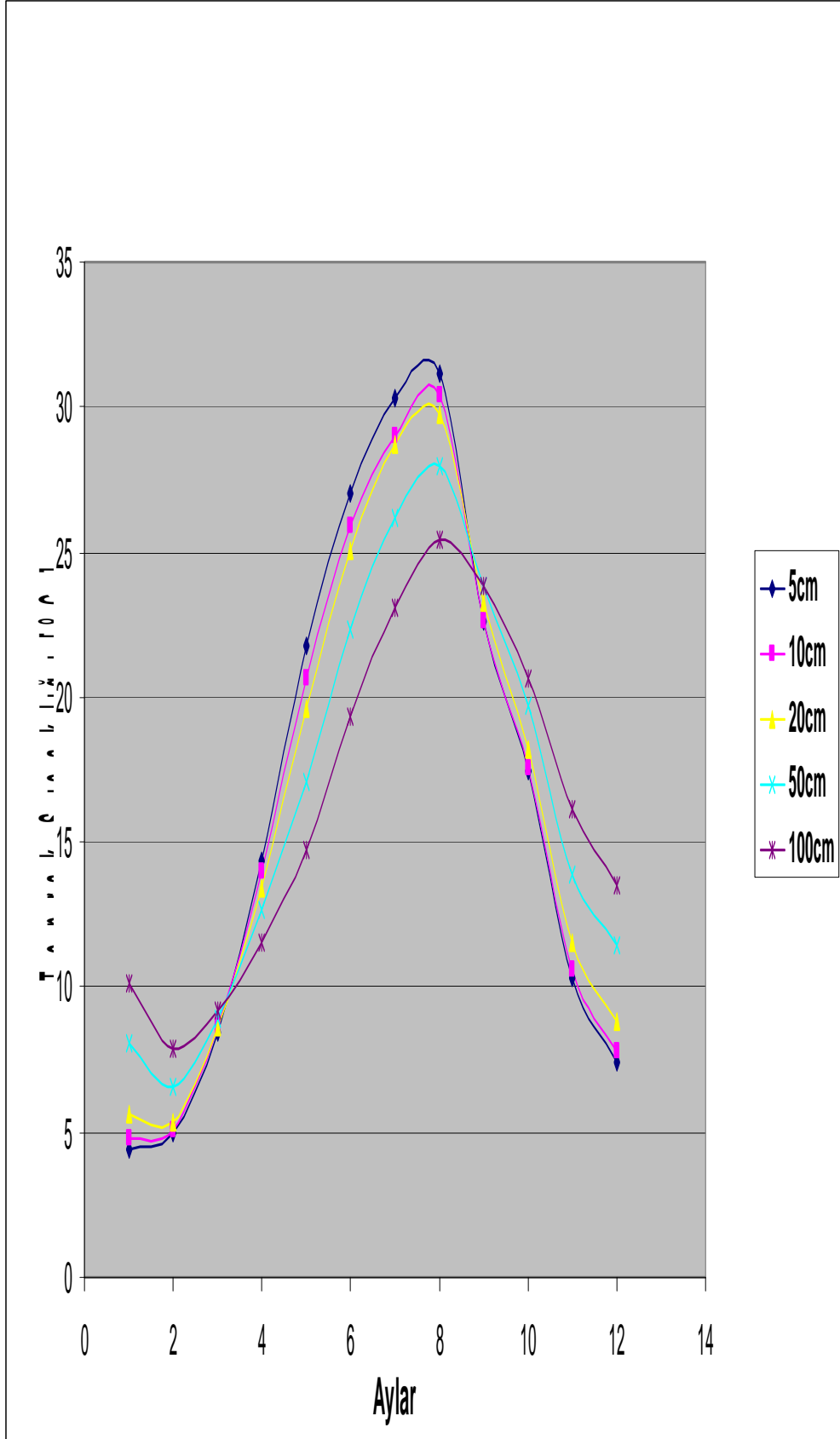
Şekil 7.2 Toprağın ısıl direncinin yoğunluk ve nem içeriğine göre değişimi

Nem Miktarı:

Toprağın içerdiği nem miktarının, toprak ısıl geçirgenliği üzerine etkisi Şekil 7.2’te gösterilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken husus, bir yoğunlukta nem miktarının artmasının, toprağın ısıl direncini düşürdüğüdür. Sabit kuru yoğunlukta, nem içeriği arttıkça, daha düşük iletkenlik değerine sahip olan hava, yerini suya bırakır.

Topraktaki nem miktarı, havanın mevsimsel değişimine ve önceden yapılan ısıtma, soğutma olayları da etkiler. Nemin soğuğa hücum etmesi özelliği dolayısıyla, borulardan ısı atıldığı soğutma mevsiminde, nem borulardan uzaklaşır. Isıtma mevsiminde ise toprak altından ısı çekildiğinden nem borulara hücum eder (Ersöz 2000).

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'ne bağlı İstanbul Kumköy İstasyonu'ndaki çeşitli derinliklerdeki toprak sıcaklıklarının aylara göre değişimi Şekil 7.3'te verilmiştir:



Şekil 7.3 İstanbul Kumköy İstasyonundaki eşitli Derinliklerde Toprak Sıcaklıklarının Aylara Göre Değişimi

7.5 Toprak Kaynaklı Isı Pompası Tasarım Adımları

Bir toprak kaynaklı ısı pompası tesisi kurmak için izlenecek yolu kısaca şöyle özetleyebilmek mümkündür(Kıncay ve Çilingir,2002):

- a) Kullanılacak binaya ait ısı kaybı ve ısı kazancı hesapları yapılır
- b) Kullanılacak ısı pompası tipi seçilir
- c) Kullanılacak olan boru tip ve malzemeleri seçilir. Seçilen boru tipi için ısı direnç değerleri saptanır.
- d) Toprak cinsi belirlenir. Ayrıca tesisin kurulacağı bölgeye ait olan günlük ortalama hava sıcaklıkları ve aylık ortalama toprak sıcaklıkları tespit edilir.
- e) Kullanılacak ısı pompasına karar verilir.
- f) Isı kaynağının ortalama ve minimum sıcaklıkları belirlenir.
- g) Çalışma faktörü saptanır.
- h) Isı değiştiricisi boyutu hesaplanır.

8. GÜNEŞ ENERJİSİ

8.1 Genel Kavramlar

Dünyanın güneş etrafında ve kendi eksenini etrafında olmak üzere iki değişik hareketi olduğu bilinmektedir. Bu hareketler güneş enerjisi uygulamalarında çok önemlidir. Ayrıca yerin güneş etrafındaki yörünge düzleminin normali ile kendi dönüş eksenini arasındaki 23.45° 'lik bir açı vardır ve bu açı da yeryüzünde aynı noktaya gelen güneş ışınlarının doğrultusunun değişmesine sebep olur ve mevsimler oluşur.

Dünyaya gelen güneş ışınımının bulunmasında dünyaya göre güneşin hareketi incelenir. Bunun için de, dünya merkez olmak üzere çok büyük yarıçaplı ve üzerinde noktalar halinde güneşin (ve yıldızların) bulunduğu Şekil 8.1'de gösterilen gökküreden faydalanılır. Gökküre üzerinde güneşin yeri ve dolayısıyla dünyaya nazaran hareketi güneş açıları ile tayin edilir. Yeryüzünde enlemi e olan bir N noktasına düşen direkt güneş ışınımının doğrultusu deklinasyon açısı d ve saat açısı h ile tayin edilebilir (Kılıç, Öztürk 1984).

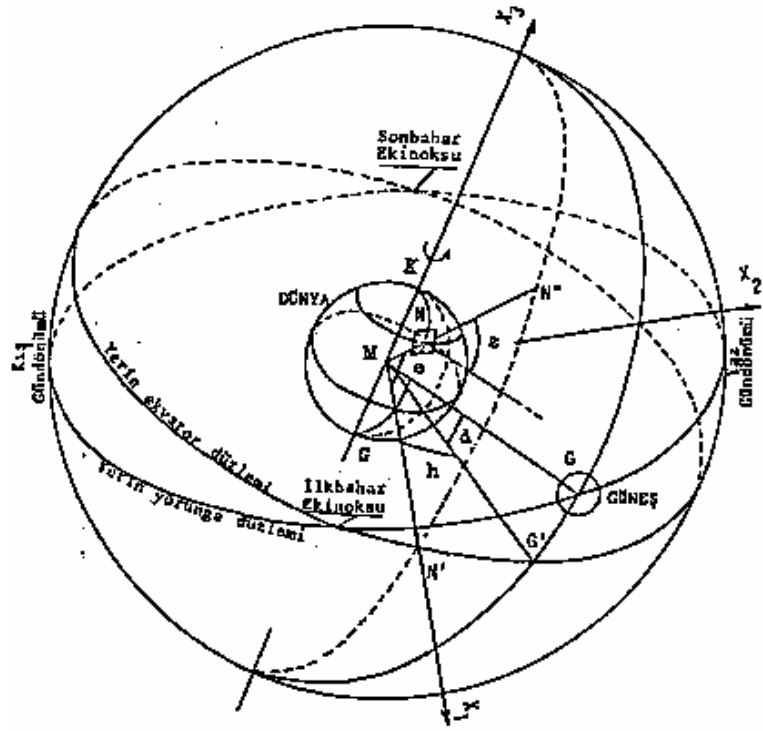
8.1.1 Güneş Deklinasyon Açısı (d)

Dünya – Güneş doğrultusunun yerin ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Şekil 8.1'deki GMG' açısıdır. Dünya- Güneş doğrultusuekvator düzleminin kuzey tarafında ise deklinasyon açısı pozitif kabul edilir.

Buna göre, deklinasyon açısı $- 23.45^\circ$ (21 Aralıkta kış gündönümünde) ile 23.45° (21 Haziran yaz gündönümünde) arasında değişir. İlkbahar ekinoksunda (21 Martta) ve sonbahar ekinoksunda (21 Eylülde) deklinasyon açısı sıfır olur. Deklinasyon açısı, 1 Ocaktan itibaren gün sayısı n olmak üzere;

$$d = 23,45 \sin\left(360 \cdot \frac{n + 284}{365}\right) \quad (8.1)$$

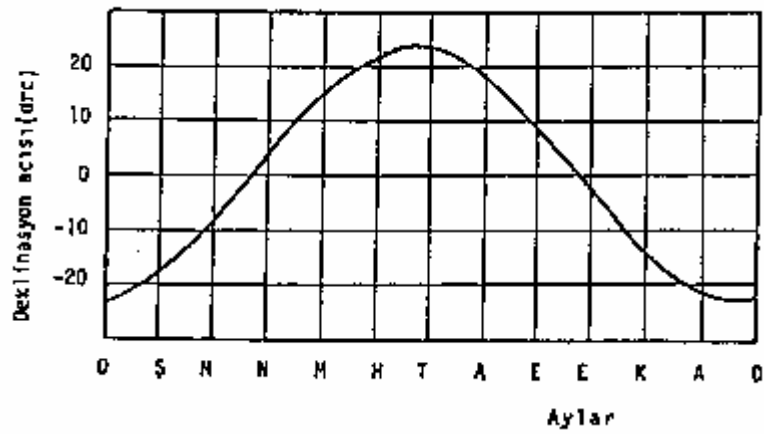
ampirik Cooper formülü ile bulunur. Deklinasyon açısı aynı gün için yıldan yıla değişmektedir. Bu bakımdan formülden bulunan değerlerdeki küçük hata güneş ışınımı hesapları için pratik olarak önemli değildir. Çoğu zaman, güneş ışınımının aylık deklinasyon



Şekil 8.1 Gökküre Üzerinde Önemli Güneş Açıları

açıları d_0 ile yapılan hesaplar yeterli olabilir. Aylık ortalama deklinasyon açıları ve bu açılara tekabül eden gün sayıları Çizelge 8.1’de verilmiştir.

deklinasyon açısının aylara göre değişimi Şekil 8.2’de görülmektedir.



Şekil 8.2 Deklinasyon Açısının Değişimi

Çizelge 8.1 Aylık Ortalama Deklinasyon Açılıarı

	Gün	n	d _o (drc)
Ocak	17	17	-20,92
Şubat	16	47	-13,29
Mart	16	75	-2,42
Nisan	15	105	9,41
Mayıs	15	135	18,79
Haziran	11	162	23,09
Temmuz	17	198	21,18
Ağustos	16	228	13,45
Eylül	15	258	2,22
Ekim	15	288	-9,6
Kasım	14	318	-18,91
Aralık	10	344	-23,05

Saat Açısı (h) : Göz önüne alınan yerin boylamı ile güneşin bulunduğu boylam arasındaki açıdır. Güneşin ve göz önüne alınan yerin ekvator düzlemindeki izdüşümleri alınır, Şekil 8.1'deki N'MG' açısıdır. Saat açısı güneş boylamının göz önüne alınan yerin boylamı ile çakıştığı “güneş öğlesi”nden itibaren ölçülür; güneş öğlesinden önce pozitif, sonra negatif alınır. Ayrıca, bilindiği gibi, her 15 ° saat açısı (boylam farkı) 1 saat zamana tekabül eder.

Genellikle güneş ışınımı ölçmeleri ve hesapları güneş zamanına göre yapılır. Güneş öğlesinde güneş saati (GS) 12'dir. Buna göre saat açısı (h) ile güneş saati arasında

$$h(drc)=15(12-GS) \quad (8.2)$$

bağıntısı vardır. Standart saati (memleket saatini) güneş saatine dönüştürürken boylam farkı (bulunulan yerin boylamı ile standart saat boylamı arasındaki fark) ile birlikte “zaman düzeltmesi” (ZD) denilen günlere göre değişen bir faktör göz önüne alınır. Zaman düzeltmesi dünyanın dönme hızındaki pertürbasyondan ve yörüngesindeki düzensizlikten ileri gelir ve günden güne değişir. Bu değişim eğrisi Şekil 8.2'de görülmektedir. Ayrıca bu düzeltme; n, 1

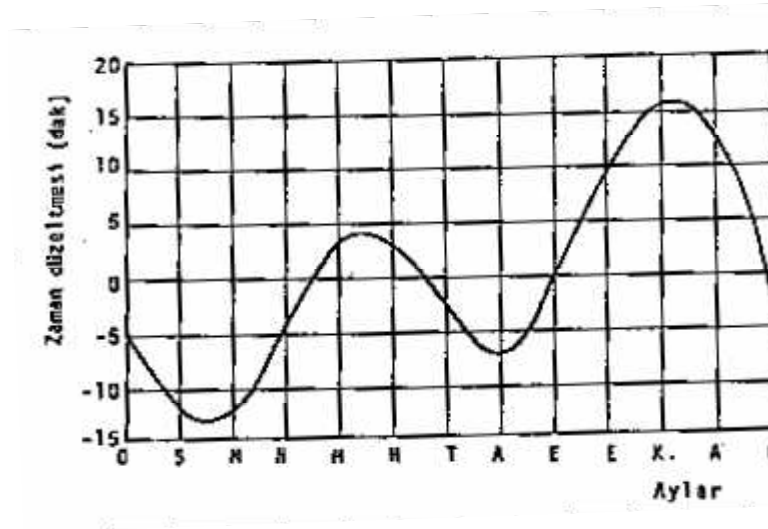
Ocaktan itibaren gün sayısı ve

$$x(\text{drc}) = 360 \frac{n-1}{365 \times 242} \quad (8.3)$$

olmak üzere

$$ZD(\text{saat}) = 0,0043 \cos x - 0,1236 \sin x - 0,0608 \cos 2x - 0,1538 \sin 2x \quad (8.4)$$

denklemleri ile de yaklaşık olarak bulunabilir. Böylece, Türkiye



Şekil 8.3 Zaman Düzeltmesinin Değişimi

için standart boylam 30° olmak üzere

$$GS = MS - (30 - B_y) / 15 + ZD \quad (8.5)$$

denklemleri güneş saati ile memleket saati arasındaki bağıntıyı verir. (Kılıç, Öztürk 1984)

8.1.2 Zenit Açısı (z)

Yatay düzlemin normali ile direkt güneş ışınlarının (güneş-yer doğrultusunun) yaptığı açıdır. Güneş doğuşunda ve batışında $z=90^\circ$ ve güneş ışınları yatay düzleme dik geldiği zaman $z=0^\circ$ dir. Şekil 8.1'de $G''NN''$ açısı zenit açısıdır (Kılıç, Öztürk 1984).

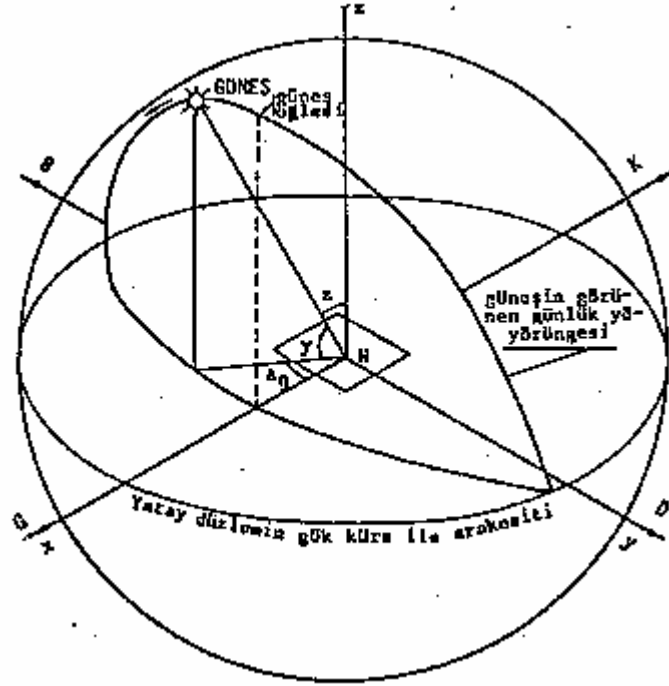
8.1.3 Güneş Yükseklik Açısı (y)

Direkt güneş ışınlarının yatay düzlemle yaptığı açıdır. Şekil 8.3'te zenit ve yükseklik açıları görülmektedir. Açıkça görüldüğü gibi

$$y + z = 90^\circ \text{ 'dir.} \quad (8.6)$$

böylece $\sin y = \cos z$ olur.

Şekil 8.1'de görülen x_1, x_2 (ekvator düzleminde göz önüne alınan yerin boylamından geçen ve buna dik doğrular) ve x_3 (kuzey kutbundan geçen) eksen takımına göre bir yerdeki yatay düzlemin normalinin doğrultu cosinüsleri



Şekil 8.4 Türetilen Güneş Açıları

$$a_1 = \cos e, \quad a_2 = 0, \quad a_3 = \sin e$$

ve güneş ışınlarının doğrultu cosinusleri

$$b_1 = \cos d \cdot \cosh, \quad b_2 = \cos d \cdot \sinh, \quad b_3 = \sin d$$

olduklarına göre zenit açısının cosinüsü

$$\cos z = \cos d \cdot \cos e \cdot \cosh + \sin d \cdot \sinh \quad (8.7)$$

olarak elde edilir. Güneş doğduğu ve battığı anda saat açıları 90° alınarak (8.7) denkleminde

$$\cos H = -\frac{\sin d \sin e}{\cos d \cos e} = -\tan d \tan e \quad (8.8)$$

şeklinde bulunur. Buradan gün uzunluğu;

$$t_g \text{ (saat)} = 2 \frac{H(drc)}{15} = \frac{2}{15} \arccos(-\tan d \tan e) \quad (8.9)$$

elde edilir. Gün uzunluğu ekvatorda ($e=0^\circ$) her zaman ve deklinasyon açısı $d=0$ olduğunda her yerde gün uzunluğu 12 saattir. Kuzey yarıkürede deklinasyon açısının pozitif değerlerinde kuzeye doğru gidildikçe gün uzunluğu artar, deklinasyon açısının negatif değerlerinde azalır. Genellikle aylık ortalama gün uzunluğu (t_0) bir aydaki gün uzunluklarının aritmetik ortalaması alınarak bulunabileceği gibi aylık ortalama deklinasyon açısı ile de hesaplanan değer kullanılabilir (Kılıç, Öztürk 1984):

$$t_0 = \frac{2}{15} \arccos(-\tan d_0 \cdot \tan e) \quad (8.10)$$

8.1.4 Güneş Azimut Açısı (a_g)

Güneş – Dünya doğrultusunun yatay düzlemdeki izdüşümünün güney doğrultusu ile yaptığı açıdır. Burada, güneyden doğuya doğru (sabahları) + ve batıya doğru (öğleden sonraları) – alınacaktır (Şekil 8.4). Böylece zenit ve azimut açıları ile güneş ışınlarının doğrultusu ayin edilebilir. Güneş azimut açısı

$$\sin a_g = \cos d \cdot \sin h / \cos y \quad (8.11)$$

denkleminde bulunabilir ve maksimum mutlak değeri güneş doğuşunda veya batışında deklinasyon açısına bağlı olarak 90° civarında, 90° 'den büyük veya küçük olabilir. Doğru değer bulunmasına ve işaretine dikkat edilmelidir (Kılıç, Öztürk 1984).

8.2 Atmosfer Dışına Gelen Güneş Işınımı

Atmosfer dışında güneş ışınlarına dik birim alana bütün dalga boylarına bir anda gelen güneş ışınımının değeri dünya güneş mesafesi değiştiğinden sabit değildir. Bununla beraber ortalama dünya-güneş mesafesindeki güneş ışınımı değerinin kullanılması kolaylık sağlar. Bu değere güneş sabiti denir. Güneş sabitini günlere göre düzeltme faktörü, n gün sayısı olmak üzere

$$f = 1 + 0,033 \cos \left(360 \frac{n}{365} \right) \quad (8.12)$$

şeklinde verilmektedir.

Yeryüzüne gelen güneş ışınımının hesabında, daha ziyade atmosfer dışında yatay ve eğik düzleme gelen ışınımına dayanılır. Atmosfer dışında yatay düzlemin birim alanına bir anda gelen ışınım, z zenit açısı (8.7) denklemi olmak üzere

$$I_o = I_{gs}.f.\cos z \quad (8.13)$$

şeklindedir. Buna göre, dt zamanında gelen ışınımın

$$dQ_0 = I_{gs}.f.\cos z dt \quad (8.14)$$

ve saat açısı cinsinden, $dt = (12/\pi)dh$ konularak,

$$dQ_0 = \frac{12}{\pi} \cdot I_{gs}.f.\cos z dh \quad (8.15)$$

olduğu elde edilir. Zenit açısının değeri, yerine konularak gün boyunca integre edilirse,

$$Q_0 = \frac{24}{\pi} I_{gs}.f. \left[\cos d.\cos(e-s).\sin H_g + \frac{\pi}{180} H_g.\sin d.\sin(e-s) \right] \quad (8.16)$$

bulunur. Atmosfer dışında eğik düzleme gelen ışınımın yatay düzleme gelen ışınımına oranı, direkt güneş ışınımı için yeryüzünde de aynı kaldığı kabul edilir. Böylece bir anda gelen direkt güneş ışınımı için eğik düzleme gelenin yatay düzleme gelene oranı (güneye dönük düzlemler için)

$$R_d = \frac{\cos d.\cos(e-s).\sin H_g + \frac{\pi}{180} H_g.\sin d.\sin(e-s)}{\cos e.\cos d.\sin H_g + \frac{\pi}{180} H_g.\sin d.\sin e} \quad (8.17)$$

ve, bir gün boyunca eğik düzleme gelen direkt güneş ışınımının yatay düzleme gelen güneş ışınımına oranı, güneye dönük düzlemler için (8.15) ve (8.16) denklemlerinden

$$R_d = \frac{\cos d.\cos(e-s).\sin H_g + \frac{\pi}{180} H_g.\sin d.\sin(e-s)}{\cos e.\cos d.\sin H_g + \frac{\pi}{180} H_g.\sin d.\sin e} \quad (8.18)$$

yazılabilir (Kılıç, Öztürk 1984).

8.3 Düz Toplayıcıların Kısımları ve Malzemeleri

Güneş Işınımını faydalı enerji şekline dönüştüren gereçlere, güneş kolektörleri adı verilir. Pratikte kullanılan toplayıcılarda, güneş ışınımı, önce bir yüzey tarafından yutulur, sonra da bir akışkana aktarılarak akışkanın iç enerjisi arttırılır. Bilindiği gibi eskiden beri, yaz aylarında sıcak su ısıtmak için bakır kaplara su doldurulur ve güneşe bırakılır. Bu kap, bir anlamda basit bir güneş toplayıcısıdır. Güneş ışınımı kabın yüzeyi tarafından yutulduktan sonra suya aktarılmakta ve suyun sıcaklığı artmaktadır. Yüzey sıcaklığının artması ile dışarı taşınılma ısı kaybı artmakta, yutulan ışınım ile kaybolan ısı eşit olunca sıcaklık sabit kalmaktadır. Işınım şiddeti ve çevre sıcaklığı kontrolümüz dışında değiştiğinden belirli bir değerdeki ışınım yüzeye gelirken faydalandığımız enerjiyi arttırmak için;

- a) çevreye olan ısı kayıplarının azaltılması,
- b) yüzeyin yutuculuğunun arttırılması,
- c) kap içindeki akışkana ısı geçişinin iyileştirilmesi, ve bunların yanında ısınan suyun değiştirilmesi ve ışınımın yoğunlaştırılması gerekir.

Çevreye olan ısı kayıplarının azaltılması için üst yüzeye güneş ışınımını geçiren ve taşınılma olan ısı kaybını önleyen saydam bir örtü konulur, ışınım gelmeyen alt ve yan yüzeyler ısı geçişine karşı yalıtılır. Yüzeyin yutuculuğunu arttırmak için siyaha boyanır. Akışkana ısı geçişini iyileştirmek için de ısı iletim katsayısı yüksek malzemeler kullanılır ve akışkan hareket ettirilerek iç yüzeydeki ısı taşınım katsayısı büyütülür.

Gelen ışınım yansıtıcılarla yoğunlaştırılarak (odaklı toplayıcılar) ışınım akısı arttırılır. Yüksek sıcaklıklarda taşınılma olan ısı kaybını azaltmak için özel (vakumlu) toplayıcılar yapılır.

Akışkan sıcaklığının yaklaşık 80°C'den düşük olabileceği sistemlerde(yüzme havuzu ısıtması,sıcak su temini, vs) düz toplayıcılar kullanılabilir. Daha yüksek sıcaklık değerleri için yoğunlaştıran toplayıcıların kullanılması gerekmektedir. Düz toplayıcıların konstrüksiyonları yoğunlaştıran toplayıcılara göre daha basittir ve hareketli kısımları yoktur. Ayrıca, yerleştirilmeleri kolay, yardımcı elemanları ve işletme masrafları az, daha mukavim ve daha uzun ömürlü oldukları gibi yayılı ışınımından da faydalanılabilir.

Toplayıcılar, ısı taşıyıcı akışkan cinsine göre sıvılı ve gazlı (havalı) toplayıcılar olarak iki grupta incelenebilir. Sıvılı toplayıcılarda daha ziyade su (veya inhibitörlü su), gazlı toplayıcılarda ise hava dolaştırılmaktadır. Sıvılı toplayıcıların verimi havalı toplayıcıların veriminden daha yüksek, yapımı kolay ve ucuzdur. Toplanan enerjinin depolanması için daha

düşük hacimli depo yeterlidir. Buna rağmen, sıvının donma tehlikesi, korozyon ve sızdırma gibi problemleri mevcuttur. Havalı toplayıcılar ise, daha uzun ömürlü, ağırlıkça daha hafif ve verimleri üniformdur. Donma ve korozyon gibi problemleri olmamasına rağmen yapımları daha zordur, ayrıca tozlanma ve sızdırma problemleri vardır (Kılıç, Öztürk 1984).

Pratikte kullanılan basit bir düz toplayıcı genellikle beş ana kısımdan meydana gelir. Bunlar,

- Güneş ışınımını geçiren ve üstten ısı kaybını önleyen bir veya daha çok sayıdaki saydam örtü
- Enerji toplayan yutucu yüzey
- Isı taşıyıcı akışkanın dolaştığı borular
- Yutucu yüzeyin güneş almayan kısımlarındaki ısı yalıtımı
- Yukarıda belirtilen kısımları bir arada tutan kasa

8.3.1 Saydam Örtü

Güneş toplayıcılarında, saydam örtünün esas fonksiyonu, hava hareketi sebebiyle meydana gelen taşınılma ısı kayıplarını azaltmaktır. Aynı zamanda, yutucu yüzey çevreden gelen tesirlerden (yağmur, dolu, kar, toz v.s) korur ve yutucu yüzey tarafından neşredilen uzun dalga boylu (ısı ışıması) ışınımı geriye yansıtarak ışıma ile olan ısı kaybını azaltır. Saydam örtüler,

- Güneş ışınımının büyük kısmını geçirmeli,
- Isıl ışınımı geçirmemeli,
- Aşınmamalı, çizilmemeli,
- Sıcaklıkla şekil değiştirmemeli,
- Yüksek sıcaklığa (en az 100°C) dayanıklı olmalı,
- Kolay kırılmamalı,
- Morötesi (ultraviolet) ışıma ile bozulmamalı,
- Zamanla ışınımı geçirme oranı kötüleşmemeli,
- Hafif olmalı,

- Ucuz olmalı, kolay temin edilebilmelidir.

Düz toplayıcılarda, genellikle, saydam örtü olarak camlar ve plastik esaslı saydam malzemeler kullanılır. Çizelge 8.2’de pratikte kullanılan bazı saydam örtülerin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 8.2 Bazı Saydam Örtülerin Özellikleri

			Normal Geçirme Oranı		
			Kırma İndisi	Güneş Işınımı 0,2-0,4µm	
Lexan	3,2	1,586	0,73	0,02	120-130
Acrylic	3,2	1,49	0,8	0,02	80-90
Teflon	0,13	1,34	0,9	0,26	200
Tedlar	0,1	1,45	0,88	0,21	110
Mylar	0,13	1,65	0,8	0,18	150
Sunlite	0,64	1,54	0,75	0,08	90
Düzgün Cam	3,2	1,52	0,79	0,02	730
Temper Cam	3,2	1,52	0,79	0,02	230-260
Su beyazı cam	3,2	1,5	0,92	0,02	200

Camlar, dalgaboyu 0,3µm ile yaklaşık 3.0 µm olan güneş ışınımının büyük bir kısmını geçirir ve yutucu yüzey tarafından neşredilen uzun dalga boylu (3,0 µm-50 µm)ışınımı geçirmezler. Güneş ışınımından bozulmadıkları gibi yüksek sıcaklıklara da dayanıklıdırlar. Aşınmaya ve çizilmeye karşı dirençlidir. Bunlara rağmen, kırılğan olduklarından taşınması, toplayıcı üzerine takılması ve işlenebilme güçlüğü sebebiyle hassas boyutlarda kesilmesi (veya şekil verilmesi) zordur. Plastik esaslı saydam örtülere göre çok ağırdır. Toplayıcı çerçevesiyle iyi

temas sağlayarak sızdırmayı önlemesi ve kırılmaması için lastik kasketler içine alınması, genişleyebilmesi için kenarlarda boşluk bırakılması gerekir.

Camların toplam geçirme oranı, bileşimindeki demir-oksit miktarı arttıkça azalır. Bu sebeple, içindeki demir-oksit miktarı %0,05'ten düşük olan camlar tavsiye edilir. Pencere camlarındaki demir-oksit miktarı %0,10 mertebesindedir. Su beyazı tipi camlarda bu oran %0,015'ten daha düşüktür. Bileşimindeki demir-oksit miktarı düşük olan tek tabaka camın normal doğrultuda gelen ışınımı geçirme oranı %92 iken pencere camlarında yaklaşık %80'dir. (Kılıç, Öztürk 1984)

8.3.2 Yutucu Yüzey

Güneş ışınımını yutan ve ısıyı borularda dolaşan akışkana aktaran yutucu yüzey (levha), güneş toplayıcılarının esas parçalarından birisidir. Yutucu yüzeyin güneş ışınımını yutma oranı büyük ve uzun dalga boylu (ısı ışınım) neşrediciliği küçük olmalıdır. Işınımı yutarak ısınan yüzeyin, ısıyı temas halindeki akışkana iyi bir şekilde iletebilmesi için ısı iletim katsayısı yüksek, ısı geçişinin çabuk olması için de ince olması istendiğinden yutucu yüzey olarak metal levhalar kullanılır. Ayrıca, imalat kolaylığı, elde edilebilme imkanları, kolay işlenebilirliği, korozyona direnci ve fiyatı yutucu yüzeyin seçime tesir eden faktörlerdendir.

Bakır alüminyum, çelik ve paslanmaz çelik gibi metaller en çok kullanılan yutucu yüzey malzemeleridir. Diğer taraftan polipropilen ve akrilik gibi bazı plastikler de siyaha boyanarak yutucu yüzey olarak kullanıldıkları gibi güneş ışınımını yutan renklendirilmiş sıvılar da yutucu yüzey olabilmektedir. Çizelge 8.3'te yutucu yüzey olarak kullanılan bazı malzemelerin ısı iletim katsayıları görülmektedir. Akışkana olan ısı geçişi, yutucu yüzey malzemesinin ısı iletim katsayısına, kalınlığına ve akışkanın dolaştığı borular arasındaki mesafeye bağlıdır. Levha ve boruların dizaynında ısı iletim katsayısı yüksek olan bakır ve alüminyum gibi malzemeler kullanılarak kanattan borulara ısı geçişi sağlanır. Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden yapılan kanatların kalınlığı, ısı iletim katsayısı yüksek olan malzemedeki yapılmış kanatlara göre eşdeğer ısı geçişinin olması için daha kalın olmalıdır.

Çizelge 8.3 Yutucu Yüzey Malzemelerinin Bazıları

Malzeme	Isı İletim Katsayısı [W/mK]
Bakır	386
Aluminyum	204
Çelik	50
Paslanmaz Çelik	24
Akrilik	0,2
Polietilen	0,35
Polipropilen	0,2
PVC	0,16

Bakır aluminyuma göre yaklaşık 2 kat ve çeliğe göre yaklaşık 5 kat daha pahalı olmasına rağmen, aynı ısı geçişinin sağlandığı 1 m² yüzey için bakırdan 2,24 kg, aluminyumdan 1,3 kg ve çelikten 15,3 kg malzeme gerekmektedir. Böylece, ısı geçişi açısından bakıra göre çelik daha pahalı, aluminyum ise ucuz olmaktadır. Akışkanın dolaştığı borular arasındaki mesafe, kullanılan malzemenin özelliklerine bağlı olarak yeterli ısı geçişini sağlayacak şekilde tespit edilir. Levha ve boruların birbirleriyle iyi birleşmesi, ısı temas yüzeyinin büyük olması gerekir. Çelik boruların levhaya kaynağı, bakır boruların lehimli, aluminyumun ekstrüzyonu ve farklı malzemelerden yapılan boru ve levhanın ısı iletim katsayısı yüksek dolgu malzemesiyle (genellikle silikon esaslı) yapıştırılması ile borular ve levhalar birleştirilir. Polimerler ve lastik gibi bazı malzemelerin ısı iletim katsayıları düşük olduğundan, borular arası mesafe küçük tutulur. Bazı hallerde, genellikle akışkan yutucu yüzeyin altından akar ve yutucu yüzey çok incedir, kanat yapılmaz, borular yan yana dizilir veya iki levha arasında kanallar teşekkül ettirilir (Kılıç, Öztürk 1984).

8.3.3 Isı Yalıtımı

Toplayıcıların güneş almayan alt ve yan kısımlarından olan ısı kaybını azaltmak için, trofor, poliüretan köpük veya cam yünü kullanılmaktadır. Yalıtım malzemesi seçilirken,

- Isı iletim katsayısının düşüklüğü,
- Yüksek sıcaklığa (200°C'a) dayanıklılığı,
- Neme direnci,
- Mukavemeti
- Yoğunluğu
- Yanma ve genişleme özellikleri
- Fiyatı ve elde edilebilme imkanı

göz önüne alınır. Poliüretan köpüğün ve polistren köpüğün (strofor) ısı iletim katsayıları cam yününün ısı iletim katsayısından daha düşüktür. Ağırlıkça da daha hafiftir. Bununla beraber, stroforun dayanıklılık sıcaklığı maksimum 74 °C, poliüretan köpüğün ise 100 °C civarındadır, oysa durgun halde yutucu yüzey sıcaklığı 180-200 °C'a çıkabilmektedir. Strofor ve poliüretan köpüğü kullanılan toplayıcılarda, yutucu levha tarafına cam yünü konulması tavsiye edilmektedir. Yutucu yüzey ile yalıtım malzemesi arasında bir hava boşluğu bırakılması ve yalıtım malzemesinin üzerinin ışınım yansıtma oranı büyük (alüminyum gibi) bir folyo ile kaplanması durumunda yalıtım malzemesi yüksek sıcaklığa çıkmaz, aradaki havanın ısı direnci ve folyonun yansıtıcılığı sebebiyle alt kısımdan olan ısı kaybı daha az olur. (Kılıç, Öztürk 1984)

8.3.4 Toplayıcı Kasası

Düz güneş toplayıcılarının kasaları, daha ziyade alüminyumdan yapılmaktadır. Kullanılan diğer malzemeler, cam takviyeli plastik, propilen, PVC, alüminizli çelik ve paslanmaz çeliktir.

Toplayıcı kasası olarak kullanılan ekstrüzyon (veya levha) alüminyumun ve paslanmaz çeliğin mekanik özellikleri ve atmosfer şartlarına dayanıklılıkları iyidir. Çeliğin mekanik özellikleri de iyi olmasına rağmen atmosfer şartlarına dirençli değildir. Korozyon sebebiyle tahrip olmaktadır. Bununla beraber, iyi kalite sıcak çekilmiş galvanizli sac kuru çevre şartlarında 20 yıl kadar kullanılabilir. Toplayıcıların konulduğu yerler daha ziyade çatı gibi yüksek yerler olduğundan bakım gerektiren malzemeler tavsiye edilmemektedir.

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

Tahta ve tahta esaslı malzemeler daha ucuz olmalarına rağmen dış şartlara dayanıklı olmadıklarından tavsiye edilmez.

Sonuç olarak, uygun kasa malzemelerinin alüminyum, paslanmaz çelik ve cam takviyeli plastik olduğu söylenebilir. (Kılıç, Öztürk 1984)

9. BİRLEŞİK ENERJİ SİSTEMİNE GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Bu çalışmadaki esas amaç, İstanbul Kumköy mevkiindeki, yapısal özellikleri Çizelge 9.1’de verilmiş; bodrum, zemin ve bir normal katı bulunan betonarme villanın ısı kayıplarını ve kazançlarını karşılayabilecek yenilenebilir bir birleşik enerji sisteminin optimum koşullarda kurulmasıdır. Bina, rüzgarlı bölgede bulunup, ayrıık olarak konumlanmıştır. Binanın ana giriş kapısı demir malzemesinden yapılmış olup çift kapı üzerinde de camlar bulunmaktadır. Öncelikle TS 825’e göre binanın yalıtımı, duvarlarda yoğuşma oluşmayacak ve ısı kayıplarını minimuma indirecek şekilde yapılacak; daha sonra, bina ısıtma ve soğutma gereksinimini sağlayabilecek bir toprak kaynaklı ısı pompası tasarımını yapabilmek için, binanın yapıldığı İstanbul iline ait yıllık ortalama toprak sıcaklığı tespit edilecektir. Yıllık ortalama toprak sıcaklığından yola çıkarak, ısı pompasının kaynağına ve bina dağıtım kısmına ait parametreler hesaplanacak ve bu parametrelerden hareketle, ısı pompası karakteristikleri, belirlenen firmanın katalog değerlerine de uygun olarak belirlenecektir. Yalnız, bu çalışmadaki belirleyici yaklaşım, binanın ısı yükünün tamamının karşılanması gerektiği, soğutma yükününse, binayı sadece yaşam alanlarında yapılmasıdır.

Bu amaçla, kurulacak bir güneş enerjisi sisteminin çeşitli kollektör sayılarında; binanın kullanım suyu gereksiniminin ne kadarını karşılayabildiği, ısıtma gereksiniminin ne kadarını karşılayabildiği, ısıtma ve kullanım suyu ihtiyacının ne kadarını karşılayabildiği Isısan A.Ş.’nin kullandığı T*SOL Expert 4.3 adlı simülasyon programı aracılığıyla hesaplanmıştır. Böylece, güneş enerjisi desteğinin, ısı pompasının kapasitesini bir alt modele çekip çekemeyeceği tartışılacak, çekemese dahi toprak altı ısı değiştiricisi uzunluğunu ne kadar kısaltıp, boru maliyetini düşürebileceği üzerinde durulacaktır.

9.1 Bina Isı Kaybı Hesabı

Bina ısı kaybı hesabı yapılmadan önce, yeterli enerji tasarrufunun sağlanabilmesi bakımından bina duvarlarının, pencerelerinin ve kapılarının toplam ısı transfer katsayılarının uygunluğu sağlanmış, aynı şekilde bina duvar yüzeylerinin yoğuşmaya maruz kalmaması açısından yoğuşma kontrolü de yapılmıştır. Yılın ısıtma dönemi için, dış hava sıcaklığı -3°C , referans alınarak ısıtma yükü belirlenmiş olacaktır. Buna göre; binanın ısıtılacak tüm mahallerinin ısı kayıpları şöyle özetlenebilir:

Çizelge 9.1 Uygulama Binasına Ait Yapısal Özellikler

Dış Duvar Alanı	Pencere Alanı	Döşeme Alanı	Tavan Alanı	Dış Kapı Alanı	Toplam Alan	Toplam Hacim
300,27 m ²	113,62 m ²	83 m ²	78,5 m ²	8,4 m ²	583,79 m ²	1403,47 m ³

Çizelge 9.2 Bina mahalleri ısı kayıpları

MAHAL	ISI KAYBI [W]
105 Y. ODASI	743,7349
BANYO2	322,9019
104 Y. ODASI	606,4554
B03 DEPO	850,2112
B05 GARAJ	1033,347
TAŞLIK	766,468
Z01 ANTRE	630,4878
Z02 MUTFAK	2034,499
Z03 WC-LAV	1037,338
Z05 O. ODASI	1156,788
Z06 İÇ AVLU	2987,898
Z07 SALON	5009,795
Z08 HOL	1410,863
101 SOFA	1095,465
102 Y.ODASI	2085,849
BANYO	1375,544
Toplam	23147,6452

9.2 Bina Soğutma Yüğü Hesabı

Soğutma yüğü hesaplarında;

- Yapı bileşenlerinden (duvarlar, döşemeler, tavanlar)
- Pencerelerden
- Sızma ve havalandırmadan
- İnsan ve cihazlardan kaynaklanan ısı kazancı ile toplam duyulur soğutma yüğü belirlenir.

Soğutma yükünün, gizli ısı ile ilişkisi de vardır. Tüm yapı tek bölge olarak ele alınabilir fakat cihaz seçimi ve sistem tasarımı oda oda yapılan hesaplara dayanmalıdır. Dağıtım sistemini doğru hesaplayabilmek için, her odanın iklimlendirilmiş hava gereksinimi bilinmek zorundadır. (ASHRAE, 1987)

Soğutma biriminin büyüklüğünü doğru belirleyebilmek için, her bölümün maksimum veya pik (toplam yük) hesaplanmalıdır. Bu hesaplama değişik yap türleri için önemli farklılıklar göstereceğinden, tüm yapı türleri göz önüne alınmalıdır. Bir merkezi sistemi bulunan ayrı tek ev için toplam yük, oda yüklerinin toplamıdır. Eğer evde her bölge için ayrı bir soğutma

sistemi varsa, her bölge için toplam yük, başka bir deyişle her bölgede bulunan odaların yüklerinin toplamı bulunmalıdır. Eve tek bir soğutma sistemi hizmet verecekse, evin tümü bir bölge olarak ele alınıp toplam yük hesaplanmalıdır. Çok dairesli yapılarda her oturma bölümünün bölge yükü, oda yüklerinin toplamına eşittir. Ayrı sistemleri olan apartmanlarda, her bölümün toplam yükü, sistem büyüklüğünü belirler. Merkezi soğutma sistemlerinin bulunduğu apartmanlarda (örneğin dairelerde fan-coil kullanılan soğuk sulu sistemler), merkezi soğutma sisteminin kapasitesini belirlemek için tüm yapının toplam yükünün bulunması gerekir. Fakat fan-coil'lerin ve dağıtım sisteminin kapasitelerini her bölümün yükü belirler. Soğutma yükü hesaplamalarında, iç ortam sıcaklığının dalgalanması, daha düşük maksimum ısı yüklerine yol açar. İç ortam sıcaklığının dalgalandığının varsayılması daha gerçekçi cihaz kapasitelerinin hesaplanmasını sağlar. ASHRAE kaynaklı tablolarda, saat iklimlendirilen ve termostatın 24°C ayarlı olduğu bir konutta, en fazla 1,5 °C sıcaklık değişiminin olduğu varsayılır.

9.2.1 Yapı bileşenlerinden olan ısı kazancına bağlı soğutma yükü

Her odanın duvarlarından, döşemelerinden ve tavanlarından olan ısı kazancına bağlı duyulur soğutma yükü sıcaklık farkı (CLTD) ve U toplam ısı geçiş katsayısını kullanarak hesaplanır.

Doğal hava akışının olduğu çatıların veya havalandırılan düz çatıların altındaki tavanlar için, çatı, çatı boşluğu ve tavan etkilerinin toplamını veren U değeri kullanılır. Çizelge 9.3'te, (CLTD) değerleri ortalama alma yöntemi ile hesaplandığından duvar kütlesi göz önüne alınmamıştır. Ayrıca duvar renkleri koyu renk varsayılmıştır, çünkü renk her konutta değişebilen bir parametredir. Günlük değişim (tasarım için seçilen günde dış sıcaklığın değişimi) eşdeğer sıcaklık farklarını önemli ölçüde etkiler. Çizelge 9.3'te günlük sıcaklık aralıkları, yüksek (H), orta (M) ve düşük (L) olarak sınıflandırılmıştır. L, 9°C değerinin altında küçük sıcaklık değişimini, M, 9°C ila 14 °C arasındaki orta sıcaklık değişimini, H ise 14 °C değerinin üzerindeki sıcaklık değişimini göstermektedir.

9.2.2 Pencerelerden olan ısı kazancına bağlı soğutma yükleri

Düz camdan olan ısı kazançlarından kaynaklanan soğutma yüklerini hesaplamak için verilen yöntemler doğrudan uygulandığında, konutlar için gerçekçi sayılmayacak ölçüde yüksek soğutma yükleri bulunur. Tek ev ve apartmanların soğutma yüklerini hesaplayabilmek için düzeltilmiş, güneş ısı yükü ile havadan havaya iletimi göz önüne alan, pencere camı soğutma yükü faktörü (GLF) Çizelge 9.5'te verilmiştir.

Uygulamada, her pencerenin alanı uygun GLF değeri ile çarpılır.

Çizelge 9.3 Apartmanlar için soğutma yükü sıcaklık farkları

	HESAP SICAKLIĞI [°C]											
	29		32			35		38		41		43
Günlük Sıcaklık Aralığı [°C]	L	M	L	M	H	L	M	H	M	H	M	H
K	4	2	7	4	2	10	7	4	10	7	10	13
KD ve KB	8	5	11	8	5	13	11	8	13	11	13	16
D ve B	10	7	13	10	7	16	13	10	13	13	16	18
GD vce GB	9	6	12	9	6	14	12	9	14	12	14	17
G	6	3	9	6	3	12	9	6	12	9	12	14
Çatılar ve Tavanlar Tavanarası veya çatı katı	23	21	26	23	21	28	26	23	28	26	28	31
Döşeme ve Tavanlar	5	2	7	5	2	8	7	5	8	7	8	11
Bölmeler İç veya gölgelenmiş	5	2	7	5	2	8	7	5	8	7	8	11

Buna göre yapı bileşenlerinden kaynaklanan soğutma yükünü şöyle özetleyebiliriz:

Çizelge 9.4 Yapı bileşenlerinden kaynaklanan ısı kazancı miktarı

MAHAL	ISI KAZANCI [kcal/h]
105 Y. ODASI	53
BANYO2	81
104 Y. ODASI	40
B03 DEPO	745
B05 GARAJ	116
Z01 ANTRE	202
Z02 MUTFAK	33
Z03 WC-LAV	153
Z05 O. ODASI	609
Z06 İÇ AVLU	713
Z07 SALON	590
Z08 HOL	172
101 SOFA	71
102 Y.ODASI	384
BANYO	64
Toplam	4026 kcal/h
Toplam	4681 W

Çizelge 9.5 Hem doğu hem de batı duvarları veya sadece kuzey ve güney duvarları dışı bakan tek atrı evler ve apartmanlar için soğutma faktörü GLF (W/m^2)

Hesap Sıcaklığı[° C]	Normal Tek Cam [W/m^2]					
	29	32	35	38	41	43
İç Gölgeleme Olmadan						
K	107	114	129	148	151	158
KD ve KB	199	205	221	237	243	262
G ve B	278	284	300	315	322	337
GD ve GB	249	255	271	287	290	309
G	167	173	189	205	211	227
Yatal Günışığı	492	492	508	524	527	539
Perde Pandur tümü ile çekilmiş yarı geçirgen perde						
K	57	60	73	85	91	104
KD ve KB	101	104	120	132	136	148
G ve B	142	145	158	170	173	186
GD ve GB	126	129	145	155	161	173
G	85	88	104	117	120	132
Yatal Günışığı	246	249	262	271	274	284
Tümü ile çekilmiş, ışık geçirmeyen perde						
K	44	47	63	73	79	91
KD ve KB	79	82	98	107	114	126
G ve B	107	114	126	139	142	155
GD ve GB	98	101	114	126	132	145
G	66	69	85	95	101	114
Yatal Günışığı	189	192	202	214	227	227

Buna göre, pencereler dolayısıyla kazanılan ısıyı özetlersek;

Çizelge 9.6 Binadaki tüm pencerelerden kazanılan ısı kazancı

MAHAL	ISI KAZANCI [W]
105 Y. ODASI	934
104 Y. ODASI	934
B03 DEPO	401
B05 GARAJ	151
Z02 MUTFAK	3389
Z03 WC-LAV	1334
Z05 O. ODASI	934
Z07 SALON	2174
Z08 HOL	3128
101 SOFA	934
102 Y.ODASI	3510
BANYO	1001
TAŞLIK	2502
Toplam[Q _{ho}]	21326 W

9.2.3 Sızma (Enfiltrasyon)

Konutlarda doğal hava sızmaları yaz aylarında kışa oranla daha azdır, çünkü bir çok yerde rüzgar hızları daha düşüktür. Çizelge 9.7’de verilen değerler daha çok tek evlerde yapılan ölçümlere dayanmakla birlikte hem tek evler hem de apartmanlar için kullanılan saatlik hava değişimi değerlerini (ACH) göstermektedir. (McQuiston, 1984) Yapılar aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

Çizelge 9.7 Dış ortam hesap sıcaklığının fonksiyonu olarak bir saatteki hava değişimi

Sınıf	Dış hesap sıcaklığı [° C]				
	29	32	35	41	43
Sıkı	0,33	0,34	0,35	0,36	0,38
Orta	0,46	0,48	0,5	0,52	0,56
Gevşek	0,68	0,7	0,72	0,74	0,78

Sıkı: Yerlerine iyi oturan kapılar, pencere ve sızdırmaz duvarlardan oluşan evler, sıkı kabul edilir. Buhar geçirmez duvarları, yerine iyi oturan pencereleri ve dış ortamdan korunmuş kapıları olan, şöminesiz, tek katlı ve 140 m² değerinin altında döşeme alanına sahip yeni evler bu sınıfa girer.

Orta: Orta yapılar sınıfına, yeni iki katlı ahşap evler veya on yaşını aşmış, 140 m² oturma alanından büyük, bakımı orta derecede yapılmış, pencere ve kapıları orta derecede uyan, cam kapaklı şömineli evler girer. Ortanın altındaki apartmanlar da bu sınıfa girer.

Gevşek: Gevşek yapılar, pencere ve kapıları yerlerine iyi oturmeyen, kötü inşa edilmiş yapılardır. Örnekler arasında 20 yaşını aşmış, bakımı orta derecede yapılmış, şöminesinin baca kapağı veya kapağı olmayan veya normalden daha fazla havalandırma gerektiren cihazların bulunduğu evler sayılabilir. Orta düzeyde taşınır evler de bu sınıfa girer.

Buna göre binanın enfiltrasyon yoluyla ısı kazancı şu bağıntıyla hesaplanır:

$$Q_{enf} = ACH \times (\text{bina hacmi}) \times 1000 / 3600$$

$$= 0,46 (\text{orta bina kabulü ile}) \times 1403,475 \times 1000 / 3600$$

$$= 179,33 \text{ W}$$

olarak bulunur.

9.2.4 Havalandırma

Konut iklimlendirme sistemleri, birçok bölge standardında şart koşulmasına karşın, iç ortama taze hava besleyebilir. Yukarıda açıklanan doğal hava sızması eğer saatte 0,5 hava değişiminden az ise havalandırma yapılması düşünülmelidir. Havalandırma ile iç ortama taze hava aktarıldığı zaman, otomatik veya elle kontrol yapılmalı, enerji geri kazanım cihazlarının kullanımı düşünülmelidir.

9.2.5 İnsan Yoğunluğu

İnsan yoğunluğunun az olduğu durumlarda bile insanlardan kaynaklanan yük göz önüne alınmalıdır. Dinlenme durumundaki bir kişi için duyulur ısı kazancı kişi başına 67 W varsayılır. Sistemin aşırı ölçüde büyük seçilmesini önlemek için, insan sayısı fazla tahmin edilmemelidir.

Son nüfus sayımı çalışmalarına dayanarak, evdeki toplam kişi sayısının, bir yatak odası için iki kişi diğer yatak odaları içinse birer kişi göz önüne alınarak bulunabileceği önerilmiştir. İnsan yoğunluğu oturma alanlarına düzgün bir biçimde dağıtılmalıdır, çünkü maksimum yük insanlar bu odalarda bulduklarında gerçekleşir. Bu çalışmada insanlardan gelen ısı kazancı 500 W olarak düşünülmüştür.

9.2.6 Ev araç, gereçleri

Bu tür araçlar genellikle mutfak ve banyoda bulunur. Günümüzün yaşam standartları göz önüne alınırsa ayrı tek evlerde 470 W değerinde bir duyulur ısı yükü, mutfak, banyo ve yakın

oda veya odalar arasında bölüştürülmelidir.

Apartmanlarda ise, duyulur ısı kazancı her birim için 350 W alınabilir. Bu değer belirlenirken, fırın ve çamaşır kurutucusunun havalandırmalarının olduğu varsayılmıştır. Özel aydınlatma, bilgisayar ve benzer cihazlar olduğunda, verilen değerlere eklemeler yapılmalıdır.

Buna göre ev araç gereçleri dolayısıyla kazanılan ısıyı özetlersek;

Çizelge 9.8 Ev içi araç gereçinden kaynaklanan soğutma yükü

	Duyulur Isı [W]	Gizli Isı[W]
Aydınlatma	1350	-
Çamaşır Mak.	1455	1455
Bilgisayar	300	-
Buzdolabı	524	-
TV	500	-
Çay Makinesi	186	70
Toplam	4315	1525

9.2.7 Soğutma Yükü Toplamı

Yukarıda tanımlanmış bina ısı kayıplarını bir tablo içinde bir araya getirirsek toplam soğutma yükünü belirlemiş oluruz:

Çizelge 9.9 Bina toplam soğutma yükü

Eleman Türü	Isı Kazancı[W]
Pencereler	21326
Kapı, Döşeme, Tavan	4681
İnsan ve Ev Araçları	6340
Enfiltrasyon	179
Toplam [Q _{co}]	32526

9.3 Bina Isıtma ve Soğutma Yüklerinin Toprak Kaynaklı Isı Pompası ile Karşlanması Durumu

Toprak kaynaklı ısı pompası toprak altı devresinin uzunluğunu belirleyebilmek için soğutma için boru uzunluğunu veren (7.5) ve (7.6) no'lu denklemlerdeki parametrelerden; COP_H, COP_C, (7.1) ve (7.2) no'lu denklemlerden, sağlanan ısıtma veya soğutma yükünün, harcanan kompresör işine bölünmesiyle bulunurken, burada, sağlanan ısıtma ve soğutma yükü ısı pompası katalogundan alınmış cihazın ısı kapasite değerleridir, aynı şekilde paydadaki kompresör işi ifadesi W_K da ısı pompası katalogundan okunabilmektedir. W_P ise sistemde

ilave bir pompaya ihtiyaç duyulması halinde pompanın sarf ettiği enerji miktarıdır, bu miktar da belirlenen pompanın katalogundan okunabilir. Q_{H0} ve Q_{C0} , Bölüm (9.1) ve Bölüm (9.2)'deki ısı kaybı ve soğutma yükü hesabı bölümünde hesaplanmıştır. T_H ve T_1 etkilenmiş toprak sıcaklığı olmak üzere, denklem (7.3) ve (7.4)'te nasıl hesaplanacağı gösterilmiştir. Burada, $5,56^{\circ}\text{C}$ değeri yıllık ortalama sıcaklığın ($16,34^{\circ}\text{C}$) kış aylarında ve yaz aylarında ortalama ne kadar salınım gösterebileceğini ifade eden bir değerdir. $T_{EWT,max}$ ve $T_{EWT,min}$ 'in hesap yöntemi denklem (7.7) ve (7.8)'de gösterilmektedir. Boru direnci R_P , Çizelge 7.2'den PESCH 40 tip 1 $\frac{1}{2}$ " çaplı dikey boru seçimiyle, bulunurken; toprak direnci R_S , Çukurova Üniversitesinin İstanbul Kumköy'de yaptığı bir ölçümden alınmıştır. Borular arası mesafe 1 m olarak belirlenmiştir.

9.3.1 Isı Pompası Seçimi

Isı pompası seçiminde dikkat edilmesi gereken birkaç hususu şöyle sıralayabiliriz. Bunlardan birincisi seçilen ısı pompasının mahalın hem istenen ısıtma hem de istenen soğutma için istenen konfor şartını sağlayabiliyor olması; ikincisi ise, kaynak diye tanımladığımız ısıtma dönemi için evaporatör, soğutma dönemi içinse kondensere giriş suyu sıcaklıkları $T_{EWT,max}$ ve $T_{EWT,min}$ 'ı sağlayabiliyor olmasıdır. Buna göre; katalog değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 9.10 Isıtma ve soğutma durumu için ısı pompası katalogundan okunan bazı değerler

Soğutma										
Kaynak			Yük				Kapasite[kW]	Kompresör	Kaynak LWT	
EWT	GPM	WPD	EWT	GPM	LWT	WPD				
32°C	20	9,6	10 °C	20	4 °C	9,6	22,75	6,880 W	39 °C	
Isıtma										
Kaynak			Yük				Kapasite[kW]	Kompresör	Kaynak LWT	
EWT	GPM	EWT	GPM	LWT	WPD					
4 °C	20	32 °C	20	37 °C	9,6	26,20	7,123 W	1 °C		

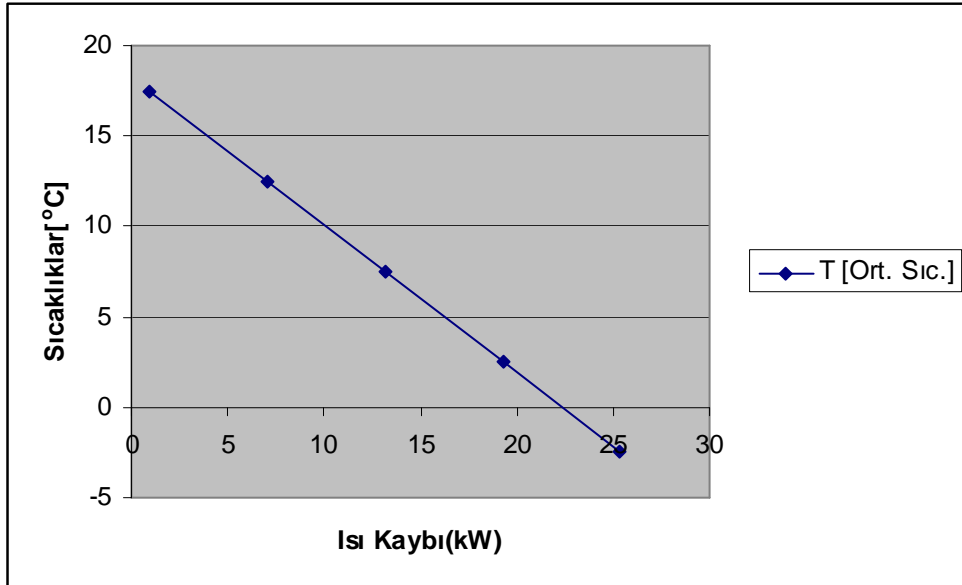
9.3.2 İşletme Faktörü Hesabı

Isıtma ve soğutma boru uzunluğu hesaplanırken Bölüm 9.3'te Denklem (7.5) ve (7.6)'daki diğer parametrelerin nasıl hesaplanacağı önceki bölümlere atıfta bulunularak kısaca özetlenmişti. Yalnız boru uzunluğu hesap edilirken bulunması gereken bir diğer parametre ise F_H veya F_C işletme faktörüdür. Bu parametrenin nasıl hesap edileceği Bölüm 7.1.8'de anlatılmakla birlikte ısıtma ve soğutmaya tabi tutacağımız İstanbul Davutpaşa'da yapılması düşünülen bina için bir çizelge halinde hesabı özetlersek;

9.3.2.1 Isıtma Dönemi için İşletme Faktörü Hesabı

Çizelge 9.11 Isıtma için İşletme Faktörü Hesabı

A	Ortalama	B	C	D	F	G	H
Sıc.Aralığı	$T_{ort}[^{\circ}C]$	Saat Sayısı[h]	Isı Kaybı[kW]	Saatlik Kayıp[kWh]	Aydaki toplam saat sayısı	Isı Pompası Kapasitesi[kW]	F_h
[-10,-5]	-7,5	-	-	-	744h	26,2	0,67
[-5,0]	-2,5	81	34,112	2763,072			
[0,5]	2,5	430	25,912	11142,16			
[5,10]	7,5	202	17,712	3577,824			
[10,15]	12,5	24	9,512	228,288			
[15,20]	17,5	7	1,312	9,184			
Toplam Saatlik Isı Kaybı				13177,88			

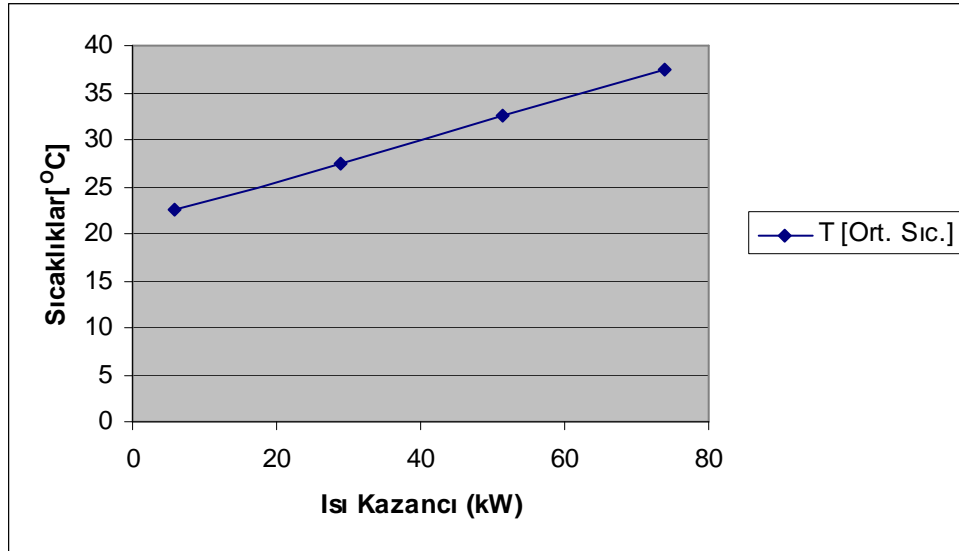


Şekil 9.1 Isıtma Dönemi için Bina Isı Kaybı Eğrisi

9.3.2.2 Soğutma Dönemi için İşletme Faktörü Hesabı

Çizelge 9.12 Soğutma için İşletme Faktörü Hesabı

A	Ortalama	B	C	D	F	G	H
Sıc.Aralığı	$T_{ortl}[^{\circ}C]$	Saat Sayısı[h]	Isı Kazancı[kW]	Saatlik Kayıp[kWh]	Aydaki toplam saat sayısı	Isı Pompası Kapasitesi[kW]	F_c
[45,40]	42,5				744	22,75	0,93
[40,35]	37,5	3	73,8	221,4			
[35,30]	32,5	63	51,3	3231,9			
[30,25]	27,5	384	28,8	11059,2			
[25,20]	22,5	229	5,85	1339,65			
[20,15]	17,5	65					
Toplam Saatlik Isı Kaybı				15852,2			



Şekil 9.2 Soğutma Dönemi için Bina Isı Kazancı Eğrisi

Çizelgelerdeki B sütunu, A sütunundaki sıcaklık aralıklarındaki tasarım ayı (Ocak ve Temmuz) içindeki saat sayısını, C sütunu, seçilen sıcaklık aralığı ortalamasındaki ısı kaybı/kazancını, D sütunu belirlenen sıcaklık ortalamasına karşılık gelen saat sayısındaki ısı kaybını, E sütunu, kWh cinsinden aydaki toplam ısı kayıp/kazancını, F sütunu aydaki toplam saat sayısını, G sütunu seçilen ısı pompası kapasitesini verirken, H sütunu ise aradığımız değer işletme faktörünü verir.

H sütunu, E sütununun F sütununa bölünüp, daha sonra G sütununa bölünmesiyle elde edilir.Yapılan tüm bu hesaplamaları bir çizelgede gösterecek olursak;

Çizelge 9.13 Isı Pompası Seçimi ve Parametreleri Tablosu

Düşey Boru Boyu Hesabı Çizelgesi						
İşin Adı:Yüksek Lisans Tez Çalışması				İşin Yeri: YTÜ Davutpaşa Kampüsü		
Isıtma İçin Boru Uzunluğu : 679 m				Soğutma İçin Boru Uzunluğu : 690 m		
Grup	Sıra	Açıklama	Gösterim	Birim	Hesaplama	Sonuç
Boru Özellikleri	1	Boru Malzemesi			Seçilir	PESCH40
	2	Boru Çapı		inç	Seçilir	1 1/2"
	3	Boru Direnci	R_p	mK/W	Çizelge 7.2	0,046
Toprak Özellikleri	4	Toprak Cinsi			Kabul edilir	Kaya
	5	Toprak Direnci	R_s	mK/W	Çukurova Üni.	0,308
Meteorolojik Veriler	6	Ortalama Yıllık Toprak Sıcaklığı	T_m	°C	Tespit edilir	16,34
	7	Değişim Derecesi	ΔT	°C	Kabul edilir	5,56
	8	Yüksek Toprak Sıcaklığı	T_h	°C	$T_m+\Delta T$	21,9
	9	Düşük Toprak Sıcaklığı	T_L	°C	$T_m-\Delta T$	10,78
Isı Pompası Özellikleri / Soğutma	10	Isı Pompasına Giriş Sıcaklığı	$T_{EWT,max}$	°C	Isı Pompası Karakteristiği	32 (90 F)
	11	Mahale Gidiş Sıcaklığı	$T_{C,g}$	°C	Isı Pompası Karakteristiği	10 (50 F)
	12	Mahalden Dönüş Sıcaklığı	$T_{C,d}$	°C	Isı Pompası Karakteristiği	4 (40 F)
	13	Pompa Soğutma Kapasitesi	Q_C	btu/h	Isı Pompası Karakteristiği	78,687 (22,75 kW)
	14	Pompa Soğutma Performansı	COP_h	-	Isı Pompası Karakteristiği	3,3
Isı Pompası Özellikleri / Isıtma	15	Isı pompasına Giriş Sıcaklığı	$T_{EWT,min}$	°C	Isı Pompası Karakteristiği	4 (40 F)
	16	Mahale Gidiş Sıcaklığı	$T_{H,g}$	°C	Isı Pompası Karakteristiği	37 (99 F)
	17	Mahalden Dönüş Sıcaklığı	$T_{H,d}$	°C	Isı Pompası Karakteristiği	32 (90 F)
	18	Pompa Isıtma Kapasitesi	Q_H	btu/h	Isı Pompası Karakteristiği	90,573 (26,20 kW)
	19	Pompa Isıtma Performansı	COP_c	-	Isı Pompası Karakteristiği	3,57
İşletme Faktörü	20	Tasarım Ayı Dış Sıcaklığı, Isıtma	$T_{kış,dış}$	°C	Hesaplanır	-3
	21	Isıtma dönemi İçin Maksimum Isı Kaybı	$Q_{H,max}$	kW	Hesaplanır	26
	22	Tasarım Ayı Dış Sıcaklığı, Soğutma	$T_{yaz,dış}$	°C	Hesaplanır	28
	23	Soğutma Dönemi İçin Maksimum Isı Kazancı	$Q_{C,max}$	kW	Hesaplanır	32,1
	24	Soğutma İşletme Faktörü	F_C	-	Hesaplanır.	0,93
	25	Isıtma İşletme Faktörü	F_H	-	Hesaplanır	0,67
Boru Uzunluğu	26	Toprak Isı Değiştirgeci Uzunluğu / Isıtma	L_H	m	Formül 7.5	679
	27	Toprak Isı Değiştirgeci Uzunluğu / Soğutma	L_C	m	Formül 7.6	690

9.4 TKIP düzeneğine Güneş Enerjisi Desteği

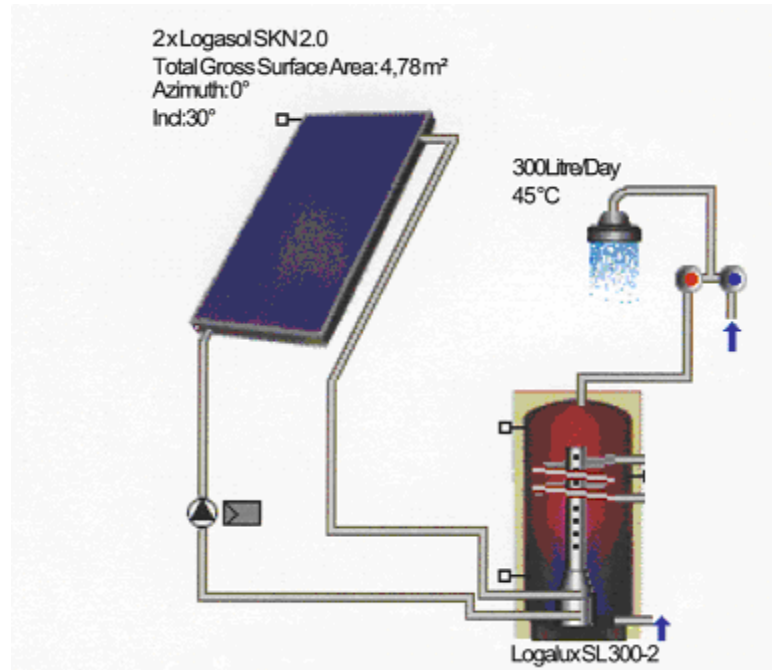
9.4.1 Kullanım Suyu İhtiyacının Güneş Enerjisi ile Desteklenmesi

Yukarıda ısı kaybı hesapları ve özellikleri verilen binanın kullanım suyuna yönelik bazı özellikleri Çizelge 9.13 ile gösterilmektedir,

Çizelge 9.14 Kullanım Suyu Hesabına Ait Kabuller

Sıcak Su Bağlantılı Çamaşır Makinesi Var mı?	Sıcak Su Bağlantılı Bulaşık Makinesi Var mı?	Binada Yaşayan Kişi Sayısı	Günlük Sıcak Su Tüketimi	Günlük Sıcak Su İhtiyacı (l)	Sıcak Su Kullanım Sıcaklığı	Boyer Maksimum Su Sıcaklığı
Evet	Evet	6	Orta (50 l/kişi)	300	45°C	50°C

Buna göre simülasyonu Şekil 9.3'te gösterilen sistemle amaçlanan değerlere ulaşılabilmektedir.

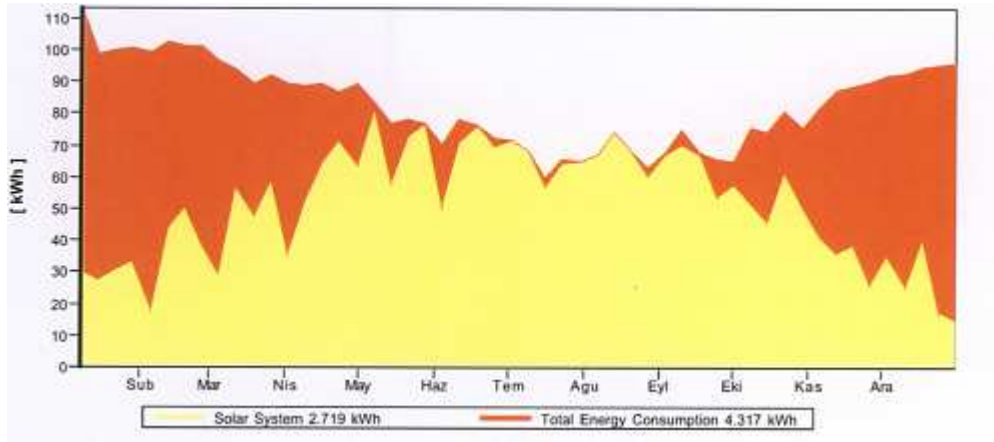


Şekil 9.3 Kullanım Suyunun Kolektörlerden Sağlandığı Simülasyon

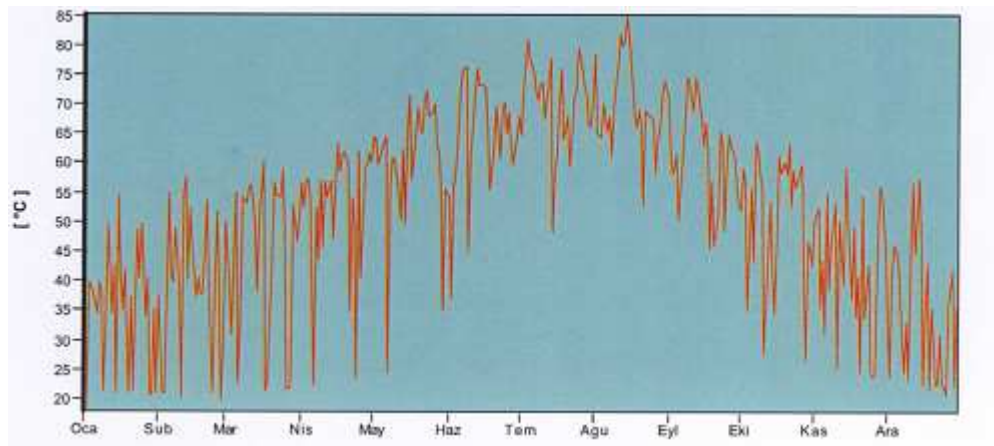
Çizelge 9.15 Kurulum Ekipmanının Özellikleri

Kollektör Sayısı	Kollektör Alanı (m ²)	Sirkülasyon Pompası Adedi	Kullanım Suyu Tankı Adedi	Kullanım Suyu Tankı Hacmi (l)	
2	4,78	1	1	300 l	4,78

Bu kurulumun sıcak su gereksiniminin oransal ve nicelik olarak ne kadarını karşılayabileceği sözü edilen program tarafından hesaplanmış ve çıktıları Şekil 9.4 ve Şekil 9.5 ile şöyle gösterilmiştir.



Şekil 9.4 Yıllık Toplam Kullanım Suyu İhtiyacının Güneş Enerjisince Aylık Karşılama Oranları



Şekil 9.5 Kollektör Yüzey Sıcaklıklarının Aylık Maksimum Değerleri

Buna göre, yalnızca 2 adet kolektör yerleştirilmesi durumunda yılın neredeyse yarısına yakın

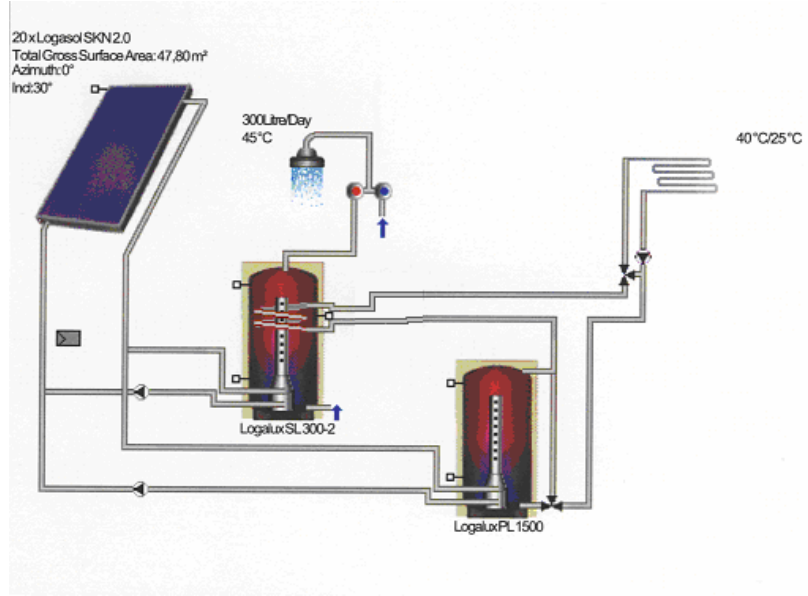
bir bölümünde kullanım suyu ihtiyacının hemen hemen tamamının kolektörlerden karşılanabildiği, yılın geri kalan bölümünde ise kullanım suyu ihtiyacının bir bölümünün yardımcı bir ısı kaynağından karşılanması gerektiği görülmektedir. Yapılan bu hesaplamaların ve ulaşılabilecek enerji miktarının net bir şekilde görülebilmesi bakımından, prosesi bir çizelge ile kısaca özetlemek mümkündür.

Çizelge 9.16 Kullanım Suyu Hesap Çizelgesi

Kullanım Suyu Hesap Çizelgesi		
Kollektör Yüzeyine Gelen Işınım	7,04 MWh	1661,34 kWh/m ²
Çevrimin Ürettiği Enerji	2718,62 kWh	641,18 kWh/m ²
Kullanım Suyu Isıtılması İçin Gereken Enerji	3,98 MWh	
Güneş Enerjisinden Karşılana Miktar	2718,62 kWh	
TKIP'den Gereken Destek	1598,06 kWh	
Kullanım Suyu Karşılama Oranı	68%	

9.4.2 Kullanım Suyu ve Isıtma İhtiyacının Güneş Enerjisi ile Desteklenmesi

Özellikleri ve ısı kaybı hesaplamaları Bölüm 9.1'de verilmiş olan binanın yaşam mahallerinin ısıtılması ve kullanım suyu gereksiniminin güneş enerjisince ne oranda karşılanabileceği de T*SOL Expert 4.3 adlı program yardımıyla hesaplanmıştır.



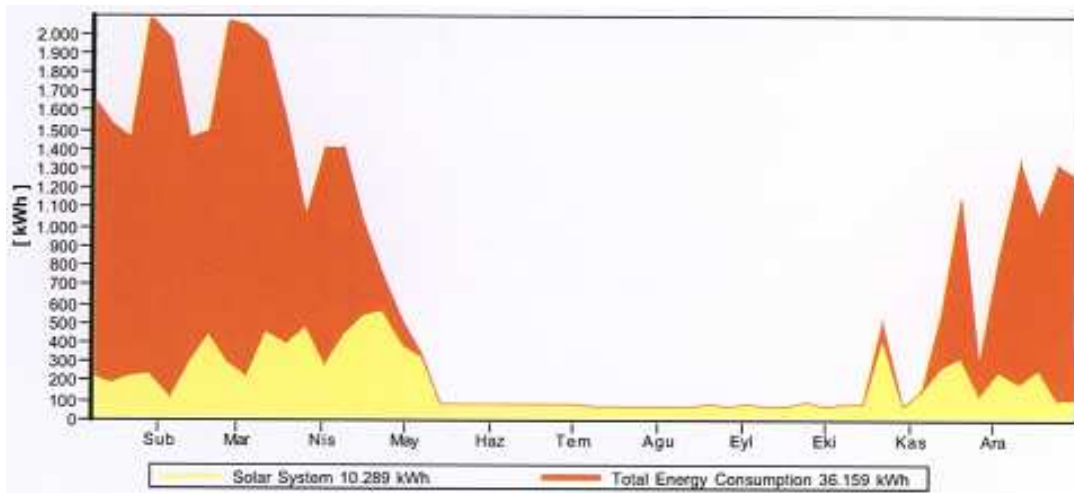
Şekil 9.6 Kullanım Suyu ve Isıtma Desteğinin Güneşten Sağlanması

Şekil 9.6'deki simülasyona ait bazı özellikleri Çizelge 9.17 ile özetleyebiliriz,

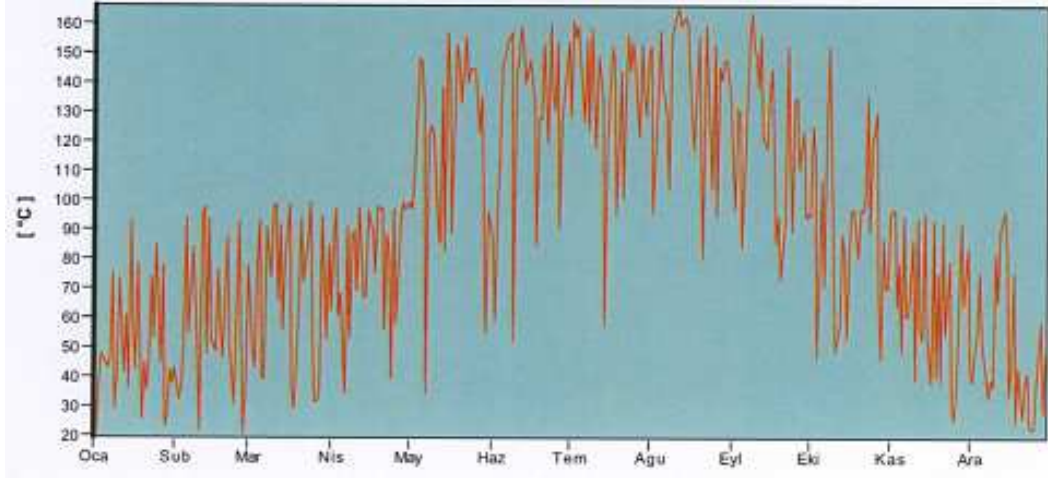
Çizelge 9.17 Isıtma ve Kullanım Suyu Desteğinin Simülasyonuna Ait Ekipmanın Özellikleri

Kollektör Sayısı	Kollektör Alanı (m ²)	Sirkülasyon Pompası Adedi	Kullanım Suyu Tankı Adedi	Mahal Isıtma Tankı Adedi	Kullanım Suyu Tankı Hacmi (l)	Mahal Isıtma Tankı Hacmi (l)
20	47,8	3	1	1	300	1500

Bina toplam ısıtma ve kullanım suyu gereksiniminin ne kadarının bu sistem tarafından karşılanabileceği hesaplanmış ve Şekil 9.7 ve Şekil 9.8 ile gösterilmiştir.



Şekil 9.7 Yıllık Toplam Kullanım Suyu ve Isıtma Gereksiniminin Güneş Enerjisince Aylık Karşılama Oranları



Şekil 9.8 Kollektör Yüzey Sıcaklıklarının Aylık Maksimum Değerleri

Buna göre, Şekil 9.7'den görüleceği gibi yaz aylarında ısıtma ihtiyacı olmadığı göz önüne alındığında, kullanım suyunun tamamının kolektörlerden karşılanabildiği, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde ise toplam ısıtma ve kullanım suyu ihtiyacının önemli bir bölümünü güneş enerjisi tarafından karşılanabileceği görülmektedir. Dolayısı ile Şekil 9.8'de ise yaz aylarında kolektör sıcaklığının çok yüksek değerlere çıktığı görülmektedir. Burada bir atıl kapasite ortaya çıkmakta ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Kurulan simülasyonun sayısal olarak gereksinimlerin ne kadarını karşılayabildiğini kısaca özetlersek;

Çizelge 9.18 Kullanım Suyu ve Isıtma İhtiyacı Hesabı

Kullanım Suyu ve Isıtma İçin Hesap Çizelgesi		
Kollektör Yüzeyine Gelen Işınım	70,44 MWh	1661,34 kWh/m ²
Çevrimin Ürettiği Enerji	11,35 MWh	267,68 kWh/m ²
Kullanım Suyu Isıtılması İçin Gereken Enerji	3,98 MWh	
Mahal Isıtılması İçin Gerekli Enerji	31,51 MWh	
Güneş Enerjisinden Kullanım Suyu İçin Karşılana Miktar	3,89 MWh	
Güneş Enerjisinden Mahal Isıtma İçin Karşılana Miktar	6,4 MWh	

TKIP'den Isıtma İçin Sağlanan Enerji	25,87 MWh	
Güneş Enerjisinin Toplam Yüğü Karşılama Oranı	28%	

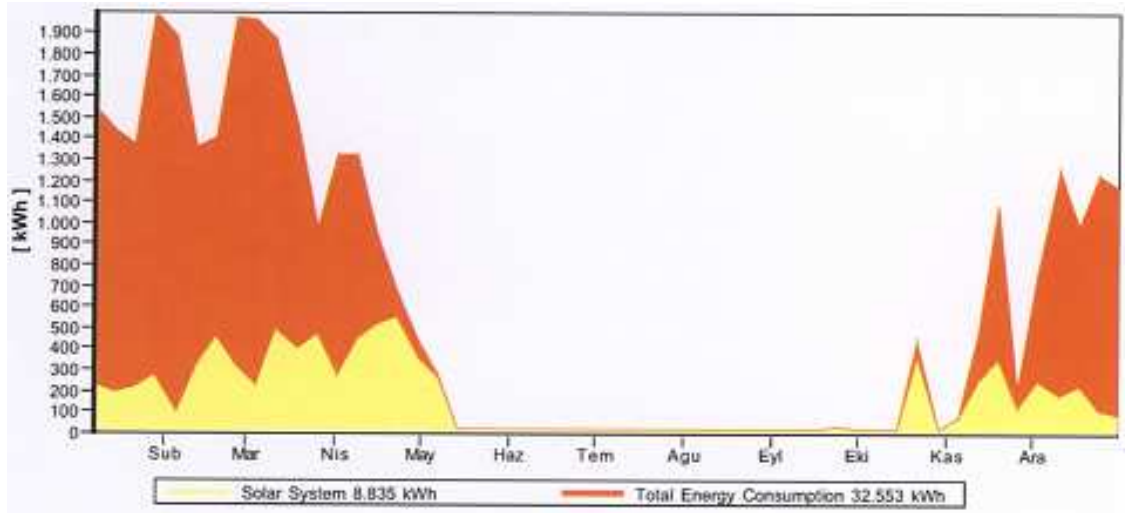
9.4.3 Isıtma İhtiyacının Güneş Enerjisi ile Desteklenmesi

Bölüm 9.4 ve 9.5'te irdelenen binanın güneş enerjisinden yalnızca ısıtmada faydalanması durumu için kurulan sistemin özellikleri Çizelge 9.19 ile gösterilmektedir,

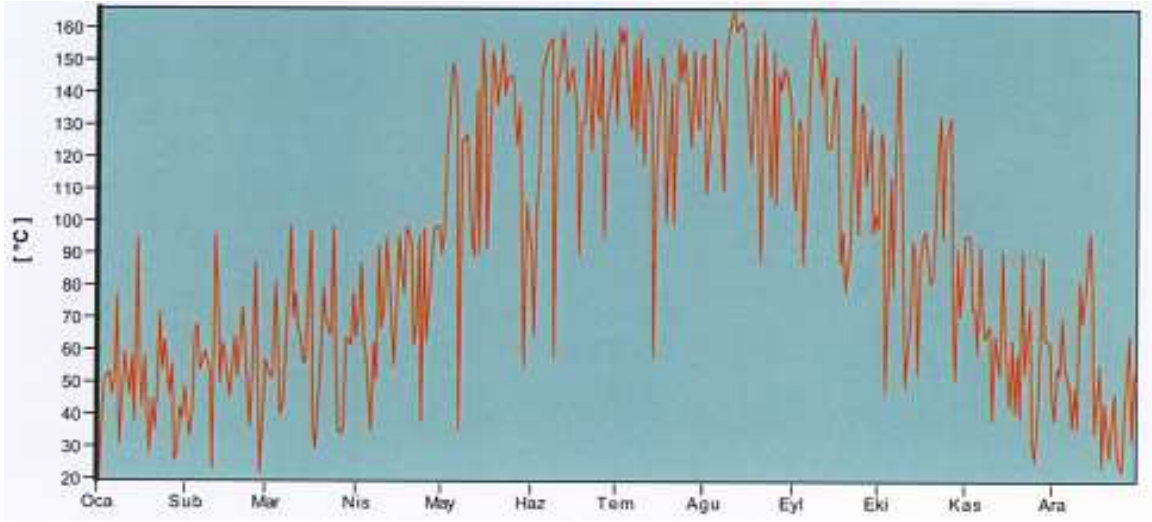
Çizelge 9.19 Yalnızca Isıtma Desteği İçin Kurulan Sistem Ekipmanına Ait Özellikler

Kollektör Sayısı	Kollektör Alanı (m ²)	Sirkülasyon Pompası Adedi	Kullanım Suyu Tankı Adedi	Mahal Isıtma Tankı Hacmi (l)
20	47,8	2	1	1500

Bina toplam mahal ısıtma gereksiniminin ne kadarının bu sistem tarafından karşılanabileceği hesaplanmış ve Şekil 9.9 ve Şekil 9.10 ile gösterilmiştir.



Şekil 9.9 Güneş Enerjisinin Isıtma İhtiyacını Karşılama Oranı



Şekil 9.10 Kollektör Yüzey Sıcaklıklarının Aylık Maksimum Değerleri

Güneş enerjisinden yalnızca ısıtmada yararlanmak üzere gerçekleştirilen bu tasarımdaki enerji kaynaklarının kompozisyonunu şöyle özetleyebiliriz:

Çizelge 9.20 Isıtma İhtiyacı Kaynakların Karşılama Oranları

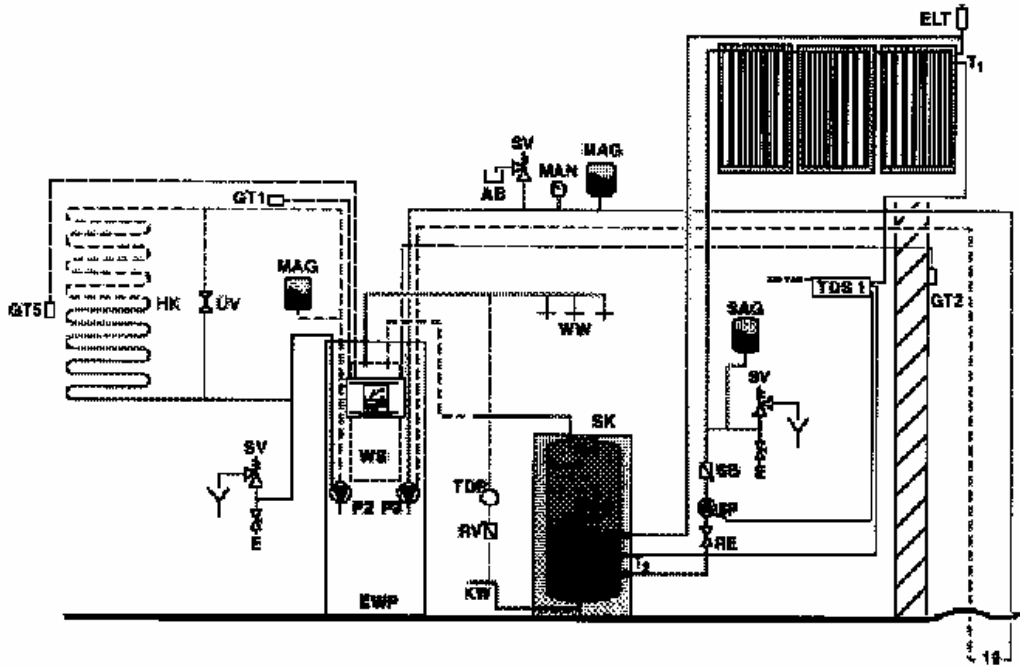
Kullanım Suyu ve Isıtma İçin Hesap Çizelgesi		
Kollektör Yüzeyine Gelen Işınım	70,44 MWh	1661,34 kWh/m ²
Çevrimin Ürettiği Enerji	9,93 MWh	234,31 kWh/m ²
Mahal Isıtılması İçin Gerekli Enerji	31,51 MWh	
Güneş Enerjisinden Mahal Isıtma İçin Karşılanan Miktar	7,8 MWh	
TKIP'den Isıtma İçin Sağlanan Enerji	23,72 MWh	
Güneş Enerjisinin Toplam Yüğü Karşılama Oranı	25%	

Burada dikkat edilmesi ve yatırım yapılırken göz önüne alınması gereken bir başka husus da ısıtma için kullanılmakta olan depolama tankıdır. Depolama tankı hacmi büyüdükçe sistemin ısı depolama yeteneği artmakta, dolayısıyla güneş enerjisinden yararlanma oranı artmakta, buna karşılık artan depolama hacmi ilk yatırım maliyetini arttırmaktadır.

Çizelge 9.21 Bazı Değişkenlere Göre Güneş Enerjisi Kullanım Oranlarının Değişimi

Sıra No	Depolama Hacmi (l)	Kollektör Sayısı	Etkenlik (%)	Güneş Enerjisinin Karşılama Oranı (%)	Enerji İhtiyacı (kWh)
1	500	5	18,33	9,82	29658,83
2	500	10	15,18	16,18	27701,93
3	500	15	12,86	20,45	26422,38
4	500	20	10,94	23,17	25556,05
5	500	25	9,38	24,81	25023,39
6	1000	5	19,83	10,55	29604,39
7	1000	10	16,83	17,82	27325,51
8	1000	15	14,70	23,27	25600,58
9	1000	20	12,88	27,10	24395,02
10	1000	25	11,34	29,80	23510,77
11	1500	5	20,79	11,02	29560,97
12	1500	10	17,77	18,72	27172,20
13	1500	15	15,77	24,83	25219,18
14	1500	20	14,10	29,51	23721,15
15	1500	25	12,58	32,89	22607,12

9.5 Birleşik Sisteme Güneş Enerjisi Katkısı



Şekil 9.11 Güneş Enerjisi Destekli Toprak Kaynaklı Isı Pompası

Şekil 9.11'deki sistem güneş kolektörlerinden sağlanan enerjiye ilave edilen kaynağın toprak kaynaklı bir ısı pompası olduğu bir sistemdir.

Bu sistemin enerji paylaşımı ve dağıtımı, ortak(bileşik) kontrol sistemleri, diferans ve set değerlerine göre oluşan farklar ve bunları yorumlayan otomatik kontrol aygıtlarıyla(beyin) sağlanır. Sistemde amaç mahal için set edilen sıcaklığın korunması ise, bunun için gündüzleri güneş kollektörleri ile alınan sıcak su yetersiz kaldığında toprak kaynaklı ısı pompası devreye girer. Her ikisinin de yetersiz kalması halinde ekstra ısıtıcıya sahip evsel boylerin rezistanslı ısıtıcısı(ya da kazan veya kombi de olabilir). Sistemin kontrolünü ise GHP ve SP kontrollerini yorumlayan bir beyin tarafından sağlanabilir.

GHP kontrol aygıtı, toprak kaynaklı ısı pompasını kontrol ederken, SP kontrol aygıtı dasolar kollektörü kontrol edecektir. Bu iki sistemi ise bir domestic termoglosür kaplamalı boler ile akuple ederek üçlü sistem kurarak, sistemi bir eğri üzerinden çalıştırabiliriz.

SC ve GHP kontrol aygıtları, bir UBAH3 tipi verilen eğriyi yorumlama mantığıyla çalışan beyin ile kontrol edilebilir. Bu sistemin çalışma mantığı ise, mahalde set edilen sıcaklık için (ısıtmada) kışın gündüz kollektör yeterli ise, SC kontrolü kontağı açar, boylar su girişi başlar güneş destekli boylar ısıtılması devam eder ve set edilen boylar çıkış suyu sıcaklığı, talep edilen sıcaklığa ulaştığı vakit, kontakla pompa çalışır ve mahale sıcak su verilir. Sistem çalışırken(sürekli çalışmada) boylar giriş ve çıkış suyu sıcaklıkları kontrol edilir. Aradaki sıcaklık farkına (diferans) göre boylar debi kontrolü yapar, modülasyona göre(sıcak su, ısıtma ve şartlandırma) sistem debiyi arttırdıkça boylerin ısıtmasına ek olarak kazan da devreye girebilir. Bunun dışında bir başka kontrol senaryosu ise, yerden ısıtmanın sürekli bir biçimde toprak/su kaynaklı ısı pompası ile, kullanım suyunun ise solar panel veya ek ısıtma sistemleri ile sağlayabiliriz. Konut ısıtmasında uygulanan toprak kaynaklı ısı pompalarının verimi ise 5,2 ile 6,1 (COP) değerlerine ulaşmıştır.

Güneş destekli ısı pompalarının en büyük kontrol sorunu, ısı pompalarının sistem verimi ilk 5 yıl çok büyük fark yaratmayacak şekilde düşerken, 5-15 yıl içinde çok büyük fark yaratacak şekilde düşmesidir. Sistem verimi değiştiği için kontrol ekipmanlarının set edilen değere ulaşması için harcayacağı enerji (pompa/kompresör) ve sistem eğrisi değişecektir.

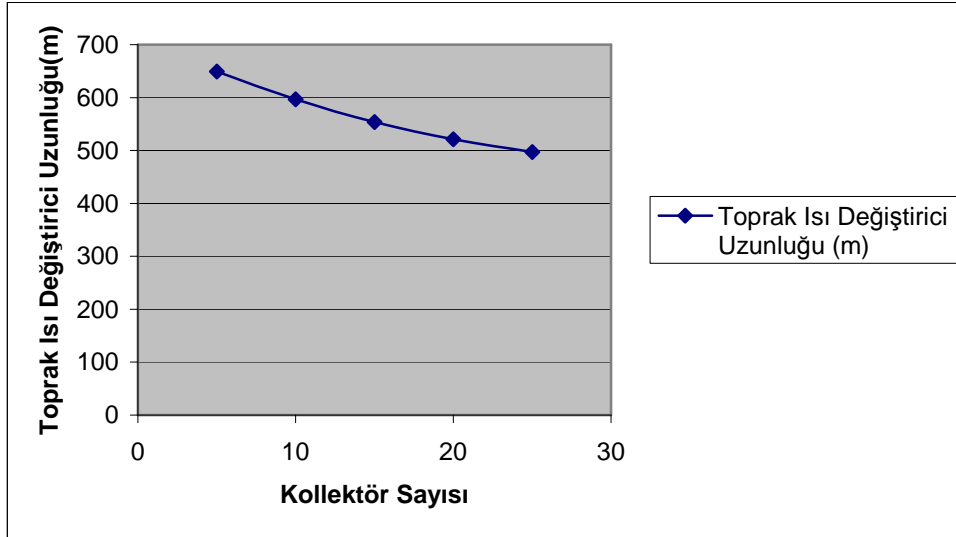
10. HESAP VE KARŞILAŞTIRMALAR

Yapılan çalışmada uygun kontrol ekipmanları ve özenli bir tesisat kurulumu yapıldığı takdirde uzun ömürlü bir ısıtma sistemi kurulabileceği görülmüştür. Çeşitli sayıdaki kollektör için hesaplamalar yapılmış bu hesaplamaların sonucunda, ısıtma gereksiniminin, maksimum kollektör sayısı ve en büyük hacimdeki depolama tankıyla, %32,89'unun güneş enerjisinden karşılanabileceği görülmüştür (Çizelge 9.20). Bu orandaki bir enerji miktarı, seçilecek ısı pompasını, kapasitesi bir alt modele indirebilmeyi sağlamaktadır. Çizelge 10.1, 1500 litrelik bir depolama tankı kullanıldığı takdirde ortaya çıkacak enerji bilançosunu göstermektedir.

Çizelge 10.1 Çeşitli Sayıdaki Kollektörlerdeki Enerji Dengesi

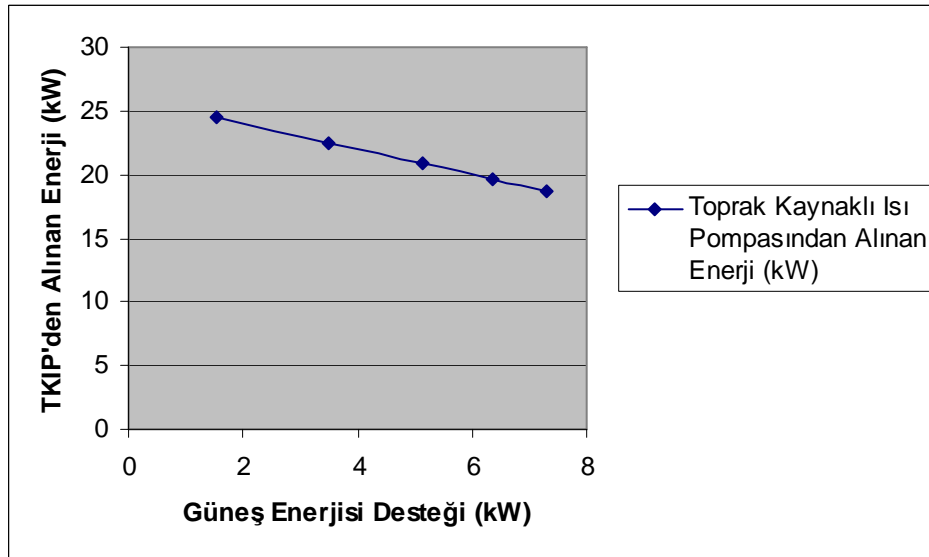
1500 Litrelik Bir Depolama Tankı İçin Enerji Bilançosu			
Kollektör Sayısı	Toprak Kaynaklı Isı Pompası (kW)	Toprak Isı Değiştirici Uzunluğu (m)	Güneş Enerjisi Desteği (kW)
25	18,71	497	7,29
20	19,63	521	6,37
15	20,87	554	5,13
10	22,49	597	3,51
5	24,47	649	1,53

Bu takdirde ortaya çıkabilecek durum, toprak altı ısı değiştiricisi uzunluğunun kısılması, dolayısıyla dikey bir ısı değiştirici yapılacaksa sondaj maliyetlerinin aşağı çekilmesi, yatay bir ısı değiştiricisi yapılacaksa da uygulamanın yapılacağı alanın küçülmesi ve arsa maliyetinin düşürülmesidir. Bunun yanında ısı pompasının güneş kollektöründen bir miktar ısınmış suyu alması kompresörün daha az çalışmasına neden olacak, dolayısıyla elektrik enerjisi tasarrufu sağlanacaktır. Çizelge 10.1'deki kollektör sayıları ve 1500 litrelik bir depolama tankı için, toprak altı ısı değiştiricisi uzunluğunun kollektör sayılarına göre değişimi Şekil 10.1 ile gösterilmektedir.



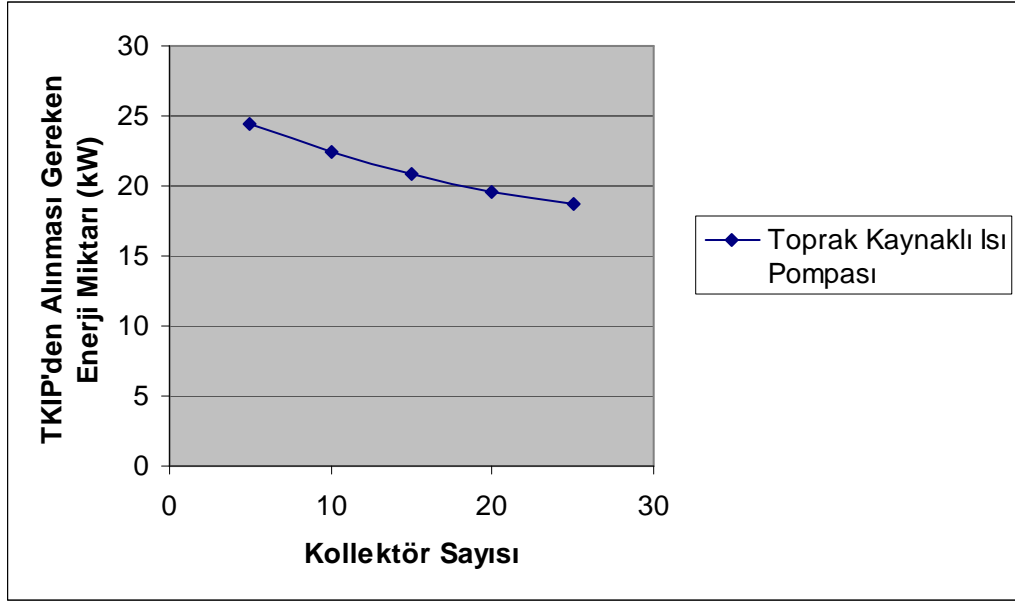
Şekil 10.1 Toprak Altı Isı Değiştirici Uzunluğunun Yalnız Isıtma Desteği İçin Kollektör Sayısına Göre Değişimi

Sistemde kullanılmakta olan kollektörler yılın yalnızca ısıtma döneminde kullanılabilmekte, soğutma döneminde ise yalnızca ısı pompası kullanılmaktadır. Soğutma döneminde de kollektörlerin kullanılabilmesi için absorpsiyonlu bir soğutma sistemi kurularak sistemi daha verimli bir hale getirmek mümkündür.



Şekil 10.2 Güneş Enerjisi Desteğinin TKIP'nın Kapasitesine Etkisi

Şekil 10.2, artan güneş enerjisi desteğinin TKIP kapasitesine etkisini göstermektedir.



Şekil 10.3 Kollektör Sayısının TKIP'nin Kapasitesine Etkisi

Şekil 10.3, kollektör sayısı değişiminin TKIP'nin kapasitesine etkisini göstermektedir.

10.1 Maliyet Analizi

Birleşik enerji sistemi için yapılacak bir maliyet analizi, ısı pompasına verilecek güneş enerjisi desteğinin ne ölçüde olması gerektiğini gösterecektir. Bölüm 9.4.1, 9.4.2 ve 9.4.3'te güneş enerjisinin binanın kullanım suyu ve mahal ısıtma gereksinimlerinin ne kadarını hangi ekipman adediyle sağladığı görülmüştür. Buna göre; güneş, sözü edilen bölümlerdeki güneş enerjisi desteği ekipmanının maliyetini çizelgelerde gösterebiliriz,

Çizelge 10.2 Yalnızca Kullanım Suyu İhtiyacının Karşlanması Durumu

Yalnızca Kullanım Suyu İhtiyacının Karşlanması (2 kollektör)			
Sıra No	Bileşen	Adet	Fiyat(YTL)
1	Kollektör	2	1530
2	Boyer (300 l)	1	570
3	Boru, Birleştirme Parçaları, Vana, Pompa vs.	-	525
4	İşçilik	-	420
5	Toplam	-	3045

Çizelge 10.3 Isıtma ve Kullanım Suyu İhtiyacının Karşılanması Durumu

Isıtma ve Kullanım Suyu İhtiyacının Karşılanması (20 kollektör)			
	Bileşen	Adet	Fiyat(YTL)
1	Kollektör	20	15300
2	Boyer (300 l)	1	570
3	Boyer (1500 l)	1	3500
4	Boru, Birleştirme Parçaları, Vana, Pompa vs.	-	4842
5	İşçilik	-	3873
6	Toplam	-	28085

Çizelge 10.4 Yalnızca Isıtma İhtiyacının Karşılanması Durumu (20 kollektör)

Yalnızca Isıtma İhtiyacının Karşılanması (20 kollektör)			
	Bileşen	Adet	Fiyat(YTL)
1	Kollektör	20	15300
2	Boyer (1500 l)	1	3500
3	Boru, Birleştirme Parçaları, Vana, Pompa vs.	-	4700
4	İşçilik	-	3760
5	Toplam	-	27260

Çizelge 10.5 Yalnızca Isıtma İhtiyacının Karşılanması Durumu (25 kollektör)

Yalnızca Isıtma İhtiyacının Karşılanması (25 kollektör)			
	Bileşen	Adet	Fiyat(YTL)
1	Kollektör	25	19125
2	Boyer (1500 l)	1	3500
3	Boru, Birleştirme Parçaları, Vana, Pompa vs.	-	5656
4	İşçilik	-	4525
5	Toplam	-	32806

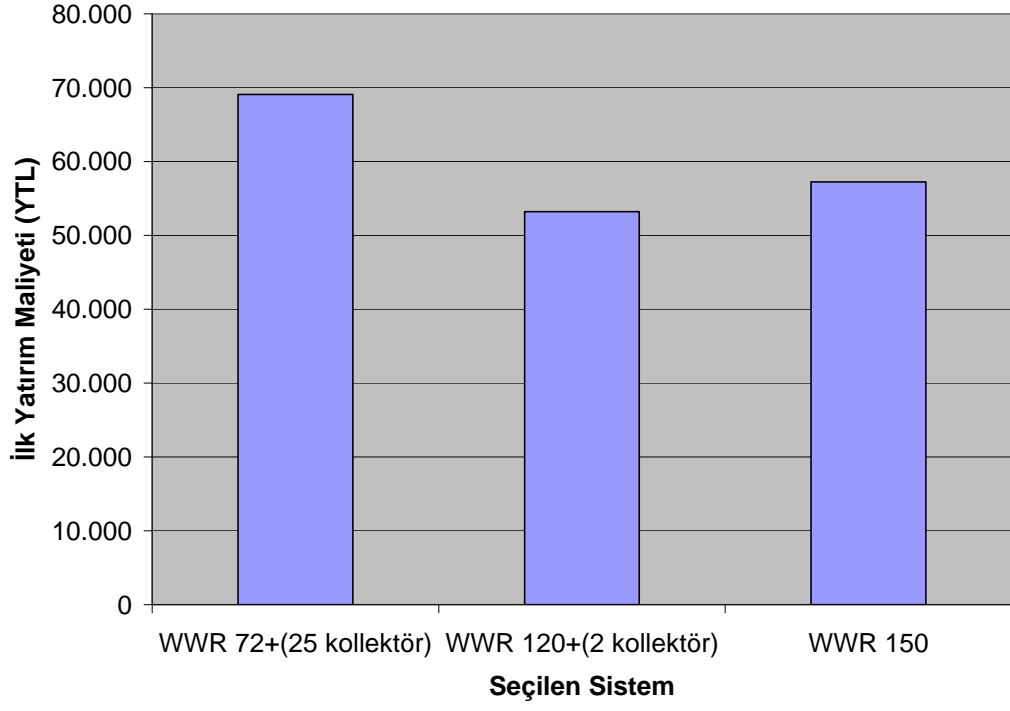
Seçilen 26,2 kW kapasitesindeki WWR 120 tip ısı pompası yalnızca ısıtma gereksiniminin karşılanması içindir. Kullanılan bilgisayar programının verdiği bilgiye göre binanın kullanım suyu ısıtma yükü 1,97 kW olarak belirlenmiştir. Kullanım suyu gereksiniminin de ısı pompasından temini mümkün olmakla birlikte, bu tercih, ısı pompasının bir üst modeline geçiş durumunu ortaya çıkaracak (WWR 150), bu da ilk yatırım maliyetini arttıracaktır. Bu durum Çizelge 10.6 ile gösterilmiştir,

Çizelge 10.6 Isı Pompası Seçiminin İlk Yatırım Maliyetine Etkisi

Isı Pompası Tipi	Cihaz Maliyeti (YTL)	Boru Uzunluğu (m)	Sondaj Maliyeti	Güneş En. Desteği(kW)	TKIP gerekli kapasite (kW)	Kollektör Maliyeti (YTL)	Toplam İlk Yatırım Maliyeti (YTL)
WWR 72	12397	554	80 YTL/m	7,29 (25 kollektör)	20,88	32806	69.095
WWR 120	19916	690	80 YTL/m	1,97 (2 kollektör)	26,2	3045	53.207
WWR 150	23752	747	80 YTL/m	-	28,17	-	57.243

WWR 150 tip ısı pompası seçilmesi durumunda, cihaz maliyeti yaklaşık 4000 YTL artacaktır. Bunun yerine, WWR 120 tip bir ısı pompası seçildiği takdirde, sözü edilen miktardan tasarruf edilmiş olacak, kullanım suyu gereksinimi Çizelge 10.2 'deki tesisten yaklaşık 3000 YTL'lik bir ilk yatırım masrafiyla karşılanabilecektir. Bunun yanında yaklaşık 60 m uzunluğunda bir boru uzunluğu kısalması meydana gelecek ve maliyetlere yansiyacaktır. Kapasitesi daha düşük bir cihaz seçmenin bir başka avantajı da kompresörün harcayacağı iş miktarını, dolayısıyla elektrik masrafımızı da düşürecek olmasıdır.

İşçilik maliyeti 1250 YTL, glikol fiyatı ise 242 YTL olarak alınmıştır.



Şekil 10.4 Bina Isıtma ve Kullanım Suyu Gereksinimi İçin Seçilen Birleşik Sistemlerin İlk Yatırım Maliyetleri

11. SONUÇ VE İRDELEME

Yapılan çalışmada, İstanbul Kumköy mevkiindeki bir yapının ısıtma amaçlı kullanılan toprak kaynaklı ısı pompası düzeneğine güneş enerjisinin desteği araştırılmıştır. Soğutma yükü genellikle ısıtma yükünden daha yüksek bulunmaktadır. Özellikle kuzey yarımkürede soğutma yükü için ortalama %25'lik bir fazlalık göstermektedir. Dolayısıyla, bu tasarım yapılırken, cihazın maliyetinin çok daha yüksek seviyelere çıkmaması düşünülerek binanın yalnızca belli bölümlerinde soğutma yapılacağı kabul edilmiş ve bu kabul sondaj maliyetlerine de yansıtılmıştır. Yapılan analiz çalışmalarında;

1. Toprak kaynaklı ısı pompası düzeneği tek başına düşünülerek kapasite ve maliyetleri hesaplanmıştır.
2. İlgili mahalde, ısıtma ve kullanım suyu gereksinimlerini Güneş enerjisi ile ne ölçüde karşılanabildiği hesaplanmıştır.
3. Güneş enerjisi destekli toprak kaynaklı ısı pompası tasarımı 3 ayrı seçenek düşünülerek yapılmıştır. Yapılan üç ayrı tasarımda, güneş enerjisi desteğine göre toprak kaynaklı ısı pompasına ait kapasite, toprak altı boru uzunluğu ve sondaj mesafesinin değişimleri hesaplanmıştır. Diğer yandan güneş enerjisi desteği seçeneklerine göre kollektör sayıları, depo hacimleri ve tesisatlarına ait değişimler hesaplanmıştır.
4. Tesisi düşünülen üç sistem arasında ısı pompası maliyeti, sondaj maliyeti ve kollektör maliyetleri açısından yapılan bir optimizasyon sonucu sistemlerin ilk yatırım maliyetleri hesaplanmıştır.

Yapılan karşılaştırmada, güneş desteği ile birleşik enerji seçeneklerinden en uygunu, güneş enerjisi ile kullanım suyu gereksiniminin sağlanması daha doğru bir tercih olarak görülmektedir.

Güneş enerjisi ile ısıtma desteği seçeneği ise; m^2 'ye düşen güneş ışınımının yetersiz olmasından dolayı kollektör sayısının arttığı görülmüştür. Dolayısıyla bu seçenek ilk yatırım maliyetini de çok yüksek seviyelere çıkarmıştır. Toprak kaynaklı ısı pompası işletme sürecinde güneş destekli seçeneklerin her birinde elektrik enerjisi tasarrufu sağlandığı görülmüştür. Güneş desteği sıcak bölgelerde daha çok mümkün olduğu görülmektedir. Gelecekte güneş kollektör maliyetlerinin düşmesi toprak kaynaklı ısı pompasına güneş enerji desteğini arttıracığı tahmin edilmektedir.

KAYNAKLAR

- Badescu, V., (2003), “Model of a solar-assisted heat-pump system for space heating integrating a thermal energy storage unit”, *Fuel and Energy Abstracts*, 44:108
- Badescu, V., (2003), “Model of a thermal energy storage device integrated into a solar assisted heat pump system for space heating”, *Energy Conversion and Management*, 44: 1589-1604
- Chyng, J.P., Lee, C. P., Huang B. J., (2003), “Performance analysis of a solar-assisted heat pump water heater”, *Solar Energy*, 74:33-44
- Çilingir, D., (2001), “Isı Pompası Sistemlerinin Konvansiyonel Sistemlerle Karşılaştırmalı Maliyet Analizi”, *Lisans Tezi*, 2001, Yıldız Teknik Üniversitesi
- Demir, H., (2006), “Toprak Kaynaklı Isı Pompası ve Toprak Isı Değiştiricilerin Optimizasyonu ve Geliştirilmesi”, *Doktora Tezi*, 2006, Yıldız Teknik Üniversitesi
- Doherty, P. S., Al-Huthaili S., Riffat, S. B., Abodahab N., (2004), “Ground source heat pump–description and preliminary results of the Eco House system”, *Applied Thermal Engineering*, 24:2627-2641
- Ersöz, İ., (2000), “Toprak Kaynaklı Isı Pompası ile Bir Hacmin Soğutulması”, *Yüksek Lisans Tezi*, 2000, Ege Üniversitesi
- Hancıoğlu, E., (2000), “Güneş Enerjisi Destekli Toprak Kaynaklı Isı Pompası ile Bir Hacmin Isıtılması”, *Yüksek Lisans Tezi*, 2000, Ege Üniversitesi
- Huang, B. J., Chyng J. P., (2001), “Performance characteristics of integral type solar-assisted heat pump”, *Solar Energy*, 71:403-414
- Huang, B.J., Lee, C.P., (2007), “Performance evaluation method of solar-assisted heat pump water heater” , *Applied Thermal Engineering*, 27:568-575
- Kılıç, A., Öztürk, A., (1984), “Güneş Enerjisi Kısım 1 Güneş Enerjisi ve Düz Toplayıcılar”, *Segem Ders Notları*, 1984, İ.T.Ü
- Kıncay, O., Çilingir, D., ‘Toprak Kaynaklı Isı Pompalı Sistemler ile Doğal Gaz ve LPG Sistemlerinin Ekonomik İncelenmesi’, *Tesisat Dergisi*, Sayı: 84, 188-195, 2002.
- Kıncay, O., Temir ,G., ‘ Dikey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası – Bir Uygulama’ , *Termodinamik Dergisi*, Sayı: 125, 87-92, 2003.
- Kuang, Y.H., and Wang, R.Z., (2006), “Performance of a multi-functional direct-expansion solar assisted heat pump system”, *Solar Energy*, 80:795-803
- Kuang, Y.H., Wang R. Z., Yu L. Q., (2003), “Experimental study on solar assisted heat pump system for heat supply”, *Energy Conversion and Management*, 44:1089-1098
- Odeh, S., Nijmeh, S., Akash, B., (2004), “Performance evaluation of solar-assisted double-tube evaporator heat pump system”, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 31:191-201
- Ozgener, O., Hepbasli, A., (2005), “Exergoeconomic analysis of a solar assisted ground-source heat pump greenhouse heating system”, *Applied Thermal Engineering*, 25:1459-1471
- Ozgener, O., Hepbasli, A., (2005), “Experimental performance analysis of a solar assisted

ground-source heat pump greenhouse heating system”, *Energy and Buildings*, 37:101-110

Ozgener, O., Hepbasli, A., (2005), “Performance analysis of a solar-assisted ground-source heat pump system for greenhouse heating: an experimental study”, *Building and Environment*, 40:1040-1050

Ozgener, O., Hepbasli, A., (2007), “A parametrical study on the energetic and exergetic assessment of a solar-assisted vertical ground-source heat pump system used for heating a greenhouse”, *Building and Environment*, 42:11-24

Ozgener, O., Hepbasli, A., (2007), “A review on the energy and exergy analysis of solar assisted heat pump systems”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 3:482-496

Ozgener, O., Hepbasli, A., (2007), “Modeling and performance evaluation of ground source (geothermal) heat pump systems”, *Energy and Buildings*, 39:66-75

Yamankaradeniz, R., Horuz, I., (1998), “The theoretical and experimental investigation of the characteristics of solar-assisted heat pump for clear days”, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 25:885-898

Yang, W.B., Shi, M.H., Dong, H., (2006), “Numerical simulation of the performance of a solar-earth source heat pump system”, *Applied Thermal Engineering*, 26: 2367-2376

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	16.04.1983	
Doğum Yeri	Tekirdağ	
Lise	1994-2001	Tekirdağ Anadolu Lisesi
Lisans	2001-2005	Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı Kurumlar

2005-	Y.T.Ü Makine Müh Bölümü Araştırma Görevlisi
-------	---