

**Eskişehir’de Jeotermal Enerjinin Konut Isıtmasında Kullanılabilirliği**

**Emin Açıkkalp**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mühendislik Anabilim Dalı**

**Kasım-2008**

**Using Geothermal Heatpump at Residence Heating in Eskişehir**

**Emin Açıkkalp**

**MASTER OF SCIENCE THESIS**

**Department of Engineering**

**November-2008**

**Eskişehir’de Jeotermal Enerjinin Konut Isıtmasında Kullanılabilirliği**

**Emin Açıkkalp**

**Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliđi Uyarınca  
Mühendislik Anabilim Dalı  
Enerji -Termodinamik Bilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır**

**Danışman: Doç.Dr.Haydar Aras**

**Kasım- 2008**

## ONAY

Enerji-Termodinamik Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Emin Açıklalp'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Eskişehir'de Jeotermal Enerjinin Konut Isıtmasında Kullanılabilirliği" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

**Danışman** : Doç. Dr. Haydar Aras

### **Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:**

**Üye** : Prof.Dr.L.Berrin Erbay

**Üye** : Y.Doç.Dr.İrfan Üreyen

**Üye** : Y.Doç.Dr.Hüseyin Ankara

**Üye** : Y.Doç.Dr. Necati Mahir

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

## ÖZET

Dünya iklim sisteminde değişikliklere neden küresel ısınmanın etkileri en yüksek zirvelerden, okyanus derinliklerine, ekvordan kutuplara kadar dünyanın her yerinde hissedildi. Kutuplardaki buzullar eridi, deniz suyu seviyesi yükseldi ve kıyı kesimlerde toprak kayıpları arttı. Örneğin 1960'ların sonlarından bu yana Kuzey Yerküre'de kar örtüsünde yüzde 10'luk bir azalma gözlemlendi ve 20'inci yüzyıl boyunca deniz seviyelerinde de 10-15 cm arasında bir artış olduğu saptanmıştır. Küresel ısınmaya bağlı olarak dünyanın bazı bölgelerinde kasırgalar, seller ve taşkınların şiddeti ve sıklığı artarken bazı bölgelerde uzun süreli, şiddetli kuraklıklar ve çölleşme etkili olmuştur. Kış mevsiminde sıcaklık artmış, İlk Bahar erken gelmiş, Sonbahar gecikmiş, hayvanların göç dönemleri değişmiştir. Yani iklimler değişmiştir. İşte bu değişikliklere dayanamayan bitki ve hayvan türleri de ya azalmış ya da tamamen yok olmuştur. Bütün bu olumsuz gelişmelerin sorumlusunun, fosil yakıt tüketiminin son yüzyılda çok büyük artış göstermesi olduğu sıklıkla telaffuz edilmektedir. Bu olumsuz etkilerden kurtulmanın çarelerinden biriye yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygın olarak kullanılmasıdır.

Bu çalışmada, Eskişehir de jeotermal enerjinin konut ısıtılmasında kullanılabilirliği araştırılmıştır. İlk olarak jeotermal enerji hakkında genel bilgi verilmiştir. Dünya ve Türkiye'deki bazı örnekler incelenmiştir. Son olarak Eskişehir ilinde bulunan dubleks bir binanın ısıtılmasında jeotermal enerjinin kullanımı sonucu elde edilen enerji tasarrufu, çevresel ve kullanım maliyetleri açısından incelenerek üstünlükleri gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal enerji, ısı pompası

## SUMMARY

Effects of global heating causing changes in the climate systems of the world is shown from highest peaks to deepest point of oceans and from Ecuador to poles. Ices at poles melt down, oceans high increase and soil fields at the cost decrease. For example, 10% shortage at snow spaces on the North hemisphere have been shown since 1967 and 10-25 cm increasing of the oceans has been demonstrated for 20th century. Because of global warming, some areas on the world floods, storms increase and some areas on the world have more effective drought and become desert rapidly. It is shown Heat increases at Winter and Spring becomes early, Fall gets late, and animal's migration time has changed. So climates change. Species animals and plants that don't stand this changes become extinct or reduces. It is said that this negative changes is caused by fossil-based fuels has increased so much for last century. One solution of this negative effects is to use commonly sustainable energy resources.

In this study, heating a building with geothermal based heat pump is aimed. Initially, it was given a knowledge about geothermal energy. Secondly, various applications from World and Turkey were investigated. Finally amount of saving energy, environmental and cost were researched and advantages were revealed for Eskişehir at double floor house.

Keywords: Geothermal energy, heat pump

## TEŐEKKÖR

Yüksek Lisans çalışmalarında, gerek derslerimde ve gerekse tez çalışmalarında, bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danışmanım Doç.Dr.Haydar Aras 'a teőekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	v
<b>SUMMARY</b> .....	vi
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	vii
<b>EKLER</b> .....	x
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	xi
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	xii
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	xiii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. JEOTERMAL ENERJİ</b> .....	2
2.1. Jeotermal Enerjinin Tanımı .....	2
2.2. Jeotermal Enerjinin Doğası .....	2
2.3. Jeotermal Sistemler .....	4
<b>3. JEOTERMAL ENERJİNİN DÜNYA’DA ve TÜRKİYE’DE JEOTERMAL UYGULAMALAR</b> .....	7
3.1. Dünya’da ve Türkiye’de Jeotermal Enerji.....	7
3.2. Dünya’da ve Türkiye’de Jeotermal Enerji Uygulamaları.....	16
<b>4. ESKİŞEHİR’DE JEOTERMAL KAYNAKLAR</b> .....	22
4.1. Kızılınler Jeotermal Alanı.....	22
4.2. Hasırca Jeotermal Alanı .....	22
4.3. Aşağı Ilıca Jeotermal Alanı .....	23
4.4. Alpu Uyuz Hamamı Jeotermal Alanı .....	23
4.5. İnönü Ilıca Jeotermal Alanı .....	23
4.6. İnönü Pınarbaşı Jeotermal Alanı .....	23
4.7. Sakar Ilıca Jeotermal Alanı .....	24
4.8. Hamamkarahisar Jeotermal Alanı .....	24
4.9. Sivrihisar – Gümüşkonak (Yörme) Jeotermal Alanı .....	24
4.10. Yarıklı Jeotermal Alanı .....	25
<b>5. ISI POMPASININ TANIMI VE JEOTERMAL KAYNAKLI ISI POMPALARI</b> .....	26
5.1. Eskişehir’de Isı Pompası Kullanımı .....	30
5.2. Doğalgaz kazanlı Bir Sistemin Yerine Isı Pompası Bağlanması ve Kazanlı Sistemle Karşılaştırılması.....	30



**İÇİNDEKİLER (devamı)**

5.2.1. Isı pompası sisteminin çözümlenmesi.....	30
5.2.2. Kazanlı sistem için hesaplamalar .....	35
5.3. Isı Pompası Sistemi ile Doğalgaz Kazanlı Sistemin Hava Kirliliğine Olan Katkılarının Karşılaştırılması.....	37
5.4. Isı Pompası Sistemi ile Kazan Sistemin Maliyet, Enerji Tüketimi ve Hava Kirliliğine Katkısı Bakımından Karşılaştırılması.....	39
5.5.Veriler ve Hesaplanan Değerler.....	39
<b>6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....</b>	<b>44</b>
<b>7. KAYNAKLAR DİZİNİ.....</b>	<b>45</b>
<b>8. EKLER.....</b>	<b>47</b>

**EKLER**

	<b><u>Sayfa</u></b>
Ek.1. Zemin kat planı .....	47
Ek.2. Birinci kat planı .....	48
Ek.3. Çatı katı planı .....	49
Ek.4. B-B kesiti 1/50 .....	50
Ek.5. Isı kaybı hesabı .....	51
Ek.6. Isı kaybı hesabı .....	53
Ek.7. Isı kaybı hesabı .....	55
Ek.8. Radyatör teferruatı cetveli .....	56
Ek.9. Zemin kat planı 1/50 .....	57
Ek10. Birinci kat planı 1/50 .....	58
Ek11. Çatı katı planı 1/50 .....	59
Ek12. Kolon seması .....	60

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil.2.1. Yerkürenin Yapısı. ....	2
Şekil.2.2. Jeotermal Sistem ve Elemanları.....	4
Şekil 2.3. Jeotermal Enerji oluşumu.....	5
Şekil 3.1. Türkiye’deki Jeotermal Sıcaklık Kayıtlarının Ayrılması .....	12
Şekil 3.2. Türkiye’de Jeotermal Kaynakların Dağılışı.....	13
Şekil 3.3. Hava Kaynaklı Isı Pompası.....	17
Şekil 3.4. Urchueguia ve Diğerlerinin Deney Seti.....	17
Şekil 3.5. Isıtma ve Soğutma İçin, Su-Su İklimlendirme Sisteminin Aylık Elektrik Tüketimi.....	18
Şekil 3.6. Isıtma ve Soğutma İçin, Hava-Su İklimlendirme Sisteminin Aylık Elektrik Tüketimi.....	18
Şekil 3.7. Bina ısıtması İçin Jeotermal Bir Isı Pompasının Şematik Gösterimi.....	19
Şekil 3.8. Deneysel Çalışmanın Şematik Gösterimi.....	20
Şekil 4.1. Eskişehir ili jeotermal alanları.....	21
Şekil 5.1. Isı pompası çevriminin şematik gösterimi.....	27
Şekil 5.2. Isıtma İçin Kullanılan Isı Pompası Çevirimi.....	29
Şekil 5.3. Soğutma İçin Kullanılan Isı Pompası Çevirimi.....	29
Şekil 5.4. Isı Pompası Sistemi Şekli .....	31
Şekil 5.5. Isı pompasının T-S diyagramı.....	31

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
c	Suyun özgül ısısı
CO <sub>2</sub>	Karbon dioksit
COP	Ekinlik katsayısı
COP <sub>im</sub>	Etkinlik katsayısı (ısıtma çevrimi)
COP <sub>sm</sub>	Etkinlik katsayısı (soğutma çevrimi)
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
$\dot{e}$	Isı kaybını karşılamak için kazanda üretilmesi gereken
$e_h$	Isı kaybını karşılamak için kazanda saatte üretilmesi gereken enerji
E	Kazan sistemin Harcanan Toplam Enerji
EJ	Exajoules
°F	Fahrenayt derece
g	Yerçekimi İvmesi
GHG	Sera gazları
GSHP	Yer kaynaklı ısı pompası
H	Basma Yüksekliği
h	Entalpi
H <sub>U</sub>	Doğalgazın alt ısıldeğeri
HFU	Isı akışı
kg	Kilogram
J	Joule
k	Isı iletkenlik katsayısı
K	Toplam ısı transfer katsayısı
Kcal	Kilocalori
KJ	KiloJoule
Km	Kilometre
Kmol	Kilomol
KPa	KiloPaskal
KW	KiloWatt
KWh	KiloWatt saat
L	Litre
m	Metre

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devamı)

$\dot{m}$	Kütlesel debi
$M_{CO_2}$	Karbondioksit Kütlesinin Toplam Kütlesine Oranı
MK	Yakıtın mol kütlesi
$M_M$	Tüketilen saatlik yakıt miktarı (Kütlesel)
MJ	MegaJoule
$\dot{m}_J$	Jeotermal suyun kütlesel debisi
$\dot{m}_{S1}$	Radyatörde dolaşan suyun kütlesel debisi
$\dot{m}_{S2}$	Kazan Sisteminde Isıtma İçin Suyun Debisi
$\dot{m}_{SA}$	Soğutucu Akışkanın Kütlesel Debisi
M.T.A	Maden Tetkik Arama
$M_{T1}$	Isı pompası sistemine 1 saatte verilen işin maliyeti
$M_{T2}$	Kazan sisteminde kullanılan toplam enerjinin maliyeti
MW	MegaWatt
$M_{W2}$	Kazan sisteminde dolaşım pompası için gerekli enerjinin maliyeti
$MW_e$	MegaWatt (elektrik)
$MW_t$	MegaWatt (termal)
$m_Y$	Kazanda saatte harcanan yakıtın kütlesi
$M_Y$	Yakıtın maliyeti
OE	Enerji oranı
OM	Kullanım sırasındaki maliyet oranı
P	Basınç
Pa	Paskal
q	Özgül ısı
$q_H$	Binanın toplam özgül ısı kaybı
S	Entropi
$\dot{Q}$	Isı
$\dot{Q}_B$	Buharlaştırıcı gücü
$\dot{Q}_Y$	Binanın toplam ısı kaybı
$\dot{Q}_S$	Isıtma suyunun verdiği ısı
$\dot{Q}_J$	Jeotermal Sudan Çekilen Isı
$\dot{Q}_Y$	Yoğunlaştırıcı ısı
t	Zaman
T	Sıcaklık
TJ	TonJoule

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devamı)

$T_{RES}$	Reservuar sıcaklığı
USD	Amerikan Doları
V	Hacim
$V_Y$	Kazanda Saatte Harcanan Yakıt Miktarı (hacimsel)
W	Güç
Wh	Isı Pompasına 1 saat Boyunca Verilen İş
$W_K$	Kompresör Gücü
$\dot{W}_K$	Gerekli kompresör gücü
$W_P$	Pompa gücü
$\dot{W}_{PK}$	Kazan sisteminde dolaşım pompası için gerekli enerji
$\dot{W}_{P1}$	Dolaşım Pompası 1 (jeotermal)
$\dot{W}_{P2}$	Dolaşım Pompası 2 (radyatör)
$\dot{W}_{T1}$	Isı Pompasına verilen Toplam İş
YTL	Yeni Türk Lirası
$\eta$	Kazan verimi
v	Özgül hacim
$\rho$	Özgül ağırlık
$\Delta T$	Sıcaklık farkı
$\Delta T/\Delta Y$	Sıcaklık Gradyanı

## 1.GİRİŞ

Dünya’da gerek fosil yakıtların hızlı bir şekilde azalması gerekse de bu yakıtların çevreye verdiği zararlardan dolayı alternatif enerji kaynakları kullanmak zorunlu hale gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynağı olan jeotermal enerjinin önemini ise şöyle gösterebiliriz; teorik hesaplamalara göre, 0-10 km derinlik arasında dünyada birikmiş ısı enerjisi, yüksek ısı akıllı alanlar için  $245.10^6$  EJ (exajoules), düşük akıllı alanlar için  $181.10^6$  EJ’dir. Bu enerjinin % 0,1’inin işletilebileceği düşünülürse jeotermal kaynak  $0,4.10^6$  EJ’den fazla olacaktır. Bu, dünyada bugün mevcut enerji tüketimine göre 1000 yıllık bir potansiyeli demektir. Dünyada doğal aktiflerden toplam 0,5 EJ üretim yapıldığı, üretilebilecek ispatlanmış rezervinin 50 EJ olduğu tahmin edilmektedir (DPT.,2001). Ülkemiz, diğer alternatif enerji kaynakları yanında jeotermal enerjiyi de kullanmak için uygun kaynaklara sahiptir. Türkiye jeotermal enerji de toplam 31500 MW ısıtma potansiyeli ve 2000 MWe / yıl elektrik üretme potansiyeline sahip olup Dünya’da 5. sıradadır. Türkiye, bu jeotermal enerji kaynakları ile elektrik enerjisi ihtiyacının %5’ini ısı enerjisi ihtiyacının da %30’unu karşılayabilir ([www.jeotermaldernegi.org.tr](http://www.jeotermaldernegi.org.tr)). Eskişehir sahip olduğu jeotermal kaynaklar bakımından, Türkiye’de önemli bir yere sahiptir. Eskişehir’de çıkan jeotermal suların sıcaklığı  $25^{\circ}\text{C}$  ile  $55^{\circ}\text{C}$  değişmekte ve  $25^{\circ}\text{C}$ ’nin üzerinde su sıcaklığına sahip 10 tane jeotermal bölge bulunmaktadır (M.T.A.,2001). Fakat Eskişehir için sıcak su kaynakları yalnızca hamamlar, kaplıcalar ve otellerde turizm amaçlı kullanılmaktadır. Bu suların, taşıdıkları enerjinin başka alanlarda kullanımı için bir uygulama bulunmamaktadır.

Bu çalışmada, çevre dostu ve sürekli bir enerji kaynağı olan jeotermal enerjinin tanımı yapılacak. Dünyada ve Türkiye’de, özellikle Eskişehir’de kullanım alanları, kullanım payları ve uygulamaları hakkında bilgi verilecek, son olarak da jeotermal enerji kaynaklı ısı pompasının Eskişehir’de doğalgaz kazanlı bir sistemin yerine kullanıldığında enerji maliyeti, hava kirliliğine olan etkileri ve enerji harcamaları açısından kıyaslamaları yapılacaktır.

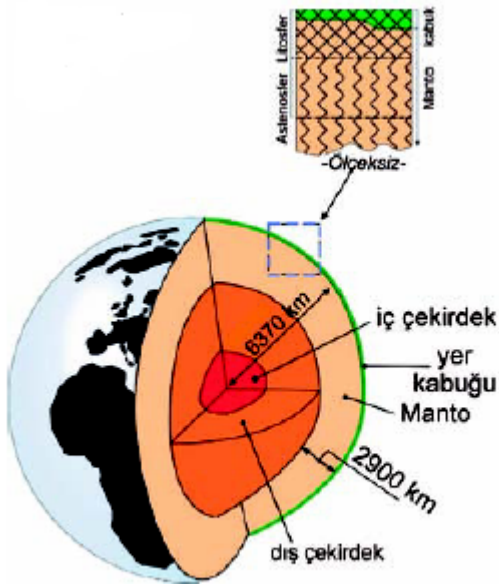
## 2. JEOTERMAL ENERJİ

### 2.1. Jeotermal Enerjinin Tanımı

Jeotermal kelimesi Yunanca jeo (yer) ve termal (ısı) kelimelerinden gelmektedir. Jeotermal enerji, dünyanın çekirdeğindeki sıcak magmanın ısı enerjisi tarafından üretilir ve magmanın ısısının yeryüzüne yakın yerlere veya yeryüzüne taşınması ile kullanılabilir. Bu taşınma, magmanın yerkürenin altındaki çatlak ve kırıklardan sızarak buradaki kayaları veya yeraltı sularını ısıtması ile olur. Bu ısınan sular doğrudan kullanılarak içindeki enerjiden yararlanılabilir, eğer ısınan yeraltı su kaynağı değil de yalnızca kayalarsa aracı bir akışkan kullanılarak, bu ısı enerjisi yeryüzüne çıkarılabilir. Yeryüzüne çıkarılan bu enerji başta ısıtma ve elektrik üretme olmak üzere pek çok farklı alanda kullanılabilir.

### 2.2. Jeotermal Enerjinin Doğası

Dünyamız içeriden dışarıya doğru; iç çekirdek, dış çekirdek, manto ve yer kabuğu olmak üzere 4 katmandan oluşmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Yerkürenin yapısı (Cağlar vd.,2006).



Bu katmanların derinlikleri ve sıcaklıkları ise aşağıdaki gibidir:

	<b>Kalınlık</b>	<b>Sıcaklık</b>
<b>Yer kabuğu</b> :	0 - 30 km,	20 -1000 °C
<b>Manto</b> :	30-2900 km,	1000 °C
<b>Dış çekirdek</b> :	2900 - 5150 km,	1000 - 4000 °C
<b>İç çekirdek</b> :	5150 - 6370 km,	4000°C

Dünyamızın derinliklerinde sıcaklığın, çekirdekteki uranyum, toryum ve potasyum gibi maddelerin radyoaktif bozunmalarından yayılan ısıdan dolayı olduğu sanılmaktadır. Yukarıda gösterildiği gibi yerin içindeki katmanlarda sıcaklıklar farklıdır ve bir sıcaklık gradyanı vardır. Bugün yer kabuğunun 10 km derinine kadar inilebilmektedir ve böylece sıcaklık gradyanının 2,5-3 °C/100 m olduğu hesaplanmıştır. Isının çekirdekten yerkabuğuna çıkışı katı içinde iletim veya magmanın doğrudan yeryüzüne çıkmasıyla, taşınım biçiminde olur. (sezer vd., 2003). Isı akışı (Q) veya HFU ( Heat Flow Unit) ile tanımlanır ve birimi cal / cm<sup>2</sup> s dir. Yeryüzünün (kara ve deniz) ortalama ısı akışı 1,5+%10 HFU dur. Isı akışı 0 ile 3 HFU arasında olan yerler “normal alanlar”, 3 HFU dan büyük yerler ise “Termal alanlar” olarak adlandırılır. Her kayacın kendine özgü ısı iletme yeteneğine ise ısıl iletkenlik (Thermal Conduitivity) denir, K ile ifade edilir ve birimi cal / cm<sup>0</sup>C s dir. Isı akışı, jeotermal gradyan ve ısıl iletkenlik arasında

$$Q=k \Delta T/\Delta Y \quad (2.1.)$$

bağıntısı vardır. Burada;

Q = Isı akışı veya HUF (cal / cm<sup>2</sup> s)

k = Isı iletkenlik katsayısı (cal / cm<sup>0</sup>C s)

$\Delta T/\Delta Y$  = Sıcaklık gradyanı (cal<sup>0</sup>C / cm) dir.

Bütün yerküre yüzeyinin ortalama ısı akış değeri 1,5.10<sup>6</sup> cal / cm<sup>2</sup> s

Bütün yerküre yüzeyinden 1 sn de yayılan ısı 7,65.10<sup>12</sup> cal / s = 31,9.10<sup>6</sup> MW

Bütün yerküre yüzeyinden yıllık yayılan ısı 230.10<sup>15</sup>kcal = 270.10<sup>12</sup> kW dir. (Acar., 1996)

### 2.3. Jeotermal Sistemler

Jeotermal sistemler, su aracılığıyla yüksek sıcaklıktaki kaynaktan düşük sıcaklıktaki kaynağa, ısının taşındığı belirli bir alandır. Bir jeotermal sistemin dört ana ögesi vardır. Bunlar; ısı kaynağı, rezervuar, örtü kaya ve akışkandır.

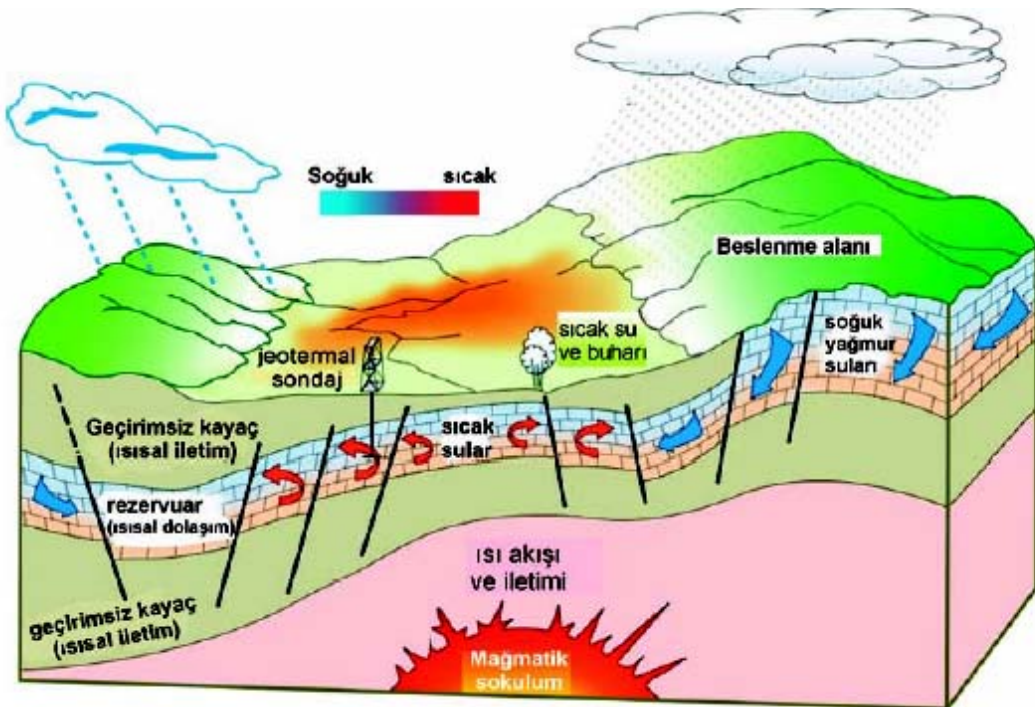
**Isı kaynağı:** Yüksek sıcaklıklı (600°C den büyük) magmanın yerkabuğuna yakın bulunduğu derinliklerdir (birkaç km altta).

**Rezervuar:** Suyu biriktirerek ve dolaşımını sağlayarak ısı çıkışına izin veren geçirgen kayalardır.

**Geçirimsiz kaya:** Bu katmanın geçirgenliği az olup sıcak akışkanın yeryüzüne taşınmasını önler.

**Akışkan:** Akışkan su olup ısıyı dipten yukarı taşır. Suyun kaynağı genelde yağmur sularıdır.

Bir jeotermal sistemi sıcaklığı ve fiziksel özellikleri bakımından inceleyebiliriz. Şekil 2.2'de jeotermal sistemin bileşenleri verilmiştir (Çağlar,2006).



Şekil 2.2. Jeotermal sistem ve elemanları (Çağlar,2006).

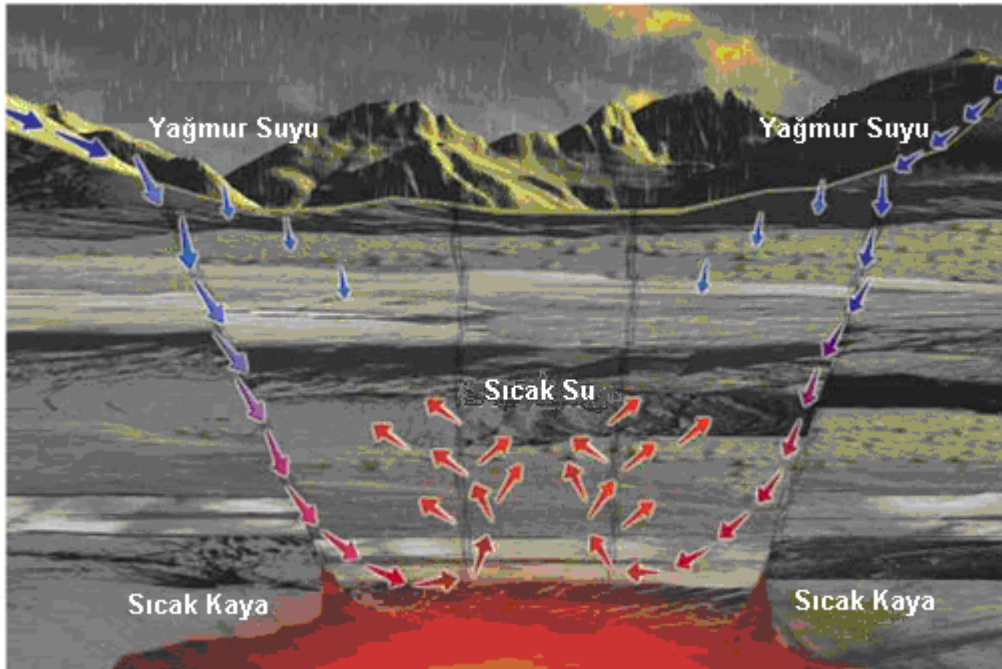
Jeotermal sistemler, sıcaklıkları bakımından üç grupta incelenir:

- **Düşük entalpili bölgeler** : 20 - 70 °C sıcaklığa sahip bölgeler.
- **Orta entalpili bölgeler** : 70 – 150 °C sıcaklığa sahip bölgeler.
- **Yüksek entalpili bölgeler**: 150 °C'den büyük sıcaklığa sahip bölgeler (DPT., 2001).

Jeotermal sistemler fiziksel yapı olarak ise üç grupta incelenir:

- **Sıvı etkin sistemler**: Bu sistemde rezervuardaki akışkan sıvı haldedir.
- **İki fazlı akışkan etkin sistemler**: Bu sistemde rezervuarda su ve su buharı beraber bulunur.
- **Buhar etkin sistemler**: Bu sistemde rezervuarda kızgın buhar bulunmaktadır.

(Cağlar vd.,2006).



Şekil 2.3. Jeotermal enerji oluşumu ( Geothermal Today.. 1999)

Dünyanın merkezi cömert bir enerji kaynağıdır. Yakıtlar; petrol, gaz ve kömür bunlar bir kısmını oluşturur. Aynı zamanda termal enerji olarak adlandırılan ısı açık farkla daha fazladır. Yeryüzünün altındaki Dünya'nın 4000 mil (6437 kilometre) de, 9000 ° F (4982°C) 'dan daha fazla sıcaklığa erişebilir. Isı (jeotermal enerji) çekirdekten dışa doğru çevresini ısıtarak çıkar. Erimiş kaya yüksek basınç ve sıcaklıkta, magma içinde dolaşır. Magma bazen lav şeklinde yüzeye çıkar, fakat çoğu zaman aşağıda kalır ve çevresindeki kayaları ısıtır. Sular çatlak veya gözenekli kayalardan sızarak yüzeyin altına akar ve buhar veya sıcak su depolarını oluşturur. Bu sular çok çeşitli uygulamalar da ve elektrik üretiminde kullanılabilir ( Geothermal Today., 1999).

### 3. JEOTERMAL ENERJİNİN DÜNYADA ve TÜRKİYE’DEKİ UYGULAMALARI

#### 3.1. Dünya’da ve Türkiye’de Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji dünyada ilk çağlardan beri kullanılmaktadır. İlk çağlarda insanlar sıcak sudan çanak, çömlek, tekstil ürünleri vb. yapmak, banyo, ısınma, yemek pişirme gibi ihtiyaçlarını kullanmak için kullanıyorlardı. Orta çağda evlerin ısıtılmasında kullanılmaya ve yaygınlaşmaya başladı. 19. yüzyıldan itibaren ise jeotermal enerjinin kullanılması büyük ivme kazandı. Günümüzde ise jeotermal enerji hayatın pek çok farklı alanında kullanılmaktadır. Jeotermal enerjinin akışkan sıcaklığına göre kullanım alanlarını kısaca aşağıdaki sıralayabiliriz.

Tablo3.1. Jeotermal enerjinin akışkan sıcaklığına göre kullanım alanları (sezer vd., 2001), (Meke vd., 1997)

Kullanım alanları	Sıcaklık
Doğrudan elektrik üretimi (alt sınır)	150 °C
Kolay buharlaşan ikinci bir akışkan kullanarak elektrik üretimi	150 -100°C
Amonyak absorpsiyonu ile soğutma, kağıt hamuru öğütülmesi	180 °C
Hidrojen sülfid yolu ile ağır su elde edilmesi, diatomitlerin kurutulması	170 °C
Kereste, balık kurutma	160 °C
Bayer yöntemi ile alüminyum elde edilmesi	150 °C
Konservencilik, çiftlik ürünlerinin çabuk kurutulması	140 °C
Şeker endüstrisi, tuz elde edilmesi	130 °C
Temiz su elde edilmesi, tuzluluk oranı artırılması	120 °C
Çimento kurutulması	110 °C
Organik maddeleri kurutma, yün yıkama ve kurutma	100 °C
Balık kurutma	90 °C
Ev ve sera ısıtma	80 °C
Soğutma (alt sınır)	70 °C
Sera, kümes ahır ısıtılması	60 °C
Mantar yetiştirme, balneolojik banyolar	50 °C
Toprak ısıtma, bina, kent ve sera ısıtması (alt sınır)	40 °C
Yüzme havuzları, kaplıca ısıtılması, damıtma, fermentasyon	30 °C
Balık çiftlikleri	20 °C

Yukarıda da söz edildiği gibi jeotermal enerjinin endüstride kullanım, ısıtma ve elektrik üretimi olmak üzere birçok uygulaması olduğu görülmektedir. Dünyada jeotermal enerji ile ne kadar elektrik üretildiği 2005 yılı itibari ile çizelge 3.2 de verilmektedir.

**Çizelge 3.2. 2005 itibariyle Dünyada jeotermal enerjiden elektrik üretimi (Dioksan at.all.2004).**

Ülkeler	MWe
Almanya	0,2
Amerika	2544
Arjantin	0,7
Avustralya	0,2
Avusturya	1
Çin	28
El Salvador	151
Endonezya	797
Etiyopya	7
Filipinler	1931
Fransa (Guadalup adaları)	15
Guatemala	0,2
İtalya	790
İzlanda	202
Japonya	535
Kenya	127
Kosta Rika	163
Meksika	953
Nikaragua	77
Papua Yeni Gine	6
Portekiz (Azor adaları)	16
Rusya	79
Tayland	0,3
Türkiye	20,4
Yeni Zelanda	435
<b>Toplam</b>	<b>8897</b>

2005 yılı itibariyle dünyada elektrik üretimi için kurulu 8912 MWe 'lik kurulu güç olup 7,2 milyar KWh / yıl güç üretilmektedir. Jeotermal enerjinin elektrik dışı kullanımı ise 27824 MW termal olup, 4,9 Milyon konut ısıtma eşdeğeridir ([www.jeotermalderneği.org.tr](http://www.jeotermalderneği.org.tr)). Dünyada jeotermal enerjinin 2001 yılı verileri ile elektrik üretimi dışı uygulamalarda kullanımı çizelge 3.3 de verilmiştir (Dioksan at.all.2004).

**Çizelge 3.3. 2001 yılı itibariyle Dünyada jeotermal enerjinin elektrik dışı uygulamaları**  
(Dioksan at.all.2004).

Ülke	Güç(100 MWt)	Enerji (TJ/yıl)
Almanya	397	6307
Amerika	3766	20302
Arjantin	25,7	449
Avustralya	34,4	351
Avusturya	255,3	1609
Birleşik Krallık	2,9	21
Belçika	3,9	107
Bulgaristan	107,2	1637
Cezayir	100	1586
Çek Cumhuriyeti	12,5	128
Çin	2282	37908
Danimarka	7,4	75
Endonezya	2,3	43
Ermenistan	1	15
Filipinler	1	25
Finlandiya	80,5	484
Fransa	326	4895
Guatemala	4,2	117
Gürcistan	250	6307
Hırvatistan	113,9	555
Hindistan	80	2517
Hollanda	10,8	57
Honduras	0,7	17
İsrail	63,3	1713
İsveç	377	4128
İsviçre	547,3	2386
İtalya	325,8	3774
İzlanda	1469	20170
Japonya	1167	26933
Jordan	153,3	1540
Kanada	377,6	102,3

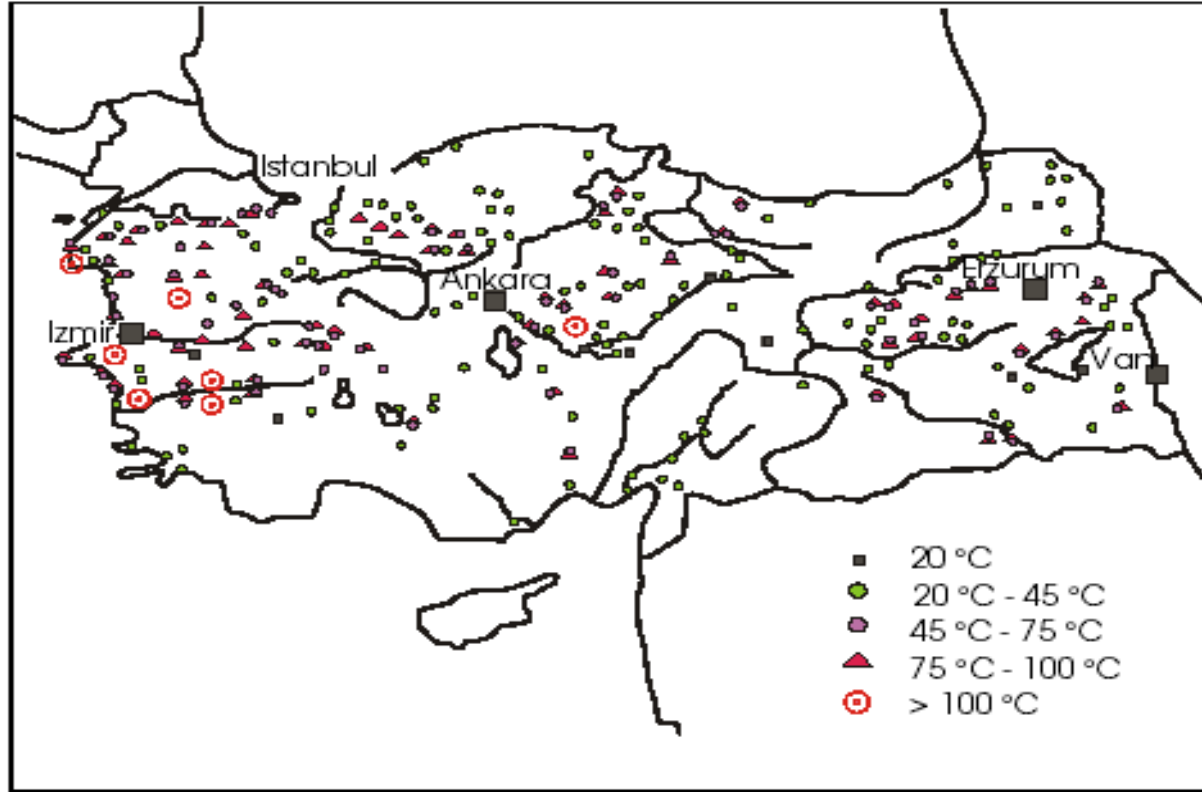
<b>Karayip Adaları</b>	<b>0,1</b>	<b>1</b>
<b>Kenya</b>	<b>1,3</b>	<b>266</b>
<b>Kolombiya</b>	<b>13,3</b>	<b>10</b>
<b>Kore</b>	<b>35,8</b>	<b>753</b>
<b>Litvanya</b>	<b>21</b>	<b>599</b>
<b>Macaristan</b>	<b>472,7</b>	<b>4086</b>
<b>Makedonya</b>	<b>81,2</b>	<b>510</b>
<b>Meksika</b>	<b>164,2</b>	<b>3919</b>
<b>Mısır</b>	<b>1</b>	<b>15</b>
<b>Nepal</b>	<b>1,1</b>	<b>22</b>
<b>Norveç</b>	<b>6</b>	<b>32</b>
<b>Peru</b>	<b>2,4</b>	<b>49</b>
<b>Polonya</b>	<b>68,2</b>	<b>275</b>
<b>Portekiz</b>	<b>5,5</b>	<b>35</b>
<b>Romanya</b>	<b>152,4</b>	<b>2871</b>
<b>Rusya</b>	<b>308,2</b>	<b>6144</b>
<b>Sırbistan</b>	<b>80</b>	<b>2375</b>
<b>Slovakya</b>	<b>132,3</b>	<b>2118</b>
<b>Slovenya</b>	<b>42</b>	<b>705</b>
<b>Şili</b>	<b>0,4</b>	<b>7</b>
<b>Tayland</b>	<b>0,7</b>	<b>15</b>
<b>Tunus</b>	<b>23,1</b>	<b>201</b>
<b>Türkiye</b>	<b>820</b>	<b>15756</b>
<b>Venezüella</b>	<b>0,7</b>	<b>14</b>
<b>Yemen</b>	<b>1</b>	<b>15</b>
<b>Yeni Zelanda</b>	<b>307,9</b>	<b>7081</b>
<b>Yunanistan</b>	<b>57,1</b>	<b>385</b>
<b>Toplam</b>	<b>15145</b>	<b>190699</b>

Jeotermal enerji dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde Filipinler elektrik üretiminin %27'si, Amerika Birleşik Devletlerinin Kaliforniya eyaletinin elektrik ihtiyacının %7'si ve İzlanda'nın ısıtma ihtiyacının %87'si jeotermal enerji ile karşılanmaktadır.

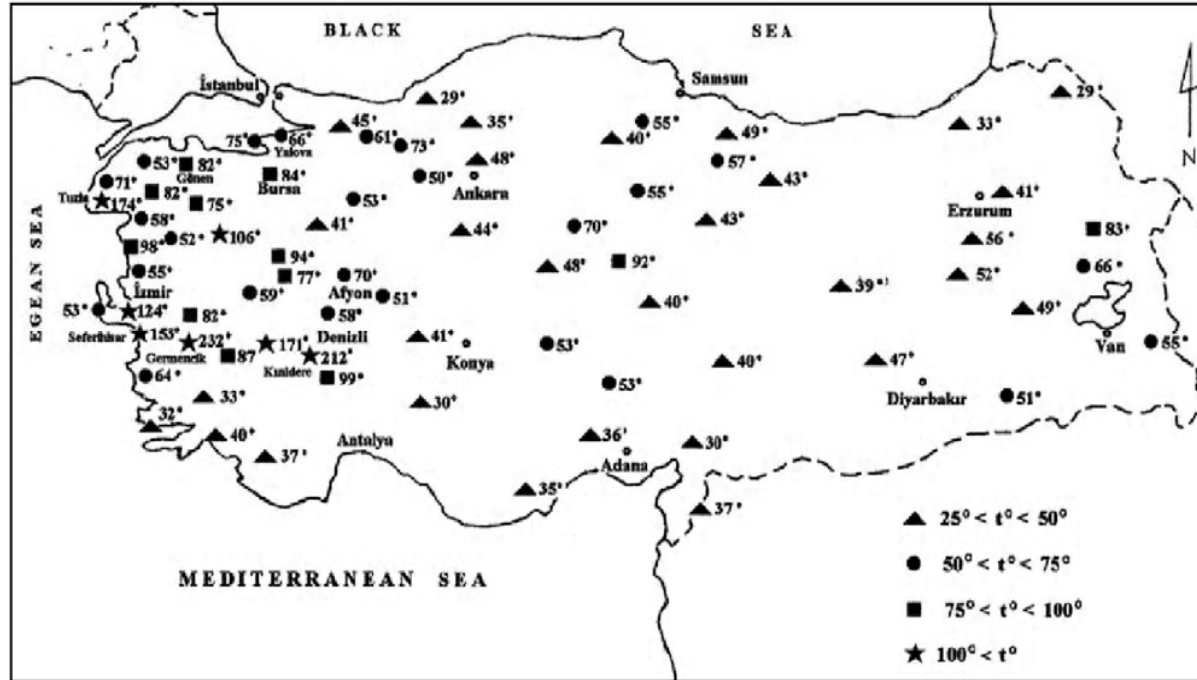
M.T.A' nın verilerine göre Türkiye 31500 MWt kullanılabilir jeotermal enerji potansiyeline sahiptir. Bu ise; 5 Milyon Konut Isıtma Eşdeğeri veya 150 Bin dönüm sera ısıtması, 1 Milyonun üzerinde kaplıca yatak kapasitesi, 9,3 Milyar USD/Yıl Fuel-oil Eşdeğeri (30 Milyon ton/yıl), 30 Milyar m<sup>3</sup>/yıl doğalgaz eşdeğeri demektir . Türkiye elektrik üretiminde ise 2000 MWe'lik bir potansiyele sahiptir. Türkiye jeotermal enerji



ile ısıtma ihtiyacının %30'unu ve elektrik ihtiyacının %5'ini karşılayabileceği tahmin edilmektedir. Mayıs 2005 itibariyle, jeotermal kaynak potansiyelimizin ancak % 4'ü değerlendirilmesine rağmen dünyada 5. sıradadır. Türkiye'de jeotermal enerjinin mevcut olduğu yerler Şekil 3.1. ve şekil 3.2. de gösterilmektedir (European Commission, 2003, Renewable Enerji Source, Promotional Brochure, Business Opportunities in the Geothermal Energy Sector in Turkey august.)



Şekil 3.1. Türkiye'deki jeotermal sıcaklık kayıtlarının ayrılması (European Commission, 2003, Renewable Enerji Source, Promotional Brochure, Business Oppotunities in the Geothermal Energy Sector in Turkey august.).



Şekil 3.2. Türkiye’de jeotermal kaynakların dağılışı (European Commission, 2003, Renewable Enerji Source, Promotional Brochure, Business Opportunities in the Geothermal Energy Sector in Turkey august.).

Türkiye’de şu anda jeotermal enerjiden doğrudan yararlanılan yerler devreye alınma tarihleri çizelge 3.4. de verilmektedir (Satman.A.,2007).

**Çizelge 3.4. Jeotermal enerjiyle ısıtılan başlıca yerleşkeler (Satman.A.,2007).**

Bölge	Devreye Alınma Tarihi(°C)	Giriş Sıcaklığı	Çıkış Sıcaklığı(°C)	En Fazla Akış Oranı(kg/s)	Kapasite(MWt)
Gönen	1987	75	45	110	13,8
Simav	1991	100	50	125	26,2
Kırşehir	1994	54	49	270	5,6
Kızılcahamam	1995	70	42	150	17,6
Balçova	1996	118	60	204	71,3
Ömer-Gecek	1996	90	45	180	33,9
Kozaklı	1996	92	52	100	16,7
Sandıklı	1998	70	42	250	29,3
Diyadin	1998	86	73	200	10,9
Salihli	2002	98	40	70	17,0
Sarayköy	2002	97	50	55	10,8
<b>Toplam</b>					<b>253,1</b>

Türkiye’de jeotermal enerjiden yaralanan enerjiyle ısıtılmalı sistemlerin alan ve kapasiteleri çizelge 3.5’de verilmiştir (Satman.A.,2007).

**Çizelge 3.5. Başlıca serayla ısıtma sistemler (Satman.A.,2007).**

Bölge	Sera Alanı (dekar= $10^3m^2$ )	Kapasite (MWt)
Dikili	240	42
Urganlı	20	3,5
Simav	180	31,5
Gümüşlük	80	14
Edremit	50	9
Tuzla	50	9
Gediz	9	1,5
Afyon	20	3,5
Alaşehir	20	3,5
Urfa	60	10,5
Balçova	80	14

Çizelge 3.6. Alanların potansiyel elektrik kapasitesi ( $T_{res} > 140^\circ$ ) (Satman.A.,2007).

Bölge	Debi (kg/s)	Sıcaklık ( $^\circ\text{C}$ )	Kapasite (MWt) $T_{\text{çıkış}}=140^\circ\text{C}$	Kapasite (MWt) $T_{\text{çıkış}}=130^\circ\text{C}$	Kapasite (MWt) $T_{\text{çıkış}}=40^\circ\text{C}$	Kapasite (MWt) $T_{\text{çıkış}}=20^\circ\text{C}$
Kızıdere	250	217	79,2	89,5	182,1	202,7
Salavatlı	454	157,5	32,7	51,3	219,3	256,7
Germencik	765	220	251,9	283,4	566,8	629,8
Tuzla	120	160	9,9	14,8	59,3	69,2
Simav	223	145	4,6	13,8	96,4	114,7
Seferihisar	264	144	4,4	15,3	112,9	134,6
Yılmazköy-İmamköy	40	142	0,3	2,0	16,8	20,1
Kavaklıdere	6,5	215	2,0	2,3	4,7	5,2
Caferbeyli	6,5	155	0,4	0,7	3,1	3,6
<b>Toplam</b>	<b>809</b>	<b>142</b>	<b>385,4</b>	<b>473,1</b>	<b>1261,4</b>	<b>1436,3</b>

Jeotermal alanların elektrik kapasitesi çizelge 3.6. de gösterilmiştir (Satman.A.,2007).

Jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı ile kapasite bilgileri çizelge 3.7.da gösterilmiştir (satman,A.,2007).

Çizelge 3.7. Jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı için kapasiteler ( $T_{res} > 60^\circ$ ) (Satman.A.,2007).

Bölge	Giriş Sıcaklığı( $^\circ\text{C}$ )	Çıkış Sıcaklığı( $^\circ\text{C}$ )	Debi(kg/s)	Kapasite(MWt) $T_{\text{çıkış}}=60^\circ\text{C}$
Germencik	220	60	765	503,8
Salavatlı	157	60	454	181,1
Kızıdere	217	60	250	162
Ömer-Gecek	94	60	673	95,7
Simav	109	60	476	96,1
Seferihisar	144	60	264	91,2
Dikili	120	60	250	61,7
Tuzla	160	60	120	49,4
Balçova	117	60	369	88,3
Kula-Emir	135	60	140	43,2
Kozaklı	91,2	60	247	31,8
Diyadin	72,3	60	560,5	28,3
Salihli	104	60	150	27,4

<b>Kuzuluk</b>	<b>80,9</b>	<b>60</b>	<b>271</b>	<b>23,4</b>
<b>Sandıklı</b>	<b>67,6</b>	<b>60</b>	<b>496</b>	<b>15,6</b>
<b>Hisarköy</b>	<b>96,7</b>	<b>60</b>	<b>103</b>	<b>15,6</b>
<b>Gölemezli</b>	<b>70</b>	<b>60</b>	<b>340</b>	<b>14</b>
<b>Yılmazköy- İmamköy</b>	<b>142</b>	<b>60</b>	<b>40</b>	<b>13,5</b>
<b>Aliğa</b>	<b>96</b>	<b>60</b>	<b>80</b>	<b>11,9</b>
<b>Gediz</b>	<b>82,3</b>	<b>60</b>	<b>119</b>	<b>11,4</b>
<b>Hisaralan</b>	<b>72,3</b>	<b>60</b>	<b>176</b>	<b>8,9</b>
<b>Tekkehamam</b>	<b>138,7</b>	<b>60</b>	<b>26,6</b>	<b>8,6</b>
<b>Kızılcahamam</b>	<b>80,1</b>	<b>60</b>	<b>91,5</b>	<b>7,6</b>
<b>Ercis-Zilan</b>	<b>86,7</b>	<b>60</b>	<b>66</b>	<b>7,3</b>
<b>Gönen</b>	<b>80</b>	<b>60</b>	<b>83</b>	<b>6,9</b>
<b>Kavaklıdere</b>	<b>215</b>	<b>60</b>	<b>6,5</b>	<b>4,2</b>
<b>Yenice</b>	<b>65</b>	<b>60</b>	<b>164</b>	<b>3,4</b>
<b>Köprübaşı</b>	<b>70,7</b>	<b>60</b>	<b>67</b>	<b>2,9</b>
<b>Banaz</b>	<b>66</b>	<b>60</b>	<b>114</b>	<b>2,8</b>
<b>Caferbeyli</b>	<b>155</b>	<b>60</b>	<b>6,5</b>	<b>2,5</b>
<b>Diğer</b>				<b>16,3</b>
<b>Toplam</b>				<b>1637</b>

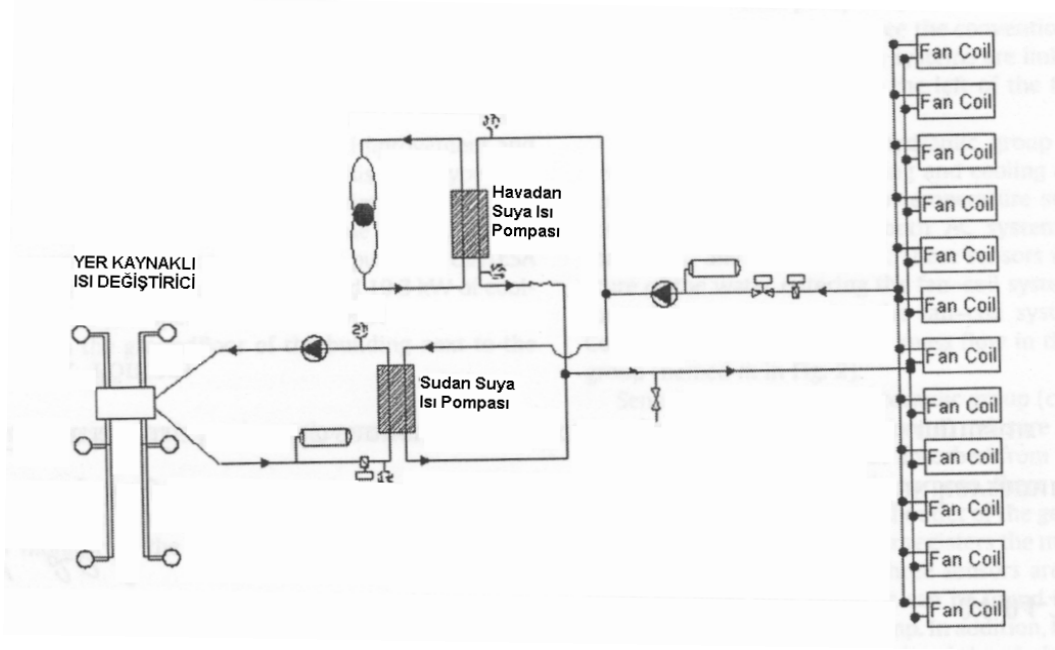
Türkiye’de şu anda jeotermal enerjiyle Denizli-Kızıldere’de bulunan işletme ile 20 MWe’lık elektrik üretilmekte, Germencik’te 20 MWe kapasiteli ve Aydın Salavatlı’da 10 MWe kapasiteli santralleri kurulmaktadır.

Ayrıca 215 adet kaplıca hizmet vermekte ve bunların toplam gücü (402 MWt) (Yılda 10 Milyon Kişi) dir. Ayrıca yılda 120 bin ton karbondioksit üretimi vardır. ([www.jeotermaldernegi.org.tr](http://www.jeotermaldernegi.org.tr)).

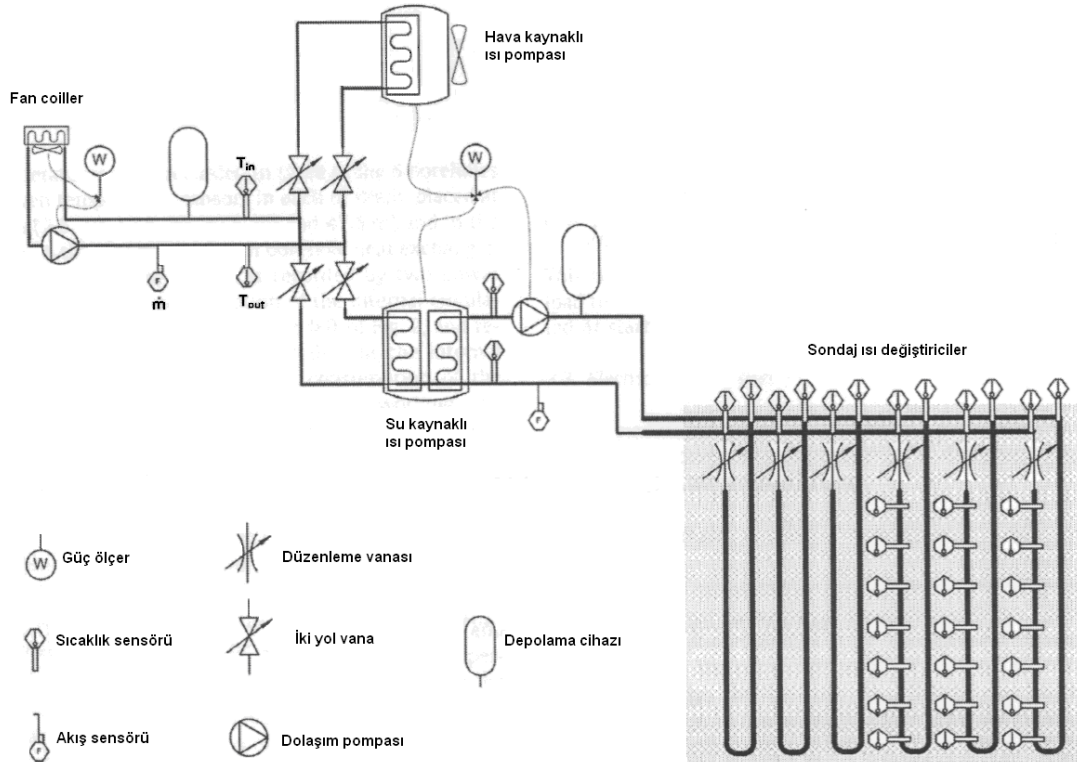
### 3.2. Dünya’da ve Türkiye’de Kullanımıyla İlgili Jeotermal Enerji Uygulamaları

Günümüzde fosil kaynakların tükenmesi araştırmacıları alternatif arayışa itmektedir. Bu alternatiflerden biri ise su ve toprak kaynaklı ısı pompalarıdır. Urchueguia ve diğerlerinin 2008 yılında yaptıkları bir araştırmada jeotermal kaynaklı ve hava kaynaklı ısı pompalarını karşılaştırmışlardır. Jeotermal kaynaklı ısı pompasının birincil enerji tüketiminde diğerine göre %43 daha az yakıt ihtiyacı olduğunu görmüşlerdir. Urchueguia ve diğerlerinin, 2008; yaptıkları çalışmada kullandıkları

jeotermal kaynaklı ısı pompasının şeması şekil 3.3'de, deney setinin krokisi şekil 3.4'de verilmiştir.

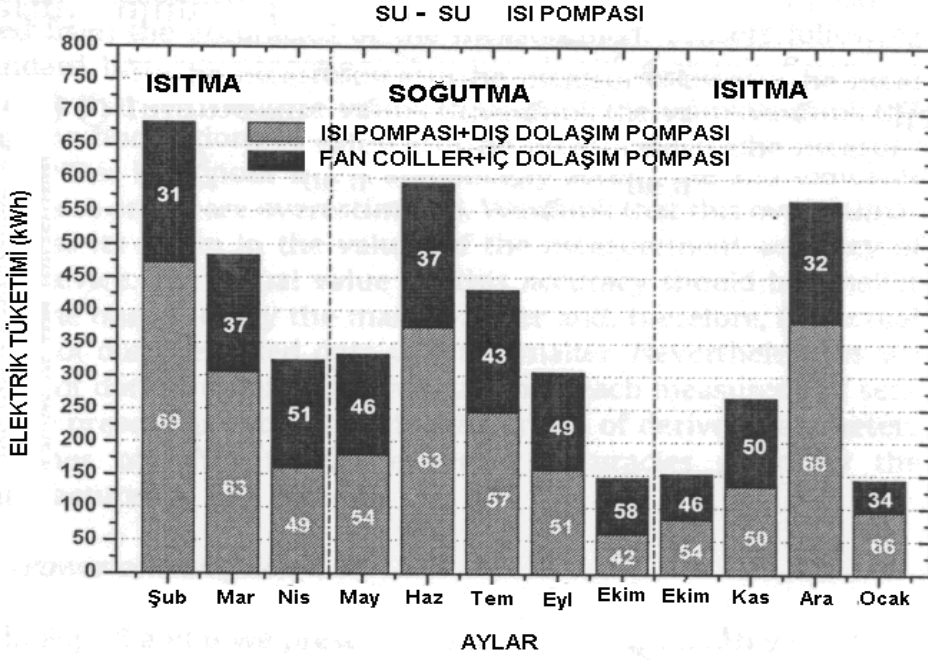


Şekil 3.3. Hava ve Jeotermal kaynaklı ısı pompaları (Urchueguia.,2008).

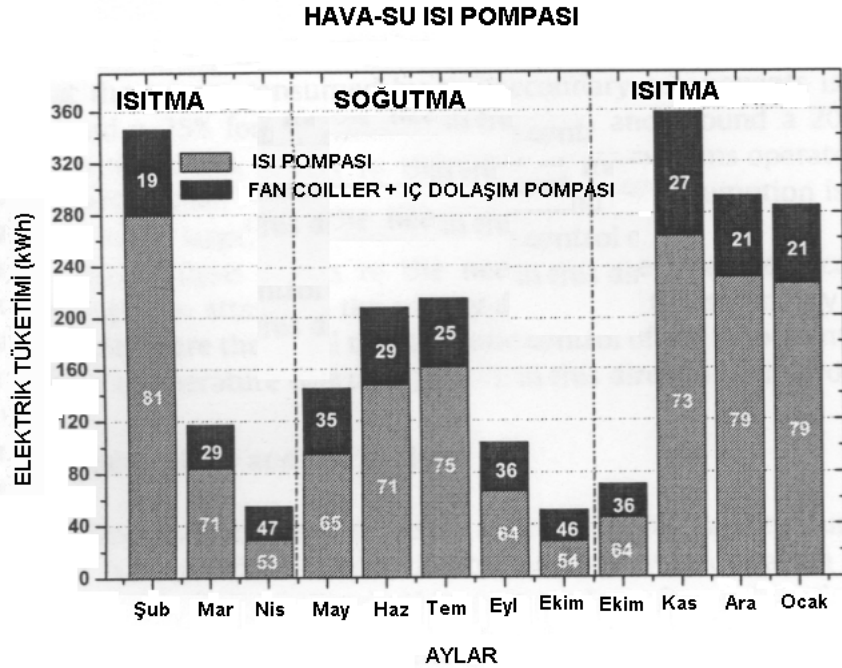


Şekil 3.4. Urchueguia ve diğerlerinin deney seti (Urchueguia.,2008).

Urchueguia ve diğerlerinin yaptıkları çalışmanın sonunda elde ettikleri değerler şekil 3.5 ve 3.6' de verilmektedir (Urchueguia.,2008).



Şekil 3.5. Isıtma ve soğutma için , su-su iklimlendirme sistemin aylık elektrik tüketimi (Urchueguia.,2008).

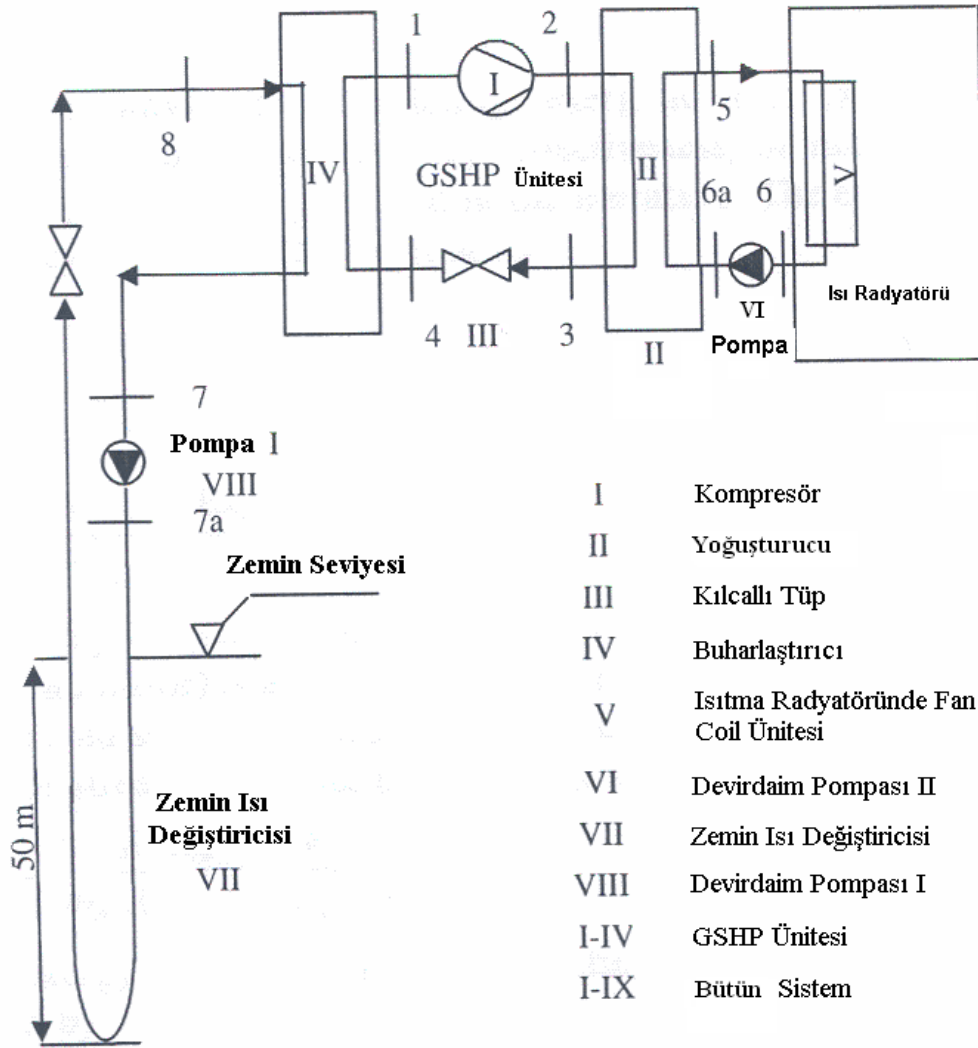


Şekil 3.6. Isıtma ve soğutma için, hava - su kaynaklı ısı pompasının aylık elektrik tüketimi (Urchueguia.,2008).



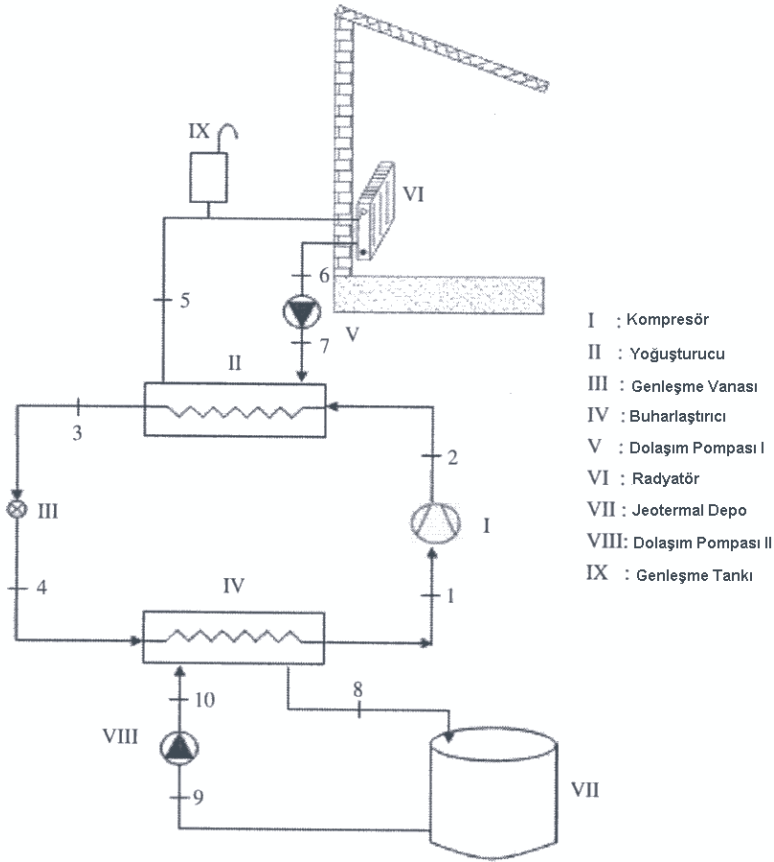
Buna göre özellikle ısıtma olan su kaynaklı ısı pompalarının da etkin olduğu belirtilmiştir.

Özgener ve arkadaşları tarafından 2007 yılında yapılan bir çalışmada, bölgesel ısıtma için kullanılan dikey jeotermal ısı pompasının ekserji ve enerji maliyeti EXTEM yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Çalışmada kullanılan veriler Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsünde kurulan mahal ısıtması için kurulan ısı pompasından alınmıştır. Çalışmada 0° C- 25° C de değişen sıcaklıklarda hesap yapılmıştır (Özgener vd., 2007).



Şekil 3.7. Bina ısıtması için jeotermal bir ısı pompasının şematik gösterimi (Özgener vd., 2007).

Düşük sıcaklıklı jeotermal kaynak kullanılan bir ısı pompası sisteminin performans değerlendirilmesi ve modellemesi ile ilgili bir çalışmada. Sistem 2005 yılından beri Niğde Üniversitesi (Niğde)'de kurulmuş ve başarılı şekilde test edilmiştir. Niğde Üniversitesindeki sistemin performansı enerji ve ekserji analiz metotları kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmayla ilgili kroki Şekil 3.8 de verilmiştir.



Şekil 3.8. Deneysel çalışmanın şematik gösterimi (Ömer vd.,2007).

Jeotermal ısı pompaları bölge ısıtma ve soğutma teknolojisi için en yüksek enerji verimi potansiyeline sahiptir. Bu yüzden jeotermal ısı pompası konsorsiyumu 1994 yılından 2008 yılına kadar bu teknolojinin kullanımı teşvik ve kurulu olanların sayısını 40.000'den 400.000'e arttırmayı hedeflemektedir. Bunun sonundaysa yıllık 1,4 milyon m<sup>3</sup> emisyon atmosfere atılmayacaktır (Ömer vd.,2007).

#### 4.ESKİŞEHİR'DE JEOTERMAL KAYNAKLAR

Dünyada İzlanda'nın ardından potansiyel açısından ikinci sırada bulunan Türkiye'de jeotermal enerjinin kullanımı pek yaygınlaşamamıştır. Ülkemizde jeotermal kaynak zenginliğinde Eskişehir en büyük on jeotermal alan içinde yer almaktadır. Eskişehir'de onbir noktada mevcut olan jeotermal kuyuları yerleri Şekil 4.1 de verilmiştir.



#### AÇIKLAMA JEOTERMAL ALAN

- |                |                     |                     |                                   |
|----------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|
| 01- Eskişehir  | 04- Aşağı Ilıca     | 07- İnönü Pınarbaşı | 10- Sivrihisar Gümüşkonak (Yörme) |
| 02- Kızılinler | 05- Alpu Uyuzhamamı | 08- Sakarı Ilıca    | 11- Mihallıçık Yarıkcı            |
| 03- Hasırca    | 06- İnönü Ilıcası   | 09- Hamam Karahisar |                                   |

Şekil 4.1. Eskişehir ili jeotermal alanları (M.T.A., 2001).

Bu bölgelerde yer alan kaynaklar ve debileri çizelge 4.1. de gösterilmiştir.

**Çizelge.4.1. Eskişehir jeotermal alanlar için sıcaklık ve debiler (M.T.A., 2001).**

Kaynak Adı	Sıcaklık(° C)	Debi(L/s)
Erkekler hamamı	45	-
Yeni hamam	44	-
Has hamamı	44	-
Şengül hamamı	44,5	-

Bu bölgede sıcak sular balneoloji ve yüzme havuzlarında kullanılmaktadır.

#### 4.1. Kızılınler Jeotermal Alanı

Bu bölgedeki kaynakların sıcaklıkları ve debileri çizelge 4.2. de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.2. Kızılınler jeotermal alanı için sıcaklık ve debiler (M.T.A., 2001).**

Kaynak Adı	Sıcaklık(° C)	Debi(L/s)
Kızılınler kaynağı	38	0,6

Bu bölgede sıcak sular balneoloji ve yüzme havuzlarında kullanılmaktadır.

#### 4.2. Hasırca Jeotermal Alanı

Bu bölgedeki kaynakların sıcaklıkları ve debileri çizelge 4.3. de gösterilmiştir

**Çizelge 4.3. Hasırca jeotermal alanı için sıcaklık ve debiler (M.T.A., 2001).**

Kaynak Adı	Sıcaklık(° C)	Debi(L/s)
Kızılay kampı kaynağı	30	5,5
Tayaygırı kaynağı I	33,5	15,5
Tayaygırı kaynağı II	32	2,7
Güney kaplıcası	30	2,5

Bu sular Atatürk Gençlik kampında küçük bir balıklı gölette kullanılmaktadır.

#### 4.3. Aşağı Ilıca Jeotermal Alanı

Bu bölgedeki kaynakların sıcaklıkları ve debileri çizelge 4.4. de gösterilmiştir .

**Çizelge 4.4. Aşağı-Ilıca jeotermal alanı için sıcaklık ve debiler (M.T.A., 2001).**

Kaynak Adı	Sıcaklık( <sup>o</sup> C)	Debi(L/s)
Aşağılıca-1	26	5
Aşağılıca-2	27	10

Bu sulardan herhangi bir şekilde yararlanılmamaktadır.

#### 4.4. Alpu Uyuz Hamamı Jeotermal Alanı

Bu bölgedeki kaynakların sıcaklıkları ve debileri çizelge 4.5. de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.5. Alpu Uyuz Hamamı jeotermal alanı için sıcaklık ve debileri (M.T.A., 2001).**

Kaynak Adı	Sıcaklık( <sup>o</sup> C)	Debi(L/s)
Uyuz hamamı	30	2,5

#### 4.5. İnönü Ilıca Jeotermal Alanı

Bu bölgedeki kaynakların sıcaklıkları ve debileri çizelge 4.6. de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.6. İnönü Ilıca jeotermal alanı için sıcaklık ve debiler (M.T.A., 2001).**

Kaynak Adı	Sıcaklık( <sup>o</sup> C)	Debi(L/s)
İnönü ılıcası	28	15

Buradaki sıcak sudan açık bir yüzme havuzunda yararlanılmaktadır.

#### 4.6. İnönü Pınarbaşı Jeotermal Alanı

Bu bölgedeki kaynakların sıcaklıkları ve debileri çizelge 4.7. de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.7. İnönü Pınarbaşı jeotermal alanı için sıcaklık ve debiler (M.T.A., 2001).**

<b>Kaynak Adı</b>	<b>Sıcaklık(° C)</b>	<b>Debi(L/s)</b>
<b>Pınarbaşı</b>	<b>26</b>	<b>-</b>

Bu bölgede küçük bir yüzme havuzu tesisi vardır.

#### **4.7. Sakar Ilıca Jeotermal Alanı**

Bu jeotermal alanında yer alan bir adet kaynak da sondajların açılmasından sonra kurummuştur.

#### **4.8. Hamam Karahisar Jeotermal alanı**

Bu bölgedeki kaynakların sıcaklıkları ve debileri çizelge 4.8. de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.8. Hamam Karahisar jeotermal alanı için sıcaklık ve debileri (M.T.A., 2001).**

<b>Kaynak Adı</b>	<b>Sıcaklık(° C)</b>	<b>Debi(L/s)</b>
<b>Hamamkarahisar</b>	<b>35</b>	<b>45</b>

Buradaki sıcak sulardan kaplıca amaçlı yararlanılmaktadır.

#### **4.9. Sivrihisar-Gümüşkonak (Yörme) Jeotermal Alanı**

Bu bölgedeki kaynakların sıcaklıkları ve debileri çizelge 4.9. de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.9. Sivrihisar-Gümüşkonak (Yörme) jeotermal enerji alanı için sıcaklık ve debiler (M.T.A., 2001).**

<b>Kaynak Adı</b>	<b>Sıcaklık(° C)</b>	<b>Debi(L/s)</b>
<b>1 nolu kaynak</b>	<b>31</b>	<b>19</b>
<b>2 nolu kaynak</b>	<b>30</b>	<b>-</b>
<b>3 nolu kaynak</b>	<b>27</b>	<b>18</b>
<b>4 nolu kaynak</b>	<b>27</b>	<b>3</b>

Burada sular nadiren banyo amaçlı kullanılmaktadır.

#### **4.10. Yarıkçı Jeotermal Alanı**

Bu bölgedeki kaynakların sıcaklıkları ve debileri çizelge 4.10. de gösterilmiştir

**Çizelge 4.10. Yarıkçı jeotermal alanı için sıcaklık ve debiler (M.T.A., 2001).**

<b>Kaynak Adı</b>	<b>Sıcaklık(° C)</b>	<b>Debi(L/s)</b>
<b>Yarıkçı kaplıcası</b>	<b>38</b>	<b>5</b>
<b>Yarıkçı maden suyu</b>	<b>28</b>	<b>2</b>

Bu bölgede sıcak sulardan kaplıca amaçlı yararlanılmakta maden suyundan ise yararlanılmamaktadır (M.T.A., 2001).

## 5. ESKİŞEHİR İÇİN BİR BİNANIN ISI POMPASI İLE ISITILMASI

Isı pompası düşük sıcaklıkta bir ortamdan yüksek sıcaklıkta bir ortama ısı enerjisi aktaran bir makinedir. Soğutma makineleri ve ısı pompaları aynı çevrimi gerçekleştirirler, fakat kullanım amaçları farklıdır. Bir soğutma makinesinin amacı düşük sıcaklıktaki ortamı, ortamdan ısı çekerek çevre sıcaklığının altında tutmaktır. Daha sonra çevreye veya yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı geçişi, çevrimi tamamlamak için yapılması zorunlu bir işlemdir fakat amaç değildir. Isı pompasının amacıysa bir ortamı sıcak tutmaktır. Bu işlevi yerine getirmek için düşük sıcaklıktaki bir ısı deposundan alınan ısı, ısıtılmak istenen ortama verilir. Düşük sıcaklıktaki ısı enerjisi deposu genellikle soğuk çevre havası, kuyu suyu veya toprak, ısıtılmak istenen ortamsa bir evin içidir.

Bir buzdolabı kışın kapısı açık olarak pencerenin önüne yerleştirilirse, dışarıdaki soğuk havadan aldığı ısı enerjisini arkasındaki borular aracılığıyla eve verecektir.

Isı pompasının etkinliği de etkinlik katsayısı,  $COP_{IP}$  ile ifade edilir:

$$COP_{sm} = \frac{\text{elde edilmek istenen}}{\text{harcanan}} = \frac{\text{soğutma etkisi}}{\text{iş girişi}} = \frac{\dot{Q}_B}{\dot{W}_K + \dot{W}_P} \quad (5.1)$$

$$COP_{im} = \frac{\text{elde edilmek istenen}}{\text{harcanan}} = \frac{\text{ısıtma etkisi}}{\text{iş girişi}} = \frac{\dot{Q}_Y}{\dot{W}_K + \dot{W}_P} \quad (5.2)$$

denklemler karşılaştırıldığı zaman,  $Q_H$  ve  $Q_L$  değerleri her iki çevrimde de eşit olmak koşuluyla aşağıdaki sonuç elde edilir:

$$COP_{IP} = COP_{SM} + 1 \quad (5.3)$$

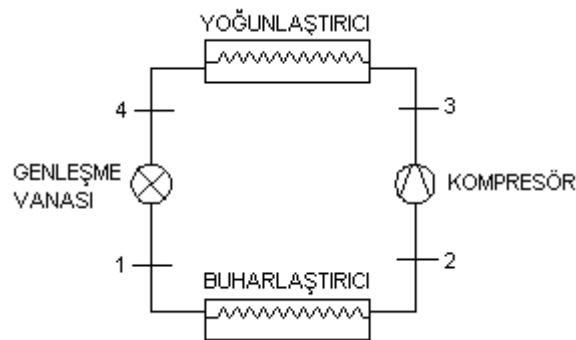
Bu sonuç ısı pompasının etkinlik katsayısının her zaman birden büyük olduğunu göstermektedir, çünkü  $COP_{SM}$  her zaman artı değere sahiptir. Başka bir deyişle, en kötü durumda bile ısı pompası bir elektrikli ısıtıcı gibi çalışacak, tükettiği kadar elektrik enerjisini eve ısı olarak aktaracaktır. Gerçek uygulamalarda  $Q_H$  'nin bir bölümü



borulardan dış havaya geçer ve  $COP_{IP}$ , dış hava sıcaklığı çok düşük olduğu zaman 1'in altına da inebilir. Bu durum gerçekleştiğinde sistem, elektrikli ısıtıcı olarak çalıştırılır. Bugün kullanılan ısı pompalarının mevsimlik ortalama COP değerleri 2 ile 3 arasındadır.

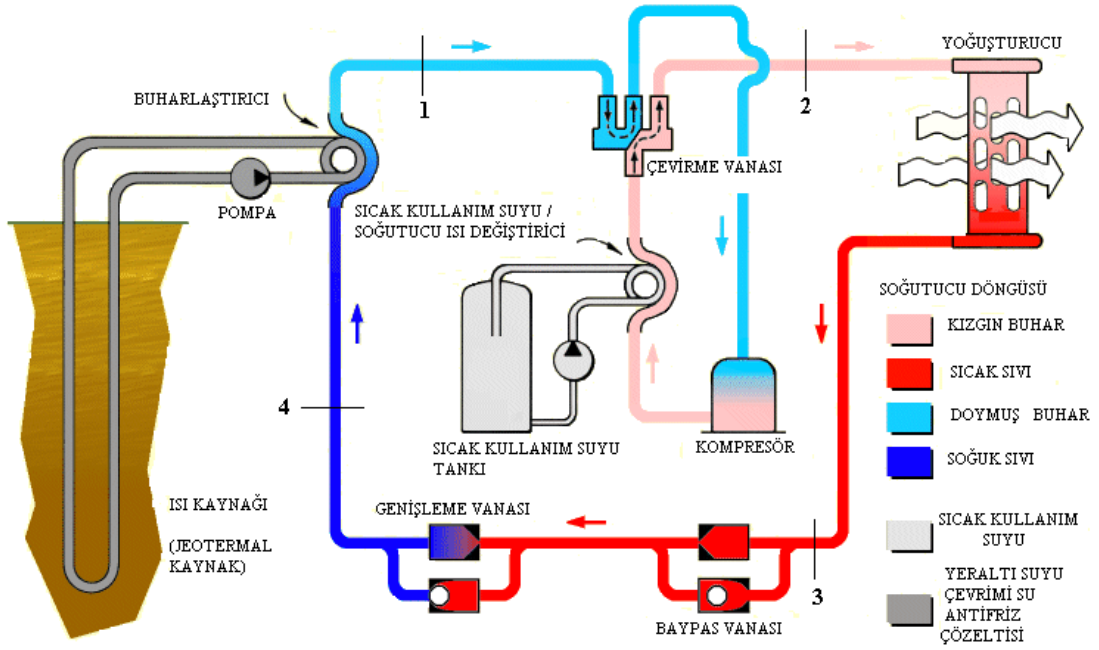
Bir iklimlendirme veya klima cihazı da temelde bir buzdolabından farklı değildir. Soğutulan ortam birinde yiyecek bölmesi, diğerinde odadır. Pencereye konan bir iklimlendirme cihazı, odadan ısı alıp dışarıya ısı vererek odayı soğutur. Aynı iklimlendirme cihazı kışın ters yönde yerleştirilerek bir ısı pompası işlevini görebilir. Bu çalışma düzeninde, cihaz dışarıdan ısı alarak odaya ısı verecektir. İklimlendirme sistemlerinde yazın klima cihazı, kışın da ısı pompası olarak çalışmaya olanak tanıyacak kontrol düzenlemeleri genellikle vardır (Çengel A.,vd 1996).

Isı kaynağı hava olan sistemlerde, hava sıcaklığının nemli yerlerde  $2-5^{\circ}\text{C}$ , nemin az olduğu yerlerde  $0^{\circ}\text{C}$  ve altına düştüğünde karlanma yaşanabilir. Karlanma, ısı aktarımını engelleyeceğinden ısı pompasını etkinliği üzerinde olumsuz etkiye sahiptir. Toprağın ve suyun kullanıldığı sistemlerde yararlanılan sıcaklık daha yüksek olduğundan bu sorun ortadan kalkar. Bu tip sistemlerde sorun, kurulum maliyetinin çok yüksek olması ve bir sorun yaşandığında, toprağın altına inen borular yüzünden müdahale etmek zor ve masraflı olmasıdır. Bu çalışmada, ısı kaynağı hava ve toprak olan ısı pompalarından bahsedilmeyecektir. Jeotermal kaynakları ısı kaynağı olarak kullanan ısı pompaları incelenmiştir.



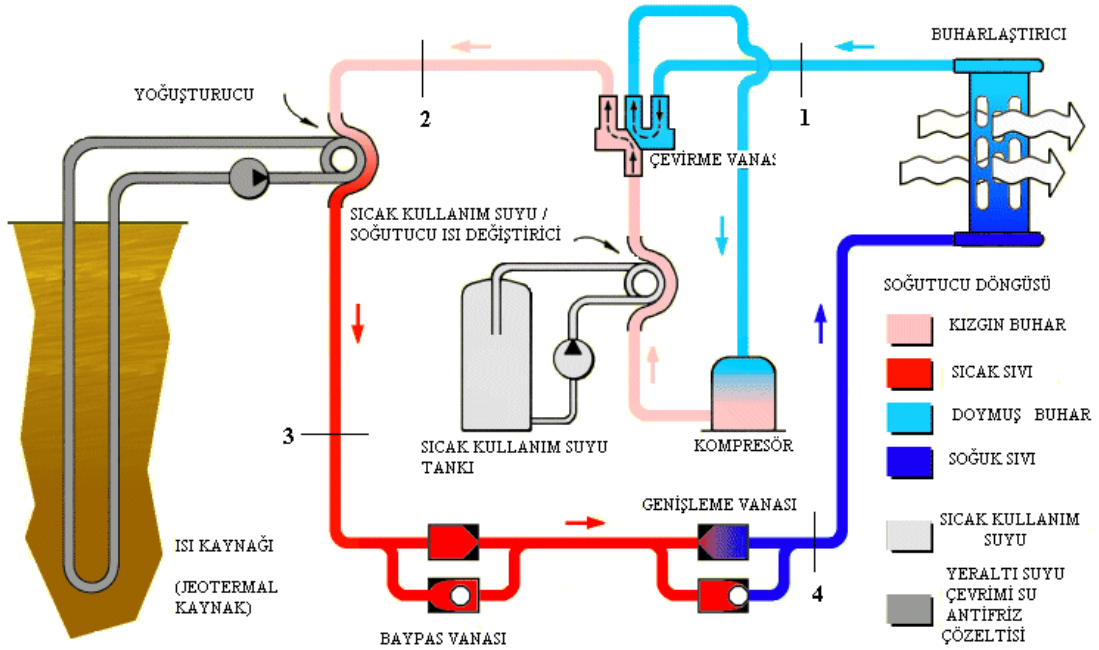
**Şekil 5.1. Isı pompası çevriminin şematik gösterimi (Çengel A.,vd 1996).**

Isı pompasının ısıtma çevrimindeki çalışma çevrimi ise şöyledir. Doymuş sıvı halindeki soğutucu akışkan buharlaştırıcıda ısı kaynağından (jeotermal kaynak) ısı çeker, daha sonra soğutucu akışkan doymuş buhar olarak kompresöre girer, burada yoğuşturucu basıncına sıkıştırılır ve yoğuşturucuya gönderilir, yoğuşturucuda ısını ortama (ısı kuyusuna) verir daha sonra buharlaştırıcı basıncına genişlemesi için genişleme vanasından geçirilir ve doymuş sıvı buhar karışımı halinde tekrar buharlaştırıcıya girerek çevrimi tamamlar. Isı pompasının soğutma çevriminde kullanılması için çevirme vanasını ayarlamak yeterlidir. Böylece artık buharlaştırıcı yoğuşturucu ve yoğuşturucu da buharlaştırıcı olarak görev yapar. Bu çevrimde, buharlaştırıcıdaki doymuş sıvı halindeki soğutucu akışkan buharlaşarak ortamdan (ısı kaynağı) ısı çeker. Buradan kompresöre gönderilir ve yoğuşturucu basıncına sıkıştırılabilir. Böylece, kompresörden yoğuşturucuya gönderilen akışkan burada ısı kuyusu (jeotermal kaynağa) ısı verir ve buharlaştırıcı basıncına genişlemesi için genişleme vanasından geçirilerek doymuş sıvı halinde buharlaştırıcıya döner ve çevrim tamamlanır. Isı pompası çevrimi içine kullanım suyunu da ısıtmak için bir eleman konulabilir. Isı pompası çevriminde böyle bir sistem kullanmak ısı pompası soğutma durumundayken soğutma kapasitesini arttırıcı bir etki yapar. Çünkü, dışarıya atılacak ısı azalır, ayrıca yeraltındaki borularında daha kısa olmasına dolayısıyla masrafın azalmasına yardımcı olur. Isı pompasının, ısıtma çevriminde çalıştırılması durumunda, ısıtma kapasitesinde azalmaya neden olur. Buna rağmen bu şekilde ısıtma elektrikle ısıtma veya fosil yakıtlı ısıtmaya göre hem çevre hem de maliyet açısından daha çok üstünlüğe sahiptir. Bunlara ek olarak, jeotermal kaynaklı ısı pompaları yeterli kaynağa sahip olunması şartıyla su ısıtmalı sistemlere de kurulabilir. (<http://www.geo4va.vt.edu/A3/A3.htm>).



Şekil 5.2. Isıtma için kullanılan jeotermal ısı pompası çevrimi

([www.geo4va.vt.edu/A3/A3.htm](http://www.geo4va.vt.edu/A3/A3.htm)).



Şekil 5.3. Soğutma için kullanılan jeotermal ısı pompası çevrimi

([www.geo4va.vt.edu/A3/A3.htm](http://www.geo4va.vt.edu/A3/A3.htm)).

### **5.1. Eskişehir’de Isı Pompası Kullanımı**

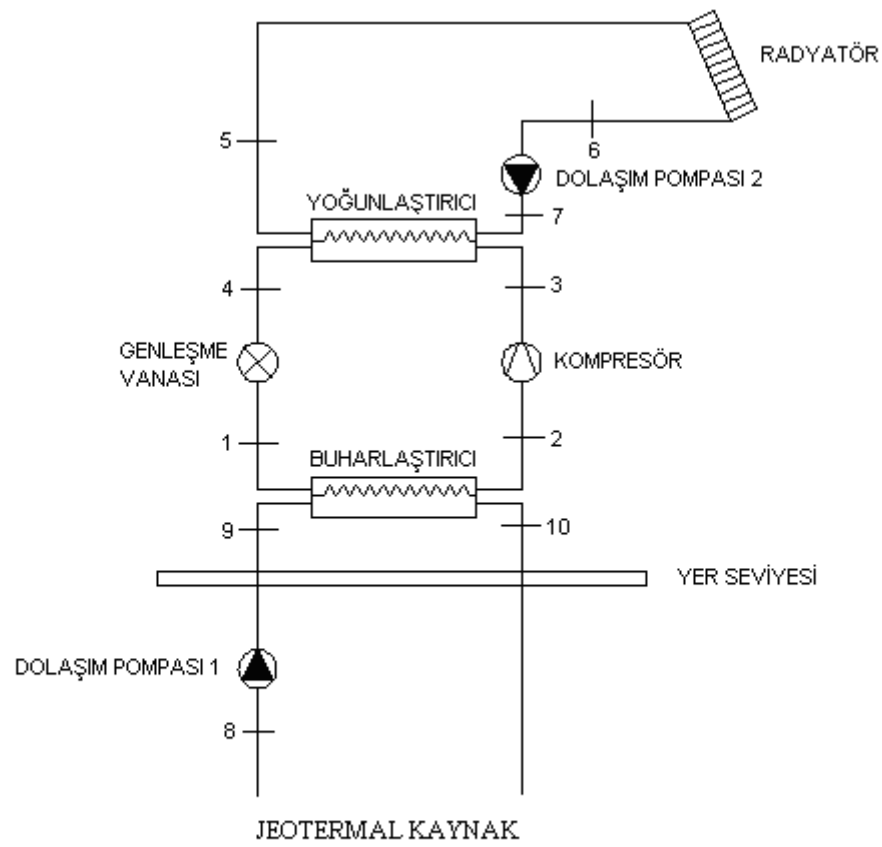
Bu çalışmada Eskişehir Ertuğrulgazi mahallesinde yaklaşık 150 m<sup>2</sup> toplam taban alanı olan konutun jeotermal kaynaklı ısı pompası yardımıyla ısıtılması teorik olarak incelenmiştir. Ele alınan konutun toplam ısı kaybı 20788 kcal/h dır. Ele alınan konutun ısı ihtiyacı ısıtma sezonu boyunca doğalgazla karşılanmaktadır. Isıtma sezonu boyunca ele alınan konutun ortalama doğalgaz tüketimi 17107,2 m<sup>3</sup> tür. 2007 yılında konutta tüketilen doğalgaz için 9878,4 YTL ödenmiştir. Çalışmada ele alınan konutun ısı kaybı hesapları ve çizimleri sırasıyla ek 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,10, 11,12’de verilmiştir.

### **5.2. Doğalgazlı Bir Sistemin Yerine Isı Pompası Bağlanması ve Kazanlı Sistemle Karşılaştırılması**

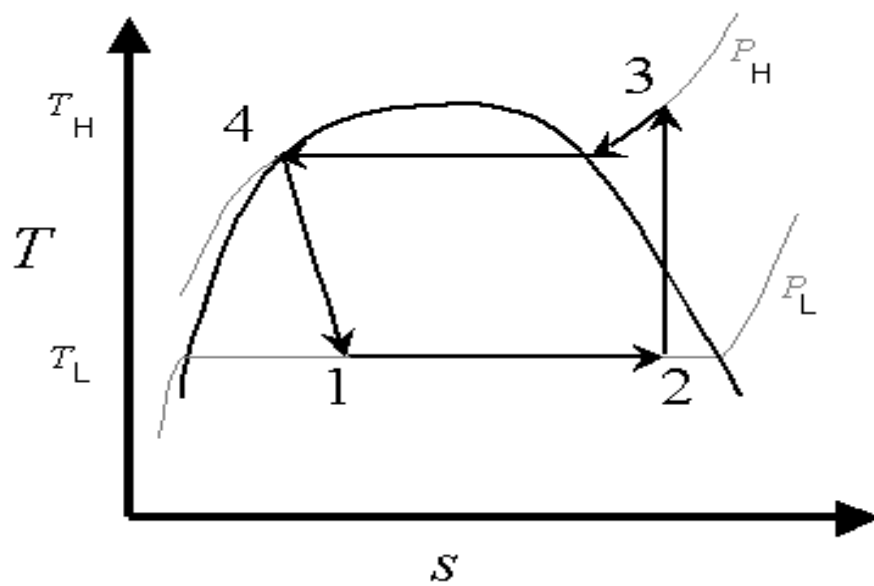
Bu bölümde Eskişehir’de bulunan jeotermal suların enerjisinin doğalgaz kazanlı bir sistemin yerine uygulanması elde edilecek sonuçlar hesaplanmış ve bunların kıyaslaması yapılmıştır.

#### **5.2.1. Isı pompası sisteminin çözümlenmesi**

Bu çalışmada kazan yerine bir ısı pompası kurulacak ve bu sistemle yalnızca ısıtma yapılacaktır. Isı pompası ile yapılan ısıtmanın sonuçları doğalgaz kazanı kullanılan sistem ile karşılaştırılmıştır. Sistemler adyabatik kabul edilmiştir. (sistem için kullanılan evin projesi eklerde verilmiştir). Sistemin şekilsel ifadesi şekil 5.4. de gösterilmiştir (Hepbaslı vd.,2006).



Şekil.5.4. Isı pompası sisteminin şekli (Hepbasli vd.,2006).



Şekil 5.5. Isı pompasının T-S diyagramı

### **Binanın toplam ısı kaybı:**

Binanın toplam ısı kaybı( $\dot{Q}_H$ ) ek-8’de verilmiştir.

### **Isı pompası sisteminin soğutucu akışkan seçimi**

Bu çalışmada soğutucu akışkan olarak R-134a kullanılmıştır.

### **Isı kaybını karşılamak için gerekli soğutucu akışkanın debisi:**

Binanın toplam ısı kaybı  $Q_H$  aynı zamanda ısıtma suyuna verilmesi gereken  $Q_{IS}$  ve sistem adyabatik olarak varsayıldığı için yoğuşturucu ısısı  $Q_Y$ ’ ye eşittir.

$$\dot{m}_{sa} = \frac{\dot{Q}_H}{q_H} = \frac{\dot{Q}_H = \dot{Q}_Y}{q_H = q_Y} = \frac{\dot{Q}_Y}{(h_3 - h_4)} \quad (5.3)$$

### **Buharlaştırıcı gücü**

Buharlaştırıcı ısı kaynağından ısının çekildiği yerdir. Isı kaynağı ise jeotermal sudur. Jeotermal sudan çekilen ısı soğutucu akışkana verilir. Soğutucu akışkan buharlaştırıcıya doymuş sıvı olarak girer ve doymuş buhar olarak çıkar. Sistem ısı makinesi olarak kullanılıyorsa jeotermal kaynaktan, soğutma makinesi olarak kullanılıyorsa soğutulmakta olan ortamdan ısı çekilir.

$$\dot{Q}_B = \dot{m}_{SA}(h_2 - h_1) \quad (5.4)$$

### **Jeotermal kaynaktan çekilen suyun debisi:**

Soğutucu akışkana verilen ısı ile jeotermal kaynaktan çekilen ısıya sistem adyabatik kabul edildiğinden eşit olacağı için:

$$\dot{Q}_B = \dot{Q}_J \text{ dir.} \quad (5.5)$$

Buradan;

$$\dot{Q}_B = \dot{m}_J(h_{10} - h_9) \quad (5.6)$$

$$\dot{m}_J = \frac{\dot{Q}_B}{(h_{10} - h_9)} \quad (5.7)$$

### **Gerekli kompresör gücü:**

Kompresör buharlaştırıcıdan çıkan akışkanı yoğuşturucu basıncına kısan elemandır. Buharlaştırıcıdan doymuş buhar olarak çıkan soğutucu akışkan kompresörde verilen enerjiyle kızgın buhar halinde kompresörden çıkar ve yüksek basınçta yoğuşturucuya gönderilir.

$$\dot{W}_k = \dot{m}_{SA} (h_3 - h_2) \text{ dir.} \quad (5.8)$$

### **Jeotermal kaynak dolaşım pompası hesabı:**

Jeotermal kaynak ki suyun ısısını soğutucu akışkana çekmek için buharlaştırıcıya taşımak için kullanılır.

$$\dot{W}_{p1} = \dot{m}_J (h_9 - h_8) \quad (5.9)$$

### **Yoğuşurucu gücü**

Kompresörden çıkan kızgın buhar halindeki soğutucu akışkan yoğuşturucuda ısı verir. Sistem ısı makinesi olarak kullanılıyorsa bu ısı ısıtılmak istenen ortama verilirken, sistem soğutma makinesi olarak kullanılıyorsa jeotermal kaynağa ısı verir. Soğutucu akışkandan çekilen ısı ile radyatör ısıtma suyuna verilen ısıya sistem adyabatik kabul edildiğinden dolayı eşit olacağı için:

$$\dot{Q}_Y = \dot{Q}_S \text{ dir.} \quad (5.10)$$

**Radyatör ısıtma suyu debisi hesabı:**

Buradan;

$$\dot{Q}_Y = \dot{Q}_S = \dot{m}_{S1}(h_5 - h_6) \quad (5.11)$$

$$\dot{m}_{S1} = \frac{\dot{Q}_S}{(h_5 - h_6)} \quad (5.12)$$

**Radyatör dolaşım pompası hesabı:**

Burada pompanın basma yüksekliği mimari projeden (ek-4'te verilmiştir) 6 metre olarak tespit edilmiştir.

$$\dot{W}_{P2} = \dot{m}_{S1} g H \quad (5.13)$$

**Isı pompası sistemine saniyede verilen toplam iş:**

$$\dot{W}_{T1} = \dot{W}_K + \dot{W}_{P1} + \dot{W}_{P2} \quad (5.14)$$

**Isı pompası sistemine 1 saat boyunca verilen iş:**

$$W_h = 3600 \dot{W}_{T1} \quad (5.15)$$

Kompresöre ve pompaya verilen iş elektrikle sağlandığı için ısı pompasının kullanım maliyeti elektrik fiyatlarına göredir. Şu an Türkiye'de konutlarda kullanılan elektriğin fiyatı 0,102438 ytl/kWh dir. Buna göre verilen işin maliyeti:



### Isı pompası sistemine 1 saatte verilen işin maliyeti

$$M_{T1} = 0,102438 \cdot \dot{W}_{T1} \text{ dir.} \quad (5.16)$$

### 5.2.2. Kazanlı sistem için hesaplamalar:

Bu bölümde aynı binanın doğal gazlı bir sistemle ısıtılması incelenecektir. Burada harcanan yakıt miktarı, binanın toplam ısı kaybını karşılamak için gerekli enerji miktarı, harcanan yakıtın maliyeti ve gerekli dolaşım pompasının gücü hesaplanmıştır.

### Binanın toplam ısı kaybını karşılamak için kazanda saniyede üretilmesi gereken enerji:

$$\dot{e} = \frac{\dot{Q}_H}{\eta} \quad (5.17)$$

### Kazanda saatte üretilmesi gereken enerji:

$$e_h = \dot{e} \cdot 3600 \quad (5.18)$$

### Kazanda saatte harcanan toplam yakıtın miktarı:

#### a) Hacimsel:

$$V_Y = \frac{e_h}{H_u} \quad (5.19)$$

**b) Kütlesel:**

$$m_Y = V_y \cdot \rho_{DG} \quad (5.20)$$

**Kazanda saatte harcanan yakıtın maliyeti:**

$$M_M = m_Y \cdot M_Y \quad (5.21)$$

**Kazan sisteminde ısıtma için gerekli suyun debisi:**

$$\dot{m}_{S2} = \frac{\dot{Q}_H}{c\Delta T} \quad (5.22)$$

**Kazan sisteminde dolaşım pompası için gerekli enerji:**

$$\dot{W}_{PK} = \dot{m}_{S2} gH \quad (5.23)$$

**Kazan sisteminde harcanan toplam enerji:**

$$\dot{E} = \dot{W}_{PK} + \dot{e} \quad (5.24)$$

**Kazan sisteminde dolaşım pompası için gerekli enerjinin maliyeti:**

$$M_{W2} = 0,102438 \dot{W}_{PK} \quad (5.25)$$

**Kazan sisteminde kullanılan enerjinin toplam maliyeti:**

$$M_{T2} = M_{W2} + M_M \quad (5.26)$$

### 5.3. Isı pompası sistemi ile doğalgaz kazanlı sistemin hava kirliliğine olan katkılarının karşılaştırılması

Burada ısı pompası sistemiyle doğalgaz kazanlı sistemin CO<sub>2</sub> gazı salımı incelenmiştir.

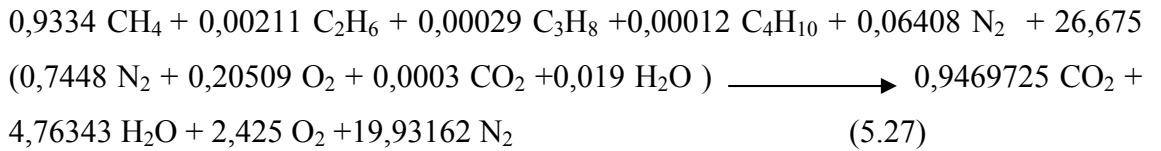
#### Isı pompası sisteminin hava kirliliğine olan katkısı:

Isı pompası sisteminde herhangi bir gaz salımı mevcut olmadığından hava kirliliğinin azalmasına katkısı vardır.

#### Doğalgaz kazanlı sistemin hava kirliliğine olan katkısı:

Burada doğalgaz sisteminin CO<sub>2</sub> salımı ile çevreye olan zararı hesaplanmış ve gösterilmiştir.

Doğalgazın yanma denklemi aşağıdaki gibidir:



#### Karbondioksit kütlelerinin toplam kütle oranı;

$$M_{CO_2} = \frac{0,9469725 \cdot CO_2}{M} \quad (5.28)$$

**Kazandaki yakıtın yanmasıyla saatte oluşan CO<sub>2</sub>'in kütlesi:**

$$M_{CO_2} = \frac{0,9469725 \cdot CO_2 \cdot m_Y}{M} \quad (5.29)$$

#### **5.4. Isı pompası sistemi ile kazan sisteminin maliyet, enerji tüketimi ve hava kirliliğine katkısı bakımından karşılaştırılması.**

Bu bölümde ısı pompası ve kazan sistemi değerleri maliyet, enerji tüketimi ve hava kirliliğine katkısı bakımından birbirine oranlanarak karşılaştırılacaktır.

**Kullanım sırasındaki maliyet bakımından karşılaştırma:**

$$O_M = \frac{M_{T2}}{M_{T1}} \quad (5.30)$$

**Enerji bakımından karşılaştırma:**

$$O_E = \frac{\dot{E}}{\dot{W}_{T1}} \quad (5.31)$$

**Hava kirliliği bakımından karşılaştırma:**

Isı pompası sisteminin dışarıya herhangi bir gaz salımı yoktur. Bu sebepten sadece kazanlı sistemin katkısı CO<sub>2</sub> salımı değer olarak alınır.

### 5.5. Veriler ve Hesaplanan Değerler.

Çizelge 5.1. Isı pompası sisteminde kullanılan değerler.

Veri	Değer
Elektrik maliyeti ( $M_{w1}$ , Ytl / kWh)	0,102438
Binanın toplam ısı kaybı ( $Q_H$ , kcal / h)	20788
Binanın toplam ısı kaybı ( $Q_H$ , kW / h)	24,172

\* Elektrik fiyatı Eylül 2007’de belirtilen şekliyle hesaplanmıştır.

\* Binaın toplam ısı kaybı ek-8’ de hesaplanmıştır.

## Isı pompası sistemi için hesaplanan değerler

Çizelge 5.2. Isı pompası sistemi için veriler (1).

Durum	Birimin adı	Akışkan	Faz	Sıcaklık (C°)	Basınç (Kpa)	Entalpi (Kj/kg)	Debi (kg/s)	Özgül hacim (m <sup>3</sup> / kg)
1	Buharlaştırıcı girişi / Genleşme vanası çıkışı	R-134	Doymuş sıvı – buhar karışımı	5,84	360	120,26	0,142	-
2	Buharlaştırıcı çıkışı / Kompresör girişi	R-134	Doymuş buhar	10	360	254,5	0,142	-
3	Kompresör çıkışı / Yoğuşturucu girişi	R-134	Kızgın buhar	70	1400	295,31	0,142	-
4	Yoğuşturucu çıkışı / Genleşme vanası girişi	R-134	Doymuş buhar	50	1400	120,26	0,142	-
5	Yoğuşturucu çıkışı / Radyatör girişi	Su	Sıkıştırılmış sıvı	90	101,3	376,92	0,29	0,00101
6	Radyatör çıkışı / Pompa <sub>2</sub> girişi	Su	Sıkıştırılmış sıvı	70	101,3	292,98	0,29	0,00101
7	Pompa <sub>2</sub> çıkışı / Yoğuşturucu girişi	Su	Sıkıştırılmış sıvı	70,01	101,3	293,04	0,29	0,00101
8	Jeotermal kaynak / Pompa <sub>1</sub> girişi	Su	Sıkıştırılmış sıvı	44,4	101,3	185,94	0,61	0,00101
9	Pompa <sub>1</sub> çıkışı / Buharlaştırıcı girişi	Su	Sıkıştırılmış sıvı	35	101,3	188,45	0,61	0,00101
10	Buharlaştırıcı çıkışı / Jeotermal kaynak	Su	Sıkıştırılmış sıvı	37,5	101,3	157,13	0,61	0,00101

Çizelge 5.3. Isı pompası için hesaplanan değerler (2).

<b>BİRİMLER</b>	
<b>Birimin adı</b>	<b>Faydalanılan / Harcanan güç (Kw)</b>
Buharlaştırıcı ( $\dot{Q}_B$ )	19,06
Kompresör ( $\dot{W}_k$ )	5,80
Yoğuşturucu ( $\dot{Q}_Y$ )	24,172
Genleşme vanası	-
Dolaşım pompası 1 ( $\dot{W}_{p1}$ )	1,83
Dolaşım pompası 2 ( $\dot{W}_{p2}$ )	0,017
<b>SİSTEM</b>	
	<b>Hesaplanan değerler</b>
Etkinlik katsayısı (COP)	3,290
Verilen toplam iş ( $\dot{W}_{T1}$ )(Kw)	7,343
Verilen enerjinin maliyeti ( $M_{T1}$ ) (YTL)	0,753

**Çizelge 5.4. Doğalgaz ve kazan için veriler.**

<b>Parametre</b>	<b>Değer</b>
Yakıt	Doğalgaz
$H_u$	34541100 (J/m <sup>3</sup> )
$M_f$	0,578542 (Ytl/m <sup>3</sup> )
$\rho$	0,7411 (kg/m <sup>3</sup> )
$v$	1,3494 (m <sup>3</sup> /kg)
$\eta$	0,85

**Yakıtın mol kütlesinin hesabı**

M yakıtın mol kütlesi olup,

$$MK = (0.9334).(16) + (0,00211).(30) + (0,00029).(44) + (0,00012).(58) + (0,06408).(28)$$

$$= 16,82 \text{ kg/kmol} \quad (5.32)$$



Çizelge 5.5. Kazan sistemi için hesaplanan değerler.

	Hesaplanan Değerler
Kazanda harcanan enerji ( $\dot{e}$ ) (Kw)	28,45
Kazanda harcanan enerji ( $e_h$ ) (Kw/h)	102384
Pompanın harcadığı enerji ( $\dot{W}_{PK}$ ) (Kw/h)	2,04
Harcanan toplam enerji ( $\dot{E}$ ) (Kw)	30,9
Harcanan yakıt miktarı ( $m_Y$ ) (kg / h)	2,21
Harcanan yakıt miktarı ( $v_Y$ ) ( $m^3 / h$ )	2,97
Harcanan yakıtın maliyeti ( $M_Y$ ) (YTL / h)	1,715
Pompanın harcadığı elektriğin maliyeti ( $M_{W2}$ )(YTL / saat)	0,21
Toplam maliyet ( $M_{T2}$ )	1,925
Gerekli suyun debisi ( $m_{S2}$ )(kg / s)	0,34

Çizelge 5.6. Isı pompası sistemi ve kazan sisteminin karşılaştırma değerleri

Oran	Değer
Kullanım maliyetlerinin ( $O_M$ )	2,6
Harcanan enerjilerin toplamı ( $O_E$ )	4,3
Saatlik karbondioksit emisyonu ( $M_{CO_2}$ ) (kg / h)	5,46

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde gerek küresel ısınmanın gerekse fosil yakıtlarının tükenme tehlikesi yeni enerji kaynaklarına yönlendirmiştir.

Bu çalışmada da enerji kaynağı olan fosil yakıtlarından oluşan doğal gaz yerine jeotermal bir kaynağın kullanılmasıyla konut ısınmasında enerji de tasarrufu maliyet hesabı ve çevre kirliliğini azaltıcı yöndeki etkileri tartışılmaktadır.

### **Jeotermal Kaynaklı Isı Pompasıyla Doğalgaz Sisteminin Karşılaştırılması**

#### **\* Enerji Açısından Bakıldığında Şu Sonular Gözlenmiştir:**

Doğal gaz ile ısınma sonucu kullanılan enerji jeotermal ile yapılan ısınma sonucu kullanılan enerjinin 4,3 katıdır.

**\* Kullanım Sırasındaki Maliyet Açısından Bakıldığında Şu Sonuçlar Gözlenmiştir :** doğalgazla ısınmanın maliyeti jeotermal kaynaklı ısı pompası ile ısınmanın maliyetinin 2,6 katıdır.

#### **\* Çevreye Olan Etkisi Açısından Bakıldığında :**

Jeotermal enerji ile konut ısıtılması hem çevreci, hem de yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşması açısından önem arz etmektedir. Aynı ısı yükünü karşılamak için doğalgaz yakan bir kazan kullanılması durumunda çevreye 5,46 kg / saat CO<sub>2</sub> emisyonu vermek zorunda kalınmaktadır.

\* Jeotermal ısı kaynaklı sistem de sadece kuruluş maliyeti açısından doğal gazlı sisteme göre maliyeti fazladır.

Özellikle Eskişehir gibi jeotermal kaynaklara sahip yörelerde kullanılabilir bir sistem olarak önerilebilir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

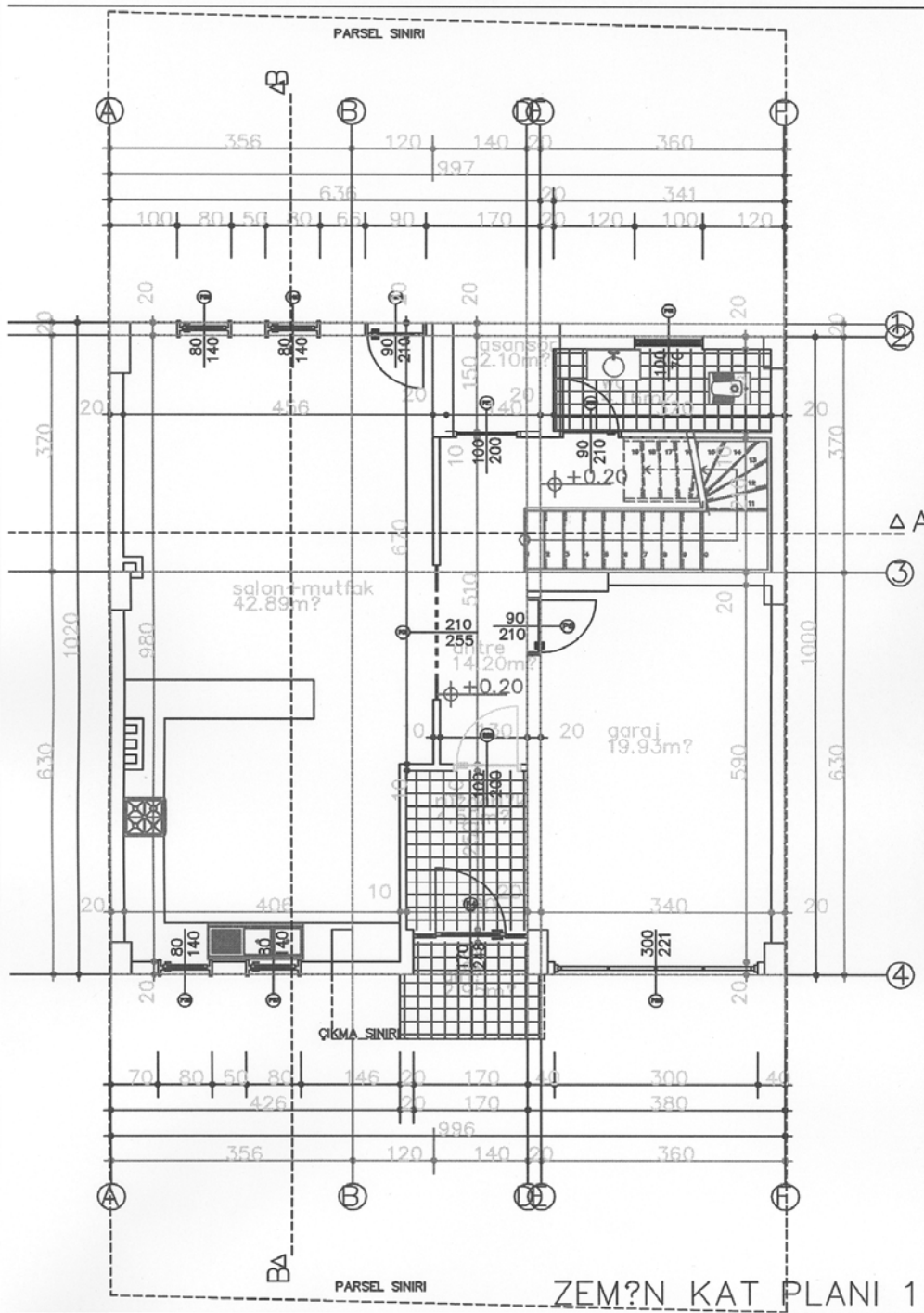
- Acar M.,1996, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Jeotermal enerji ve uygulamaları ders notları
- Çağlar İ., Taymaz T., Yoksal S., Avşar Ü., 2006, Bilim Teknik Dergisi, (temmuz 50-51)
- Çengel A.Y., Boles A.M., Mühendislik Yaklaşımlarıyla Termodinamik ekonomik baskı (226-227).
- Dioksan M.H.at all., 2004 what is geothermal energy Istituto Di Geoscienze e Georisorse,CNR Pisa Italy .
- DPT, 2001 ,Sekizinci beş yıllık kalkınma planı DPT 2609-ÖİK,620, Madencilik özel ihtisas komisyonu raporu enerji hammaddeleri alt komisyon jeotermal çalışma grubu Ankara.
- European Commission, 2003, Renewable Energy Source, Promotional Brochure, Business Opportunities in the Geothermal Energy Sector in Turkey august.
- Geothermal Today.,1999, The year in review U.S. Department of energy. S 3
- Hesaplı,A., and Balta M.T., 2007, A study on modeling and performans assesment of a heat Pump system for utilizing low temperature geothermal resources in buildings. Building and Environment 42 (3747- 3756).
- <http://www.geo4va.vt.edu/A3/A3.htm>
- <http://www.jeotermaldernegi.org.tr>
- Koçak A., TMMOB Türkiye V. Enerji Sempozyumu bildirileri . Türkiye’ de Jeotermal Enerji potansiyeli.
- MTA, 2001, Maden Tetkik ve Arama genel müdürlüğü , Jeotermal Kaynakları Envanteri, Envanter serisi- Ankara MTA, ISBN 975-8964 -36-4
- Meke M., 1997, Jeotermal enerjinin endüstrideki uygulamaları, Gazi Üniversitesi Yüksek lisans Tezi, Ankara.
- Ömer A.M., 2007, Green energy saving mechanisms. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Article in pres.
- Özgener O., Hepbaslı A., Özgener İ., 2007, A parametric study on the exergoeconomic Assessment of a vertical ground-coupled (geothermal) heat pump system. Building and Environment 42 (1503-1509).

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)**

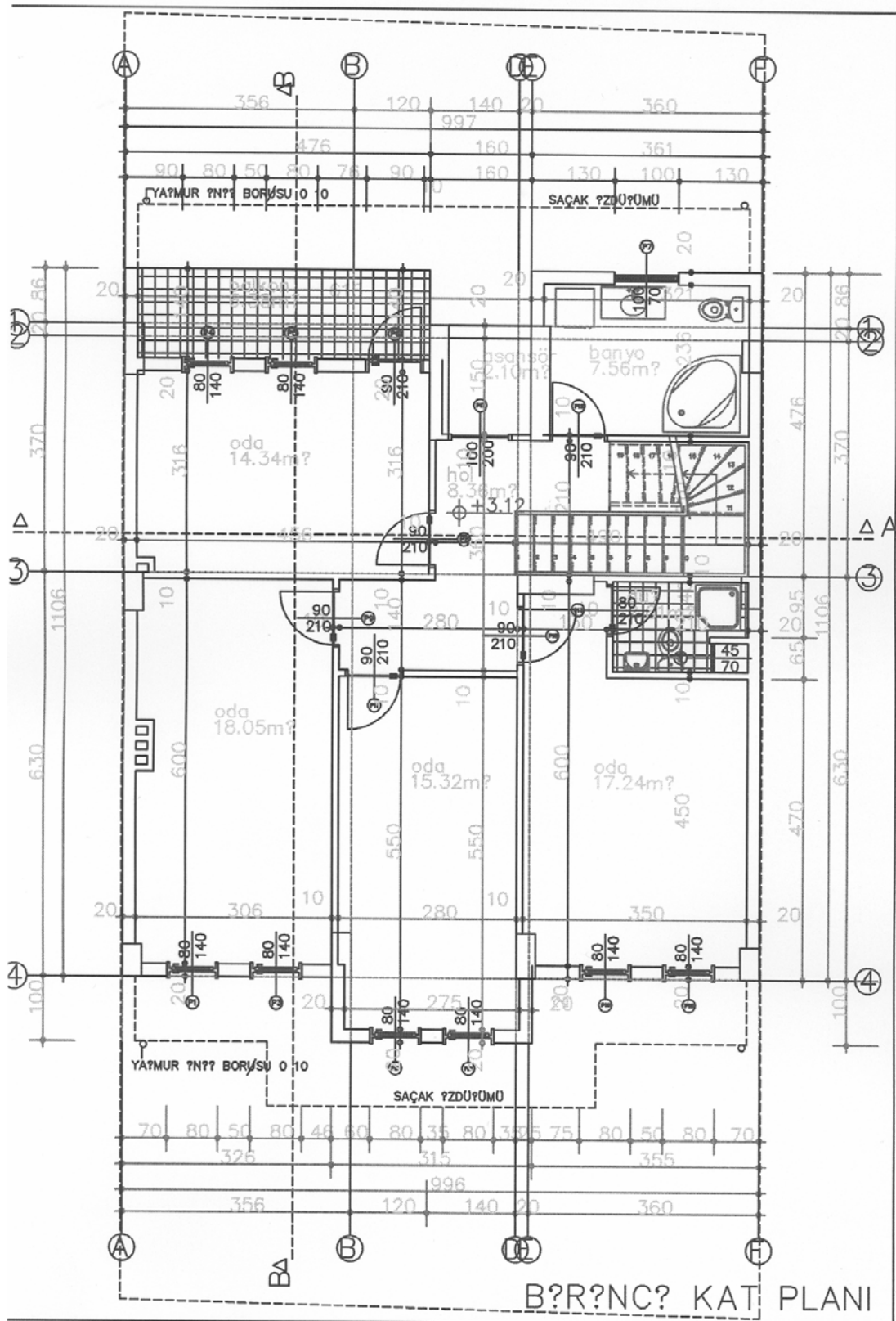
- Satman A., at all., 2007 ,an upoase on geothermal energy potential of Turkey procedings,Thirty-Second workshop on geothermal Reservoir, Engineering Stanford University Stanford.California, January (22-24).
- Sezer H., 2001, Jeotermal enerji uygulama alanları ve özelinde Balçova konut ve iklimlendirme sistemleri uygulamalarının incelenmesi , Makine Mühendisi Yıldız Teknik Üniversitesi Yüksek lisans Tezi, İstanbul.
- Urchueguia J.F., Zacares M., Corberan J.M., at all., 2008, Compearison between the Enerjy performance of a ground coupled water to water heat pump system and air to water heat pump system for heating and cooling in typical conditions of the European Mediterranean coast.Energy conversion and management Volume49 Issue 10 Pages 2917-2923.

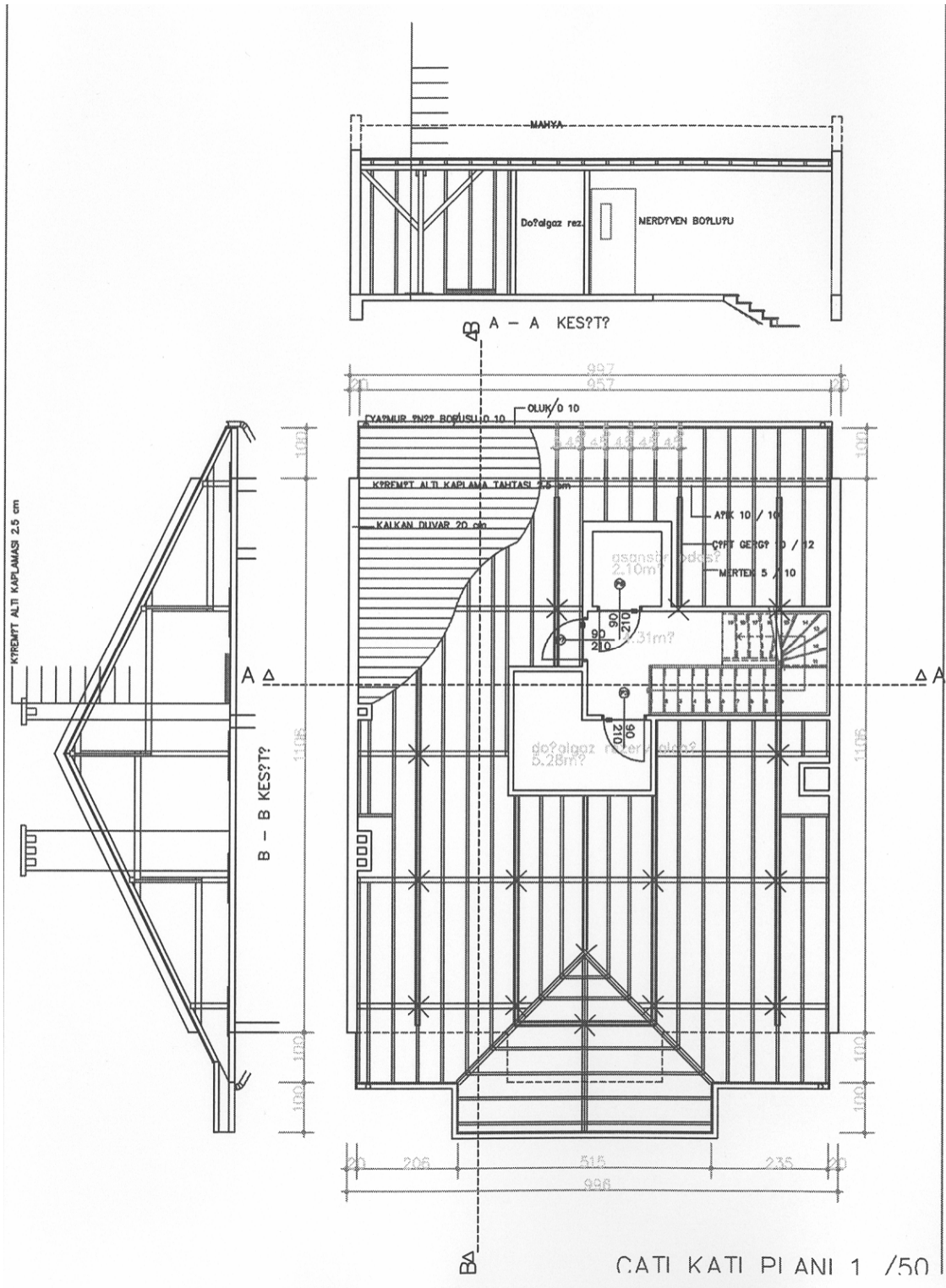
## EKLER

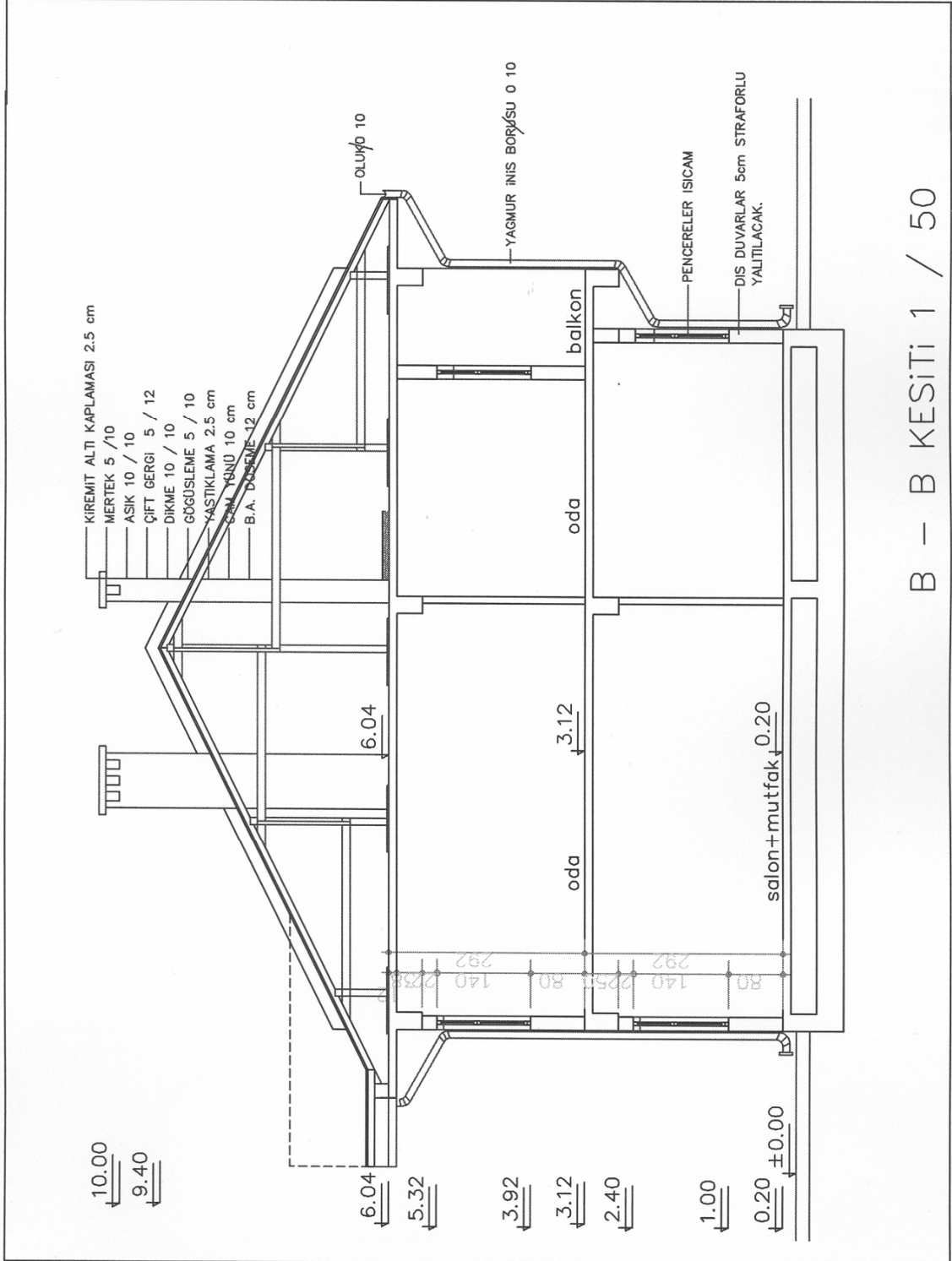
## EK 1



EK 2









## EK 5

## ISI KAYBI HESABI

İşaret	Yön	Kal	Uzunluk	Genişlik	Alan	Çıkan	Net Alan	İlet.	Sıcak.	Isı	Z <sub>o</sub>	Z <sub>w</sub>	Z <sub>h</sub>	Z <sub>top</sub>	Toplam
		cm	m	m	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	Kat.	Farkı	Kayı	%	%	%	%	Isı
								kcal/	C <sup>0</sup>	kcal/h					
								h							
<b>Z01 MUTFAK + SALON 20</b>															
DD	KB	30	5,5	2,95	16,23	2,20	14,0	0,38	32	171					
CP	KB		1,6	1,4	2,24	0,00	2,2	2,4	32	172					
BK	GD		09	2,1	1,89		1,9	4,5	32	272					
İD		20	9,5	2,95	28,03		28,0	1,37	10	384					
İK			0,9	2,2	1,98		2,0	4,50	10	89					
DD	KB	30	10,2	2,95	30,09	0,00	30,1	0,38	32	366					
DÖ			10,2	8,0	81,60		81,6	0,25	20	408					
CP	GD		1,6	1,4	2,24		2,2	2,40	32	172					
DD	GD	30	10,0	3,0	29,50	4,20	25,3	0,38	32	308					
DD	GB	30	4,0	3,0	11,80		11,8	0,38	32	143					
										2485	7		5	1,12	2783
															839
															<b>TOPLAM=</b>
															<b>3622</b>
<b>101 BANYO 26</b>															
DD	GD	30	4,6	2,95	13,57	0,70	12,9	0,38	38	186					
CP			0,7	1	0,70		0,7	2,4	38	64					
İD		20	1,5	2,95	4,43	0,00	4,4	1,37	16	97					
İD		10	3,7	2,95	10,92	1,70	9,2	1,81	8	133					
İK			0,9	2,1	1,89		1,9	4,50	8	68					
DD	GB	30	2,40	2,95	7,08	0,00	7,1	0,38	,8	102					
Ö			3,60	1,0	3,60		3,6	0,38	38	52					
TA			3,60	2,4	8,64		8,6	0,38	29	95					
					0,00		0,0			0					
					0,00		0,0			0					
										798	7		0	1,07	853
															91
															<b>TOPLAM=</b>
															<b>944</b>
<b>102 ODA 20</b>															
DD	KB	30	4,8	2,95	14,16	2,20	12,0	0,38	32	145					
DD	GD	30	3,3	2,95	9,74	0,00	9,7	0,34	0	0					
CP	KB		1,6	1,4	2,24		2,2	2,4	32	172					
DÖ			2,8	1	2,80		2,8	0,34	32	30					
TA			3	5,5	16,50		16,5	0,34	23	129					

İD	10	2,8	3,0	8,26	1,90	6,4	1,81	2	23				
İK		0,9	2,1	1,89		1,9	4,50	2	17				
				0,00		0,0			0				
									517	7	5	1,12	579
		Q <sub>s</sub> =3,7	. 2,5.	0,9.	0,41.	2,2	32	=					240
										TOPLAM=			<u>819</u>

## EK 6

## ISI KAYBI HESABI

İşare t	Yön l	Ka k	Uzunlu m	Genişlik m	Alan m <sup>2</sup>	Çıkan m <sup>2</sup>	Net Alan m <sup>2</sup>	İlet.Ka t	Sıca k.	Isı Kaybı kcal/h	Z <sub>o</sub> %	Z <sub>w</sub> %	Z <sub>h</sub> %	Z <sub>top</sub> %	Topla m Isı
<b>103 ODA 20</b>															
DD	KB	30	3,1	2,95	9,15	2,20	6,9	0,38	32	84					
CP	KB		1,6	1,4	2,24		2,2	2,4	32	172					
DD	KD	30	6,3	2,95	18,59	0,00	18,6	0,38	32	226					
İD		10	1,5	2,95	4,43	1,90	2,5	1,81	2	9					
BK	GD		0,8	2,45	1,96		2,0	4,50	0	0					
DD	KB	30	4,1	3,0	12,10		12,1	0,47	0	0					
TA			6,3	3,1	19,53		19,5	0,34	23	153					
İD		10	5,9	3,0	17,26	0,00	17,3	1,81	0	0					
İK			0,9	2,1	1,89		1,9	4,50	2	17					
İD		20	2,8	3,0	8,11		8,1	1,37	0	0					
					0,00		0,0			0					
										661	7		5	1,12	741
															240
															981
															TOPLAM=
<b>104 ODA 20</b>															
DD	KB	30	3,2	2,95	9,44	0,00	9,4	0,38	32	115					
CP	KB		1,6	1,4	2,24		2,2	2,4	32	172					
BK			0,9	2,1	1,89	0,00	1,9	4,5	32	272					
TA			3,4	4,8	16,32		16,3	0,34	23	128					
İD		10	4,5	2,95	13,28	1,90	11,4	1,81	2	41					
İK			0,9	2,1	1,89		1,9	4,50	2	17					
DD	GD	30	4,8	2,95	14,16	4,10	10,1	0,38	32	122					
CP	K		1,5	1,5	2,25		2,3	2,40	0	0					
					0,00		0,0			0					
					0,00		0,0			0					
										867	7		0	1,07	928
															448
															TOPLAM=
															1376
<b>105 ODA 20</b>															
DD	KB	30	3,7	2,95	10,92	2,20	8,7	0,38	32	106					

CP	KB	1,6	1,4	2,24		2,2	2,4	32	172				
BK		0,8	2,45	1,96	0,00	2,0	4,5	0	0				
TA		3,7	6	22,20		22,2	0,34	23	174				
İD		1 0	3	2,95	8,85	1,90	7,0	1,81	2	25			
İK			0,9	2,1	1,89		1,9	4,50	2	17			
DD	GB	3 0	4,7	3,0	13,87	0,00	13,9	0,38	32	169			
CP	K		1,5	1,5	2,25		2,3	2,40	0	0			
					0,00		0,0			0			
					0,00		0,0			0			
					0,00		0,0			0			
										662	7	5	1,12
													742
													240
													<u>982</u>

$Q_s = 3,7 \cdot 2,5 \cdot 0,9 \cdot 0,41 \cdot 2,2 \cdot 32 =$

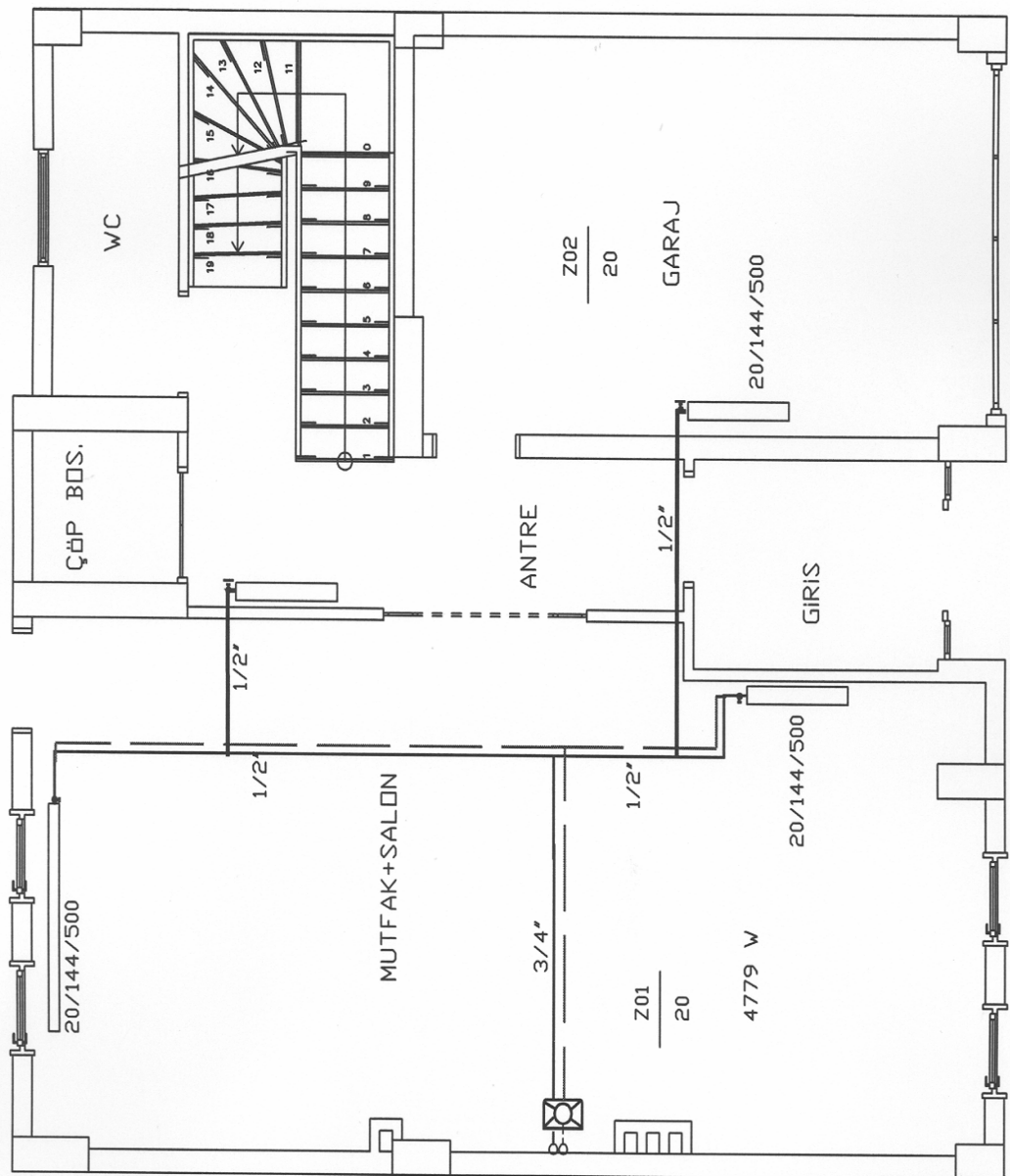
TOPLAM=



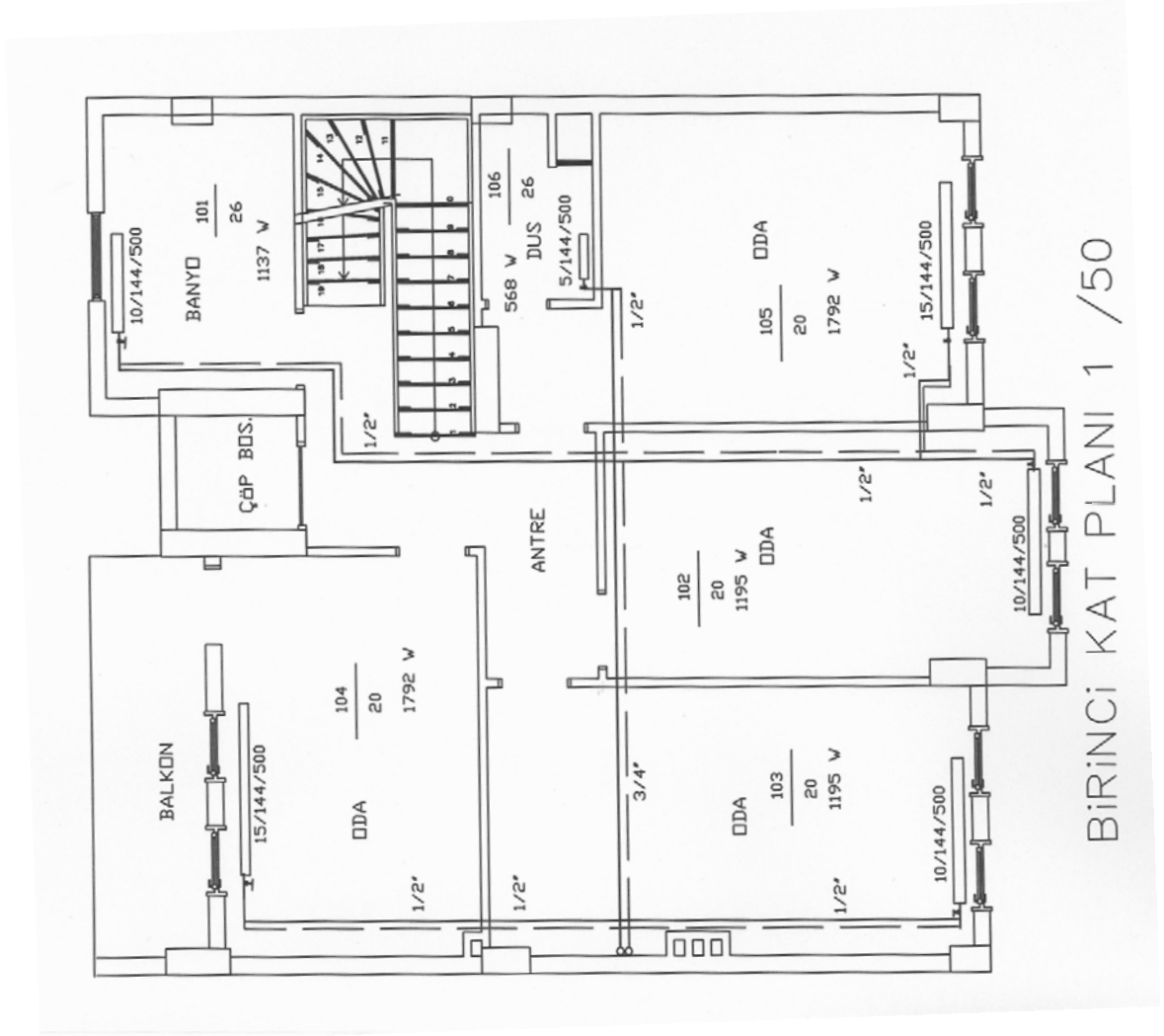
## EK 8

RADYATÖR  
TEFERRUATI CETVELİ

ODA NO	ODANIN ADI	Sıcaklık (Hacim)	ISI KAYBI (Hesap Ed.)	RAD.VER	YÜZEY	TOP. VER.	RAD.CİNSİ			GURUP	KONSOL	KELPÇE
							PKKP600	PKP600	PK600			
<b>ZEMİN</b>												
Z01	MUTFAK +SALON	20	3622	2113		8392	2	1,3	1,3	3	6	6
Z02	GARAJ	20	1454	1100		1540			1,4	1	2	2
			5076			9932						
<b>1. KAT</b>												
101	BANYO	26	944	1125		1125	6/65	Hav		1	2	2
102	ODA	20	819	1100		1650			1,5	1	2	2
103	ODA	20	981	1100		1650			1,5	1	2	2
104	ODA	20	1376	1677		2851		1,7		1	2	2
105	ODA	20	982	1677		2851		1,7		1	2	2
106	DUŞ	26	350	1825		730	0,4			1	2	2
			5452			10857						
<b>TOPLAM ISI YÜKÜ:</b>						20788	kcal/h					



ZEMİN KAT PLANI 1 / 50



BİRİNCİ KAT PLANI 1 / 50



