

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI
VE TERMAL ENERJİ KAYNAKLARINDAN
YARARLANMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fulya ARACI

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

06/2013

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI
VE TERMAL ENERJİ KAYNAKLARINDAN
YARARLANMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Fulya ARACI
501081304**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mete İNCECİK

06/2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501081304 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Fulya ARACI** ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE TERMAL ENERJİ KAYNAKLARINDAN YARARLANMA**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Mete İNCECİK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. İsmail Hakkı AKSOY**
İstanbul Teknik Üniversitesi

.....
Doç. Dr. Mehmet BERİLGİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **03 Mayıs 2013**
Savunma Tarihi: **13 Haziran 2013**

Aileme,

ÖNSÖZ

En başta bu çalışma esnasında ilgisini, desteğini ve katkısını esirgemeyen sayın değerli hocam Prof. Dr. Mete İncecik'e çok teşekkür ederim. Ayrıca tezin ilerlemesi konusunda teknik bilgileriyle bana yardımcı olan Isımas A.Ş. genel müdürü Korhan Altinkaya'ya, Bauer'de makine mühendisi olarak görev yapan Murat Erdoğan'a, Teknofor'dan katkı, ilgi ve alakalarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Ve tabiki aileme tüm eğitim hayatımda olduğu gibi, yüksek lisans eğitimim boyunca da bana verdiği her türlü destekten dolayı çok teşekkür ederim.

Mayıs 2013

Fulya Aracı
İnşaat Mühendisi-Çevre Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xix
SUMMARY	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	6
1.2 Literatür Araştırması	7
2. ENERJİ.....	9
2.1 Tanım	9
2.2 Enerji Kaynakları ve Çeşitleri	11
2.2.1 Yenilenemeyen Enerji Kaynakları	11
2.2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları	12
2.2.2.1 Güneş enerjisi.....	13
2.2.2.2 Rüzgar enerjisi	16
2.2.2.3 Hidrolik enerjisi	20
2.2.2.4 Hidrojen enerjisi.....	22
2.2.2.5 Biyokütle enerjisi	23
2.2.2.6 Biyogaz enerjisi.....	24
2.2.2.7 Jeotermal enerji	25
2.3 Türkiye'nin Enerji Durumu.....	25
3. JEOTERMAL ENERJİ.....	29
3.1 Tanım	29
3.2 Jeotermal Sistem	32
3.3 Jeotermal Kaynakların Araştırılması.....	36
3.4 Jeotermal Enerjinin Sınıflandırılması.....	40
3.5 Jeotermal Kaynaklardan Faydalanma	41
3.6 Jeotermal Kaynakların Dünyadaki Yayılım Alanları	49
3.7 Türkiye' de Jeotermal Enerji Potansiyeli	52
3.8 Türkiye'nin Jeotermal Potansiyeli	57
3.8.1 Jeotermal Isı Potansiyeli	59
3.8.1.1 Konut Isıtması ve Termal Tesis Isıtması.....	60
3.8.1.2 Sera Isıtması	62
3.8.2 Jeotermal Elektrik Potansiyeli	62
Türkiye' de Elektrik Üretimine Uygun Sahalar	64
3.8.3 Endüstriyel Uygulamalar	65
3.8.4 Termal Turizm	65
3.9 Jeotermal Enerji ve Çevre İlişkisi	65
4. GEOTERMAL ISI DEĞİŞİM SİSTEMLERİ	69

4.1 Isı Pompası	69
4.2 Isı Pompası Elemanları.....	72
4.2.1 Kompresör.....	72
4.2.1.1 Pistonlu kompresörler	73
4.2.1.2 Rotatif (dönel) kompresörler	74
4.2.1.3 Turbo (santrifüj) kompresörler	75
4.2.1.4 Vidalı kompresörler.....	75
4.2.2 Buharlaştırıcılar (evaporatörler).....	76
4.2.3 Yoğuşturucular (kondanserler).....	76
4.2.4 Expansion (genleşme) valfi	77
4.3 Isı Pompası Çalışma Prensibi	77
4.4 Isı Pompasının Tarihçesi	79
4.5 Isı Pompasının Performansı (Etki Katsayısı EK veya COP).....	82
4.6 Isı Pompası Amortisman Hesabı	84
4.7 Isı Pompalarında Kullanılan Isı Kaynakları	85
4.8 Isı Pompası Çeşitleri.....	86
4.8.1 Jeotermal ısı pompası	86
4.8.2 Toprak Kaynaklı Isı Pompası.....	88
4.8.2.1 Toprak kaynaklı ısı pompası çeşitleri.....	93
4.8.3 Hava Kaynaklı Isı Pompası	120
4.8.3.1 Hava Kaynaklı Isı Pompası Çalışma Prensibi.....	124
4.8.3.2 Hava Kaynaklı Isı Pompalarının Avantaj ve Dezavantajları	125
Hava Kaynaklı Isı Pompasının Avantajları	126
4.8.4 Su Kaynaklı Isı Pompası Sistemleri ve Uygulama Esasları	127
5. TÜRKİYE'DE ISI POMPASI UYGULAMA ÖRNEKLERİ	133
5.1 Yer Kaynaklı Isı Pompası Uygulama Örneği	133
5.1.1 Bir YKIP Sisteminin Yer Isı Değiştiricisinin Tasarımı	134
5.2 Enerji Kazığı Uygulamalarına Örnekler.....	138
5.2.1 Bursa Sheraton Otel Enerji Kazığı Uygulaması.....	138
5.2.2 HABOM (Havacılık Bakım Onarım ve Modifikasyon Merkezi)	142
SONUÇ VE ÖNERİLER	149
KAYNAKLAR.....	153
EKLER.....	159
ÖZGEÇMİŞ.....	161

KISALTMALAR

GSHP	: Geothermal Source Heat Pump
GW	: Gigawatt (10^3 MW)
GWh	: Gigawatt – saat (10^6 kWh)
Kep	: Kilogram petrol eşdeğeri
kW	: Kilowatt (10^3 watt)
kWh	: Kilowatt-saat (10^3 watt-saat)
Tep	: Ton petrol eşdeğeri
TKIP	: Toprak Kaynaklı Isı Pompası
MTEP	: Milyon ton petrol eşdeğeri

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Türkiye yıllık yenilenebilir enerji potansiyeli (MTEP: Mega Ton 13	13
Çizelge 2.2 : Türkiye güneşlenme süreleri (EİE Genel Müdürlüğü)..... 16	16
Çizelge 2.3 : Global rüzgar enerjisi pazarında ilk on ülke (2011) (Global Wind Statistics 2011, Global Energy Council GWEC). 20	20
Çizelge 2.4 : Türkiye Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü Tarafından 22	22
Çizelge 2.5 : Dünya genelinde bir yılda üretilen hidrojenin sektörlerde kullanım.... 23	23
Çizelge 2.6 : Türkiye birincil enerji arzı (tüketimi) (Dünya Enerji Konseyi Türk.... 25	25
Milli Komitesi, Türkiye Enerji Verileri, 2012). 25	25
Çizelge 2.7 : Türkiye birincil enerji üretimi (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli 26	26
Komitesi, Türkiye Enerji Verileri 2012). 26	26
Çizelge 2.8 : Enerji ithalatının yakıt türleri ve bedeli (Dünya Enerji Konseyi Türk. 26	26
Çizelge 2.9 : Türkiye enerji kaynakları (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Türkiye Enerji Verileri,2012). 26	26
Çizelge 4.1 : Toprak türlerinin ısı karakteristikleri (Ünlü, 2005)..... 93	93
Çizelge 4.2 : Topraktaki bazı materyallerin ısı karakteristikleri (Ünlü, 2005)..... 93	93
Çizelge 4.3 : Boru çapı ve boyu arasında tavsiye edilen değerler (Ünlü, 2005). 96	96
Çizelge 4.4 : Enerji kazıklarında ısı alışverişini etkileyen faktörler (Abdelaziz ve diğ., 2010). 106	106
Çizelge 4.5 : Parametrik analizlerde ele alınan değişkenler ve enerji kazığından elde edilen güç (Olgun, G.,2010)..... 108	108
Çizelge 5.1 : Boru aded ve çapları (Altınkaya K., Özer Ö. Ç., 2011). 138	138
Çizelge 5.2 : Enerji Analizi (Altınkaya K., Özer Ö. Ç., 2011)..... 139	139
Çizelge 5.3 : Isıtma işletim maliyetleri (Altınkaya K., Özer Ö. Ç., 2011). 140	140
Çizelge 5.4 : Soğutma işletim maliyetleri (Altınkaya K., Özer Ö. Ç., 2011)..... 141	141

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Fotovoltaik hücreler (http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx).	14
Şekil 2.2 : Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası (http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx).	15
Şekil 2.3 : Yatay eksenli rüzgar türbinini oluşturan mekanik elemanlar (http://www.wind-energy-the-facts.org).	18
Şekil 2.4 : Türkiye'nin ilk rüzgar türbini (Çeşme,2012)	19
Şekil 2.5 : Türkiye'nin rüzgar hızı ve rüzgar potansiyeli	19
(http://www.meteor.gov.tr/).	19
Şekil 2.6 : Hidroelektrik santraller (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Enerji Raporu, 2012).	21
Mühendislik Hizmetleri Yürütülen Hidroelektrik Santral Projeleri(12.12.2011).	22
Şekil 2.7 : Bitkisel döngü (www.eie.gov.tr).	24
Şekil 2.8 : Türkiye birincil enerji tüketimi(2011) (Dünya Enerji Konseyi.....	27
Şekil 2.9 : Türkiye elektrik tüketimi (2011) (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli	27
Şekil 3.1 : Yer kabuğu, manto ve çekirdek (http://www.geothermal-energy.org/geothermal_energy/what_is_geothermal_energy.html).	30
Şekil 3.2 : Jeotermal sistemin oluşum mekanizması (Toka, 2008).	31
Şekil 3.3 : Dünyadaki tabaka biçimleri, okyanus sırtları, okyanus hendekleri, dalma- batma zonları ve jeotermal alanlar. Oklar dalma-batma zonlarına doğru tabakaların hareket yönlerini göstermektedir. (1) elektrik üretilen jeotermal alanlar, (2) transform faylarıyla kesişen orta okyanus sırtları, (3) dalan plakanın aşağı doğru büküldüğü ve astenosferde eridiği dalma-batma zonları (http://www.geothermal-energy.org/geothermal_energy/what_is_geothermal_energy.html).	32
Şekil 3.4 : Jeotermal model ve geçirimli katmanlar (http://www.yerbilimleri.com/aktif-tektonigin-ikrami-sifir-zararli-jeotermal-enerji/).	34
Şekil 3.5 : İdeal bir jeotermal sistemin şematik gösterimi (http://www.yerbilimleri.com/aktif-tektonigin-ikrami-sifir-zararli-jeotermal-enerji/).	35
Şekil 3.6 : Aydın- Serçeköy jeotermal sondajı, 2008 (www.mta.gov.tr).	38
Şekil 3.7 : Nevşehir- Kozaklı jeotermal sondajı (www.mta.gov.tr).	39
Şekil 3.8 : Kuru buhar santrali (http://www.nrel.gov).	42
Şekil 3.9 : Flash buhar santrali çalışma prensibi (http://www.nrel.gov).	43
Şekil 3.10 : Binary cycle buhar santrali (http://www.nrel.gov).	43
Şekil 3.11 : Çift-çevrimle elektrik üretiminin şematik gösterimi (www.eie.gov.tr). ..	44
Şekil 3.12 : Jeotermal enerjiden elektrik üretimi (http://www.alternaturk.org/jeotermal-enerji.php).	45

Şekil 3.13 : Balık Üretimi (Kalkınma Bakanlığı, 10'ncu Kalkınma Planı (2014-2018)).	49
Şekil 3.14 : Dünyadaki önemli jeotermal kuşaklar ve levha (plaka) sınırları (http://www.geothermal-energy.org).	50
Şekil 3.15 : Aydın-Pamukören-AP-3 (www.mta.gov.tr).	53
Şekil 3.16 : Aydın-Sultanhisar SH-1 (www.mta.gov.tr).	54
Şekil 3.17 : Türkiye Jeotermal Kaynaklar ve Uygulama Haritası (www.mta.gov.tr).	55
Şekil 3.18 : Germencik-Ömerbeyli Jeotermal Enerji Santrali (Karaman,2009).	64
Şekil 3.19 : Enerji kaynağına göre emisyon miktarı çizelgesi (Kalkınma Bakanlığı, 10ncu Kalkınma Planı (2014-2018)).	66
Şekil 4.1 : Isı pompası çevrimi (http://www.belgeler.com/).	70
Şekil 4.2 : Çeşitli kompresör tipleri (Patlar, 2006).	73
Şekil 4.3 : Pistonlu kompresörlerin çalışma çevrimi (Patlar, 2006).	74
Şekil 4.4 : Vidalı kompresör.	75
Şekil 4.5 : Evaporatör	76
Şekil 4.6 : Genleşme valfi.	77
Şekil 4.7 : Isı pompası çalışma diyagramı (http://www.toprakisi.com.tr/).	78
Şekil 4.8 : Almanya'da ilk antifriz/su ısı pompası (Waterkotte, 1972).	81
Şekil 4.9 : Isı pompası verim şeması (http://www.isipompasicesitleri.com/).	83
Şekil 4.10 : Isı pompası verim örneği (http://www.ercankara.net/).	83
Şekil 4.11 : Jeotermal kaynaklı ısı borusuyla köprü ayağının korunması (Swanson, H., 1980; Donnelly, D., 1981).	88
Şekil 4.12 : Derin temellerde ısı iletimi. Zemin sıcaklığı 10 – 15 m derinlikten sonra sabit zemin sıcaklığı (Avrupa'da 10-15 °C, Tropikal Ülkelerde 20 – 25 °C) (Brandl, 2006).	89
Şekil 4.13 : Türkiye Uzun Yıllar Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası.	89
Şekil 4.14 : İstanbul için farklı derinliklerdeki yer sıcaklığının yıllık değişimi.	90
Şekil 4.15 : İstanbul için yer sıcaklığının mevsimsel değişim profili (Olgun, 2010).	91
Şekil 4.16 : Açık çevrimli sistem örneği.	94
Şekil 4.17 : Yatay toprak ısı değiştiricisi (Patlar, 2006).	95
Şekil 4.18 : Dikey tip ısı değiştiricisi (Patlar, 2006).	97
Şekil 4.19 : Dikey tip ısı değiştiricisinin ısı pompasına ait resim.	97
Şekil 4.20 : Düşey borulu sistemde ısı taşınımı için üç farklı kanal uygulaması (Patlar, 2006).	98
Şekil 4.21 : Enerji temeli uygulamaları	99
Şekil 4.22 : Enerji kazığı ve ısıtma-soğutma sistemi.	100
Şekil 4.23 : Dolaşım boruları ile imal edilmiş prekast enerji kazığı (Olgun , 2010).	101
Şekil 4.24 : Dolaşım boruları yerleştirilmiş yerinde dökme kazık.	102
Şekil 4.25 : Kolektör ve dağıtım elemanı.	103
Şekil 4.26 : Boru şebekesinin bağlantı şeması.	103
Şekil 4.27 : Enerji kazıklı jeotermal enerji sistemi şeması (Brandl,2006).	104
Şekil 4.28 : Zemin-kazık arasındaki ısı hareketinin şematik gösterimi (Abdelaziz ve diğ., 2010).	105
Şekil 4.29 : Zemin-kazık arasındaki ısı hareketinin şematik gösterimi (Abdelaziz ve diğ., 2010).	106
Şekil 4.30 : Diyafram duvar (Unterberger et al,tunnels ground heat)	112
Şekil 4.31 : Diyafram duvar uygulaması Avusturya Bregenz Arts Centre.	113

Şekil 4.32 : Toprak kaynaklı ısı boruları ile tünelin soğutulması veya ısıtılması (Özsoy, Yıldırım, 2012).	114
Şekil 4.33 : Lainser tüneline enerji tüneli uygulaması (Markiewicz & Adam, 2003).	114
Şekil 4.34 : Geotermal Temel Yapımı (Enerji Döşemesi) (Messe U2 metro istasyonu, Viyana) (Adam&Markiewicz,2009).	115
Şekil 4.35 : Hadersdorf – Weidlingau aç-kapa tünelinin bir duvarında yer alan enerji duvarını gösteren enkesit (Brandl, (t.y.)).	115
Şekil 4.36 : Toprak kaynaklı ısı borusu sistemi (Balbay, A., Esen, M., 2007).	117
Şekil 4.37 : Toprak kaynaklı ısı borusuyla köprü ayağının korunması (Swanson, H., 1980).	117
Şekil 4.38 : Köprü ayağında kullanılan dirsek tipi toprak kaynaklı ısı borusu (http://geoheat.oit.edu/).	118
Şekil 4.39 : Yol kaplaması ısıtması (Sanner, B. 2008).	119
Şekil 4.40 : Köprü tabliyesindeki uygulama (Kaller,2007).	120
Şekil 4.41 : Geotermal yol kaplaması uygulaması (Kaller,2007).	120
Şekil 4.42 : Hava kaynaklı ısı pompası ünitesine ait iç ve dış kanatlı borulu eşanjörler	121
Şekil 4.43 : Hava - hava ısı pompası soğutma çevrimi(Ünlü, K.2005).	123
Şekil 4.44 : Basit hava - hava ısı pompası ısıtma çevrimi (Ünlü, 2005)	123
Şekil 4.45 : Hava Kaynaklı Isı Pompasının Çalışma Prensibi	125
Şekil 4.46 : Su Kaynaklı ısı pompası	129
Şekil 4.47 : Dolaşım borularının suya batırılması.	130
Şekil 5.1 : Uygulama için hazırlanmış deniz ısı değiştiricileri.	136
Şekil 5.2 : Borular denize batırılmadan önce	137
Şekil 5.3 : Isı değiştiricisi hazırlıkları ve hafriyat	137
Şekil 5.4 : HABOM enerji kazığı uygulaması	143
Şekil 5.5 : Dolaşım borularının yerleştirilmesi	144
Şekil 5.6 : Dolaşım boruları yerleştirilen enerji kazıklarının istiflenmesi	144
Şekil 5.7 : Kazıkların yerleştirilmesi	145
Şekil 5.8 : Enerji kazığının yerleştirilmesi	146
Şekil 5.9 : Betonu dökülen enerji kazıkları	146
Şekil 5.10 : Kazıklar üzerine binanın inşaa edilmesi	147

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE TERMAL ENERJİ KAYNAKLARINDAN YARARLANMA

ÖZET

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin ekonomilerini ilgilendiren en önemli sorunlardan birisi enerjidir. Nüfus artışı ve dünya ülkelerinin hızlı bir şekilde teknolojik alanda ilerleyerek sanayileşmesi enerji ihtiyacımızı sürekli olarak arttırmaktadır. Enerji kavramı ve enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği geçmişten bugüne dünyanın en önemli konularından ve sorunlarından biri olmuştur. Dünya ülkelerinin hemen hepsinin enerji portföyleri kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil kökenli yakıtlardan oluşmaktadır. Enerji kaynaklarının hızla tükenmesi, kömür, petrol, doğalgaz gibi kendini yenileme durumu olmayan bu kaynakların ileriki tarihlerde tükenecek olması, bilinçsizce kullanılması, çevreye ve atmosfere verdiği kirlilik gibi etkenler insanları yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaya yönlendirmiştir.

Geçtiğimiz yüzyılda insanların aşırı enerji tüketimi sonucu atmosferdeki CO₂ miktarı hızla artmış ve bu hızlı değişim çevreye kalıcı zararlar vermeye başlamıştır. Aşırı fosil yakıt kullanımının en önemli sorunlarının başında çevre kirlenmesi, küresel ısınma, iklim değişikliği ve sera etkisi gelmektedir. Ayrıca fosil enerji kaynakları rezervlerinin yetersiz oluşu ve gelecekte tükenecek olması insanlık için büyük tehlike oluşturmaktadır. Enerji kaynaklarını tüketmedeki alışkanlıklar değişmezse, yakın gelecekte ciddi problemler ile karşılaşılması kaçınılmaz olacaktır. Bu nedenle enerji konusunda kalıcı çözümler bulunması zorunludur. Bu bağlamda enerji konusundaki en güncel tartışmaların başında ise sürdürülebilir enerji kullanımını mümkün kılmak gelmektedir. Çevre sorunlarının ve kirliliğinin büyük bir bölümünde, enerji kaynaklarının kullanımı, diğer bir ifade ile enerji üretimi, çevrimi, iletimi ve tüketimi, endüstrinin bıraktığı atıklar, taşıtların egzoz gazlarındaki kirleticiler ve özellikle kentsel alanlarda, konutlardaki ısıtma ihtiyacını karşılamak üzere tüketilen enerjinin atık ürünleri etkili olmaktadır. Bu durum bizi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmektedir. Bunun için temel çözüm, fosil enerji kaynaklarına birer alternatif teşkil edecek güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, gelgit enerjisi ve biokütle enerjisi gibi “Yenilenebilir Enerji Kaynakları”nı kullanmak olacaktır.

Bu çalışmada enerji kavramı, enerji çeşitleri ve yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan jeotermal enerji incelenmiştir. Çalışma kapsamında jeotermal enerjinin sürdürülebilirliği, jeotermal enerjinin çevreye etkisi gibi konular ülkemizdeki doğal kaynakların korunması ve çevre dostu kullanımlar açısından değerlendirilmiştir.

Jeotermal enerji, fosil yakıtlara alternatif enerji kaynakları arasında en önemlilerden birisi durumundadır. Jeotermal Enerji, yer içindeki doğal ısı enerjisinin sıvı ya da gaz ile taşınarak ulaşılabilir derinliklere çıktığı noktalarda kullanılabilen bir enerji türüdür. Ancak genel tanımıyla jeotermal enerji yer içinde mevcut bulunan ısı enerjisini ifade etmektedir. Jeotermal enerji yerkabuğunun işletilebilir derinliklerinde

olağan dışı olarak birikmiş ısının oluşturduğu bir enerji türüdür. Bu ısı yeryüzüne doğal olarak sıcaqsu kaynakları ve buhar şeklinde veya sondajlarla çıkartılan sıcaqsu, sıcaqsu + buhar ve buhar şeklinde ulaşmaktadır. Yerin derinliklerinde varolan bu ısı kaynağı henüz soğumamış bir magma kütlesi veya genç volkanizmayla ilgili olan jeotermal enerji, doğrudan veya başka enerji türlerine dönüştürülerek de ekonomik olarak kullanılabilir. Yeraltına sızan meteorik sular, gözenekli ve geçirimli özellikleri bulunan hazne kayalarda toplanır. Hazne kayalar üzerinde geçirimsiz örtü kaya vardır. Isı bu şekilde yerkabuğunun kırık ve çatlakları boyunca dolaşan sularla yeryüzüne aktarılabilirdiğinden, hidrotermal sistemler söz konusu olur. Yerkabuğu içinde doğal su dolaşımına izin verecek nitelikte kırık yoksa ve yine de ısı birikimi varsa oluşturulacak yapay kırıklar içinde dolaştırılacak akışkanlarla yine enerji elde edilmesi kızgın kuru kayalarla mümkündür.

Ülkemiz jeotermal enerji potansiyeli bakımından dünyanın en zengin yedinci ülkesi konumunda olduğundan ve jeotermal enerji temiz, yenilenebilir enerji kaynağı olmasından dolayı, bu tezde yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde yer alan, maliyeti düşük ve potansiyel açıdan zengin olduğumuz jeotermal enerji ve termal enerjiden yararlanmanmak için kullanılan sistemler üzerinde durulmuştur.

Yerin yüzeyi ve yüzeyin hemen altındaki kesimler hava sıcaklığına bağlı bir ısıya sahip olsa da, belirli bir derinlikten sonra sabit ve mevsimden bağımsız bir sıcaklık seviyesi mevcuttur. Yer sıcaklığının bu seviyelerde olması ısıtma ve soğutma için yer içindeki ısı enerjisinin dünyanın her yerinde ve her mevsimde kullanılabilmesini mümkün kılmaktadır. Bu çerçevede bakıldığında jeotermal enerji bir ısı pompası yardımıyla yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağı olarak çok büyük bir olanak sunmaktadır.

Son yıllarda ülkemizde de adını özellikle konut ısıtma amaçlı olarak sıkça duymaya başladığımız ısı pompası “Isı Pompası” basit olarak, ısı enerjisini bir ortamdan diğer bir ortama taşıyan ve elektrikle beslenen bir sistemdir. Isı pompaları, ısı enerjisini düşük sıcaklıktaki ortamdan alıp, yardımcı bir enerji kaynağı aracılığıyla yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağına sevk eden sistemlerdir. Isı pompası; yakıt fiyatlarındaki artış, diğer fosil yakıt kaynaklı ısıtma sistemlerinin çevreye olan zararı, tükenecek olması, hızla artan insan nüfusuna karşılık artan enerji tüketimi gibi nedenlerden dolayı daha çok kullanılmaya başlanan bir sistem olmuştur.

Isı pompası sistemlerinde dış hava, toprak, nehir suyu, göl suyu gibi bir ortam kış şartlarında düşük sıcaklık kaynağı olarak kullanılarak alınan ısı, ısıtılması hedeflenen hacime aktarılmakta; yaz şartlarında ise serinletilmesi hedeflenen hacimden alınan ısı bu sefer yüksek sıcaklık kuyusu olarak görev yapan dış hava, toprak, nehir suyu, göl suyu vb.'ne transfer edilmektedir. Isı pompası sistemleri ısı kaynağı olarak toprak, su, hava, güneş ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanırlar. İsimlendirilmeleri ise kullandıkları bu enerji kaynaklarına göre yapılır. Sıcaklık kaynağı veya kuyu olarak kullanılacak ortamın seçilmesi ise iklim şartları, coğrafik yerleşim, ilk yatırım maliyeti gibi pek çok faktöre bağlı olmaktadır.

Jeotermal ısı pompaları olarak da adlandırılan toprak kaynaklı ısı pompaları (TKIP'ları); toprağın sıcaklık değişimi yıl boyunca hava ve suya göre daha az bir farklılık gösterdiğinden ve daha yüksek enerji kullanım verimleri nedeniyle, geleneksel ısıtma ve soğutma sistemlerine karşın çekici bir seçenek oluşturmaktadır. Ayrıca toprak sıcaklığında yazın dış havaya göre daha soğuk kışın ise daha sıcak olması durumu söz konusudur. Toprağın bu gibi avantajları ve düşük maliyetli olmasından dolayı bu konu üzerinde çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır.

Isı pompası yakıt fiyatlarındaki artış, diğer fosil yakıt kaynaklı ısıtma sistemlerinin çevreye olan zararı, hızla artan insan nüfusuna karşılık artan enerji tüketimi gibi nedenlerden dolayı daha çok kullanılmaya başlanan bir sistem olmuştur. Bu sistemlerde ısı kaynağı olarak toprak, su veya havadan yararlanılmaktadır. Toprağın sıcaklık değişimi yıl boyunca hava ve suya göre daha az bir farklılık gösterdiğinden dolayı kullanımı daha fazladır. Ayrıca toprak sıcaklığında yazın dış havaya göre daha soğuk kışın ise daha sıcak olması durumu söz konusudur. Toprağın bu gibi avantajları ve düşük maliyetli olmasından dolayı bu konu üzerinde çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır.

Zemin ısının belirli bir derinlikten sonra sabit sıcaklığa sahip olması özelliğinden yararlanarak ısıtma ya da soğutma gerçekleştirilen toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri ve derin temel sistemleriyle irtibatlandırılan geotermal enerji sistemleri üzerinde durularak, bu seçeneklere dikkat çekilmeye çalışılmış ve örnek uygulamalardan bahsedilerek maliyet analizi yapılmıştır. Isı pompaları ve enerji kazıkları uygulamalarının diğer sistemlerle ilk yatırım, işletme, bakım başta olmak üzere farklılıkları, üstünlükleri ve dezavantajları sıralanmıştır.

Günümüze kadar gerçekleştirilmiş olan çok sayıda uygulama sonucunda enerji kazıkları ve diğer enerji yapıları yoluyla geotermal enerjiden yararlanılmasının işlevselliği ve verimi ispatlanmış durumdadır. Fosil-temelli enerji kaynaklarının giderek azaldığı ve maliyetinin arttığı ve daha da önemlisi bu enerji kaynaklarının kullanımı ile atmosfere salınan başta CO₂ olmak üzere kükürt ve azot gazlarının dünyadaki yaşam kalitesini tehdit eder ölçülere geldiği günümüzde temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılması artık bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu nedenle yer ısının bu kapsam ve ölçekte kullanımı çok önemli bir gelişmedir.

Yeryüzünün karşı karşıya olduğu enerji ve kirlilik probleminin boyutu her türlü insansal faaliyette yeni bir anlayış gerektirmektedir. Bu noktada biliminsanlarına ve mühendislere çok önemli görev ve sorumluluklar düşmektedir. Enerji tüketiminin önemli bir kısmının konutlar ve diğer yapılarda gerçekleştiği düşünüldüğünde özellikle inşaat mühendisliği eğitim ve uygulamalarında gelecek perspektifinin bu çerçevede içinde oluşturulması gerekmektedir. Yapıların enerji ihtiyacını ve bunun temiz enerji kaynaklarından sağlanmasını gözetken, ısı kayıplarını en az seviyeye indiren, atık ve atık değerlendirme sistemlerinin optimal ve çevre-dostu çözümlerini üreten bütünleşik bir yaklaşım ile tasarlanması bir zorunluluk haline gelmeye başlamıştır.

Bu çalışmanın diğer bir önemli amacı ise, geotermal ısıtma ve soğutma sistemlerinin geoteknik mühendisliğindeki olası uygulamalarına vurgu yapmak ve bu konunun geoteknik mühendisliği disiplini içerisinde de değerlendirilmesi yönünde bir açılım yaparak geoteknik mühendisliğine bir katkıda bulunmaktır.

RENEWABLE ENERGY SOURCES AND USAGE OF THERMAL ENERGY SOURCES

SUMMARY

One of the most important problems of developed and developing countries is the energy. Almost, all countries generally consume coal, natural gas, petroleum which are counted fossil sources.

Environmental pollution originating from petroleum is increasing, while petroleum sources, which are our most important energy sources, are decreasing. Due to that, there is an increase on studies about renewable energy sources in recent years. Among many alternatives, ground heat is considered as an important renewable energy source.

Consumption of energy, the environmental pollution of fossil fuels like petrol, coal, nuclear energy, made people use renewable energy sources. Sustainability of energy is one of the most important issues of the world.

Energy demand has been increasing as a result of industrialization parallel to technological development of world countries and population increase. After the industrial revolution, the energy has become a very important issue for the development of a society, but over the past century there has been a dramatic increase in CO₂ emissions in the atmosphere due to the over consumption of the energy by the humankind. Last two decades have witnessed a rapid change in CO₂ emissions and the rapid change is having a serious effect on the environment. The problems caused by excess fossil fuel consumption are the environmental pollution, global warming, climate change and greenhouse effect. For this reason, turning to “Renewable Energy Sources” seems as a fundamental solution instead of fossil energy resources.

Nowadays, geothermal energy has become proper alternative due to the probability of running out these fossil fuels, in this thesis, I want to call attention to geothermal energy whose is low.

The conventional way of consuming energy can cause significant problems, so an optimum solution has to be found to solve the complex relationship between energy consumption and the environmental damage. One of the most significant current discussions in energy issue is that how the sustainability in this equation will be obtained. Renewable energy sources present very sensible alternatives to this complicated question and shallow geothermal energy is one of the most considerable ones.

The utilisation of geothermal energy can be widely promoted by public support. This refers not only to public buildings but also to private ones, especially one-family houses. In this paper, some information is given about utilization of ground heat for heating and cooling and devices required.

Geothermal energy is available day and night all the year and can thus serve as a supplement to energy sources which are only available intermittently. Renewable energy sources can contribute significantly more to the mitigation of climate change by cooperating than by competing.

Direct use of geothermal energy for heating is also commercially competitive with conventional energy sources. Scenarios for future development show only a moderate increase in traditional direct use applications of geothermal resources, but an exponential increase is foreseen in the heat pump sector, as geothermal heat pumps can be used for heating and/or cooling in most parts of the world. Subsurface geothermal resources represent a great potential of direct use energy, especially in connection with (deep) foundations and heat pumps.

Heat Pumps are the systems that transfer the thermal energy from low temperature medium by using an auxiliary energy source, to high temperature reservoir. Heat pump systems use renewable energy sources such as earth (ground), water, air, solar and geothermal energy as thermal reservoir; nomenclature is according to used energy source. Geothermal (ground - source) heat pumps (GHP) are one of the fastest growing applications of renewable energy in the world. In our country, the studies on Ground Source Heat Pumps are restricted.

In this study, the applications of geothermal heat pumps were investigated. Depending on the application styles, different kinds of geothermal heat pumps were technically and costly analysed and compared with practical applications. Especially the differences of first investment, actuation and maintenance between the other systems and Geothermal soil source Heat Pumps were listed. Both the advantages and disadvantages also noted.

In the winter, the heat pump removes heat from the heat exchanger and pumps it into the indoor air delivery system. In the summer, the process is reversed, and the heat pump moves heat from the indoor air into the heat exchanger. The heat removed from the indoor air during the summer can also be used to heat water, providing a free source of hot water.

Geothermal heat pumps use much less energy than conventional heating systems, since they draw heat from the ground. They are also more efficient when cooling your home. Not only does this save energy and money, it reduces air pollution.

There are four basic types of ground loop systems. Three of these horizontal, vertical, and pond/lake are closed-loop systems. The fourth type of system is the open-loop option. Which one of these is best depends on the climate, soil conditions, available land, and local installation costs at the site. All of these approaches can be used for residential and commercial building applications.

Environmental protection and an economical extraction or storage of energy led to the development of “geothermal foundations”. In such cases neither deep boreholes nor hot springs are necessary. Structural elements, which are required for the building and being in direct contact with the soil (“geothermal absorbers”) are directly used. This refers mainly to structural elements of concrete (piles, diaphragm walls), but also shallow foundations and even basement walls or retaining walls can be utilized.

There is rapidly growing trend around the world to explore alternative energy sources. Among the main driving forces are increased global energy demand depleting natural resources and the adverse effects of greenhouse gas emissions from fossil fuel consumption. Foundation elements can be used to access the thermal energy potential of the ground for heating and cooling of structures. Energy piles in particular are an innovative renewable energy technology designed to access and exploit the relative constant temperature of the ground for efficient heating and cooling of buildings. In this newly developing concept, the piles that are already in place for support of the building are used conjunctively as geothermal cooling/heating elements. In this technology, the piles contain circulation tubes and act as heat exchangers as heat energy from the structure is circulated through the tubes with water or antifreeze. The heat energy is fed into and withdrawn from the ground for cooling in the summer and heating in the winter, respectively. In this paper, the design issues and operational considerations of energy piles are discussed. The basic processes and mechanisms are summarized as well as the controlling factors, such as the properties of the circulation fluid, flow rate, soil type and pile material.

Energy foundations may be raft foundations, piles, barrettes, slurry trench systems (single elements or continuous diaphragm walls). Combinations with surface-near earth collectors or retaining structures are also possible. Energy foundations can be used for heating and/or cooling buildings of all sizes as well as road pavements or bridge decks, etc.

Geothermal system, foundation elements act as heat exchanger with the subsoil and provide the building with renewable energy. In order to design foundation systems in an optimised way, advanced load tests are recommended.

The geothermal use of concrete geostructures (piles, walls and slabs) is an environmentally friendly way of cooling and heating buildings. With such geothermal structures, it is possible to transfer energy from the ground to fluid-filled pipes cast in concrete and then to building environments. Geothermal energy pile foundations are an alternative energy source for heating and cooling needs. Utilising this source of energy has great potential due to the environmental, economic and social benefits.

Another important purpose of the research is to introduce this brand new area to the geotechnical engineering discipline and to focus on the possible use of ground heating and cooling systems in geotechnical engineering applications.

Sustainability of energy is one of the most important issues of the world. Consumption of energy, the environmental pollution of fossil fuels like petrol, coal, nuclear energy, made people use renewable energy sources. In this study, subjects like concept of energy, types of energy, geothermal energy, which is a type of renewable energy sources, has been inspected. This issues were discussed on an eye of a landscape architect.

The thermal energy from the earth continuously flows outwards. This heat transfer from the core to the surrounding mantle is principally via conduction. When the temperature and pressure of the system becomes high enough, some of the rocks that make up the mantle melt and form magma. As the liquid magma is less dense than surrounding rocks, it slowly rises, convecting thermal heat towards the earth's crust.

1. GİRİŞ

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin ekonomilerini ilgilendiren en önemli sorunlardan birisi de enerjidir. Enerji kavramı, enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği global ısınmaya bağlı iklim değişikliği geçmişten bugüne dünyanın en önemli konularından ve sorunlarından biri olmuştur. Enerjiye talep her geçen gün artarken, hem maliyeti artmakta hem de mevcut kaynaklar giderek tükenmektedir. Ayrıca, global ısınmanın ve yeryüzüne ulaşan ultraviyole ışınlarının ana nedeni olan sera etkisinin, fosil temelli enerji kaynaklarının kullanımı nedeniyle salınan karbon dioksit (CO₂) gazı ve diğer sera gazları nedeniyle meydana geldiği göz önüne alındığında, fosil temelli enerji kaynaklarının kullanımının asgari düzeye indirilmesine ya da tamamen kullanım dışı bırakılmasına yönelik çabaların yoğunlaşmış olması ve devletlerin bu tür çabaları daha çok desteklemeye başlaması oldukça anlaşılır olmaktadır.

Dünya ülkelerinin hemen hepsinde kömür, petrol, gaz gibi fosil kökenli yakıtlar kullanılmaktadır. Fakat kendini yenileyemeyen bu yakıtların ileriki tarihlerde tükenecek olması ve enerji talebinin her geçen gün artması, petrol, kömür, gaz, nükleer enerji gibi kendini yenileme durumu olmayan kaynakların bilinçsizce kullanılması, bu kaynakların çevreye ve atmosfere verdiği kirlilik gibi etkenler yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarını gündeme getirmektedir. İlk aşamada özellikle ulaşım ve ısıtma-soğutma sistemlerinin temiz ve yenilenebilir enerjiye dayalı olarak tasarlanması bilim ve mühendislik camialarında öncelikli ve acil konular olarak ele alınmaya başlamıştır. Dolayısıyla, düşük ve sıfır karbon salınım teknolojilerine dayalı ısıtma/soğutma ve aydınlatma sistemlerinin inşaat sürecinin bir parçası haline gelmek üzere olduğu yeni bir döneme girilmiş durumdadır.

Öte yandan, enerjinin üretimi, çevrimi, iletimi ve tüketiminden kaynaklanan çevresel sorunlar ve çevrenin korunması konusu dünya ülkelerinin enerji politikaları ve programları içinde giderek daha ağırlıklı biçimde dikkate alınmaya başlanmıştır. Ayrıca, enerji kaynaklarının pahalılaşması, kısıtlanması; enerji, sanayi ve ulaştırma sektörlerinden doğan kirlenmeler dünyada olduğu gibi ülkemizde de çevreyi

korumaya yönelik önlemlerin alınmasını gerekli kılmıştır. Enerji politikalarının esas amacı, sosyo-ekonomik gelişmeyi kuvvetlendirirken aynı zamanda çevreyi korumak ve iyileştirmek olduğundan, dünya ülkeleri enerji politikaları ve programları içinde çevre konusu giderek daha ağırlıklı bir şekilde göz önüne alınmaya başlanmıştır (Niğdelioğlu, 2006).

Bir süredir hükümetlerin enerji politikaları bu tür girişimlerin desteklenmesine ve cazip hale getirilmesine yönelik olarak oluşturulmaktadır. Örneğin, İsviçre 1990 yılında enerjinin verimli kullanımı yoluyla tüketiminin azaltılması amaçlı 10 yıllık bir program başlatmış ve toplam enerji tüketimi % 4.3 oranında azaltılabilmektedir (Vuataz et al., 2003). 2001 yılında da fosil yakıt tüketiminin azaltılmasına yönelik benzer bir program başlatılarak CO₂ salınımının % 10 azaltılması hedeflenmiştir. A.B.D. Kongresi'nde 2005 ve 2007 yıllarında kabul edilen eylem planlarına göre 2015 yılı itibariyle enerji kullanımının % 30 azaltılması ve 2013 itibariyle kullanılan enerjinin % 7.5'lük kısmının yenilenebilir enerjiden elde edilmesi öngörülmüştür. Alternatif enerji kaynakları bulunarak sera etkisine sebep olan gazların salınımının azaltılmasına yönelik benzer çabalar Avrupa Birliği (European Environment Agency, 2008) ve Japonya'da da (Hamada et al., 2007) söz konusudur. İngiltere'de mevcut yönetmelikler yeni binalarda kullanılacak enerjinin belirli bir oranının yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmesi şartını koymaktadır. Şart koşulan yenilenebilir enerji kullanım oranı %10 seviyesini geçtiğinde yer kaynaklı enerji kullanımının birçok durumda zorunluluk haline gelmesi muhtemeldir (Lennon vd.,2008)

Günümüze kadar, kullanılan fosil kökenli enerji kaynakları, dünyadaki petrol rezervlerinin giderek azalması alternatif enerji kaynakları üzerinde yapılan çalışmaları artırmıştır. Kullanılan fosil kökenli, kendini yenileyemeyen ve çevreyi kirleten kaynaklar yeni alternatif enerji kaynaklarının arayışını ortaya çıkarmıştır. Yeni enerji kaynakları olarak güneş, rüzgar, dalga, biyokütle, jeotermal enerji, hidrolik ve hidrojen enerjisi sayılabilir. Ülkemiz de bu yeni enerji kaynaklarından yararlanmaya gitmektedir (Güven, 2002).

Türkiye, güneş ve rüzgar bakımından oldukça zengin bir ülkedir. Şimdiye kadar güneş enerjisi yalnızca güney yörelerimizde çok düşük verim ile su ısıtma amaçlı kullanılmıştır. Bu zenginliği boşa harcama lüksüne sahip olmayan yurdumuz için, tükenmeyen kaynaklar olan rüzgâr ve güneş, önümüzdeki yılların ana enerji ve elektrik kaynağı olmaya adaydır. Alternatif enerji kaynaklarının yaygın kullanımıyla,

daha değişik bir dünya görüşü günlük yaşamımıza hakim olacaktır. Böyle bir ortamda da refah düzeyini, en fazla enerji tüketen yerine, en verimli enerji kullanan belirleyecektir. Türkiye’de de benzeri bir anlayışın hakim olması ile yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi daha da artacaktır ( nl , 2005).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden olan ve ülkemizde jeotermal enerji ise günümüzde elektrik üretimi, soğutma, ısıtma, sıcak su ihtiyaının karşılanması, seracılık, tıp, turizm, ziraat ve endüstri v.b gibi sayısız alanda kullanılabilen bir kaynaktır. Jeotermal enerji yerin derinliklerindeki kayaçlar içinde birikmiş olan ısının akışkanlarca taşınarak rezervuarlarda depolanması ile oluşmuş sıcak su, buhar ve kuru buhar ile kızgın kuru kayalardan yapay yollarla elde edilen ısı enerjisidir. Jeotermal kaynaklar yoğun olarak aktif kırık sistemleri ile volkanik ve magmatik birimlerin etrafında oluşmaktadır. Jeotermal enerji kaynaklarının nice faydası bulunmakla birlikte, bunların başlıcaları daha önce belirtildiği gibi yenilenebilir olması yani doğru kullanımla tükenmesi zor bir enerji çeşidi olması, tespit ve üretiminin kolay olması, maliyetinin düşük olması, yatırımın çok kısa bir zamanda geri dönüş sağlaması, ayrıca diğer kaynaklara göre çevreye verilen zararın çok az olmasıdır. Jeotermal enerjiye dayalı modern jeotermal elektrik santrallerinde CO₂, NO_x, SO_x gazlarının salınımı çok düşük olduğundan temiz bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. İşte bu noktada jeotermal enerjinin önemi artmaktadır ve alternatifler arasında, yer ısısı önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak düşünülmektedir (<http://www.enerji.gov.tr>).

Klasik ve bilinen tanımıyla geotermal enerji yer içindeki doğal ısı enerjisinin sıvı ya da gaz ile taşınarak ulaşılabilir derinliklere çıktığı noktalarda kullanılabilen bir enerji türüdür. Yerin yüzeyi ve yüzeyin hemen altındaki kesimler hava sıcaklığına bağlı bir ısıya sahip olsa da, belirli bir derinlikten sonra mevsimsel değişikliklerden bağımsız olan bir sıcaklık seviyesi mevcuttur. Dünyanın birçok bölgesinde ortalama 9-12 metre derinlikten sonra yer sıcaklığı sabit bir değere ulaşmaktadır. Bu derinlikten sonra ortalama yer sıcaklığı 10-15° C civarındadır (Brandl, 2006). Yer sıcaklığının bu seviyelerde olması ısıtma ve soğutma için yer içindeki ısı enerjisinin dünyanın her yerinde ve her mevsimde kullanılabilmesini mümkün kılmaktadır. Çok uzun yıllardır hendek gibi yüzeysel sistemler ile toplanan su ya da kuyu/sondaj kuyusu içindeki su kullanılarak yararlanılan yer içinde mevcut bulunan ısı enerjisini ifade eden geotermal enerjiden, bu çerçevede bakıldığında özellikle derin temel sistemiyle

irtibatlandırılacak bir ısı pompası yardımıyla yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağı olabilmektedir. Isı pompası; ısıнын bir yerden başka bir yere transferini gerçekleştiren organ olarak bilinir. Isı pompası ve soğutma sistemlerinin mekanik olarak elemanları aynıdır. Aralarındaki tek fark kullanım amaçlarından kaynaklanmaktadır. Isı pompasının amacı, ısıtma aylarında düşük sıcaklıktaki ısı kaynağından ısıyı alarak yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağına ulaştırmak ve kaynağın ısıtmasını sağlamaktır.

Güneş ışınlarının yeryüzüne çarpmasıyla jeokütlerde depolanan ısı enerjisini yeryüzünden yaşam alanlarına aktarmak amacıyla Jeotermal ısı pompaları olarak da adlandırılan ‘Toprak Kaynaklı Isı Pompaları (TKIP)’ tasarlanmıştır. Daha yüksek enerji kullanım verimleri nedeniyle, geleneksel ısıtma ve soğutma sistemlerine karşı bir seçenek oluşturmaktadır. TKIP, toprağı ısı kaynağı ya da ısı kuyusu olarak kullanılır. Toprak sıcaklığının yüzeyden derinlere doğru gittikçe kısmen sabit kalması ve ayrıca bu sıcaklığın insanın konfor şartları için gerekli olan sıcaklığa çevre sıcaklığına göre daha yakın olması, bu tip ısı pompası uygulamasını cazip hale getirmektedir. Bu sabite yakın olan sıcaklıktan dolayı, sert iklimli bölgelerde dahi toprak kaynaklı ısı pompaları ile çevrimin performansında daha yüksek değerler elde edilir. Yeryüzünün güneş ışınlarından elde ettiği ısıdan yeniden kazanılabilen enerjiyi kullanarak, ticari binaların, çeşitli mühendislik yapılarının ısıtılması ve soğutulması ile kullanma sıcak suyu üretiminde kullanılan bir sistem olan toprak kaynaklı ısı pompasının kullanımı gittikçe artmaktadır. Sistemin çalışma prensibi, ısıнын taşınması esasına dayanmaktadır. TKIP sistemleri, elektrik enerjisi ile ısıtma ve soğutma yapılmasını sağlayan sistemler olduklarından çevre dostu bir sistemdir. TKIP’lar, toprağın içindeki sıcaklığın kararlı değişmesi ve soğuk iklimlerde performansını yüksek seviyede tutması nedeniyle enerjinin kullanımında daha etkili sonuçlar ortaya çıkarır (Şahin vd., 2007).

Kaynak olarak havayı kullanan ısı pompaları çok yaygın olarak kullanılmasına rağmen, özellikle soğuk ve değişken iklimli bölgelerde düşük verimde çalışmaları ve elektrik besleyicileri için arzu edilmeyen yüklemelere sebep olmaları gibi bazı dezavantajlara sahiptirler. Bu tip istenmeyen faktörler TKIP kullanılmasıyla giderilmektedir. Anlaşılağı üzere TKIP ile hava kaynaklı ısı pompalarına göre daha yüksek performans elde edilmektedir (Ünlü, 2005).

Avrupa ve ABD de güneş enerjisi sistemleri ve ısı pompaları yaygın bir şekilde uygulanmakta ve bu çalışmalar devlet teşviki ile birlikte yürütölmektedir. ABD de

her yıl 50,000 üzerinde toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP-GSHP) satılmaktadır ve toplamda 1,000,000 üzerinde olduğu tahmin edilmektedir. Ülkemizdeki çalışmalar ise dünyadaki uygulamalarla karşılaştırıldığında oldukça düşük bir seviyede bulunmaktadır (<http://www.belgeler.com/>).

Avrupa’da özellikle son otuz yıldır jeotermal enerjiden yapıların temel sistemleri vasıtasıyla yararlanılmaya başlamıştır. Bu amaçla 1980’lerin başında önce temel radye sistemi kullanılmaya başlanmış, daha sonra temel kazıklarından ve 1990’ların sonunda ise diyafram duvarlardan yararlanılmaya başlanmıştır. Betonun termal kapasitesinin oldukça yüksek olmasının getirdiği avantaj ile günümüzde her türlü betonarme yapı elemanı ısı değişimi sistemi olarak kullanılabilmekte ve mühendislik uygulamaları giderek artmaktadır (Olgun G.,2010).

Ülkemiz de son yıllarda diğer ülkelerdekine paralel bir görüşle yaklaşmakta, çevrenin korunarak iyileştirilmesi gerekliliğine inanmakta, çevre kirliliğini ve sera gazı emisyonlarını azaltıcı çeşitli faaliyetlerde bulunmakta ve önlemler almaktadır. Çevreye olan zararlı etkileri konvansiyonel sistemlere göre daha az olan ısı pompalı sistemlerin özellikleri, toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri, jeotermal enerjiden yapıların temel sistemleri vasıtasıyla nasıl yararlanıldığı bu tez çalışmasının konusunu oluşturmaktadır.

Bu amaçla hazırlanan tezde enerji ve enerji kaynaklarından bahsedilerek, temiz, yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları olan güneş enerjisi, rüzgar, dalga ve derin jeotermal enerjileri ve enerji depolama sistemleri gibi çeşitli olanakların araştırıldığı ve geliştirildiği bu süreçte yeryüzü içinde mevcut bulunan, maliyeti düşük ve potansiyel açıdan zengin olduğumuz jeotermal enerjiden daha geniş ölçekte yararlanılması gerektiği üzerinde durularak 4. Bölüme geçilmiştir.

Jeotermal enerji kaynağı; çekirdekteki birikmiş ısısının oluşturduğu ve bu ısının meteorik kökenli sularla yüzeye taşınması ile oluşan, sıcağı ve buhar olarak olarak yararlanılabildiği gibi, bazı alanlarda “sıcak kuru kayalar” da jeotermal enerji kaynağı olarak nitelendirilirler. Jeotermal ısı pompası (GHP) veya yer kaynaklı ısı pompası (GSHP) tekniği ile elde edilen enerji de jeotermal kaynak kabul edilebilmektedir. 4. Bölümde jeotermal enerjiden yararlanmak için kullanılan, yenilenebilir enerji kaynağı olarak ısıtma ve soğutma sistemlerinde her geçen gün önemli bir uygulama ve kullanım alanına sahip ısı pompalarından bahsedilmektedir.

Kullanıldığı kaynağa göre isimlendirilen ısı pompası çeşitlerinden (toprak, su ve hava kaynaklı ısı pompaları) da bu bölümde bahsedilen konular arasındadır. Ayrıca geotermal enerjiden yapıların temel sistemiyle yararlanma yollarından bahsedilerek yapılan uygulamalara değinilmiştir. Zemin ısını kullanarak ısıtma yada soğutma gerçekleştiren bu temel sistemleri üzerinde durularak, bu seçeneklere dikkat çekilmeye çalışılmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Çalışmanın amacı; dünyanın devamlı artan enerji ihtiyacını karşılamak için yeni, yenilenebilir, tükenmeyen ve çevreyi kirletici etkisi olmayan enerji kaynaklarının kullanımını her alanda arttırmak adına inşaat mühendisliğin de de ısıtma yada soğutma amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılabildiğini, dünyanın artan enerji ihtiyacına yenilenebilir, doğada sürekli varolan ve çevreyi kirletici etkisi olmayan enerjilerin kullanımının artması için geoteknik mühendisliğinde bir alternatif oluşturulması ve giderek azalan petrol, doğalgaz ve kömür rezervleri gibi yenilenemeyen ve çevreyi kirletici etkisi olan kaynakların kullanımının azaltılması için amaçlar içermektedir.

Bu amaçla da öncelikle, enerji kavramı ve planlamasına değinilmiş olup ardı sıra enerji çeşitleri, yenilenemeyen ve yenilenebilir enerji kaynakları incelenmiştir. Zemin ısısından yararlanılması hedeflenen çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan jeotermal enerji tanıtılmış, çevre açısından ve sürdürülebilir enerji politikaları açısından önemi irdelenerek, Türkiye ve Dünyadaki jeotermal kaynaklar incelenmiştir.

Diğer bölümde zeminin belirli bir derinlikten sonra sabit sıcaklığa sahip olması özelliğinden ısı pompası vasıtasıyla yararlanıldığından, ısı pompasından ve ısı pompası çeşitlerinden bahsedilerek, son bölümde ısı değişim sitemi olarak betonarme temel elemanlarından bahsedilerek maliyet analizi yapılmış ve amortisman süresi hesaplanılmıştır.

Enerji politikalarının esas amacı, sosyo-ekonomik gelişmeyi kuvvetlendirirken aynı zamanda çevreyi korumak ve iyileştirmek olduğundan, çevre konusunda dünya ülkeleri enerji politikaları ve programları içinde giderek daha ağırlıklı bir şekilde göz önüne alınmaya başlanmıştır.

Ekonomik ve sosyal kalkınmanın gerektirdiği enerjiyi herhangi bir darboğaza düşmeden, en ekonomik maliyetlerle ve çevreyi koruyarak karşılamak gerekmektedir. "Enerji sektöründe temel amaç, artan nüfusun ve gelişen ekonominin enerji ihtiyaçlarının sürekli ve kesintisiz bir şekilde ve mümkün olan en düşük maliyetlerle karşılanabilmesi olarak ortaya konmuştur (<http://www.belgeler.com>).

1.2 Literatür Araştırması

Bu çalışmanın yöntemi oluşturulurken, araştırma konusu ile ilgili incelemelerin olduğu eserler incelenmiş, bu incelemeler sonucunda çalışmaya faydası olabilecek genel teorik kavramlar ve çeşitli veriler değerlendirilip, yorumlanarak genelden özele doğru ilerleyen tümden gelimci bir yaklaşım izlenmiştir. Ayrıca konuyla ilgili projelerde çalışan teknik elemanların deneyim ve tecrübelerine dayanarak uygulamayla alakalı detaylı bilgiler alınmış ve konuyla ilgili döküman ve proje temini sağlanmıştır.

Bu çalışma sırasında ulaşılan bilgiler genel olarak enerji, jeotermal enerji ve ısı pompaları ile ilgili tez çalışmaları ayrıca yerli ve yabancı kaynaklı çeşitli çalışmalardan ve yayınlardan yararlanılarak edinilmiştir. Bunun yanı sıra bazı dökümanların elde edilmesinde uluslararası arama motorlarından faydalanılmıştır.

2. ENERJİ

2.1 Tanım

Enerji, insan hayatında giderek önemi artan vazgeçilmez bir olgu, modern insanın gündelik yaşamını sürdürebilmesi için temel gereksinimlerden biridir. Endüstriyel çağdan önce enerji ihtiyaçları; ilk zamanlarda enerji kaynağı olarak doğada bulunan odun ve benzeri yakacaklar, insan ve hayvanın kas gücünden karşılanırken, daha sonraları kömür ve son zamanlarda petrol ve doğal gaz kullanılmaya başlanmıştır. Kömürle çalışan buhar makinelerinin keşfi kullanılan enerji kaynaklarını tamamen değiştirmiştir (Soylu ve Türkay, 2005).

Bugün dünyada tüketilen enerjinin büyük bir kısmı fosil kaynaklardan sağlanmaktadır. Fosil kaynakların gelecekte tükenerek olmasından ve ortaya çıkan enerji darboğazı, gelişmekte olan ülkemizi de etkileyecektir.

Günümüzde, varolan enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi, bu kaynakların akılcı yöntemlerle kullanıma sunulması enerji politikalarının temelini oluşturmaktadır. Geleneksel enerji üretim ve tüketiminin çevre ve doğal varlıklar üzerinde yerel, bölgesel ve küresel düzeyde olumsuz etkilere neden oluşu, kaynak çeşitliliğine gidişte, seçilen kaynakların en az erişilebilirliği kadar önem taşımaya başlamıştır (Uğurlu, 2006).

Enerji sektörü, ülkelerin kalkınma politikaları içinde hayati önem taşıyan stratejik bir alan niteliğindedir. Artan enerji fiyatları, küresel ısınma ve iklim değişikliği konusunda gelişen duyarlılık, dünya enerji talebindeki artışa karşın tükenme eğilimine girmiş olan fosil yakıtlara bağımlılığın yakın gelecekte devam edecek olması, yeni enerji teknolojileri alanındaki gelişmelerin artan talebi karşılayacak ticari olgunluktan henüz uzak oluşu, ülkelerin enerji güvenliği konusundaki kaygılarını her geçen gün daha da artırmaktadır.

Dünyada nüfus artışı, sanayileşme ve kentleşme olguları, küreselleşme sonucu artan ticaret olanakları doğal kaynaklara ve enerjiye olan talebi giderek artırmaktadır.

Uluslararası Enerji Ajansı (UEA) tarafından yapılan projeksiyonlar, mevcut enerji politikaları ve enerji arzı tercihlerinin devam etmesi durumunda dünya birincil enerji talebinin 2007-2030 yılları arasında %40 oranında artacağına işaret etmektedir. Referans senaryo olarak adlandırılan ve yıllık ortalama %1,5 düzeyinde talep artışına karşılık gelen bu durumda dünya birincil enerji talebi 2007 yılındaki 12 milyar ton petrol eşdeğeri (tep) düzeyinden 2030 yılında 16,8 milyar tep düzeyine ulaşacaktır (www.enerji.gov.tr).

Dünyada her yıl %4-5 oranında artan enerji ihtiyacına karşılık, bu ihtiyacı karşılayan fosil-yakıt rezervi ise, çok daha hızlı bir şekilde azalmaktadır. En iyimser tahminler bile, en geç 2030 - 2050 yılları arasında petrol rezervlerinin büyük ölçüde tükeneceğini ve ihtiyacı karşılayamayacağını göstermektedir. Kömür ve doğal gaz için de benzer bir durum söz konusudur. Ayrıca fosil yakıtların kullanımı dünya ortalama sıcaklığını da son bin yılın en yüksek değerlerine ulaştırmıştır. Bu durum ise, yoğun hava kirliliğinin yanı sıra milyonlarca dolar zarara yol açan sel/fırtına gibi doğal felaketlerin gözle görülür şekilde artmasına neden olmuştur. Şimdiden dünyanın deniz seviyesinde bulunan birçok adasında yerleşim alanları, buzulların erimesi ve su seviyesinin yükselmesinden dolayı boşaltılmıştır. En kısa zamanda önlem alınmaması durumunda yakın gelecekte deniz kenarındaki birçok şehir sular altında kalacaktır.

Aşırı fosil yakıt kullanımının getirdiği çevre kirlenmesi ve sera etkisinden kaynaklanan global ısınma tüm dünyanın en önemli sorunlarından biridir. Bunun kökeninde yanma sonucu ortaya çıkan CO₂ emisyonu yatmaktadır. CO₂ emisyonunun global ısınmadan başka olumsuz etkileri olduğu gibi, yanma reaksiyonunda ortaya çıkan emisyon yalnızca CO₂ de değildir. SO_x ve NO_x gibi diğer zararlı emisyonlar da vardır. Temiz yakıt denilen doğal gaz kullanımında, yüksek alev sıcaklığından ortaya çıkan NO_x ozon tabakasını tahrip edici özelliğe sahiptir. Fosil yakıt üretim ve tüketiminin doğal bitki örtüsünün yanı sıra, hayvan ve insan sağlığı üzerinde çeşitli olumsuz etkileri bulunmaktadır.

Birim enerji başına ortalama yalnızca CO₂ emisyonu;
kömürde 85.5 kg/GJ,
petrolde 69.4 kg/GJ,
doğal gazda 52 kg/GJ düzeylerindedir.

Başlangıçta kömür, daha sonra petrol ve doğal gaz dayalı fosil kökenli enerji kullanımı atmosferdeki CO₂ konsantrasyonunu son 150 yıl içinde % 116 artırarak, dünyayı global ısınma süreci ile karşı karşıya bırakmıştır. Bu nedenle, fosil yakıt rezervlerinin bitmesini beklemeden temiz enerji kaynaklarına yönelmek zorunludur. Bu nedenle, kendini sınırsız tekrarlayan yenilenebilir enerji kaynakları (güneş, rüzgar, su ve biokütle gibi) çok kısa bir süre içinde önem kazanacaktır.

Tüm dünyada CO₂ emisyonu artışının sınırlandırılması sorun olup, çözüm yollarından biri yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının geliştirilmesidir.

İlk sanayi merkezlerinin kurulduğu yerler, ilk buhar makinelerinin enerji kaynağı olan taşkömürü havzaları idi. Almanya'da Ruhr, İngiltere'nin büyük çoğunluğu, Fransa'nın kuzeyinde Silezya ve Amerika'nın orta batısı buna örnektir. Fosil kaynaklara bağımlı hale gelen sanayi, yerel olanaklar yetersiz kalınca yabancı ülke kaynaklarının transferi ile, ilk "global şirketler" olan enerji yatırımcılarını doğurdu. Bu şirketler arasında, taşkömüründen başlayıp, petrol, doğalgaz ve nükleer yakıtlara kadar olan yelpazedeki güç savaşı hala sürmektedir.

2.2 Enerji Kaynakları ve Çeşitleri

Enerji kaynakları, üretim metotlarına göre 'Yenilenemeyen Enerji Kaynakları' ya da bir diğer adıyla 'Birincil Enerji Kaynakları' ve 'Yenilenebilir Enerji Kaynakları' ya da bir diğer adıyla 'İkincil Enerji Kaynakları' olarak ikiye ayırmak mümkündür. Bu bölümde yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları ve bu kaynak çeşitlerinden bahsedilmektedir.

2.2.1 Yenilenemeyen Enerji Kaynakları

Meydana gelişleri sebebiyle yenilenmeleri çok uzun zaman alan enerji kaynaklarıdır. Bu yüzden bu enerji çeşitleri yenilenemeyen enerji kaynakları olarak isimlendirilmektedir. Birincil Enerji Kaynakları, kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil yakıtlar ve nükleer enerji yenilenemeyen kaynaklardır. Fosil kaynakların, bugün olduğu gibi, önümüzdeki yıllarda da dünya birincil enerji üretimindeki belirleyici oranlarını koruması beklenmektedir. Dünya birincil enerji üretiminde bu kaynakların 2020 yılındaki toplam paylarının % 88.5 olacağı öngörülmektedir. Bu oran içinde en büyük pay petrole aittir (Uğurlu, 2006).

2.2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji, doğanın kendi evrimi içinde, bir sonraki gün aynen mevcut olabilen enerji kaynağını ifade etmektedir (Turan, S. 2006). Yenilenebilir enerji kaynakları, yenilenebilir oluşları, en az düzeyde çevresel etki yaratmaları, işletme ve bakım masraflarının az olması ve ulusal nitelikleri ile güvenilir enerji sağlama özellikleri ile dünya ve ülkemiz için önemli bir yere sahiptir (Haskök, 2005).

İkincil enerji kaynakları da denilen yenilenebilir enerji kaynakları, potansiyel olarak mevcut olan fakat teknolojik güçlükler sebebiyle ancak son zamanlarda yararlanılabilen, yeni-eksilmeyen anlamına gelen kaynaklardır.

10/05/2005 tarih ve 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına ilişkin Kanun Tasarısı Taslağı'nın 3. maddesinde yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde;

- Hidrojen Enerjisi,
- Rüzgar Enerjisi,
- Güneş Enerjisi,
- Jeotermal Enerjisi,
- Biyokütle,
- Biyogaz,
- Dalga,
- Gel-git,

gibi kaynaklar sıralanmaktadır.

Günümüzde AB ülkeleri enerji tüketimlerinin %5,6'sını yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlamaktadır. Avrupa Birliği'nin 2010 yılında, toplam elektrik üretiminin %22,1'inin, toplam enerji tüketiminin ise, %12'sinin yenilenebilir kaynaklardan karşılanması hedeflenmektedir. Türkiye'de ise yenilenebilir enerji kaynaklarının tüketim içindeki payı 2000 yılında sadece %11 seviyesindedir. Bu rakamın uygulanan politikalar sonucunda 2010 yılında %7'ye düşmesi beklenmektedir (Turan, S. 2006).

Çizelge 2.1 : Türkiye yıllık yenilenebilir enerji potansiyeli (MTEP: Mega Ton Eşdeğeri Petrol) Gençoğlu M. T.,(t.y.).

Yenilenebilir Enerji Türü		Kullanım Enerji Türü	Doğal Potansiyel	Teknik Potansiyel	Ekonomik Potansiyel
Güneş Enerjisi		Elek. Enj. (milyar kWh)	977000	6105	305
		Isı (MTEP)	80000	500	25
Hidrolik Enerji		Elek. Enj. (milyar kWh)	430	215	124,5
Rüzgar Enerjisi	Direkt Rüzgar Enj. Karasal	Elek. Enj. (milyar kWh)	400	110	50
	Direkt Rüzgar Enj. Denizsel	Elek. Enj. (milyar kWh)	-	180	-
	Deniz Dalga Enj.	(milyar kWh)	150	18	-
Jeotermal Enerji		Elek. Enj. (milyar kWh)	-	-	1,4
		Isı (MTEP)	31500	7500	2843
Biyomas Enerjisi		Yakıt (Klasik MTEP)	30	10	7
		Yakıt (Modern MTEP)	90	40	25

2.2.2.1 Güneş enerjisi

Yeryüzünden kilometrelerce uzakta olan güneş, nükleer yakıtlar dışında dünyada kullanılan yakıtların ana kaynağıdır ayrıca dünyamıza ve diğer tüm gezegenlere enerji veren sonsuz denilebilecek bir güce sahiptir. İçinde sürekli olarak hidrojenin helyuma dönüştüğü füzyon reaksiyonları gerçekleşmektedir ve oluşan kütle farkı ısı enerjisine dönüşerek uzaya yayılmaktadır. Ancak bu enerjinin çok küçük bir kısmı yeryüzüne ulaşmaktadır. Çok büyük ve tükenmez bir enerji kaynağına sahip olan güneşten dünyaya gelen güç miktarı yaklaşık olarak 1.8×10^{11} MW' dır (Haskök, A.Ş. 2005).

Güneşin gün boyunca atmosfere verdiği ısı ve ışıktan, insanların ihtiyaç duyduğu elektrik ve proses ısı olarak enerji ihtiyaçları karşılanmaktadır. Güneş enerjisi teknolojileri yöntem, malzeme ve teknolojik düzey açısından çok çeşitlilik göstermekle birlikte iki ana gruba ayrılabilir:

a)Fotovoltaik Güneş Teknolojisi: Fotovoltaik hücreler denen yarı-iletken malzemeler güneş ışığını doğrudan elektriğe çevirirler. Güneş hücreleri (fotovoltaik hücreler), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş hücreleri alanları genellikle 100 cm² civarında, kalınlıkları ise 0,1- 0,4 mm arasındadır(http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx).

Güneş hücreleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Hücrenin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir.

Güneş enerjisi, güneş hücresinin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 30 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir.

Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik Sistemler Silisyum bazlı düzlemsel fotovoltaik malzemedan oluşan hücre yüzeyine çarpan güneş ışığı, elektrik enerjisine dönüştürülür. Bu sistemlerde kullanılan malzeme ve hücre alanı büyük, verim düşüktür bu da maliyeti arttırmaktadır

(http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx).



Şekil 2.1 : Fotovoltaik hücreler
(http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx).

Yoğunlaştırıcı Sistemler İle Elektrik Üretimi

Bugüne kadar güneş enerjisi ile elektrik üretiminde başlıca iki sistem kullanılmıştır. Birincisi, güneş enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik

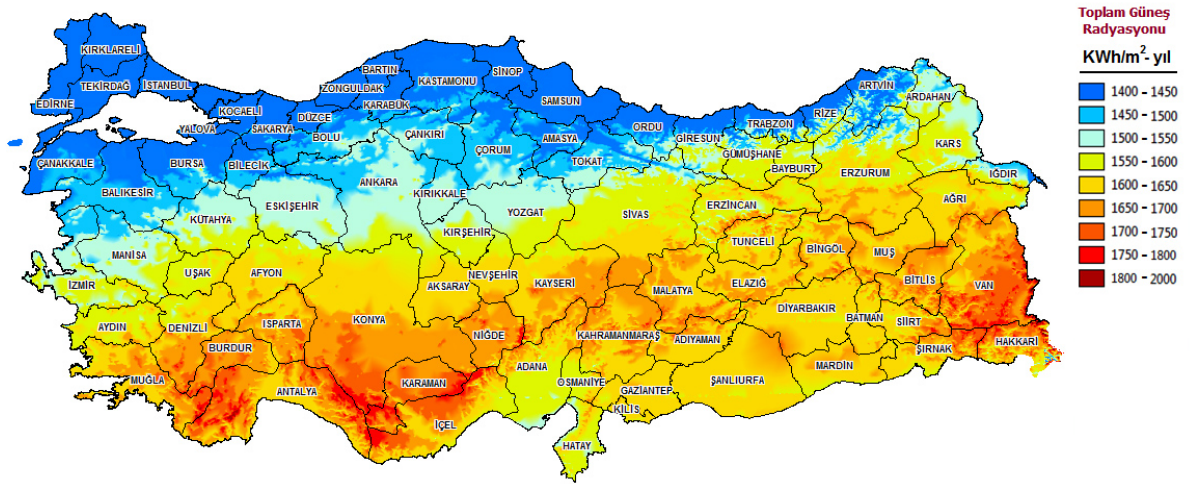
sistemlerdir. Fakat son 20 yıl içerisinde fotovoltaiik sistem uygulamalarının artışına rağmen, teknolojisinin karmaşıklığı ve maliyetinin yüksek oluşu, geniş çapta elektrik üretimi için yetersiz olduğunu ortaya çıkarmıştır. İkinci seçenek ise, güneş enerjisinin yoğunlaştırıcı sistemler kullanılarak odaklanması sonucunda elde edilen kızgın buhardan, konvansiyonel yöntemlerle elektrik üretimidir.

b)Isıl Güneş Teknolojileri: Bu sistemlerde öncelikle güneş enerjisinden ısı elde edilir. Bu ısı doğrudan kullanılabileceği gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir.

Güneş Enerjisi ve İklim Değerlendirmesi

İnşaa edilecek olan santralin tesis edileceği bölgenin, yılda en az 2000 saat güneşlenme süresine ve metrekare başına yıllık 1500 kWh'lık bir güneş enerjisi değerine sahip olması gereklidir. Ayrıca, 4 saatlik güneşlenme süresine sahip gün sayısının 150 den az olmaması gereklidir.

Coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışıınım şiddeti 1.311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Güneş Enerjisi potansiyeli 380 milyar kWh/yıl olarak hesaplanmıştır (www.enerji.gov.tr).



Şekil 2.2 : Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası
(<http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>).

Türkiye, güneş ve rüzgar bakımından oldukça zengin bir ülkedir. Şimdiye kadar güneş enerjisi yalnızca güney yörelerimizde çok düşük verim ile su ısıtma amaçlı kullanılmıştır. Ancak, 2013 yılı Nisan ayında Türkiye'nin ilk güneş enerjisi santrali Mersin'de kuruldu. Santral, 1500 evin enerji ihtiyacına eşdeğer olan 5 MW termal

güç kapasitesine sahip olan santralde, güneş enerjisini elektriğe dönüştürmede en etkin yöntemlerden biri olan Kule Tipi Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi Sistemi kullanılmıştır.

Çizelge 2.2 : Türkiye güneşlenme süreleri (EİE Genel Müdürlüğü)

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m²-yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)
G.Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

2.2.2.2 Rüzgar enerjisi

Yeryüzünün ihtiyaç duyduğu enerjinin tümü güneşten gelmektedir. Güneşten gelen enerjinin yaklaşık %1-2 'si rüzgar enerjisine dönüşmektedir. Yani, rüzgar enerjisi kinetik enerjiye dönüşmüş güneş enerjisidir denebilir. Rüzgarın sağlayacağı enerji, gücüne ve estiği süreye bağlıdır (Uçar, 2007).

Rüzgar, yeryüzünün her tarafının aynı miktarda ısınmamasından dolayı meydana gelir. Güneşin, yer yüzeyini ve atmosferi homojen ısıtmamasının bir sonucu olarak ortaya çıkan sıcaklık ve basınç farkından dolayı hava akımı oluşur. Yeryüzünün farklı ısınması, hava sıcaklığının, nemin ve basıncın farklı olmasına, farklı basınç da hava hareketine neden olur. Bir hava kütlesi mevcut durumundan daha fazla ısınırsa atmosferin yukarısına doğru yükselir ve bu hava kütlelerinin yükselmesiyle boşalan yere, aynı hacimdeki soğuk hava kütlesi yerleşir. Bu hava kütlelerinin yer değiştirmelerine rüzgar adı verilmektedir. Diğer bir ifadeyle rüzgar; birbirine komşu bulunan iki basınç bölgesi arasındaki basınç farklarından dolayı meydana gelen ve yüksek basınç merkezinden alçak basınç merkezine doğru hareket eden hava akımıdır. Rüzgarlar yüksek basınç alanlarından alçak basınç alanlarına akarken; dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesi, yüzey sürtünmeleri, yerel ısı yayılımı, rüzgar önündeki farklı atmosferik olaylar ve arazinin topografik yapısı gibi nedenlerden dolayı şekillenir. Rüzgar enerjisi; dağ, tepe, orman, yerleşim merkezi

gibi belirgin yer şekillerine de bağlıdır, çünkü hareketli havanın taşıdığı kinetik enerjiyle ilişkilidir.

Rüzgarın özellikleri, yerel coğrafi farklılıklar ve yeryüzünün homojen olmayan ısınmasına bağlı olarak, zamansal ve yöresel değişiklik gösterir. Rüzgar hızı yükseklikle artar. Rüzgar enerjisi uygulamalarının ilk yatırım maliyetinin yüksek, kapasite faktörlerinin düşük oluşu ve değişken enerji üretimi gibi dezavantajları yanında üstünlükleri genel olarak şöyle sıralanabilir;

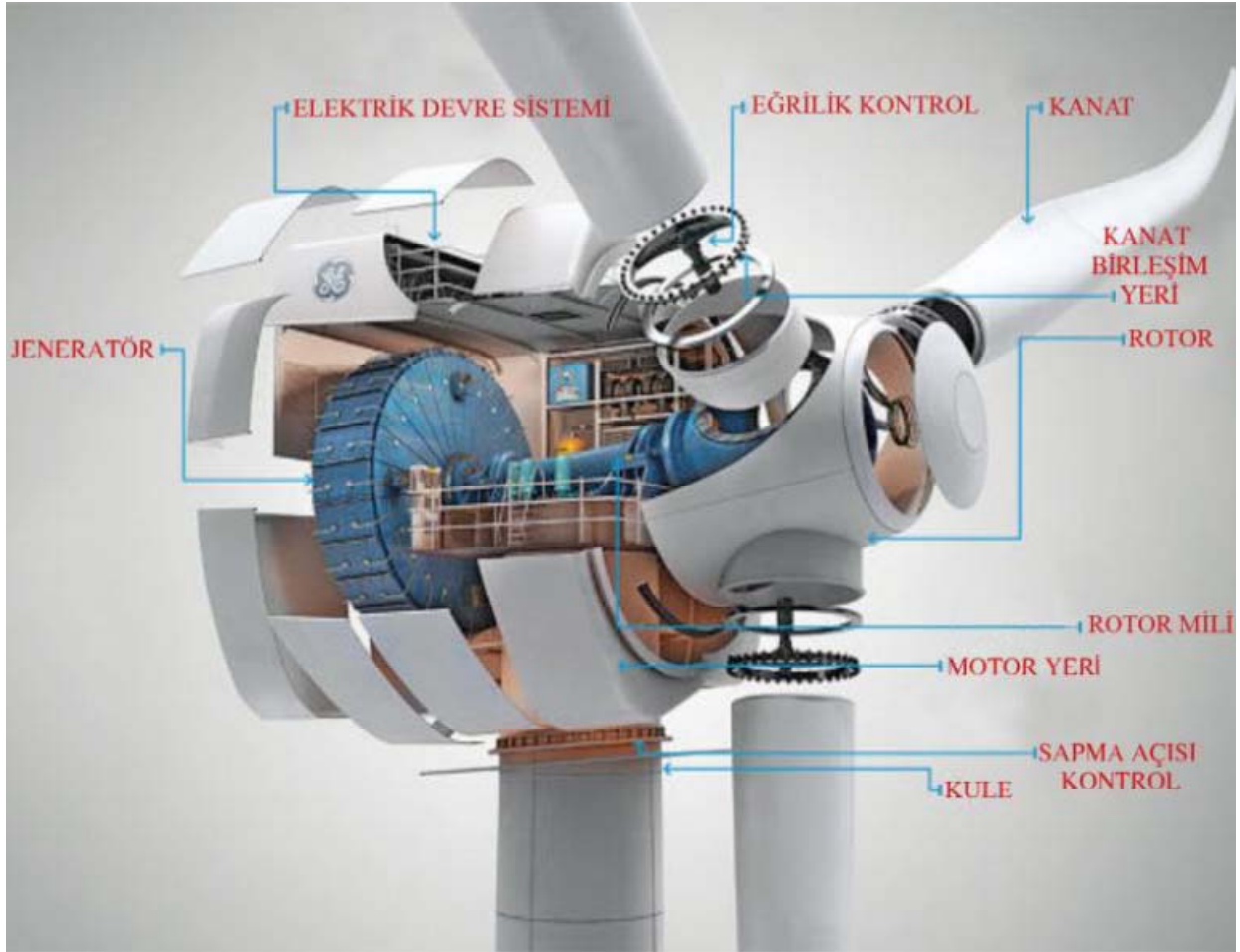
1. Atmosferde bol ve serbest olarak bulunur.
2. Yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağıdır, çevre dostudur.
3. Kaynağı güvenilirdir, tükenme ve zamanla fiyatının artma riski yoktur.
4. Maliyeti günümüz güç santralleriyle rekabet edebilecek düzeye gelmiştir.
5. Bakım ve işletme maliyetleri düşüktür.
6. İstihdam yaratır.
7. Hammaddesi tamamıyla yerlidir, dışa bağımlılık yaratmaz.
8. Teknolojisinin tesisi ve işletilmesi göreceli olarak basittir.
9. İşletmeye alınması kısa bir sürede gerçekleşebilir.

Rüzgar türbinleri, yenilenebilir nitelikte olan hava akımını elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Rüzgar türbinleri, rüzgar enerji santrallerinin ana yapı elemanı olup hareket halindeki havanın kinetik enerjisini öncelikle mekanik enerjiye ve sonrasında elektrik enerjisine dönüştüren makinelerdir. Rüzgar türbinleri dönüş eksenlerinin doğrultusuna göre yatay eksenli veya düşey eksenli olarak imal edilirler. Bu tiplerden en fazla kullanılan yatay eksenli rüzgar türbinleridir. Yatay eksenli rüzgar türbinleri, dönme eksenleri rüzgar yönüne paralel ve kanatları ise rüzgar yönüne dik vaziyette çalışırlar. Düşey eksenli rüzgar türbinlerinin eksenleri rüzgar yönüne dik ve düşey olup kanatları da düşey vaziyettedir.

Yatay eksenli bir rüzgar türbini başlıca şu parçalardan oluşur (Şekil 2.3);

1. Rotor: Rüzgarın kinetik enerjisini mekanik enerjiye çevirir.
2. Dişli Çark: Rotor'un hızını artırır.
3. Jeneratör: Mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir.
4. Fren: Türbini yavaşlatır ve durdurur.

5. Yönlendirici: Rüzgar doğrultusuna göre türbini yönlendirir.
6. Transformatör: Jeneratör voltajını şebeke voltajına yükseltir.
7. Kule: Türbini taşır.



Şekil 2.3 : Yatay eksenli rüzgar türbinini oluşturan mekanik elemanlar (<http://www.wind-energy-the-facts.org>).

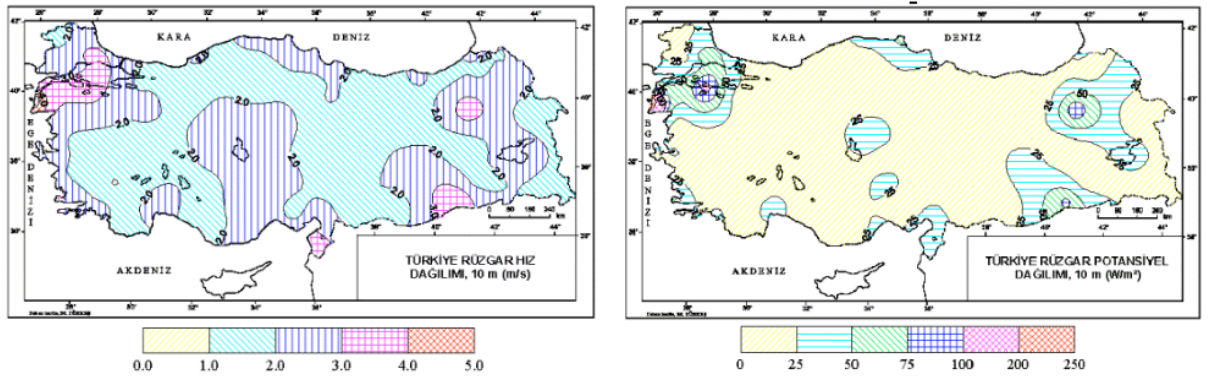
Rüzgar türbinlerinin çalışması çevreye zararlı gaz emisyonuna neden olmadığından enerji geleceğimizde ve iklim değişikliğini önlemede büyük bir role sahiptir. Ayrıca, rüzgar türbinleri fosil yakıt santrallerine kıyasla işletme maliyetinin sıfır olduğundan daha ekonomik üretim yapmaktadır.

2007 yılında gerçekleştirilmiş olan Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) ile ülkemizde yıllık rüzgâr hızı 8,5 m/s ve üzerinde olan bölgelerde en az 5.000 MW, 7,0 m/s'nin üzerindeki bölgelerde ise en az 48.000 MW büyüklüğünde rüzgar enerjisi potansiyeli bulunduğu tespit edilmiştir. 2009 yılı sonu itibarıyla rüzgar kurulu gücümüz 802,8 MW düzeyine ulaşmıştır (www.enerji.gov.tr).

1996'dan beri kümülatif rüzgar kurulu gücü logaritmik olarak artış göstermektedir.



Şekil 2.4 : Türkiye'nin ilk rüzgar türbini (Çeşme,2012)



Şekil 2.5 : Türkiye'nin rüzgar hızı ve rüzgar potansiyeli
(<http://www.meteor.gov.tr/>).

2011 yılında 42.175 MW gücünde rüzgâr enerjisi santralının (RES) devreye alınmasıyla küresel rüzgar enerjisi kurulu gücü 239.000 MW düzeyine ulaşmıştır. 2010 yılı sonu itibariyle global rüzgar enerjisi pazarında %21'lik büyüme görülmüştür (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Enerji Raporu, 2012).

Çizelge 2.3 : Global rüzgar enerjisi pazarında ilk on ülke (2011) (Global Wind Statistics 2011, Global Energy Council GWEC).

Ülkeler	Kurulu Güç (MW)	Küresel Pazar Payı (%)	2011 Kapasite Artışı
Çin	62.733	26,3	18.000
ABD	46.919	19,7	6.810
Almanya	29.060	12,2	2.086
İspanya	21.674	9,1	1.050
Hindistan	16.084	6,7	3.019
İtalya	6.747	2,8	950
Fransa	6.800	2,9	830
İngiltere	6.540	2,7	1.293
Kanada	5.265	2,2	1.267
Portekiz	4.083	1,7	377
Diğer Ülkeler	32.446	13,6	5.168
Toplam	238.351	100	35.802

2.2.2.3 Hidrolik enerjisi

Geçen üç yüz yılda dünya nüfusu 8 kat artarken, temiz su kaynaklarından çekilen su miktarı 35 kat artmaktadır. Dünyada su tüketimi hızla artmaktadır ve suyun daha verimli kullanılması büyük önem arz etmektedir.

Çeşitli enerji kaynakları içerisinde hidroelektrik enerji santralleri çevre dostu olmaları ve düşük potansiyel risk taşımaları sebebiyle tercih edilmektedir. Hidroelektrik santraller; çevreye uyumlu, temiz, yenilenebilir, yüksek verimli, yakıt gideri olmayan, enerji fiyatlarında sigorta rolü üstlenen, uzun ömürlü, işletme gideri çok düşük dışa bağımlı olmayan yerli bir kaynaktır.

Hidroelektrik santraller;

- Yenilenebilir kaynak olan sudan enerji elde etmeleri,
- Sera gazı emisyonu yaratmamaları,
- İnşaatın yerli imkanlarla yapılabilmesi,
- Teknik ömrünün uzun olması ve yakıt giderlerinin olmaması,
- İşletme bakım giderlerinin düşük olması,
- İstihdam imkanı yaratmaları,

- Kırsal kesimlerde ekonomik ve sosyal yapıyı canlandırmaları yönünden en önemli yenilenebilir enerji kaynağıdır (<http://www.eie.gov.tr>).

Hidroelektrik santraller (HES) akan suyun gücünü elektriğe dönüştürürler. Akan su içindeki enerji miktarını suyun akış veya düşüş hızı tayin eder. Büyük bir nehirde akan su büyük miktarda enerji taşımaktadır. Ya da su çok yüksek bir noktadan düşürüldüğünde de yine yüksek miktarda enerji elde edilir. Her iki yolla da kanal yada borular içine alınan su, türbinlere doğru akar, elektrik üretimi için pervane gibi kolları olan türbinlerin dönmesini sağlar. Türbinler jeneratörlere bağlıdır ve mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler.



Şekil 2.6 : Hidroelektrik santraller (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Enerji Raporu, 2012).

2010 World Atlas & Industry Guide (Aqua-Media International Ltd.2010) adlı yayına göre dünyanın;

Brüt, teorik hidroelektrik potansiyeli, yaklaşık 39 894 392 GWh/yıl,

Teknik yapılabilir hidroelektrik potansiyeli, yaklaşık 14 575 094 GWh/yıl,

Ekonomik yapılabilir hidroelektrik potansiyeli, yaklaşık 8 710 948 GWh/yıldır.

Bu potansiyelin 2009 yılı itibarıyla 926 GW (ya da 3 551 000 GWh/yıl) kurulu gücü işletmede, 161 GW'ı inşa halindedir. Gelecekte yapım için planlanan toplam kapasite ise 362-602 GW arasındadır.

Türkiye'nin hidroelektrik potansiyeli ise;

Brüt, teorik hidroelektrik enerji potansiyeli 433 TWh/yıl,

Teknik yapılabilir hidroelektrik enerji potansiyeli 216 TWh/yıl,

Ekonomik yapılabilir hidroelektrik enerji potansiyeli 170 TWh/yıldır.

Bu potansiyelin 2010 yılı itibariyle 14500 MW (ya da 35 958 GWh/yıl) kurulu gücü işletmede, 8 600 MW'ı inşa halindedir. Gelecekte yapım için planlanan toplam kapasite ise 22 700 GW arasındadır (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Enerji Raporu, Aralık 2012,Ankara). Hidrolik kaynaklarımızın tamamen işletmeye alınsa bile bu potansiyel 2020 yılı itibari ile enerji ihtiyacımızın yaklaşık %30'unu karşılamaktadır(www.eie.gov.tr).

Çizelge 2.4 : Türkiye Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü Tarafından Mühendislik Hizmetleri Yürütülen Hidroelektrik Santral Projeleri(12.12.2011).

Hidroelektrik Santral Projeleri	
Toplam Proje Sayısı	382 adet
Toplam Kurulu Güç	22071 MW
Toplam Enerji	78063 GWh

2.2.2.4 Hidrojen enerjisi

Hidrojen dünyanın en basit ve en çok bulunan bir elementidir. Güneş ve diğer yıldızların termonükleer tepkimeye vermiş olduğu ısının yakıtı hidrojen olup, evrenin temel enerji kaynağıdır. Hidrojen bilinen tüm yakıtlar içerisinde birim kütle başına en yüksek enerji içeriğine sahiptir. 1 kg hidrojen 2,1 kg doğal gaz veya 2,8 kg petrolün sahip olduğu enerjiye sahiptir. Ancak birim enerji başına hacmi yüksektir. Aynı zamanda renksiz, kokusuz, havadan 14.4 kez daha hafif ve zehirsiz bir gazdır (Turan, 2006).

Isı ve patlama enerjisi gerektiren her alanda kullanımı temiz ve kolay olan hidrojenin yakıt olarak kullanıldığı enerji sistemlerinde, atmosfere atılan ürün sadece su ve/veya su buharı olmaktadır. Hidrojen petrol yakıtlarına göre ortalama %33 daha verimli bir yakıttır. Hidrojenden enerji elde edilmesi esnasında su buharı dışında çevreyi kirlletici ve sera etkisini artırıcı hiçbir gaz ve zararlı kimyasal madde üretimi söz konusu değildir. Sınırsız kaynağa sahip olan ve havayı kirlletmesi açısından içten yanmalı motorlarda kullanılan diğer alternatif yakıtlara göre pek çok avantaja sahip

hidrojenin, içten yanmalı motorlarda kullanım çalışmalarına 1900’lerde başlanmış ve günümüzde de yoğun bir şekilde devam etmektedir (Uğurlu, 2006).

Şu anda dünyada her yıl yaklaşık 50 milyon ton/500 milyar m³ hidrojen üretilmekte, depolanmakta, taşınmakta ve kullanılmaktadır. En büyük kullanıcı payına kimya sanayi, özellikle petrokimya sanayi sahiptir(www.enerji.gov.tr).

Çizelge 2.5 : Dünya genelinde bir yılda üretilen hidrojenin sektörlerde kullanım miktarları (www.enerji.gov.tr).

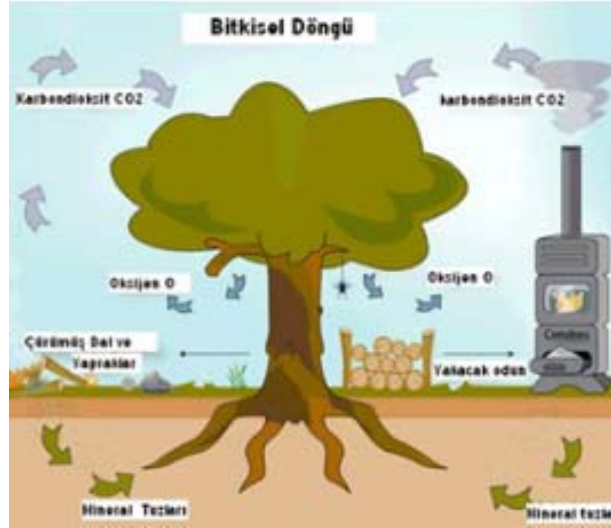
Sektör	Yıllık Kullanım Miktarı
Suni Gübre Sanayi	25.000 m ³
Bitkisel Yağ (margarin) Üretimi	16.000 m ³
Rafineriler	1.200 m ³
Petrokimya Endüstrisi	30.000 m ³
Hidrojen Hayvansal Yağ Üretimi	200-300 m ³
Gaz veya Sıvı Hidrojen Üretimi	6.000 m ³

2.2.2.5 Biyokütle enerjisi

Ana bileşenleri karbonhidrat bileşikleri olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm maddeler biyokütle enerji kaynağı, bu kaynaklardan üretilen enerji ise biyokütle enerjisi olarak tanımlanır (Uğurlu, 2006). Biyokütle için mısır, buğday gibi özel olarak yetiştirilen bitkiler, otlar, yosunlar, denizdeki algler, hayvan dışkıları, gübre ve sanayi atıkları, evlerden atılan tüm organik çöpler (meyve ve sebze artıkları) kaynak oluşturmaktadır.

Bitkilerin toprak altında milyonlarca yıl kalmasıyla oluşan fosil yakıtlar, aslında yukarıda tanımlanan biyokütle ile aynı özellikleri taşımalarına karşın yer altındaki sıcaklık ve basınçla değişime uğradıklarından, yakıldıklarında havaya bir çok zararlı madde atarlar.

Ayrıca, milyonlarca yılda oluşan bu birikimin kısa süre içinde yakılması havadaki karbondioksit dengesinin bozulmasına yol açar ve bu da küresel ısınmaya neden olur. Bitkilerin ve canlı organizmaların kökeni olarak ortaya çıkan biyokütle, genelde güneş enerjisinin fotosentez yardımıyla depolayan bitkisel organizmalar olarak adlandırılır.



Şekil 2.7 : Bitkisel döngü (www.eie.gov.tr).

Biyokütle, bir türe veya çeşitli türlerden oluşan bir topluma ait yaşayan organizmaların belirli bir zamanda sahip olduğu toplam kütle olarak da tanımlanabilir. Fotosentez yoluyla enerji kaynağı olan organik maddeler sentezleşirken tüm canlıların solunumu için gerekli olan oksijeni de atmosfere verir. Üretilen organik maddelerin yakılması sonucu ortaya çıkan karbondioksit ise, daha önce bu maddelerin oluşması sırasında atmosferden alınmış olduğundan, biyokütleden enerji elde edilmesi sırasında çevre, CO₂ salımı açısından korunmuş olacaktır. Bitkiler yalnız besin kaynağı değil, aynı zamanda çevre dostu tükenmez enerji kaynaklarıdır.

2.2.2.6 Biyogaz enerjisi

Biyogaz organik maddelerin (hayvansal atıklar, bitkisel atıklar, şehir ve endüstriyel atıklar) oksijensiz şartlarda biyolojik parçalanması (anaerobik fermantasyon) sonucu oluşan ağırlıklı olarak metan ve karbondioksit gazıdır. Biyogaz teknolojisi ise organik kökenli atık/artık maddelerden hem enerji elde edilmesine hem de atıkların toprağa kazandırılmasına imkan vermektedir.

Bilindiği gibi hayvansal ve bitkisel organik atık maddelerin çürütülmesiyle oluşan metan gazı çevreye zarar veren bir etkidir. Ancak aktif gazın depolanması, depolanan gazların arıtılması ve daha sonra oluşan metan gazının yakılması yoluyla enerjiye dönüştürülmesi sağlanabilmektedir. Ayrıca yakılması mümkün olmayan atıklar da tarım topraklarında gübre olarak kullanılmaktadır (Turan, 2006).

2.2.2.7 Jeotermal enerji

Jeotermal kelimesi, Yunanca kökenli geo(dünya) ve termal(ısı) kelimelerinin birleşmesinden oluşmaktadır. Jeotermal enerji temelde dünyanın alt katmanlarında bulunan ve önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak kabul edilen bir çeşit termal enerjidir. Bu enerji kaynağı asırlardır su ve yeryüzü ısınmasında, tıbbi amaçlı tedavilerde ya da pişirme amacıyla kullanılmaktadır (İnce, 2005).

Jeotermal enerji, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde bulunan ve yeryüzündeki havzalardan beslenen sularla potansiyelini oluşturan birikmiş ısının meydana getirdiği sıcaklıkları bölgesel olarak değişen ve bünyesinde daha çok erimiş mineral tuzlar ve gazlar içeren su ve buhardan oluşan bir hidrotermal kütledir. Yeraltındaki bazı granit gibi sert kayaların oluşturduğu sistemler de bünyelerinde su içermemesine rağmen bir jeotermal enerji kaynağı olarak nitelendirilir (Arslan, 2006). Bu kayalar herhangi bir akışkan içermemesine rağmen bazı teknik yöntemlerle ısısından yararlanılan, yerin derinliklerindeki sıcak kuru kayalardır. En geniş anlamda yerkabuğunda depolanan ısı enerji, jeotermal enerjiyi oluşturmaktadır (Etemoğlu vd., 2004).

Konum olarak Türkiye dünyanın genç tektonik kuşağı içinde yer almasından dolayı, çok miktarda jeotermal enerji kaynağı bulundurmaktadır.

2.3 Türkiye'nin Enerji Durumu

• Türkiye Birincil Enerji Arzi (tüketimi)

Dünya'nın birincil enerji tüketimi 2011 yılında 12,3 milyar tep'dir. Türkiye birincil enerji tüketiminde Dünya'da 23. sıradadır (www.dektmk.org.tr).

2011 yılında Türkiye tükettiği enerjinin (114.480 bin tep) %32'sini doğalgaz, %29'unu kömür, %27'sini petrol, %4' ünü hidrolik, %5'ini diğer yenilenebilir enerji kaynakları, %3'ünü ise odun ve çöp oluşturmaktadır (www.dektmk.org.tr).

Çizelge 2.6 : Türkiye birincil enerji arzi (tüketimi) (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Türkiye Enerji Verileri, 2012).

Yıl	Enerji Tüketimi
2009	106.138 bin tep
2010	109.266 bin tep
2011	114.480 bin tep

- **Birincil Enerji Üretimi**

Birincil enerji üretimi, tüketimin %28'ini karşılamaktadır. Enerjide dışa bağımlılık 1990'da %52, 2000 yılında %68 iken 2011 yılında %72 olmuştur. Enerjide dışa bağımlılık giderek artmaktadır.

Çizelge 2.7 : Türkiye birincil enerji üretimi (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Türkiye Enerji Verileri 2012).

Yıl	Enerji Üretimi
2009	30,2 milyon tep
2010	32,5 milyon tep
2011	32,2 milyon tep

- **Türkiye'nin Enerji İthalatı**

2011 yılında yapılan 90 milyon tep ithalatın %15'i taşkömürü, %36'sı petrol, %36'sı doğal gaz, %13'ü diğer enerji kaynaklarıdır. Aşağıdaki çizelgede Türkiye'nin ithal ettiği yakıt türleri (Çizelge 2.8) verilmektedir.

Çizelge 2.8 : Enerji ithalatının yakıt türleri ve bedeli (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Türkiye Enerji Verileri, 2012).

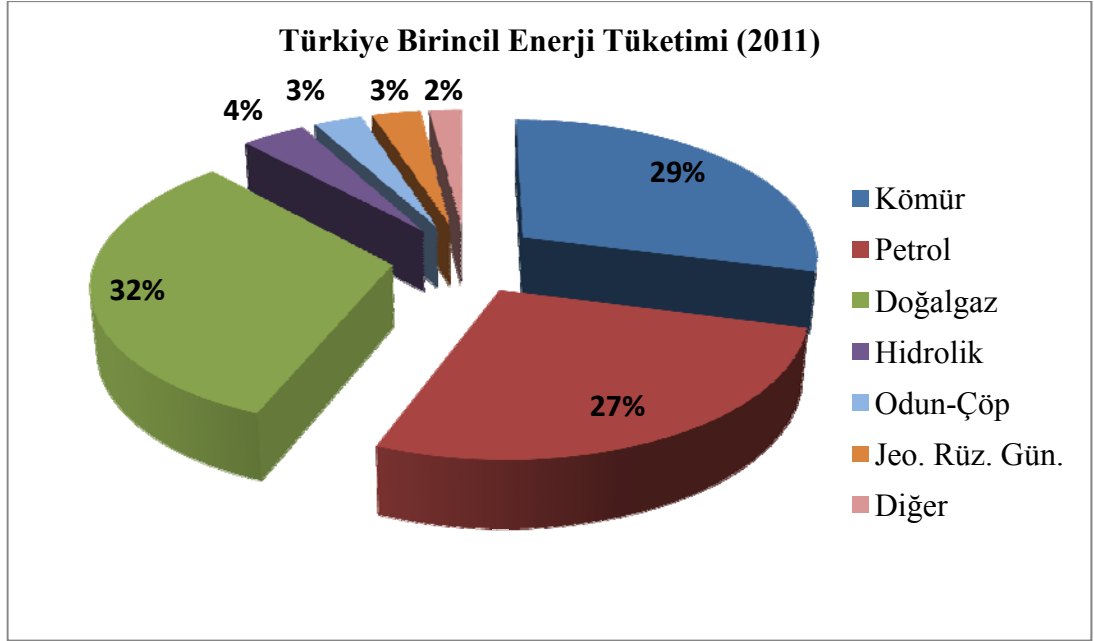
Yakıt Türü	2009 Yılı Bedeli	2010 Yılı Bedeli	2011 Yılı Bedeli
Kömür	13,5 milyar \$	17,0 milyar \$	19,6 milyar \$
Petrol ve Doğal Gaz	16,4 milyar \$	21,5 milyar \$	34,4 milyar \$

- **Enerji Kaynakları**

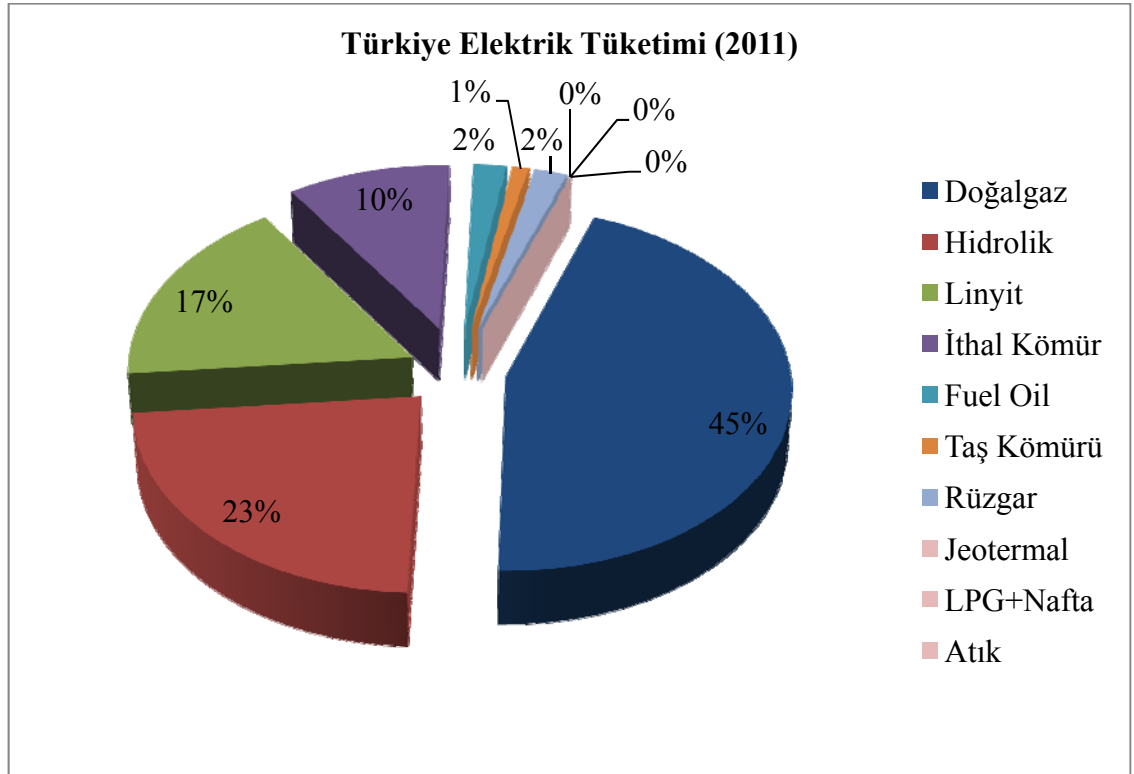
Türkiye'de bulunan mevcut enerji kaynakları ve kaynaklardan ne kadar yararlanıldığı Çizelge 2.9'da yer aldığı gibidir. Biyokütle, kaya gazı ve diğer enerji kaynakları konusunda çalışmalar tamamlanamadığından tabloda yer almamaktadır

Çizelge 2.9 : Türkiye enerji kaynakları (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Türkiye Enerji Verileri,2012).

Kaynak	Rezerv	2011 Yılı Üretimi
Bitümlü Kömür (Taşkömürü)	523 milyon ton	2,6 milyon ton
Linyit	12,1 milyar ton	72,5 milyon ton
Ham Petrol	44,4 milyon ton	2,4 milyon ton
Doğal Gaz	7,1 milyar m3	0,8 milyar m3
Hidrolik	170.000 Gwh/Yıl	57.472 Gwh/Yıl
Rüzgar (potansiyel; karasal %80, offshore %20)	48.000 MW	4.726 Gwh
Jeotermal (Potansiyel)	600 MWe	699 Gwh
Güneş (tahmini potansiyel)	380 Gwh	-



Şekil 2.8 : Türkiye birincil enerji tüketimi(2011) (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Türkiye Enerji Verileri,2012).



Şekil 2.9 : Türkiye elektrik tüketimi (2011) (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Türkiye Enerji Verileri ,2012).

3. JEOTERMAL ENERJİ

3.1 Tanım

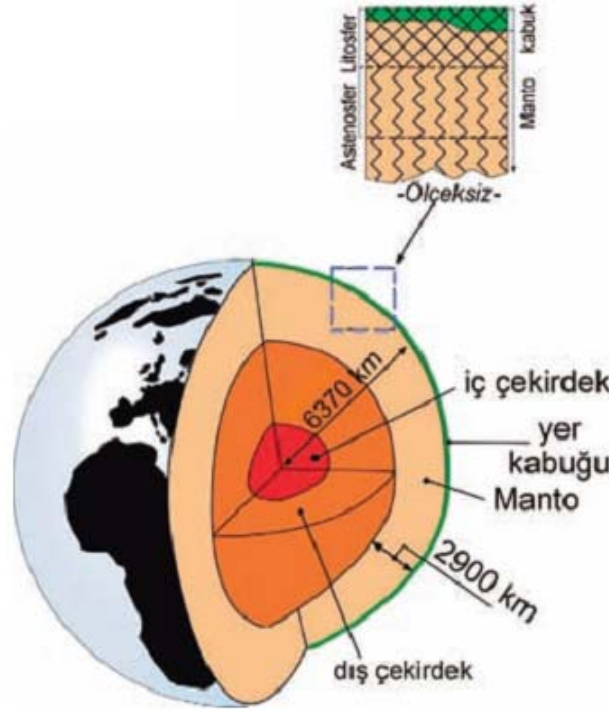
Jeotermal kelimesi, Yunanca “geo” ve “thermie” kelimelerinin bir araya gelmesiyle oluşmuştur. Yunanca’da “geo” dünya; “thermie” ise ısı demek olup, jeotermal enerji yer ısısı anlamına gelmektedir. Bu ısının oluşturduğu kimyasal bileşenler içeren su, buhar ve çeşitli gazlara ise jeotermal kaynak denir. Bu kaynaklardan, doğrudan ya da çeşitli işlemlerden geçirilerek elde edilen enerjiye ise jeotermal enerji denmektedir.

Jeotermal enerji yerkabuğunun derinliklerindeki ısının fay hatlarından sıcak su veya buhar olarak kendiliğinden ya da sondajlarla çıkartılmasıyla elde edilir. Sıcak su, buhar ve gazlar çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerirler. Ayrıca herhangi bir akışkan içermemesine rağmen bazı teknik yöntemlerle ısısından yararlanılan, yerin derinliklerindeki "Sıcak Kuru Kayalar" da jeotermal enerji kaynağı olarak nitelendirilmektedir. Isı bir enerji şeklidir ve jeotermal enerji ise kelimenin tam anlamıyla, gezegensel ölçekte jeolojik olayların ürettiği zemin içinde bulunan ısıdır.

Yapılan deneysel çalışmalar ve hesaplamalar dünyanın başlangıçta eriyik halde bulunduğu ve binlerce yıl önce katı hale geldiğini göstermektedir. Yer kabuğunun derinliklerinde bulunan uranyum (U238, U235) toryum (Th232) ve potasyum (K40) gibi radyoaktif maddelerin bozuşması sonucu sürekli olarak ısı üretmesi prosesinin, jeotermal enerjinin kaynağı olduğuna inanılmaktadır (Toka, 2008).

Toplam 6370 kilometre yarıçapında olan yerkürede kalın mantoya göre oldukça ince gelişmiş katı kabuk vardır. Yerkabuğunun kalınlığı kıtalarda 20-65 km’ye ulaşırken, okyanus tabanlarında 5-6 km kalınlıktadır. Manto 2900 km kalınlıkta ve çekirdeğin yarıçapı yaklaşık 3470 kilometredir (Şekil 3.1). Yerkabuğu, manto ve çekirdeğin fiziksel ve kimyasal özellikleri yer yüzeyinden merkeze doğru farklılık gösterir. Yerkürenin en üst kısmı litosfer olarak adlandırılır ve yerkabuğu ile üst mantoyu içerir. Kalınlığı okyanus tabanında 80 km ve kıtasal alanlarda 200 km olan litosfer

katıdeğişmez bir davranış gösterir. Litosferin altındaki astenosfer 200-300 km kalınlıkta olup daha plastik bir özelliğe sahiptir.

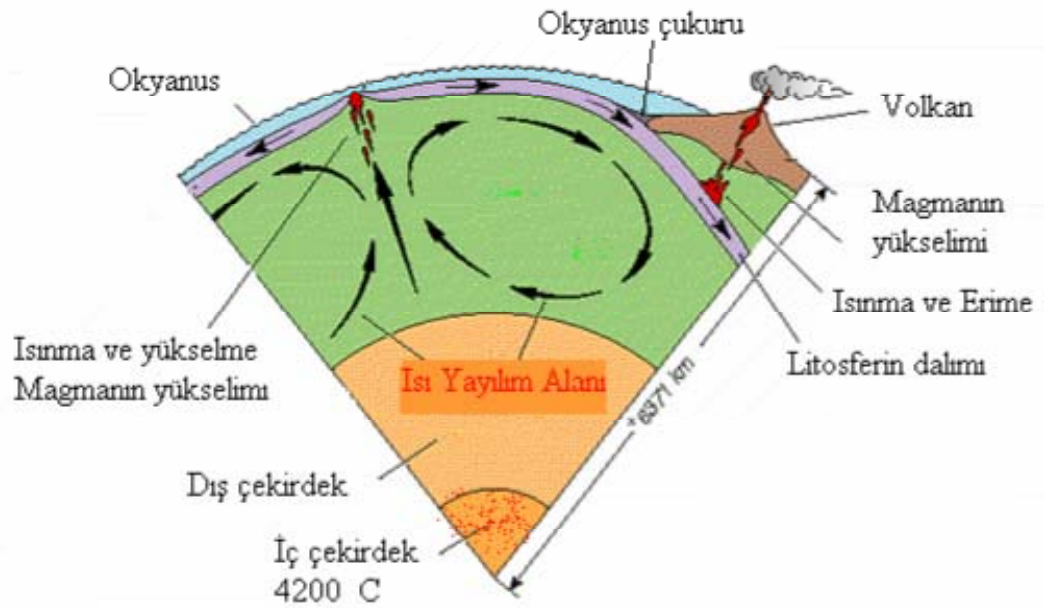


Şekil 3.1 : Yerkabuğu, manto ve çekirdek (http://www.geothermal-energy.org/geothermal_energy/what_is_geothermal_energy.html).

Astenosferin değişik tabakalarındaki sıcaklık farkı nedeniyle on milyonlarca yıl önce ısı yayılım (konvektif) hareketi ve ısıyayılım hücreleri oluşmuştur. Çekirdekten gelen ve radyoaktif elementlerin bozuşması sonucu devamlı olarak üretilen ısı, astenosferin oldukça çok yavaş hareket (yılda birkaç cm) etmesini sağlar. Derinlerdeki çok büyük hacimdeki sıcak kayalar, çevresindeki daha az yoğunluklu ve hafif kayaları yüzeye doğru iterler. Bu sırada yüzeydeki yoğun ve ağır kayalar derine doğru batarlar ve tekrar ısınarak yüzeye doğru yükselirler.

Litosferin çok ince olduğu (özellikle okyanuslarda) zonlarda: astenosferden yükselen çok sıcak ve bir kısmı eriyik halde bulunan maddeler litosferi yukarı doğru hareket ettirir ve kırar. Bu sistemin oluşturduğu ve oluşturmaya devam ettiği yükseltiler okyanusta ada (İzlanda) oluşumlarına da neden olmaktadır. Astenosferden yükselen bu eriyik maddelerin çoğu, litosferi ikiye bölünerek farklı yönlerde hareket etmesine neden olur. Devamlı olarak üretilen bu yükseltiler ve farklı yönlerde hareket eden bu iki tabakanın çekimi okyanus tabanının her yıl birkaç cm her iki yöne de hareket

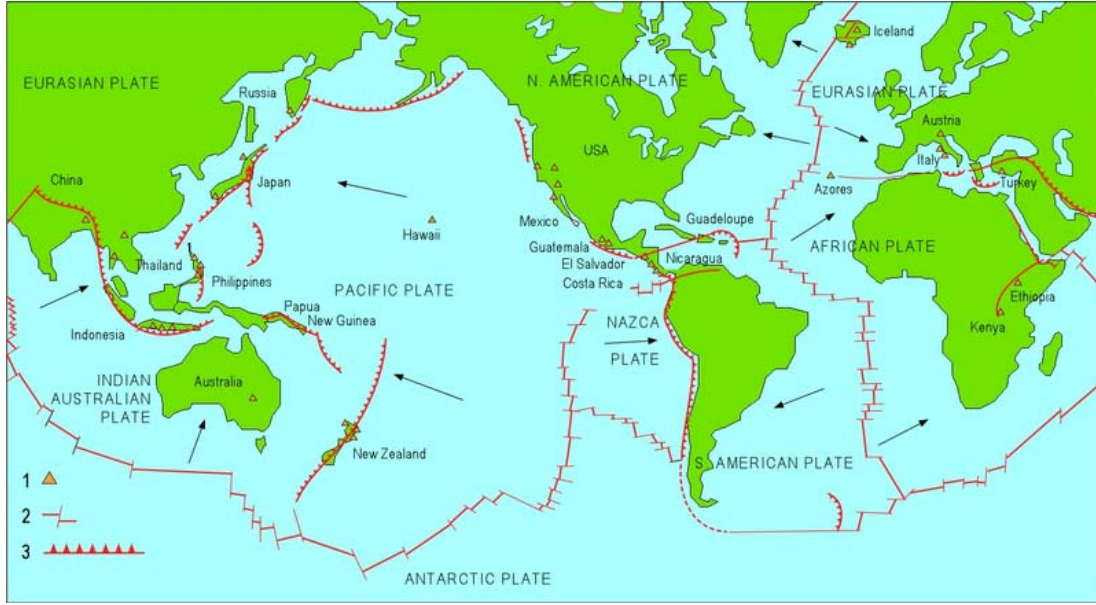
etmesine neden olur. Sonuç olarak okyanus tabanı büyüme eğilimindedir. Fakat dünyanın yüzeyinde herhangi bir büyüme yoktur. Oluşan bu yeni litosfer formasyonu dünyanın diğer ucundaki litosferin küçülmesine neden olur. Bu durum dalma zonlarında çok büyük okyanus hendeklerinin oluşmasına neden olur. Bu dalma zonlarında aşağı doğru kıvrılan litosfer bitişik litosferin altına doğru dalar ve dolayısıyla derinlerdeki sıcak zona inerek litosferin bir kısmı tekrar eriyik hale gelir ve çatlak ve kırık zonlarından tekrar yüzeye yükselerek volkanları oluşturur. Sonuç olarak yüzeyde oluşan birçok volkana karşı diğer tarafta okyanus hendekleri oluşur.



Şekil 3.2 : Jeotermal sistemin oluşum mekanizması (Toka, 2008).

Yaygın sırtlar, transform fayları ve dalma-batma zonları çok geniş bir ağ oluşturarak dünyayı altı büyük ve birkaç küçük litosferik tabakaya böler. Yeryüzü üzerinde bulunan jeotermal enerji alanlar Şekil 3.3'te gösterilmektedir.

Kabuğun hemen altında gelişen magma sokulum alanları potansiyel jeotermal bölgeleri oluşturabilir. Yerkürenin içine doğru ilerledikçe sıcaklık artar. Jeotermal alanlarda sıcak kayaç ve yüksek sıcaklıktaki yeraltısuyu diğer yerlere göre daha sık kesimlerde bulunursa bu bölge jeotermal alan olarak adlandırılır. Yerkabuğunun incelendiği bölgelerde sıcaklık taşıyan magmanın kabuğa sokulması jeotermal alanların oluşumunu sağlar (Şekil 3.3). Meteorik kökenli yeraltısuyunun birkaç kilometre derine inip ısıdıktan sonra yüzeye doğru yükselmesi ise bu sahanın jeotermal saha olarak nitelendirilmesine olanak verir.



Şekil 3.3 : Dünyadaki tabaka biçimleri, okyanus sırtları, okyanus hendekleri, dalma-batma zonları ve jeotermal alanlar. Oklar dalma-batma zonlarına doğru tabakaların hareket yönlerini göstermektedir. (1) elektrik üretilen jeotermal alanlar, (2) transform faylarıyla kesişen orta okyanus sırtları, (3) dalan plakanın aşağı doğru büküldüğü ve astenosferde eridiği dalma-batma zonları (http://www.geothermal-energy.org/geothermal_energy/what_is_geothermal_energy.html).

3.2 Jeotermal Sistem

Meteorik yağmurun oluşturduğu beslenme alanı, yerin içine giren soğuk suların ısınarak bunların yeryüzünde çıkış yaptıkları yerler (yani hidrolik düzen) jeotermal sistem olarak adlandırılır.

Bir jeotermal sistemin oluşabilmesi için gerekli olan parametreler; yer kabuğunun derinliklerindeki ısı kaynağı, ısıyı taşıyan akışkan (beslenme), akışkanı bünyesinde barındıran rezervuar kayaç ve ısının kaybını önleyen örtü kayaçtır. Dünyanın merkezinde sıcaklığı 4200°C 'yi bulan magma adı verilen eriyik kütle bulunmaktadır. Tektonizmanın yarattığı kırık ve zayıflık zonlarından kabuk içerisinde sığ derinliklere ve/veya yeryüzüne kadar ulaşan magma faaliyetleri jeotermal sistemin ısı kaynağını oluşturur (Arslan, Darıcı, Karahan, 2001). Jeotermal kaynaklar yer yüzeyine yakın sıcak su kaynakları (kaplıcalar gibi) yada magmaya yakın volkan diplerinde de olabilmektedir. Isı kaynağı yüksek sıcaklıklı ($>600^{\circ}\text{C}$) ve yüzeye yakın kısımlara ulaşabilen (5-10 km) magmatik sokulumlar olabileceği gibi, düşük sıcaklıklı sistemlerde de derinlikle birlikte artan normal sıcaklık (jeotermik gradyan - ortalama $2,5-3^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$) olabilir.

Yeryüzünden kırık ve çatlaklar boyunca süzülen meteorik sular ısınmış kayalardaki ısıyı süpürerek, gözenekli ve geçirimli olan rezervuar kayaç içinde birikir. Bu suların bir kısmı fay hatları boyunca yükselerek yeryüzüne ulaşırlar ve jeotermal kaynakları oluştururlar.

Bir jeotermal sistemde volkanik kökenli jeolojik birimler en iyi ısıtıcı kayaç olarak gözlenirken, rezervuar kayaç olarak da çatlak, kırık, boşluk gibi özelliklerin egemen olduğu yüksek geçirimli jeolojik birimler varolur (Şekil 3.4). Yüzeyden yer içine giren soğuk sular derinlerde aynı bir ısınmış tencere dibi gibi işlev gören sıcak volkanik-magmatik kayaları yalayarak ısınırlar ve yeryüzüne doğru hareket edip yerlerini daha soğuk sulara bırakırlar. Süregelen bu döngü içerisinde yüze yaklaşan sıcak suların fay, çatlak gibi zayıf yerlerden yeryüzüne yaptıkları su-buhar çıkışları ise kaplıca olarak tanımlanır (<http://www.yerbilimleri.com/>).

Çok nadir anlamda ise derin okyanus çökellerinde bazı kapanlanmış sular ve metamorfizma sonucu kayadaki mineral bileşiminde bulunan suyun atılması ile ortaya çıkan sular da, derinlerdeki ısıyı taşıyıcı olabilmektedir, ancak bunlar meteorik sularla karşılaştırıldığında önemsiz derecede azdır.

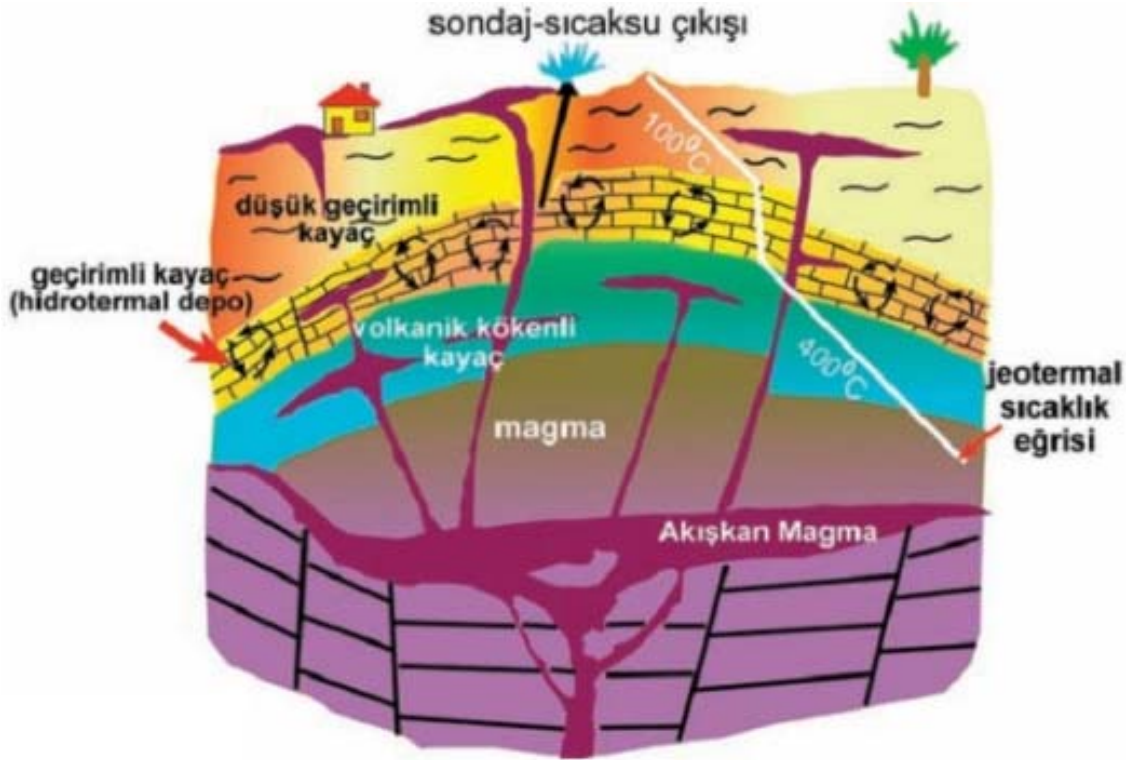
Yerkürenin en dıştaki küresi olan kabuk levha, hareketleri nedeniyle milyonlarca yıldır hareket halinde olup katı yapısı nedeniyle bu hareketlere kıvrımlanma ve kırılmalarla karşılık vermektedir. Bu kıvrımlanma ve kırılmaların oluşturduğu kırık, çatlak ve boşluklu bölgeler litolojik birimler içerisinde rezervuar zonları oluştururlar.

Rezervuar, ısıyı taşıyan sıvının devir daim edebileceği çatlaklı kayalardır. Yağmur, kar, deniz ve magma sularının yeraltındaki gözenekli ve çatlaklı kayaç kütlelerini besleyerek oluşturdukları jeotermal rezervleri, yeraltı ve reenjeksiyon koşulları devam ettiği müddetçe yenilenebilir ve sürdürülebilir özelliklerini korurlar. Kısa süreli atmosfer koşullarından etkilenmezler. Reenjeksiyon, jeotermal rezervuarlardan yapılan sondajlı üretimlerde jeotermal akışkanın çevreye atılmaması ve rezervuarı beslemesi bakımından, işlevi tamamlandıktan sonra tekrar yeraltına gönderilmesi işlemidir. Reenjeksiyon birçok ülkede yasalarla zorunlu hale getirilmiştir (vikipedi).

Rezervuarların üzerinde genellikle geçirimsiz tabakalar bulunmaktadır. Jeotermal enerjiyi yeryüzüne taşıyan akışkanlara jeotermal akışkan denir. Jeotermal akışkan, çoğu durumda meteorik sudur ve rezervuarda sıcaklık ve basınca bağlı olarak buhar veya sıvı haldedir. Bu su genellikle bazı kimyasal maddeler ve gazlar (CO₂, H₂S

gibi) içerir (Toka, 2008). Jeotermal akışkanı meydana getiren akışkanlar genel itibariyle meteorit kökenli olduklarından dolayı, yer altındaki rezervler sürekli bir şekilde beslenmekte ve kaynaklar yenilenmektedir. Bu yüzden beslemenin üzerinde kullanım olmadıkça jeotermal kaynakların azalması söz konusu değildir.

Üzeri geçirimsiz bir örtü kaya ile kuşatılan ve çoğu zaman yer yüzüne ulaşamayan rezervuar kaya içerisindeki jeotermal akışkan sondaj çalışmalarıyla yüzeye çıkarılır. Jeotermal sistemin oluşum modeli aşağıdaki şekilde gösterilmiştir;



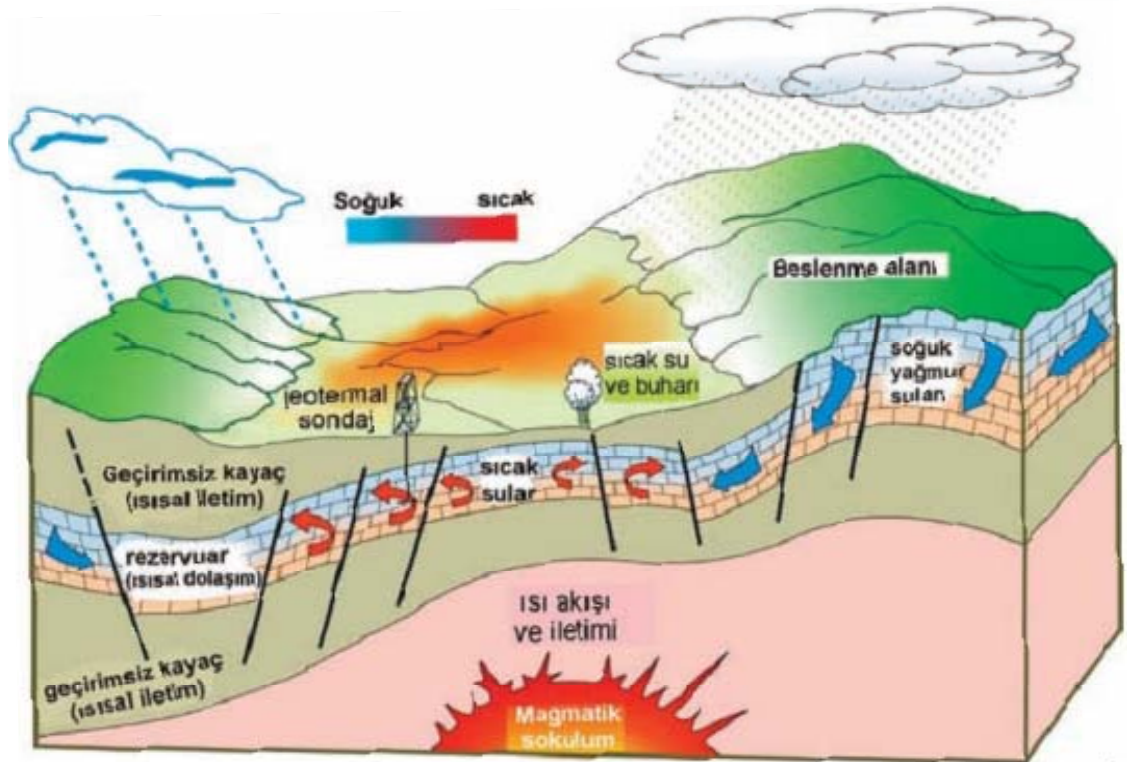
Şekil 3.4 : Jeotermal model ve geçirimli katmanlar
(<http://www.yerbilimleri.com/aktif-tektonigin-ikrami-sifir-zararli-jeotermal-enerji/>).

Jeotermal enerji kaynağı; sözü edilmiş olan çekirdekteki enerjinin yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde yoğunlaşarak birikmiş ısısının oluşturduğu ve bu ısının meteorik kökenli sularla yüzeye taşınması ile oluşan, sıcaklıkları sürekli olarak bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcaksu ve buhar olarak tanımlanabilir.

Ayrıca akışkan olmayan yer altındaki bazı alanlarda bulunan “sıcak kuru kayalar” da akışkan içermemesine rağmen, ortama su enjekte ederek ısısının uygun teknoloji ile yeryüzüne taşınması nedeniyle jeotermal enerji kaynağı olarak nitelendirilirler.

Buna ilave olarak jeotermal ısı pompası (GHP) veya yer kaynaklı ısı pompası (GSHP) tekniği ile elde edilen enerji de jeotermal kaynak kabul edilebilir. Bu kaynaklar ve yararlanma yöntemleri bir sonraki bölümde anlatılmıştır.

Jeotermal sistem unsurları içerisinde sadece ısıtıcı kaynak doğaldır. Diğerleri sisteme sonradan eklenebilir. Örneğin, elektrik üretiminde kullanılan akışkan faz su ve buhar olarak ikiye ayrıldıktan sonra atık hale gelen su tekrar yeraltına enjekte edilerek kullanıma sunulabilir. Sıcak kuru kaya projelerinde ise sıvı ile birlikte rezervuar da yapaydır. Açılan sondaj kuyuları vasıtasıyla yüksek basınçlı soğuk su, sıcak geçirimsiz kayalara pompa ile basılmakta ve hidrolik çatlatma yapılarak suni rezervuar oluşturulmaktadır. Dışarıdan basılan soğuk su, açılan bu çatlakla nüfuz ederek çevresindeki doğal rezervuar olarak davranan kayaların sıcaklıklarını alır. Bu rezervuarda açılan ikinci bir kuyu vasıtasıyla ısınan su, pompa ile çekilir ve ısısından faydalanılır. Sonuç olarak, soğuk suyun enjekte edildiği ve hidrolik çatlatma için kullanılan kuyu, hidrolik çatlatma yapılan rezervuar ve ısınan suyun rezervuardan çekildiği ikinci bir kuyu bu sistemi oluşturur. Bu sistem yüzeyde kurulan santralle bağlı kapalı bir sistemdir.



Şekil 3.5 : İdeal bir jeotermal sistemin şematik gösterimi
(<http://www.yerbilimleri.com/aktif-tektonigin-ikrami-sifir-zararli-jeotermal-enerji>).

Şekil 3.5’de jeotermal sistem basit olarak görülmektedir. Jeotermal sistem çok değişken jeolojik, fiziksel ve kimyasal kombinasyona bağlı olarak oluşur. Jeotermal sistemin mekanizması sıvının ısıyı iletimi üzerinedir. Konveksiyon akım (ısı iletimi) ısınma nedeniyle oluşur ve sonuçta sistemdeki sıvının termal genleşmesine neden olur. Düşük yoğunluklu ısınmış sıvı, sistemde yükselme eğilimindedir ve sistemin kenarlarından gelen yüksek yoğunluklu soğuk su ile yer değiştirir. Doğal olarak konvensiyonel akım sisteminde, alt kısımlarda sıcaklık azalma eğiliminde iken üst kısımlarda sıcaklık artma eğilimindedir.

Yerkabuğunun derinliklerinden yeryüzeyine doğru büyük bir enerji akışı olmakla birlikte, teknik ve ekonomik sınırlamalar nedeniyle bu enerjinin ancak çok küçük bir bölümü kullanılabilir düzeydedir. Yerkabuğundaki her sıcak bölge, jeotermal enerji üretimi için uygun olmayıp, bu enerjinin yeryüzeyine ulaşması için taşıyıcı akışkan olarak suyun dolaşımını sağlayacak jeotermal koşulların oluşması gereklidir. Bu şartları sağlayan jeotermal enerji sahaları yeryüzü üzerinde sınırlı bölgelerde bulunmaktadır. Günümüzde yararlanılan jeotermal enerji kaynakları, yeryüzeyinden yaklaşık 2000 m derinliğe kadar olan bölgelerden su veya buhar üretimi ile sınırlıdır.

3.3 Jeotermal Kaynakların Araştırılması

Jeotermal kaynak araştırma programının başlama noktası, jeolojik, jeofizik ve hidrojeolojik çalışmalardır. Bu çalışmaların temel amacı, çok geniş ve doğru araştırma ile alanının yerini ve büyüklüğünü belirlemek ve bu alan için en uygun arama yöntemini önermektir. Jeolojik, jeofizik ve hidrojeolojik incelemeler, jeotermal enerji araştırma ve üretim kuyularının yerlerinin belirlenmesinde çok önemli rol oynar. Ayrıca, bu incelemeler diğer araştırma yöntemlerinden elde edilen verilerin yorumlanmasını ve sonuçta jeotermal sistemin gerçek bir modelinin oluşmasını ve kaynağın potansiyelinin değerlendirilmesini sağlar. Sondaj kuyularının açılması, jeotermal enerji araştırmalarının son aşamadır. Bu sondajlar jeotermal rezervuarın gerçek karakteristiğini ve sahanın potansiyelini ortaya çıkarır.

Jeotermal enerjinin doğası ve dağılımı ile ilgili üç temel terim vardır; jeotermal gradyan, ısı akışı ve jeotermal anomali. Jeotermal gradyan, dünya yüzeyinden derinlere doğru inildikçe sıcaklığın artmasından kaynaklanır. Normal olarak yerin altına doğru inildiğinde her 33 metrede sıcaklık 1 °C yükselir. Fakat jeotermal sahalarda, jeolojik yapının ve kayaç tiplerinin farklı olmalarından dolayı sıcaklık

artışı çok daha fazla, örneğin 33 metrede 5°C olabilir. Isı enerjisi dünya yüzeyine, kayalardan iletim yoluyla geçerek, magmanın hareketi ile veya jeotermal suyun hareketi ile ulaşır. Isı enerjisinin iletim yoluyla düşey olarak hareket etmesine ısı akısı denir (<http://www.eie.gov.tr/>).

Bazı jeotermal alanlarda, bazı derinliklerde sıcaklıklar, komşu alandaki sıcaklıklardan farklılıklar gösterirler. Bu düzensizliğe jeotermal anomali denir. Jeotermal anomali küçük bir alan ile sınırlı olabilir ve sadece küçük bir sıcak su kaynağı anomaliyi gösterebilir. Öte yandan anomali binlerce kilometrekarelik bir alanda da oluşabilir. Jeotermal kuyuların sondajı, geliştirilmesi ve işletmesi çok pahalı işlemler oldukları için jeotermal aramalarda pozitif jeotermal anomalilerin (yüzeye yakın ve yüksek sıcaklıklı) yerleri tespit edilmeye çalışılır. Farklı jeolojik yapılarda, jeotermal anomalilere sebep olan başlıca ana etken jeotermal alanların aranmasını yönlendirir. Tabakalar arasına giren genç magmatik kayaçların (Genç magmatik sokulumlar) varlığı jeotermal aramada öne çıkan bir özelliktir.

Levha tektoniği teorisi (yerkabuğunun, geniş düz parçalarının hareketi) genç magma aktivitelerinin oluşumunu açıklamaktadır. Magma, levhaların ayrılma zonları boyunca ve levhalar arasına girerek, sırtlar oluşturur. Kabuğa doğru sokulan magma yerkabuğuna ısı transfer eder ve bu da yüksek jeotermal gradyanlar yaratabilir. Sonuç olarak ortaya çıkan jeotermal anomaliler değerli jeotermal kaynaklar yaratabilirler. Böyle yer içi yapılarının araştırılması için günümüzde Jeofizik (özellikle elektrik-elektromanyetik) yöntemler tüm dünyada başarıyla uygulanmaktadır. Yer içinde sıcak suyun Hidrotermal sirkülasyonu jeolojik kayaçların yapısını önemli şekilde bozarak hidrotermal alterasyonlar oluşturur. Geçirgen kayaçlardan, kırık veya çatlak sistemlerinden geçen sular, ısıyı kayaçlardan daha hızlı taşırlar. Genç magmatik sokulum tarafından ısıtılan sular konveksiyon akımları sonucu jeotermal sistemde dolaşır veya dolaşımdaki soğuk su magmatik bir sokulama yaklaşarak ısınır ve hareketine devam eder.

İki durumda da jeotermal enerji kabuktaki sığ derinliklere transfer edilir ve belirgin jeotermal anomalilere neden olabilir. Termal suların yeryüzüne çıktığı noktalarda doğal sıcak su kaynakları oluşur. Bu gibi yerler ilk insanlardan günümüze değin sağlık ve diğer amaçlar için kullanılmaktadır. Bu su çıkışlarının olmadığı başka yerlerde termal sulara ulaşmak için kuyu sondajları yapmak gerekir.



Şekil 3.6 : Aydın- Serçeköy jeotermal sondajı, 2008
(www.mta.gov.tr).

Jeotermal araştırmalarda jeoloji, jeofizik ve jeokimya çalışmaları birlikte yürütülür ve elde edilen veriler değerlendirilerek uygun sondaj lokasyonları belirlenir. Yapılan sondaj çalışmaları ve testler sonucunda jeotermal akışkanın sıcaklığı, debisi ve kimyasal özellikleri tespit edilir. Bu özellikler elde edildikten sonra jeotermal enerjinin kullanımına yönelik proje ve tesisler yapılır.

Sondaj yapmak pahalı bir işlem olduğundan sondaj yerinin mutlaka çok iyi belirlenmesi gerekir. İşte gerek sıcaklık ve gerekse sıcak su dolaşımının kayaların elektriksel özelliğini değiştirmesi nedeniyle jeotermal aramalarda ve sondaj yerlerinin belirlenmesinde Jeofiziğin elektrik-elektromanyetik yöntemleri başarılı ve isabetli sonuçları ortaya koyar.

Jeotermal sahanın değerlendirilmesinin, ilk adımını akışkan ve ısı (enerji) rezervinin tahmini oluşturur. Bu adım sahanın ekonomik değerinin tanımlanması ve üretilecek akışkan ve ısısının işletiminde yeraltı/yerüstü alt yapı/tesislerinin tasarlanması için gereklidir. Jeotermal sistemler için rezerv, fiziksel (teknolojik) ve ekonomik olarak üretilebilecek termal enerji olarak tanımlanabilir. Örneğin, termal enerjiyi diğer enerji kaynaklarına göre daha ekonomik olarak üretemiyorsak, o rezerv kullanılamaz. Bu tanıma göre, termal enerji rezerv miktarının, diğer enerji kaynaklarının fiyatına, mevcut teknolojinin durumuna, politik ve sınırlayıcı çevre koşullarına bağlı olarak değişir. Benzeri durum petrol ve doğal gaz rezervleri içinde geçerlidir.



Şekil 3.7 : Nevşehir- Kozaklı jeotermal sondajı
(www.mta.gov.tr).

Rezervi tahmin etmede en önemli zorluk, çözümü tekil olmayan bir problemle uğraşmak zorunda oluşumuzdur çünkü yeraltındaki karmaşık jeotermal sistem ve mekanizmasına ait yeterince bilgiye genellikle sahip olmadığımızdan rezervi tahmin etmekte zorluklar yaşanır. Ancak, belirsizliğin derecesi, jeotermal sistem hakkında elimizdeki bilginin, verinin miktarına, çeşitliliğine ve kalitesine bağlı olarak değişir. Ne kadar çok ve kaliteli veri mevcutsa ve ne kadar rezervuar uzun süre izlenir ve veri toplanırsa, tahminlerdeki belirsizlik de o kadar da azalır.

Keşif aşamasında; genellikle bu dönemde, sistem hakkında çok fazla bilgiye sahip olunmadığından, bu aşamada belirsizlik oldukça yüksektir ve kararlarda büyük oranda risk mevcuttur. Bu aşamada, jeolojik ve jeofizik (mevcutsa) ve bu sahaya yakın yerlerde geçmiş bilinen sahalara ait bilgilerin araştırılması saha hakkında bilgi edinilmesinde yararlı olur.

Kuyulardan toplanan bilgilere bağlı olarak, rezerv tahminindeki belirsizlik keşif aşamasına göre azaltılabilir ve ilave keşif çalışmaları için uygun strateji (veya stratejiler) planlanabilir. Eğer birkaç kuyu “iyi” çıkarsa, daha güvenilir rezerv tahminleri yapılabilir. Bu aşama sahanın sınırlarını tanımlama ve yüzey donanımlarını tasarım işlerini kapsar (Onur, Satman 2012).

Jeotermal araştırmaların amacı aşağıda sıralanmıştır.

- Jeotermal olayını ortaya çıkarmak,

- Yararlanılabilir jeotermal sahasının bulunduğunu belirlemek,
- Kaynağın alanını tahmin etmek,
- Jeotermal sahanın tipini belirlemek,
- Üretim zonlarının yerlerini öğrenmek,
- Jeotermal saha içerisinde üretim kuyularından çıkan suyun ısı içeriğini belirlemek,
- Gelecekte yapılacak gözlem sonuçlarındaki değişimleri belirlemeye yönelik temel verileri derlemek,
- Çevresel hassas parametrelerin ilk ölçüm sonuçlarını elde etmek,
- Saha gelişimi sırasında herhangi bir probleme sebep olabilecek karakteristik bilgileri elde etmektir.

3.4 Jeotermal Enerjinin Sınıflandırılması

Jeotermal kaynakların sınıflandırılmasında en çok kullanılan yöntem jeotermal sıvısının içerdiği entalpidir. Entalpi, sıvının ısı (termal enerji) içeriğini gösterir ve onun değeri hakkında bir bilgi verir.

Ülkelere göre değişik sınıflandırmalar olmasına rağmen jeotermal enerji, sıcaklık içeriğine göre kabaca üç gruba ayrılır:

- 1- Düşük Sıcaklıklı Sahalar (20-70°C)
- 2- Orta Sıcaklıklı Sahalar (70-150°C)
- 3- Yüksek Sıcaklıklı Sahalar (150°C'den yüksek)

Düşük ve orta sıcaklıklı sahalarda, bugünkü teknolojik ve ekonomik koşullar altında başta ısıtmacılık olmak üzere (sera, bina, zirai kullanımlar), endüstride (yiyecek kurutulması, kerestecilik, kağıt ve dokuma sanayiinde, dericilikte, soğutma tesislerinde), kimyasal madde üretiminde (borik asit, amonyum bikarbonat, ağır su, akışkandaki CO₂ den kurubuz eldesinde) kullanılmaktadır. Ancak, orta entalpili sahalardaki akışkanlardan da elektrik üretimi için teknolojiler geliştirilmiş ve kullanıma sunulmuştur. Yüksek entalpili sahalardan elde edilen akışkandan ise, elektrik üretilmektedir. Diğer bir sınıflama ise su yoğunluklu jeotermal sistem ve buhar yoğunluklu jeotermal sistemdir.

3.5 Jeotermal Kaynaklardan Faydalanma

Jeotermal enerji ısıtma amacıyla ya da doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanılır. Yüksek sıcaklıklı jeotermal kaynakların ($>150\text{ }^{\circ}\text{C}$) en önemli kullanım alanı elektrik üretimidir. Düşük ve orta sıcaklıklı jeotermal kaynaklar ($<150\text{ }^{\circ}\text{C}$) çok farklı kullanım alanlarına sahiptir. Klasik Lindal diyagramı farklı sıcaklıklara bağlı olarak jeotermal kaynağın kullanılabilir alanlarını göstermektedir. Bu diyagrama son yıllarda $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerindeki jeotermal kaynakların binary cycle santrallerinde elektrik üretiminde kullanılması da eklenebilir. $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altındaki jeotermal kaynaklardan ise ısı pompaları ile ısıtma ve soğutmada faydalanılmaktadır. Bu kaynaklardan yararlanma yollarından (ısı pompaları) ayrıntılı bir şekilde bir sonraki bölümde (Bölüm 4) bahsedilmektedir.

Çizelge 3.1 : Jeotermal akışkanın sıcaklığına göre kullanım alanları (Lindal Diyagramı) (www.jmo.org.tr).

Parametre	Sıcaklık $^{\circ}\text{C}$	Kullanım Alanı
Buhar Fazı	$180\text{ }^{\circ}\text{C}$	Elektrik üretimi, amonyum absorpsiyonu ile soğutma
	$170\text{ }^{\circ}\text{C}$	Hidrojen sülfid yolu ile ağır su eldesi, diatomitlerin kurutulması
	$160\text{ }^{\circ}\text{C}$	Kereste kurutulması, balık vb. yiyeceklerin kurutulması
	$150\text{ }^{\circ}\text{C}$	Bayer's yöntemiyle alüminyum eldesi
	$140\text{ }^{\circ}\text{C}$	Çiftlik ürünlerinin çabuk kurutulması (konservecilikte)
	$130\text{ }^{\circ}\text{C}$	Şeker endüstrisi, tuz eldesi
	$120\text{ }^{\circ}\text{C}$	Temiz su eldesi, tuzluluk oranının artırılması
	$110\text{ }^{\circ}\text{C}$	Çimento kurutulması
	$100\text{ }^{\circ}\text{C}$	Organik maddeleri kurutma, (yosun, et, sebze vb.) yün yıkama ve kurutma
	$90\text{ }^{\circ}\text{C}$	Balık kurutma
Sıcak Su	$80\text{ }^{\circ}\text{C}$	Ev ve sera ısıtma
	$70\text{ }^{\circ}\text{C}$	Soğutma
	$60\text{ }^{\circ}\text{C}$	Kümes ve ahır ısıtma
	$50\text{ }^{\circ}\text{C}$	Mantar yetiştirme, balneolojik banyolar
	$40\text{ }^{\circ}\text{C}$	Toprak ısıtma
	$30\text{ }^{\circ}\text{C}$	Yüzme havuzları, fermentasyon, damıtma, sağlık tesisleri
	$20\text{ }^{\circ}\text{C}$	Balık çiftlikleri

Lindal diyagramı jeotermal kaynaklardan faydalanmanın iki önemli yönünü gösterir:

a- Faydalanılan akışkanın sıcaklığına bağlı olarak ikinci bir işte kullanılması jeotermal kaynakların kullanılabilirliğini artırır.

b- Jeotermal kaynağın sıcaklığı mümkün kullanılma alanını sınırlar.

Elektrik enerjisi üretimi

1904'ten beri İtalya'da Lardello sahasından elektrik üretimi yapılmasına rağmen, dünyada, jeotermal enerjiden elektrik üretilmesine yönelik çabaların artması 1950'li yılları bulmuştur. Buharbaskın bir sahadan ilk elektrik üretimi İtalya'da, su-baskın bir sahadan ilk elektrik üretimi de Yeni Zelanda da 1950'lerde olmuştur.

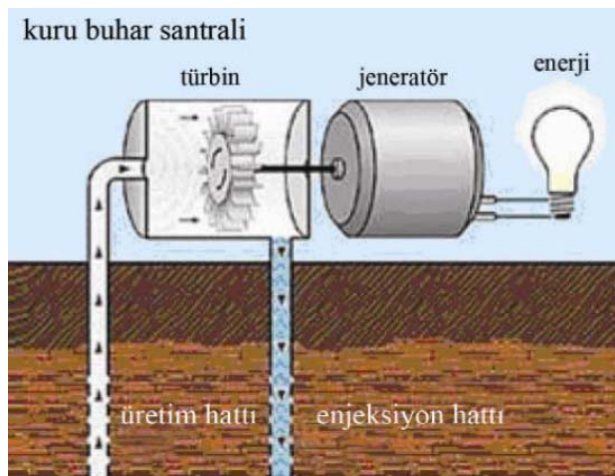
Hazne sıcaklığı 200 °C ve daha fazla olan jeotermal akışkanlardan elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Ancak günden güne gelişmekte olan yeni teknolojilere göre 150 °C'ye kadar düşük hazne sıcaklıklı jeotermal sulardan da elektrik üretilmektedir. Ayrıca, son zamanlarda buharlaşma noktaları düşük gazlar (Freon, İzobütan vb.) kullanılarak 60-90 °C sıcaklıktaki sulardan da elektrik üretiminde yararlanma çalışmaları sürdürülmektedir.

Jeotermal akışkandan elektrik üretimi, başta A.B.D. olmak üzere İtalya, Japonya, Yeni Zelanda, El Salvador, Meksika, İzlanda, Filipinler, Endonezya ve Türkiye vb. ülkelerde yapılmaktadır.

Dünyada halen kurulu güç yaklaşık 9500 MWe (2006 yılı itibariyle) olan jeotermal enerjiden elektrik üretimi gün geçtikçe artmaktadır.

Genelde elektrik üretimi, jeotermal kaynağın karakteristiğine bağlı olarak üç tip santralde yapılmaktadır.

1- Kuru buhar santralleri; türbünü döndürmek için kuyudan üretilen kuru buhar direk olarak kullanılır. Genellikle jeotermal rezervden az miktarda su ve buhar (>235 °C) ile çalışır.

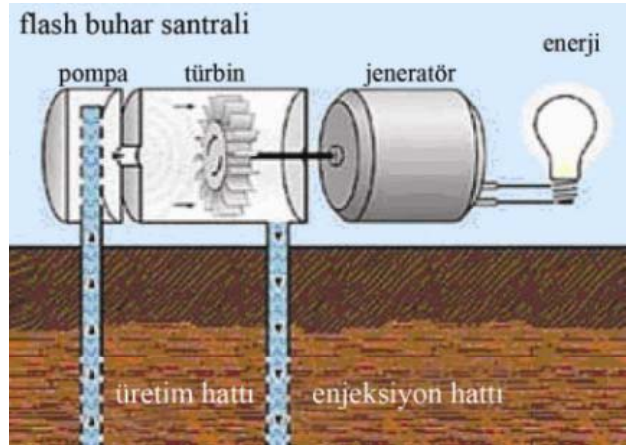


Şekil 3.8 : Kuru buhar santrali (<http://www.nrel.gov>).

Bu teknoloji jeotermal enerji teknolojileri arasında en eski olanıdır. İlk kez Lardarello tarafından 1904 yılında İtalya’ da kullanılmıştır. Bu sistemde buhar, bir boru yardımıyla doğrudan türbine bağlanarak elektrik enerjisi üretir.

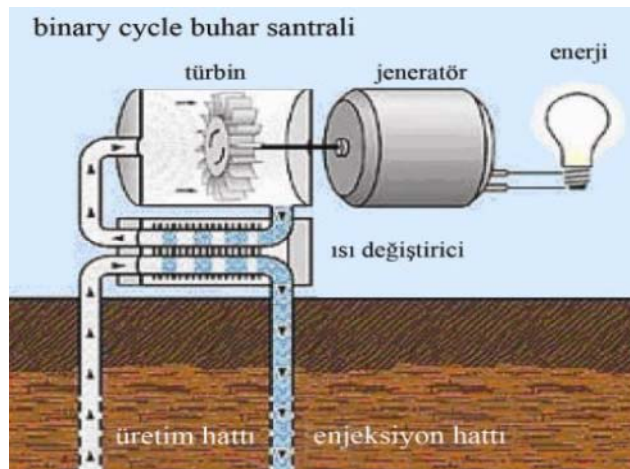
2- Flaş buhar santralleri; yüksek basınçla kuyudan gelen akışkan düşük basınçlı separatörlerde su ve buhar olarak ayrılır ve ayrıştırılan buhar ile türbünün döndürülmesi sağlanır.

Bu sistem, jeotermal rezervden sıcak suyun ($>182\text{ }^{\circ}\text{C}$) kullanıldığı sistemdir. Su jeneratöre pompalandığında, rezerv derinlerinde bir basınç oluşur, bu basıncın ani düşüşüyle suyun bir kısmı buharlaşmaya başlar ve türbine doğru hareket ederek burada enerjiye dönüşür.



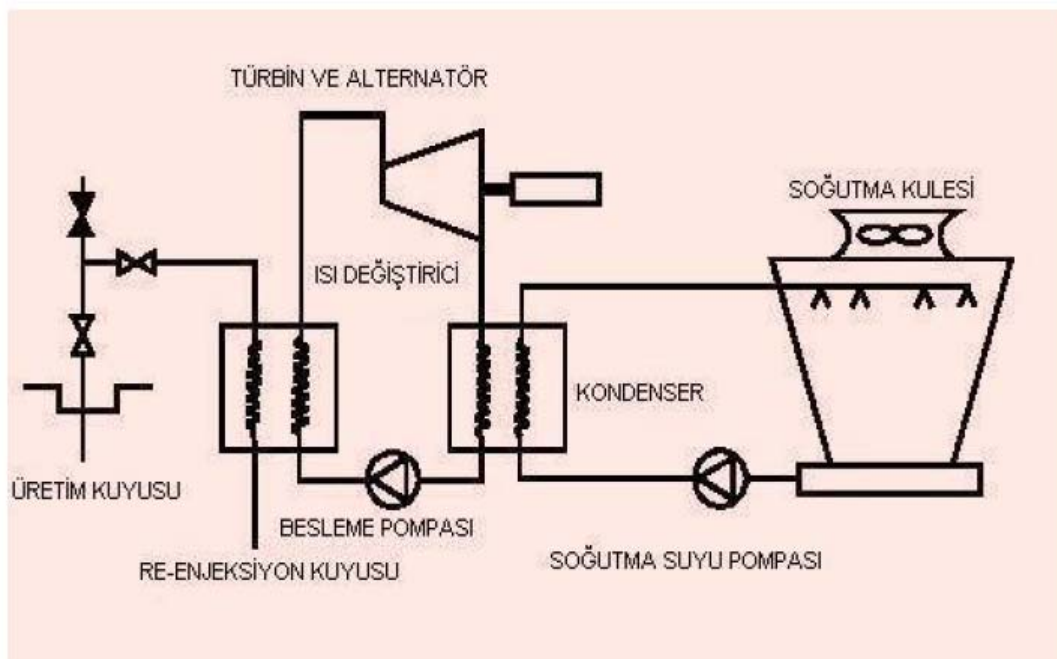
Şekil 3.9 : Flash buhar santrali çalışma prensibi (<http://www.nrel.gov>).

3- Binary cycle santralleri (çift çevrim); bu sistem, jeotermal kaynaktaki su sıcaklığının $107\text{-}182\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu durumlarda etkin olarak kullanılır.



Şekil 3.10 : Binary cycle buhar santrali (<http://www.nrel.gov>).

Üzerinde tek buhar ayırıştırırmalı (single flash) elektrik santrali kurulu alanlarda, buhar ayırıcılar bu atık ısı kaynaklarından en fazla bilinendir (Örneğin: Denizli-Kızıldere’de kurulu bulunan tek buharlaştırmalı jeotermal santralde, 140 °C ve 700 ton/saat jeotermal akışkan buhar ayırıştırıcılardan dışarı atılmaktadır).

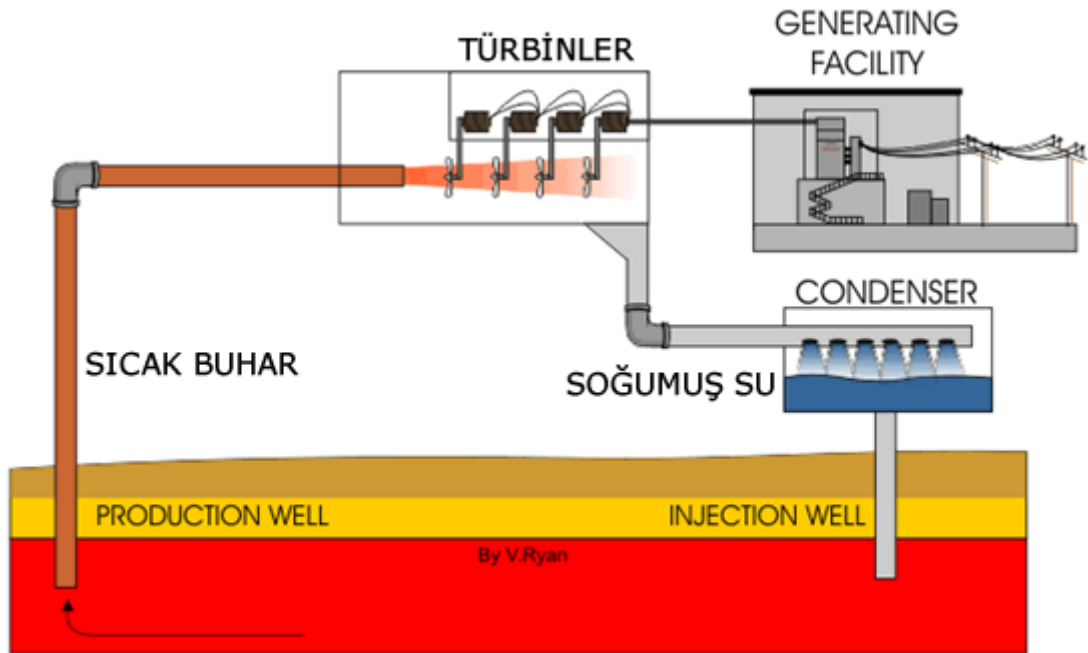


Çift çevrimli sistemler, uygun ikincil (çalışan) akışkanlar kullanılarak 85-170 °C arasındaki sıcaklıklarda çalışacak şekilde tasarlanabilirler. Üst çalışma sıcaklığı, organik ikincil akışkanların termal olarak bozuşma sıcaklıkları tarafından belirlenir.

Belirlenen kapasite için ısı eşanjörü büyüklüğünün pratik olmaması ve parazitik yüklerin (sirkülasyon pompası yükleri gibi) üretimin büyük bir oranını tüketmesi gibi pratik ve ekonomik nedenler alt çalışma sıcaklığını belirler.

Türbinde genişmeden önce, daha düşük bir basınç ve sıcaklıkta, jeotermal akışkanın ısısı ikincil (çalışan) akışkana ısı eşanjörleri tarafından aktarılır ve ikinci akışkanın ısınması ve buharlaşması sağlanır.

Çift çevrim elektrik santralleri, suyun içerdiği ısı enerjisini mekanik enerjiye ve sonrada bir jeneratör vasıtası ile elektrik enerjisine çevirirler. Çalışan akışkan, kapalı bir devrede, yüksek sıcaklıklı jeotermal akışkan ile soğutma suyundan ibaret iki ısı kaynağı arasında bir termodinamik motor çevriminde çalışır. Çalışan akışkan genellikle izobütan gibi bir hidrokarbon, R12 gibi bir soğutma gazı veya CO₂ gazıdır.



Şekil 3.12 : Jeotermal enerjiden elektrik üretimi
(<http://www.alternaturk.org/jeotermal-enerji.php>).

Dünyadaki uygulamalarda, çift çevrimli santrallerin yapım maliyetleri (jeotermal alanın geliştirilmesi ile ilgili giderler hariç) 1500 – 2000 \$/kW arasında değişmektedir. Bu santrallerden üretilen elektriğin maliyeti ise 0.04 \$ ile 0.1 \$ arasında değişmektedir.

İnsanlar tarafından üretilen veya başka bir şekle dönüştürülen enerjinin çevresel etkilerinin olması kaçınılmazdır. Dolayısıyla, elektrik üretimi veya diğer nedenlerle

kullanılan derin jeotermal suların da çevreye geniş bir oranda etkisi vardır. Bu etkiler, yüzeyde oluşan çökmelerden jeotermal akışkanın oluşturduğu doğal güzelliklerdeki (Pamukkale travertenleri) tahribatlara kadar değişebilmektedir. Bunların yanında jeotermal sıvının içerdiği bor, cıva, arsenik, kurşun, amonyak, antimuan, lityum, karbondioksit, hidrojen sülfür ve tuz çevreyi olumsuz şekilde kirletmektedir. Fakat santralde kullanılan akışkanın tekrar rezervuara enjekte edilmesiyle çevreye verilen zarar minimuma indirilebilir.

Isıtma ve Soğutma

150°C altındaki sıcaklıklarda termal enerji direkt olarak sera, bölge ısıtma, sulu tarım, endüstriyel prosesler gibi alanlarda kullanılmaktadır.

• Sera Isıtması

Dünyanın çeşitli ülkelerinde seraların jeotermal enerji ile ısıtılması suretiyle turfanda sebzeçilik, meyvecilik ve çiçekçilik yapılmaktadır (Demirel, 1998).

• Bölge Isıtması

Bölge ısıtması soğuk iklim bölgelerine daha uygun bir kullanımdır. Binaları ve kentleri merkezi sistemle ısıtmada, suyun ısıtılmasında 40°C üzerindeki sıcaklıkta bulunan jeotermal akışkandan yararlanılmaktadır (Yiğit, 1994).

Bölgesel ısıtma uygulamalarının büyük çoğunluğunda, jeotermal akışkanların korozif veya taş yapıcı özelliğinden dolayı, bölge ısıtma devresi bir ısı değiştirgeci yardımı ile jeotermal akışkandan ayrılmakta ve kapalı dolaşım devresi olarak kurulmaktadır. Ancak, jeotermal akışkanların doğrudan kullanıldığı uygulamalar da mevcuttur. Jeotermal suyun özelliklerinin uygunluğu nedeniyle, İzlanda'daki ısıtma uygulamalarında, jeotermal su bölge ısıtmasında doğrudan kullanılmaktadır. Yurdumuzda ise tipik bir örnek olarak, Haymana'da artezyen kaynaktan 43°C sıcaklığında elde edilen su, iki caminin ısıtılmasında kullanılmakta ve açık çesmelerden kullanma suyu olarak akıtılmaktadır.

Bölge devresinin kapalı olması durumunda, ısı değiştirgeçleri kullanılarak jeotermal akışkanın enerjisi bölge dolaşım suyuna aktarılmaktadır. Düşük sıcaklık farkları elde edilebilmesi ve bakım kolaylıkları nedeniyle, jeotermal uygulamalarda genellikle plakalı ısı değiştirgeçleri kullanılmaktadır. Ancak kapalı devre uygulamalarında, ısı değiştirgecinde oluşan sıcaklık farkı, jeotermal akışkan dönüş sıcaklığının kullanım

suyu dönüş sıcaklığından daha yüksek kalmasına neden olmaktadır. Bu durum, jeotermal akışkanın enerjisinden yararlanma oranını azaltmaktadır. Bunun yanı sıra, ısı değiştirgeci kullanılması, jeotermal ve tatlı su devrelerinde ek basınç kaybına neden olmaktadır.

Özellikle düşük sıcaklıklı (60°C - 65°C) kaynaklardan beslenen ısıtma sistemlerinde, jeotermal akışkanın dönüş sıcaklığının düşürülmesi, ilk yatırım ve işletme giderleri açısından önemlidir. Bu nedenlerle, jeotermal akışkanın doğrudan kullanıma uygun olması durumunda, kapalı devre uygulamasına gidilmemelidir.

Bölge dağıtım sisteminde dolaşan sıcak akışkan doğrudan kullanılmakta veya bir ısı değiştirgeci yardımı ile bina içinde kapalı ısıtma devresi kurulmaktadır. Bina içi dağıtımda bölge devresi akışkanının kullanıldığı açık sistem uygulamalarında, ısı değiştirgeci kullanılmaması bina bağlantı maliyetini azaltmaktadır. Daha önemlisi bölge dönüş hattı sıcaklığı düşürerek dağıtım sisteminden daha yüksek oranda yararlanılmış olmaktadır.

Çizelge 3.2 : Yurdumuzda Kurulu Jeotermal Bölge(şehir) Isıtma Sistemleri
(http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/b2c50d21733e0c8_ek.pdf).

Yer	İli	Kaynak Sıcaklığı	Kurul Tarihi	Bölge Gidiş/Dönüş Sıcaklığı	Konut Sayısı
Gönen	Balıkesir	80°C	1987	-	3400
Simav	Kütahya	120°C	1991	$65/50^{\circ}\text{C}$	3200
Kırşehir		$54-57^{\circ}\text{C}$	1994	$48/42^{\circ}\text{C}$	1800
Kızılcaham	Ankara	80°C	1995	-	2500
Balçova	İzmir	115°C	1996	$85/60^{\circ}\text{C}$	10000
Kozaklı	Nevşehir	90°C	1996	-	1000
Afyon		95°C	1996	$60/45^{\circ}\text{C}$	4500
Sandıklı	Afyon	70°C	1998	$70/40^{\circ}\text{C}$	1600
Diyadin	Ağrı	70°C	1999	-	400

Açık sistem uygulamasında dikkat edilmesi gereken bir husus, geniş alana yayılmış ve kot farklarının fazla olduğu dağıtım bölgelerinde, dağıtım şebekesinde oluşacak basınç farklarıdır. Genellikle, bölge dağıtım hatları 1.2 Mpa basınca uygun olarak tasarlanır. Bina içi ısıtma elemanlarında ise, basıncın 0.7 - 0.8 Mpa'ı aşması istenmez. Bina içi basınç en uç ve yüksek radyatörde vakum olmayacak ve en düşük kotlu radyatörde ise izin verilen değeri aşmayacak şekilde tasarlanmalıdır. Kot

farklarının fazla olması durumunda, ısıtma bölgesi dağıtım zonlarına ayrılabilir (http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/b2c50d21733e0c8_ek.pdf).

Türkiye’de, jeotermal enerjinin konut ısıtılmasında kullanım durumu, Çizelge 3.2’de özetlenmiştir. Tablodan da anlaşılabileceği gibi, 57°C’ye kadar düşük sıcaklıklı sahalar, konut ısıtılmasında başarı ile kullanılmaktadır.

Endüstriyel Kullanım

Jeotermal enerjinin endüstriyel alanda bir çok kullanım şekli bulunmaktadır. Bunlar arasında organik maddeleri kurutma (sebze kurutma, tahıl ve kereste kurutma), kağıt ve kağıt hamuru işleme, kimyasal madde elde etme ve atık su işlemleri sayılabilir.

Tarımsal ürün kurutma

Dünya üzerinde yalnızca on ülke tarımsal ürünlerin kurutulmasında jeotermal enerjiyi kullanmaktadır (Lund and Freeston, 2000). 140 °C civarında konservecilikte çiftlik ürünlerinin çabuk kurutulmasında kullanılmaktadır.

Soğuk ve Kar Çözme

Yol yüzeylerinde soğuk ve kar çözme projesi uygulamaları çok sınırlı bir şekilde Arjantin, İzlanda, Japonya, İsviçre ve Amerika’da görülmektedir (Lund and Freeston, 2000).

Termal Turizm

Dünya üzerinde 45 ülkede termal kür merkezleri, spa merkezleri, kaplıca havuzları bulunmaktadır. Buna rağmen birçok kaynak kullanım dışı olarak beklemektedir.

Yapılan arkeolojik çalışmalara göre, termal sular yaklaşık 10 bin yıldan fazla süredir birçok topluluk tarafından kaplıca amaçlı tedavi için kullanılmaktadır.

Tıpta 'termomineral sular' olarak adlandırılan termal suyun kaplıcada kullanılabilmesi için o suyun yeraltından çıkan doğal termal su olması, sıcaklığının 25 derecenin üzerinde bulunması, litresinde ise en az 1 gram mineral bulunması gerekmektedir (Kalkınma Bakanlığı, 10ncu Kalkınma Planı (2014-2018)).

Jeotermal Akışkanlardan Mineral Üretimi

Jeotermal akışkandan ticari değeri olan minerallerin üretilmesi mümkündür (CO₂, KCl, LiCl, Silica, Zinc, Lithium, Magnesium, Manganese, Boron, Tungsten, Cesium,

Rabidium, Potassium, Lead, Copper, Silver, Barium, Strontium vb). (Kalkınma Bakanlığı, 10'ncu Kalkınma Planı (2014-2018)).

Jeotermal Su İle Balık Üretimi

Düşük sıcaklıklarda (30 °C) kültür balıkçılığı gerçekleştirilmektedir (Karides, Levrek-Sarı levrek, Çupra, Tilapia (çupra türü), Yayın, Sazan, Kedi balığı, İstiridye vb.

Jeotermal Balıkçılık sayesinde uygun sıcaklık ortamı ile deniz ürünlerinin büyüme oranlarında %50 - %100 artış sağlanmaktadır.

Jeotermal suyun jeokimyasının uygun olduğu yerlerde doğrudan jeotermal akışkan jeotermal balıkçılık için kullanılabilir. Örnek Olarak: Yayın Balığı: 17-24°C (4-6 ay), Alabalık:12-18°C (4-6 ay), Karides:26-30°C (6-9 ay),Yılan Balığı: 27-30°C (6 ay), Tilapia (Çupra): 22-30° (6 ay), Pangasius (30°C).



Şekil 3.13 : Balık Üretimi (Kalkınma Bakanlığı, 10'ncu Kalkınma Planı (2014-2018)).

3.6 Jeotermal Kaynakların Dünyadaki Yayılım Alanları

Dünyadaki jeotermal sistemler, levhaların çarpışması sonucu aktif kıta kenarlarında, okyanus ortası sırtlarda, aktif kıta yarıklarında ve volkanik adalar üzerinde bulunurlar. Zayıflık zonlarına bağlı olarak oluşan tektonik ve aktif volkanik kuşaklar boyunca kuzey ve güney Amerika kıtasının batı kıyılarında (Amerika, Meksika, El Salvador, Nikaragua, Kostarika, Arjantin) Akdeniz ülkelerinde (Türkiye, Yunanistan, İtalya) doğu ve güneydoğu Asya ülkelerinde (Çin, Tayland, Filipinler, Endonezya), Yeni Zelanda, Japonya, Portekiz'in Azor adalarında, Afrika kıtasında (Kenya, Etopya) ve İzlanda da jeotermal kaynaklar bulunmaktadır (Arslan S., Darıcı M., Karahan Ç., 2001).

Dünya genelinde jeotermal potansiyelin dağılım alanları şu şekildedir:

1. And Volkanik Kuşağı; Güney Amerikanın batı sahillerinde bulunan bu kuşak, Venezuela, Kolombiya, Ekvator, Peru, Bolivya, Şili ve Arjantini kapsamaktadır (İlgar, 2005).

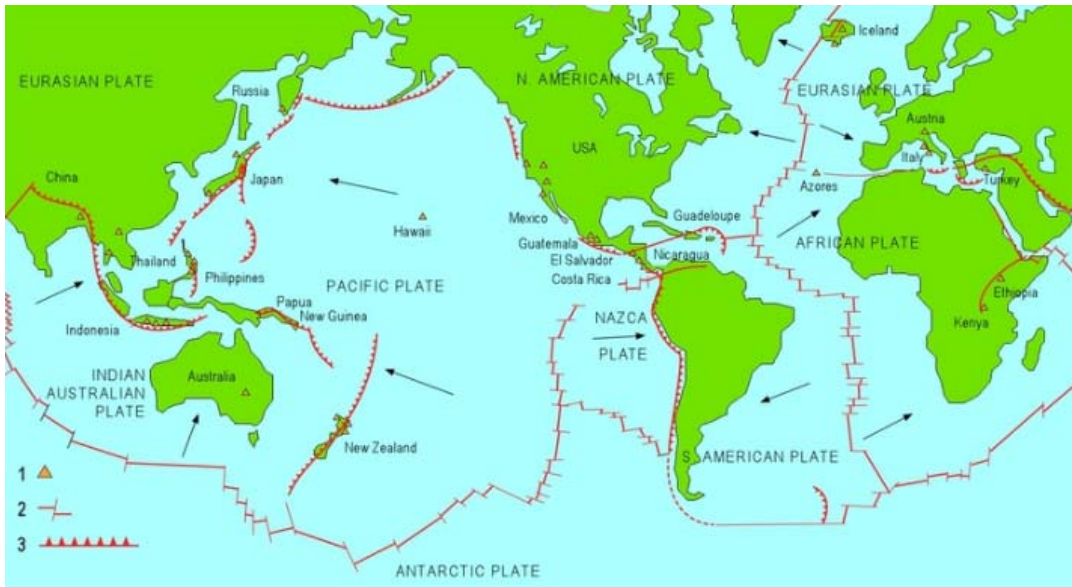
Çok sayıda aktif volkanizmanın varlığı nedeniyle, yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemlerin bulunduğu bu kuşaktaki jeotermal alanlar henüz çok fazla değerlendirilmemiştir.

2. Alp-Himalaya Kuşağı; Hindistan Plakası ile Avrasya Plakasının çarpışması sonucu oluşan bu jeotermal kuşak, dünyanın en büyük jeotermal kuşakları arasındadır. 150 km genişliğinde ve 3000 km uzunluğunda olan kuşak, İtalya, Yugoslavya, Yunanistan, Türkiye, İran, Pakistan, Hindistan, Tibet, Yunan (Çin), Myanmar (Burma) ve Tayland'ı kapsamaktadır (İlgar, 2005).

3. Doğu Afrika Rift Sistemi; Aktif olan bu sistem Zambiya, Malavi, Tanzanya, Uganda, Kenya, Etiyopya, Djibuti gibi ülkeleri içine alır (İlgar, 2005).

4. Karayip Adaları; Aktif volkanizmanın hakim olduğu kuşakta, önemli potansiyeller görülmektedir (İlgar, 2005).

5. Orta Amerika Volkanik Kuşağı; Guatemela, El Salvador, Nikaragua, Kosta Rika ve Panama'yı içine alan bu kuşakta, çok sayıda jeotermal sistem bulunmaktadır (İlgar, 2005).



Şekil 3.14 : Dünyadaki önemli jeotermal kuşaklar ve levha (plaka) sınırları (<http://www.geothermal-energy.org>).

Bunların dışında; Kanada, Amerika Birleşik Devletleri, Japonya, Doğu Çin, Filipinler, Endonezya, Yeni Zelanda, İzlanda, Meksika, Kuzey ve Doğu Avrupa, Bağımsız Devletler Topluluğu gibi ülkeler farklı tektonik oluşumlar nedeniyle verimli jeotermal sahalara sahiptir (Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, 1996).

Modern anlamda ilk olarak İtalyanlar jeotermal enerjiyi elde etmişlerdir. İlk çağlardan beri ilkel yollarla sağlık amaçlı olarak yararlanılan doğal sıcak su kaynakları ilk defa 1827 yılında İtalya'da asit borik elde etmek amacıyla kullanılmıştır. Daha sonra 1904 yılında Larderello (İtalya) yöresinde yine ilk defa jeotermal buhardan elektrik üretimine başlanmış ve 1912 yılında gücü 250 KWe (kilowatt elektrik) olan ilk turbo jeneratör kurulmuştur. 1930 larda ise bu enerji İzlanda'nın Reykjavik kentinde ısıtma amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. 1949 yılında Yeni Zelanda Wairakei sahasında turistik bir otele sıcak su temini amacıyla başlanan sığ sondajlara daha sonra, elektrik elde edebilmek amacıyla devam edilmiş ve 1954 yılında 200 MWe elektrik kapasiteli bir santral kurulmuştur. 1960'da Amerika'da, 1961'de Meksika'da ve 1966'da Japonya'da santraller kurularak jeotermal enerjinin kullanımı dünya çapında yayılmıştır.

Filipinler'de toplam elektrik üretiminin %27'si, Kaliforniya Eyaleti'nde %7'si, Papua Yeni Gine'de 56 MWe (Mega Watt elektrik) kapasiteli jeotermal elektrik üretimi yapılmakta olup, Altın Madenciliği İşletmesinin enerji ihtiyacının %75'i jeotermalden karşılanmaktadır. İzlanda'da toplam ısı enerjisi (şehir ısıtma) ihtiyacının %86'sı jeotermalden karşılanmaktadır.

Dünyada jeotermal elektrik üretiminde ilk 5 ülke sıralaması:

1. A.B.D.,
2. Filipinler,
3. Endonezya,
4. Meksika,
5. İtalya

Dünyada jeotermal ısı ve kaplıca uygulamalarındaki ilk 5 ülke sıralaması:

1. A.B.D,
2. Çin,
3. İsveç,
4. Türkiye,

5. Almanya

2010 yılı itibariyle, dünyadaki jeotermal elektrik üretimi 10715 MW elektrik kurulu güç olup, 87.3 Milyar kWh/yıl üretimdir. Dünya ülkelerinin 2050 yılı hedefi 150.000 MW kurulu güç elektrik üretimidir.

Jeotermalin elektrik dışı kullanımını ise 50583 MW termal olup, 6,2 Milyon konut ısıtma eşdeğeridir.

Jeotermal ısıtmada Dünyada 2010 - 2018 yılı hedefleri;

- Türkiye’de 500 Bin konut (2018 Yılı hedefi),
- Avrupa’da 3 Milyon konut (2010 Yılı hedefi),
- A.B.D.’de ise 7 Milyon konutun (2010 Yılı hedefi)

jeotermal enerji ile ısıtılmasıdır (Kalkınma Bakanlığı, 10ncu Kalkınma Planı (2014-2018)).

Dünyada Jeotermalin Doğrudan Kullanımındaki Oranlar (Elektrik Dışı)

Jeotermal mahal ısıtması % 80,4 , Kaplıca-sağlık amaçlı kullanım % 13,2 , Sera ısıtması % 3,1 , Jeotermal balıkçılık % 1,3 , Endüstriyel kullanım % 1,1 , Soğutma kar eritme % 0,7 ve Diğer % 0,1’dir (Kalkınma Bakanlığı, 10ncu Kalkınma Planı (2014-2018)).

3.7 Türkiye’ de Jeotermal Enerji Potansiyeli

Konum olarak Türkiye dünyanın genç tektonik kuşağı içinde yer aldığından doğal olarak daha çok miktarda jeotermal enerji kaynaklarını bulundurmaktadır. Ülkemizde bilinen 1500 adet kuyu ve doğal su (sıcaksu ve mineralli su) çıkışları vardır. Türkiye’nin sahip olduğu aktif tektonik özelliğinin ürünü olarak bu enerji kaynağı çoğunlukla Ege bölgesinde kümelenmiştir.

Depremlerin yoğunlaştığı alanların aynı zamanda jeotermal kaynak bakımından zengin oluşu doğanın bir ikramı diye tanımlanabilir.

Ülkemizdeki dağ zincirleri ve deprem kuşakları göz önüne alındığında, Türkiye’nin jeotermal açıdan önemli bir yere sahiptir. Türkiye bünyesinde barındırdığı önemli aktif faylardan dolayı Dünya üzerindeki deprem kuşaklarının en önemlileri arasında gösterilmektedir. Bu faylar genellikle grabenler ve doğrultu atımlı faylar şeklinde gelişmişlerdir. Türkiye’deki birçok sıcak su kaynağı bu faylarla yakından ilişkilidir. Jeolojik ve jeofizik araştırmalardan elde edinilen verilere dayanılarak derin kökenli graben fayları ile yüzeylenen termal akışkanların Batı Anadolu’da yüksek entalpili

(kullanıma uygun, elverişli) alanların oluşmasına neden oldukları kabul edilmektedir. Bugüne kadar sürdürülen araştırmalar sonucunda, Ege bölgesinde yüksek entalpili birkaç jeotermal sistem tespit edilmiş olup (Kızıldere, Germencik) grabenler boyunca daha başka jeotermal sistemlerin bulunabilme olasılığı da bu araştırmalarla halen canlı tutulmaktadır.

Batı Anadolu'daki grabenlerle ilgili gerilme tektoniğine karşın, Orta Anadolu'da yakın zamanlara kadar etkinliğini sürdürmüş genç ve yaygın volkanizmanın izleri görülmektedir. Genç volkanizmanın ve tektoniğin yoğun olduğu alanlarda orta ve düşük entalpili jeotermal sistemlerin gelişmesi muhtemeldir. Isıtmacılıkta kullanım için elverişli olabilecek bu alanlardan başka, Orta Anadolu'da kırıkların yaygın olmadığı fakat ısı birikiminin olduğu düşünülen yöreler de mevcut olup, buraları kızgın kuru kaya türü yapay jeotermal sistemlerin geliştirilmesine uygun yerlerdir (örn; Acıgöl-Nevşehir). Ayrıca, kalın istiflerin depolandığı tortul havzalarda derin sıcak su rezervuarlarının varlığı da güçlü ihtimaller arasındadır. Bazı petrol arama sondajlarında da bu tür rezervuarlara rastlanmıştır.



Şekil 3.15 : Aydın-Pamukören-AP-3 (www.mta.gov.tr).

Doğu Anadolu'da da yine tarihsel zamanlara kadar sürmüş yaygın volkanik etkinlik ve bu etkinliğe dayalı yüksek ısı anamolisi beklemek mümkündür. Dağınık sıcak su

kaynaklarının gözlenebilmesi, genç kabuksal oluşum bölgesi olması ve buna bağlı olarak çok sayıda derin kırıkların gelişmesi nedeniyle Doğu Anadolu bölgesinde önemli jeotermal sistemlerin varlığı kesindir. Bugüne kadar düşük entalpili sistemlere rastlanmasına rağmen, orta ve yüksek entalpili sistemlerin, hatta kırık sistemlerinden uzaklaştıkça, ısı birikiminin olabileceği alanlarda kızgın kuru kaya sistemlerinin bulunmaması için de herhangi bir olumsuz neden yoktur.

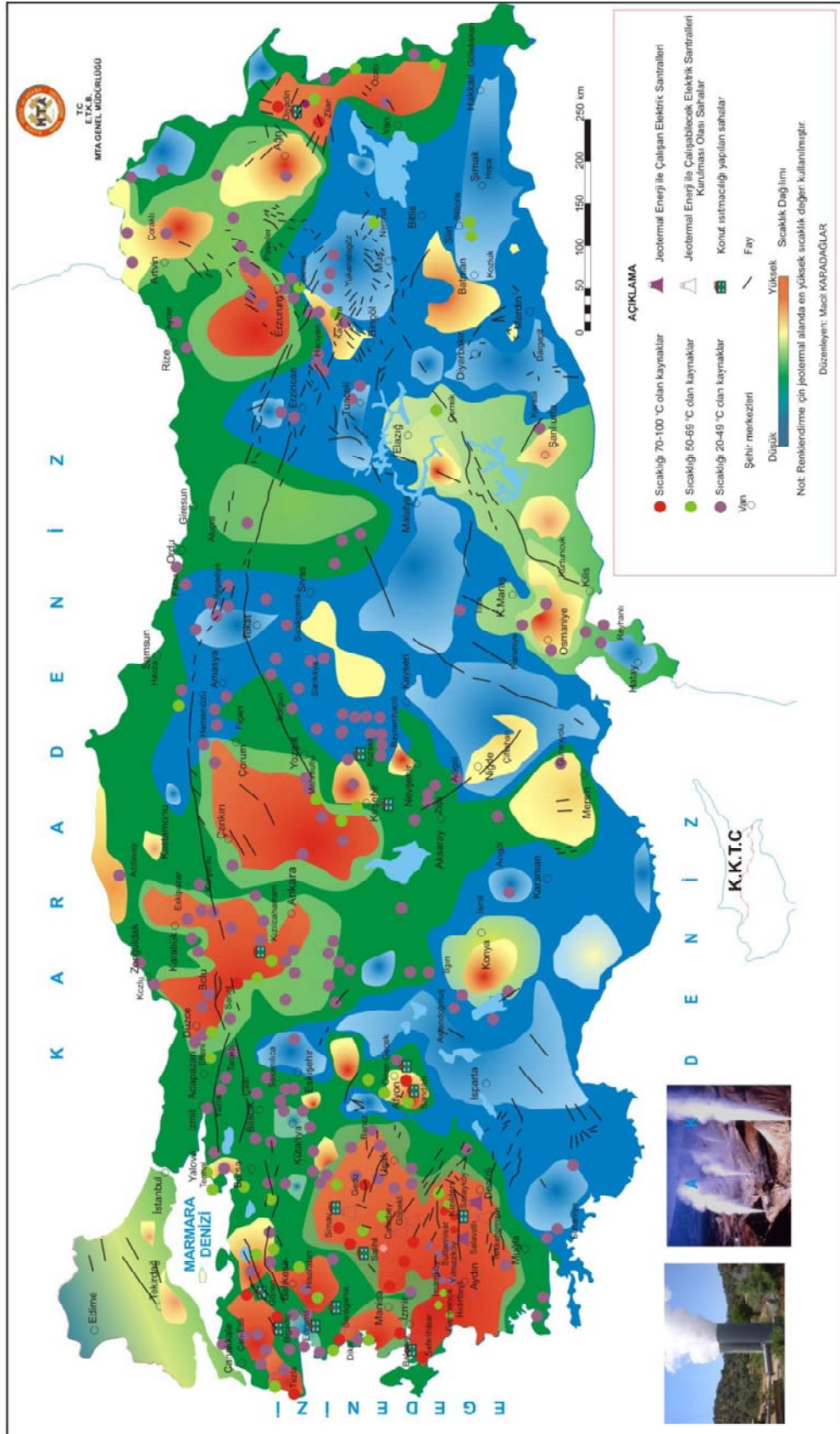
Yine “Kuzey Anadolu Fay Kuşağı” boyunca düşük entalpili de olsa değerlendirilebilecek jeotermal enerji potansiyelinin yanı sıra, Trakya ve Güney Anadolu’da derin jeotermal yatakların bulunması mümkün görünmektedir.



Şekil 3.16 : Aydın-Sultanhisar SH-1 (www.mta.gov.tr).

Türkiye’deki jeotermal enerji dağılımının genç ve bölgesel ölçekli yapısal çizgilerin üzerinde sıklaştığı, hele genç tektonik ile Tersiyer Volkanikliği veya Metamorfizması’nın üst üste bindiği bölgelerde iyice yoğunlaşmakta olduğu dikkati çekmektedir. Yine de, ülkenin değişik bölgelerinde karşılaşılan jeotermal sistemlerin birbirlerinden kökten ayrılıkları olduğu; bir başka deyişle de, belli bölgelerde karşılaşılan alanların kendi aralarında ortak özelliklerinin olduğu açıktır (Özdemir A.,2012).

Jeotermal Kaynaklar ve Uygulama Haritası



Şekil 3.17 : Türkiye Jeotermal Kaynaklar ve Uygulama Haritası
(www.mta.gov.tr).

Türkiye, Alp-Himalaya orojenik kuşağı üzerinde bulunmasıyla bağlantılı olarak, orojenik magmatik ve volkanik aktivitelerin çok olması nedeni ile jeotermal açıdan büyük bir potansiyele sahiptir. Ülkemizde aktif faylara ve volkanizmaya bağlı olarak başta Ege Bölgesi olmak üzere, Kuzeybatı, Orta Anadolu, Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde 600'ün üzerinde jeotermal kaynak bulunmaktadır.

Batı Anadolu'daki jeotermal sistemler genelde yüksek sıcaklığa sahip olup, açılma tektoniğine bağlı olarak grabenlerde yer alırlar. Doğu-batı ve kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu genç grabenlerde yer alan jeotermal sistemlerin en önemlileri Menderes ve Gediz grabeni içinde gelişmiştir. Bu grabenleri oluşturan diri faylar hem jeotermal yönden, hem de deprensellik yönünden aktiftirler. Menderes grabeni içinde, Türkiye'nin en yüksek sıcaklığa sahip Denizli-Kızıldere jeotermal sahası (242 °C), Aydın- Germencik jeotermal sahası (232 °C), Aydın-Salavatlı jeotermal sahası (171 °C), Aydın-Yılmazköy İmamköy jeotermal sahası (142 °C) bulunmaktadır. Gediz Grabenin'deki jeotermal alanlar; Manisa- Salihli Caferbeyli sahası (155 °C), Manisa-Salihli-Kurşunlu sahası (96 °C), Manisa-Alaşehir- Kavaklıdere sahası (116 °C) ve Manisa-Turgutlu-Urganlı sahası (86 °C) dir. Benzer graben sisteminde gelişen Kütahya-Simav jeotermal sahası (162 °C) ve Kütahya-Gediz –Abide jeotermal sahası (97 °C)'da yüksek sıcaklıklı sahalarda arasındadır. Çürüksu Garbeni içindeki, Gölemezli jeotermal alanı (65 °C), Karahayıt sahası (55 °C) ve Pamukkale (35 °C) sahası genelde düşük sıcaklıklara sahiptir. Ancak Gölemezli sahasında MTA tarafından sürdürülen sondaj çalışmasında yüksek sıcaklık beklenmektedir.

Batı Anadolu'daki diğer jeotermal sistemler kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu grabenler ve volkanik aktivitelerin bulunduğu alanlarda yer alırlar. Bu jeotermal alanlar İzmir-Seferihisar sahası (153 °C), İzmir-Balçova sahası (130 °C), İzmir-Dikili sahası (130 °C), İzmir-Aliğa sahası (96 °C) ve İzmir-Çeşme jeotermal sahası (62 °C)'dır. Bu sahaların dışında Batı Anadolu'nun kuzey kısmındaki Çanakkale-Tuzla jeotermal sahası (174 °C), Balıkesir-Bigadiç sahası (95 °C), Balıkesir-Hisaralan sahası (100 °C) ve Balıkesir-Gönen sahası (80 °C) önemli jeotermal alanlardır. Ege bölgesinde sıkışma tektoniği ve genç volkanizmaya bağlı olarak daha düşük sıcaklıklı Manisa-Saraycık (74 °C) ve Manisa-Kula-Emir jeotermal alanları da (63 °C) bulunmaktadır.

Orta Anadolu'daki jeotermal sistemler genelde volkanik aktivitelere bağlı olup, Batı Anadolu'ya göre daha düşük sıcaklıklara sahiptir. Bu bölgedeki önemli jeotermal

alanlar; Ankara-Kızılcahamam sahası (86 °C), Kırşehir Terme sahası (57 °C), Afyon-Ömer-Gecek sahası (98 °C), Afyon-Sandıklı sahası (70 °C), Nevşehir Kozaklı sahası (93 °C), Aksaray-Ziga sahası (65 °C), Sivas-Sıcak Çermik sahası (49 °C) ve Yozgat-Sorgun sahası (75 °C)'dır.

Doğu ve Güneydoğu Anadolu'da volkanik ve tektonik aktivitelere bağlı olarak gelişen önemli jeotermal alanlar; Van-Erçiş sahası (80 °C), Ağrı-Diyadin sahası (78 °C), Bitlis-Nemrut sahası (59 °C), Diyarbakır-Çermik sahası (51 °C) ve Urfa-Karaali (49 °C) sahalarıdır.

Kuzey Anadolu'da doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fayı boyunca gelişen önemli jeotermal alanlar; Sakarya-Akyazı sahası (84 °C), Bursa-Çekirge sahası (82 °C), Yalova-Armutlu sahası (77 °C), Yalova-Terme sahası (66 °C), Çankırı-Kurşunlu sahası (54 °C), Tokat-Reşadiye sahası (47 °C), Bolu-kaplıca sahası (45 °C) dır. Bu sahaların dışında Doğu Karadeniz'de Rize-Ayder jeotermal sahası (56 °C) bulunmaktadır.

Jeotermal sistemlerin geliştiği ülkeler, bilinen bazı tektonik ve/veya aktif volkanik kuşaklar üzerinde bulunmaktadır. Türkiye tektonik ve volkanik özellikleri nedeniyle dünya jeotermal kuşağı üzerinde bulunmaktadır. Ülkemizde sıcaklığı 25-103 °C arasında değişen 600' ün üzerindeki sıcak su kaynağının varlığı, ülkemizin önemli bir jeotermal enerji potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Türkiye jeotermal kaynak haritasına bakıldığında tüm kaynakların, ülkemizde özellikle 1999 marmara depremlerinden sonra toplumun gündemine giren “deprem üreten fay”hatlarında olduğu gözlenir. Jeotermal kaynaklar özellikle bu diri faylar nedeniyle yeryüzüne ulaşırlar. Yani faylar deprem ürettiği gibi bizlere böyle doğal zenginliklerin oluşmasında önemli rol oynarlar. Ege bölgesinin tektonik çöküntü alanları, Kuzey Anadolu deprem kuşağı ve diğer volkanik yörelerimiz jeotermal kaynaklar ve akışkanlar bakımından başlıca potansiyel alanları teşkil etmektedir (Ülker, 1994).

3.8 Türkiye'nin Jeotermal Potansiyeli

Türkiye jeotermal potansiyeli bakımından, Avrupa'da ilk, Dünya'da ise yedinci ülke konumundadır. Sadece kaynakların doğal boşalımına göre potansiyel 600 MWt civarındadır.

Jeotermal Kaynaklarda;

- Muhtemel Toplam Potansiyelimiz:

Elektrik : 2000 MWe

Termal : 31.500 MWt

Türkiye'nin jeotermal kaynaklarının genellikle düşük ve orta entalpili olmaları nedeniyle, başlıca değerlendirme alanları şu şekilde sıralanabilir (Yıldırım, 2005):

- Isıtma (konut, şehir, termal tesis, sera vb.)
- Elektrik Üretimi
- Termal turizm
- Kimyasal Madde Üretimi

Toplam jeotermal potansiyelimizin (2000 MWe, 31500 MWt) tam değerlendirilmesi ile sağlanacak hedef yıllık net yurtiçi katma değer 25 Milyar USD civarındadır (<http://www.dektmk.org.tr/>). Sahip olduğumuz termal potansiyelin toplam konut miktarının %30'u olarak tahmin edilmektedir. Jeotermal sahalarımız büyük bir çoğunlukla orta ve düşük sıcaklıklı sahalar olup bilinen jeotermal sahaların %95'i hacim (konut-sera) ısıtma uygulamalarına uygundur. Jeotermal enerji ile günün 24 saati kesintisiz ısıtma yapılabilir (<http://geocen.iyte.edu.tr/>).

Bugüne kadar açılan kuyu sayısı 5046 ve toplam derinlik 252.515 m ve doğal çıkışlar dahil 4500 MWt ısı enerjisi kullanıma hazır hale getirilmiştir. Türkiye'de elektrik üretimine uygun, MTA tarafından keşfedilmiş 18 jeotermal saha bulunmaktadır (www.mta.com.tr).

Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının dünya elektrik üretimdeki payı rüzgarda %0.6, güneşte %0.05'tir. Jeotermalden elektrik üreten ülkeler arasında 2228 MWe ile ABD, 1909 MWe ile Filipinler, 785 MWe ile İtalya, 755 MWe ile Meksika, 590 MWe ile Endonezya, 547 MWe ile Japonya ilk sıralarda yer almaktadır (<http://geocen.iyte.edu.tr/>).

Ülkemizde ilk jeotermal enerji aramaları MTA Genel Müdürlüğü tarafından 1962 yılında İzmir Balçova'da başlatılmıştır. O yıldan günümüze kadar, 190 adet saha keşfedilmiştir. Bu alanların % 79'u Batı Anadolu'da, % 8,5'i Orta Anadolu'da, % 7,5'i Marmara Bölgesinde, % 4,5'i Doğu Anadolu'da ve % 0,5'i diğer bölgelerde yer almaktadır. Jeotermal kaynaklarımızın % 94'ü düşük ve orta sıcaklıklı olup,

doğrudan uygulamalar (ısıtma, termal turizm, mineral eldesi v.s.) için uygun olup, % 6'sı ise dolaylı uygulamalar (elektrik enerjisi üretimi) için uygundur. Keşfedilen bu sahalarda yapılan sondajlı arama sonucunda ülkemiz ısı potansiyelinin yaklaşık % 12,3'ü olan 3881 MWt ısı enerjisi açığa çıkarılmıştır (www.mta.com.tr).

Türkiye'de 2002 yılına göre 2011 yılında jeotermal uygulamalar %661 artış ile 14.2 MW elektrik üretimi, %350 artış ile 2400 dönüm sera ısıtması ve %196 artış ile 85.903 konut ısıtması yapılmaktadır. 2011 sonu itibarıyla 15 adedi elektrik üretimi ve 55 adedi ise ısıtma ve termal turizme uygun toplam 70 adet jeotermal saha yatırımcıya devredilmiştir (Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı).

Türkiye'de jeotermal sular ile ilgili ilk araştırmalar 1962 yılında MTA tarafından başlatılmıştır. Ülkemizde potansiyel oluşturan alanlar Batı Anadolu'da (%77,9) yoğunlaşmıştır. Bu güne kadar potansiyelin %13'ü (4.000 MW) MTA tarafından kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Türkiye'nin jeotermal potansiyeline göre kurulu kapasitesi ve jeotermal saha sayısına göre açılan kuyu sayısı çok azdır. Türkiye'deki jeotermal enerjinin yeteri kadar hızlı gelişmemesinin en önemli nedenlerinden biri uzun yıllardan beri jeotermal enerjiye yatırım yapılmamasıdır. Bunun nedeni ilk yatırım masraflarının fazla olması, riskli olması ve gerekli teşvik sisteminin bulunmamasıdır. Diğer yandan düşük entalpili jeotermal sahaların yerleşim alanlarının ısıtılmasında, seracılıkta ve bazı endüstrilerde kullanılmasını içeren projeler ve uygulamalar devletin belirgin bir jeotermal enerji politikasından çok yerel yönetimlerin veya kişilerin çabaları ile gerçekleşmektedir. Türkiye'de yıllardır Jeotermal Yasası (Teklif) çıkarılmasına uğraşılmış ve bu yasa yönetmeliği ile birlikte 13.06.2008 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Diğer ülkelere oranla daha şanslı bir konumda olan Türkiye'nin jeotermal potansiyeli gelişen jeolojik yöntemlerle ortaya çıkarılmış olacaktır.

3.8.1 Jeotermal ısı potansiyeli

Yapılmış olan değerlendirme ve hesaplamalara göre Türkiye'nin jeotermal ısı potansiyeli 31500 MWt'dir. Bu değer 5 Milyon konutun jeotermal ile ısıtılmasına veya 150 Bin dönüm sera ısıtmasına veya 1 Milyonun üzerinde kaplıca yatak kapasitesine veya 18 Milyar USD/Yıl Fuel-Oil Eşdeğeri (30 Milyon ton/yıl) veya (30 Milyar m³/yıl dogalgaz)'a eşdeğerdir (<http://www.dektmk.org.tr/>).

3.8.1.1 Konut ısıtması ve termal tesis ısıtması

Türkiye’deki jeotermal sahaların % 55’i gibi önemli bir bölümü konut ısıtmacılığına uygun sıcaklıkta jeotermal akışkan içermektedir. 50 °C alt sınırına göre konut ısıtmacılığına uygun 92 adet saha bulunmaktadır.

Çizelge 3.3 : Türkiye’de konut ısıtmacılığı mevcut durumu (Ocak, 2011)
(www.mta.gov.tr).

Yer	Konut Eşdeğeri	Kurulu Güç (Mwt)
Afyon	8000	72
Balçova - İzmir	34100	306,9
Bergama - İzmir	450	4,05
Bigadiç - Balıkesir	1950	17,55
Dikili - İzmir	2500	22,50
Diyadin - Ağrı	570	5,13
Edremit - Balıkesir	4881	43,93
Gönen - Balıkesir	2500	22,50
Güre - Balıkesir	650	5,85
Kırşehir	1800	16,20
Kızılcahamam - Ankara	2500	22,50
Kozaklı - Nevşehir	1500	13,50
Salihli - Manisa	7292	65,63
Sandıklı - Afyon	6000	54,00
Sarayköy – Denizli – Bereket En.	2200	19,80
Sarıkaya - Yozgat	550	4,95
Simav – Eynal - Kütahya	7500	67,50
Toplam	85903	773,14

Jeotermal enerji ile Gönen (Balıkesir), Simav (Kütahya), Kızılcahamam (Ankara), Narlıdere+Balçova (İzmir), Sandıklı (Afyon), Kırşehir, Afyon, Kozaklı (Nevşehir), Sarayköy (Denizli), Salihli (Manisa), Edremit (Balıkesir), Bigadiç (Balıkesir) ve Diyardin (Ağrı) de konut ısıtılması yapılmaktadır. Bunun yanında Balçova (İzmir) termal tesisleri ile tedavi merkezi ve Üniversite kampüsü, Simav - Eynal’da kaplıca tesisleri, Kızılcahamam’da Kaplıca tesis ve otelleri, Afyon-Ömer’de kaplıca tesisleri, otel ve moteller, Oruçoğlu ve Hayat turist tesisleri, Gediz’de kaplıca tesisleri, Havza’da kaplıca tesisleri ve otelleri, Salihli Kaplıca motelleri, Ayder’de kaplıca tesisleri jeotermal enerji ile ısıtılmaktadır.

Salihli, Çeşme, Dikili ve Sındırgı’da ise yine merkezi sistem ısıtma için inşaatlar devam etmektedir. Bu sistemlerin dışında ülkemizin birçok yöresinde küçük çaplı bina ve sera ısıtmaları da yapılmaktadır.

Türkiye’de jeotermal enerji ile ısıtılacak potansiyel yerleşim birimlerinin toplamının meydana getirdiği 1 Milyon konutluk kapasite, sadece şehir ısıtmasına yöneliktir. Sera ve kaplıca ısıtma, soğutma, endüstriyel kullanım, mineral üretimi, balık üretimi v.b. için kullanılan enerji bu değer dışındadır (<http://www.jeotermaldernegi.org.tr/>).

Güncel uygulamalarda jeotermal kaynakların ısıtmada kullanımı 103.000 konut eşdeğerine ulaşmıştır (www.dektmk.org.tr).

Çizelge 3.4 : Türkiye’de Jeotermal Enerji ile Isıtılacak Potansiyel Yerleşim Birimleri (<http://www.jeotermaldernegi.org.tr/>).

Yerleşim Birimi	Konut Adedi
İzmir	220.000 Konut
Denizli ve Civarı	100.000 Konut
Aydın ve Civarı	90.000 Konut
Bursa ve Civarı	75.000 Konut
Balıkesir ve Civarı	65.000 Konut
Afyon ve Civarı	65.000 Konut
Manisa+Turgutlu	50.000 Konut
Kütahya ve Civarı	35.000 Konut
Çanakkale ve Civarı	35.000 Konut
Sakarya – Akyazı – Kuzuluk	30.000 Konut
Salihli	30.000 Konut
Bolu ve Civarı	28.000 Konut
Yozgat ve Civarı	25.000 Konut
Nazilli	25.00 Konut
Erzurum	25.000 Konut
Şanlıurfa + Sivas	20.000 Konut
Kırşehir	20.000 Konut
Dikili – Bergama (İzmir)	15.000 Konut
Alaşehir (Manisa)	10.000 Konut
Aliağa (İzmir)	10.000 Konut
Diğer Yerleşim Birimleri	27.000 Konut
Toplamı	
Ara Toplam(Konut Isıtması)	1 Milyon Konut
Termal Tesis ve Sera Isıtması	250000 Konut
	Eşdeğeri*
	1.250.000 Konut**
Genel Toplam	Eşdeğeri (10000 MWt)
Doğalgaz/ Kalorifer yakıtı	2800000 Ton/Yıl (2.7
Eşdeğeri	Milyar ABD\$/Yıl)

* Sera ve termal tesis ısıtmasına uygun jeotermal ısı potansiyeli esas alınmıştır.

** 100 m² taban alanı 1 konut eşdeğeri olarak alınmıştır.

Türkiye’de jeotermal enerji ile ısıtılacak potansiyel yerleşim birimlerinin toplamının meydana getirdiği 1 Milyon konutluk kapasite, sadece şehir ısıtmasına yöneliktir. Sera ve kaplıca ısıtma, soğutma, endüstriyel kullanım, mineral üretimi, balık üretimi v.b. için kullanılan enerji bu değer dışındadır (<http://www.jeotermaldernegi.org.tr/>).

Güncel uygulamalarda jeotermal kaynakların ısıtmada kullanımı 103.000 konut eşdeğerine ulaşmıştır (www.dektmk.org.tr).

3.8.1.2 Sera ısıtması

Dünyada 12 bin dönüm, Türkiye’de ise yaklaşık 3.000 dönüm jeotermal sera vardır. Şanlıurfa’daki 424 dönümlük jeotermal seradan Avrupa’ya ihracat yapılmaktadır. 2010 yılı itibariyle Türkiye jeotermal sera ısıtmasında dünya lideri olmuştur.

Türkiye’de başlıca jeotermal seracılık yapılan yerler ve alanlar aşağıdaki çizelgede yer almaktadır.

Çizelge 3.5 : Türkiye’de Sera Kullanımı Mevcut Durum (Ocak, 2011)
(www.mta.gov.tr).

Yer	Sera Alanı (Dekar)	Tahmini Güç (Mwt)
Afyon	50	9,80
Aydın - Gümüşköy	60	11,76
Balçova – İzmir	17	3,33
Dikili - İzmir	880	117,60
Gölemezli - Denizli	110	21,56
Kırşehir	50	9,80
Kızılcahamam – Ankara	0,5	0,10
Kozaklı - Nevşehir	67	13,3
Salihli - Manisa	250	49
Sandıklı – Afyon	81,5	15,97
Sarayköy (Tosunlar + Kızıldere)	152,8	29,94
Simav – Eynal – Kütahya	310	60,76
Sorgun - Yozgat	15	2,94
Urfa	170	33,32
Yenicekent - Denizli	53,4	10,47
Toplam	2267,2	444,34

3.8.2 Jeotermal elektrik potansiyeli

Türkiye’nin jeotermal elektrik potansiyeli 2000 MWe olarak hesaplanmıştır. Avrupa Birliği’nin uyguladığı 15 Euro Cent/kwh elektrik satın alma tarifesini Türkiye’de

uygulandığı takdirde, yani jeotermal elektrik teşvik edildiği takdirde yapılan global hesaplamalara göre jeotermal elektrik kurulu gücü 2000 MWe'yi geçebilecektir. Çünkü bu durumda 100°C ve üstündeki jeotermal sahalardan elektrik üretimi ekonomik olarak uygun olacak ve bu durumda da üretilen jeotermal elektriğin değeri yılda 16 Milyar kWh'i bulabilecektir.

Çizelge 3.6 : Türkiye’de Jeotermal Elektrik Üretimi Mevcut Durum
(www.mta.gov.tr).

Jeotermal Alan	Sıcaklık (°C)	Durum
Manisa- Alaşehir - Kavaklıdere	287,5	MTA tarafından ihale edilecek
Denizli – Kızıldere	200 - 242	15 Mwe ve 6,85 Mwe kurulu güç (ihale edildi)
Aydın - Germencik	200 -232	47,4 Mwe kurulu güç
Aydın – Pamukören	188 - 200	MTA tarafından ihale edildi
Kütahya – Şaphane	181	MTA tarafından ihale edilecek
Çanakkale – Tuzla	174	7,5 Mwe kurulu güç
Aydın - Salavatlı	171	7,95 Mwe ve 9,5 Mwe kurulu güç
Kütahya – Simav	162	Doğrudan Kullanım
İzmir – Seferihisar	153	3,2 Mwe projelendirilmiş
Aydın - Umurlu	155	4,85 Mwe projelendirilmiş
Manisa – Salihli - Caferbey	150	15 Mwe projelendirilmiş MTA tarafından ihale edildi
Aydın - Sultanhisar	145	MTA tarafından ihale edildi
Aydın – Yılmazköy	142	MTA tarafından ihale edildi
Aydın – Hıdırbeyli	143	9,5 Mwe projelendirilmiş MTA tarafından ihale edildi
İzmir- Balçova	136	Doğrudan kullanım
İzmir – Dikili	130	Doğrudan Kullanım
Aydın – Nazilli	127	MTA tarafından ihale edildi
Aydın – Atça	124	9,5 Mwe projelendirilmiş MTA tarafından ihale edildi

Dünyada jeotermal zenginliği ile yedinci sırada yer alan Türkiye, jeotermal potansiyeli ile toplam elektrik enerjisi ihtiyacının % 5’ine kadar, ısıtmada ısı enerjisi ihtiyacının %30’una kadar karşılayabilecek potansiyele sahiptir. Ancak bunların ağırlık ortalaması alındığında Türkiye enerji (elektrik + ısı enerjisi) ihtiyacının %14’ünü karşılamaya taliptir.



Şekil 3.18 : Germencik-Ömerbeyli Jeotermal Enerji Santrali
(Karaman,2009).

Türkiye’ de elektrik üretimine uygun sahalar

Ülke genelinde yaygın olan bu enerji kaynağına yönelik günümüze kadar yapılan çalışmalar sonucunda Dünya standartlarına uygun olarak düşük (20-70°C), orta (70-150°C) ve yüksek (>150°C) sıcaklıklı olmak üzere 173 adet jeotermal saha keşfedilmiştir.

Çizelge 3.7 : Türkiye’de elektrik üretimine uygun sahalar ve potansiyelleri (MTA,2008).

Jeotermal Alan	Sıcaklık (°C)	2013 Potansiyeli (Mwe)
Denizli-Kızıldere	200-242	85
Aydın-Germencik	200-232	130
İzmir-Balçova	136	5
İzmir-Dikili	130	30
Çanakkale-Tuzla	174	80
Aydın-Salavatlı	171	65
Kütahya-Simav	162	35
İzmir-Seferihisar	153	35
Manisa-Salihli-Caferbey	150	20
Aydın-Sultanhisar	145	20
Aydın-Yılmazköy	142	20
Aydın-Hıdırbeyli	143	10
Aydın-Atça	124	5
Manisa-Alaşehir-Kavaklıdere	213	30
Aydın-Umurlu	155	25
TOPLAM: 15 ADET SAHA		600

Çizelge 3.7’de görüldüğü gibi Türkiye’de bulunan jeotermal sahalar Bu sahalardan Denizli - Kızıldere Sahası (242 °C), Aydın – Germencik - Ömerbeyli Sahası (232 °C), Manisa-Alaşehir-Kurudere Sahası (184 °C), Manisa-Salihli - Göbekli Sahası (182 °C), Çanakkale- Tuzla Sahası (174 ° C), Aydın-Salavatlı Sahası (171 °C), Kütahya-Simav Sahası (162 °C), İzmir- Seferihisar Sahası (153 °C), Manisa- Salihli-Caferbey Sahası (150 °C), Aydın-Yılmazköy Sahası (142 °C), Aydın – Sultanhisar (145 °C), İzmir-Balçova (136 °C) ve İzmir-Dikili Sahası (130 °C) içerdiği akışkan sıcaklığına göre elektrik üretimine uygundur.

3.8.3 Endüstriyel uygulamalar

Kızıldere’de jeotermal akışkandan 120.000 ton/yıl karbondioksit üretimi yapılmakta, Gönen’de deri tabaklama, Kızıldere-Sarayköy’de yün ağartmada yararlanılmaktadır.

3.8.4 Termal turizm

Balçova, Yalova, Afyon-Ömer-Sandıklı, Gönen, Haymana, Havza ve Bolu’da yapılmış modern tesislerde jeotermal kaynaktan yararlanılarak söz konusu hizmetler verilmektedir.

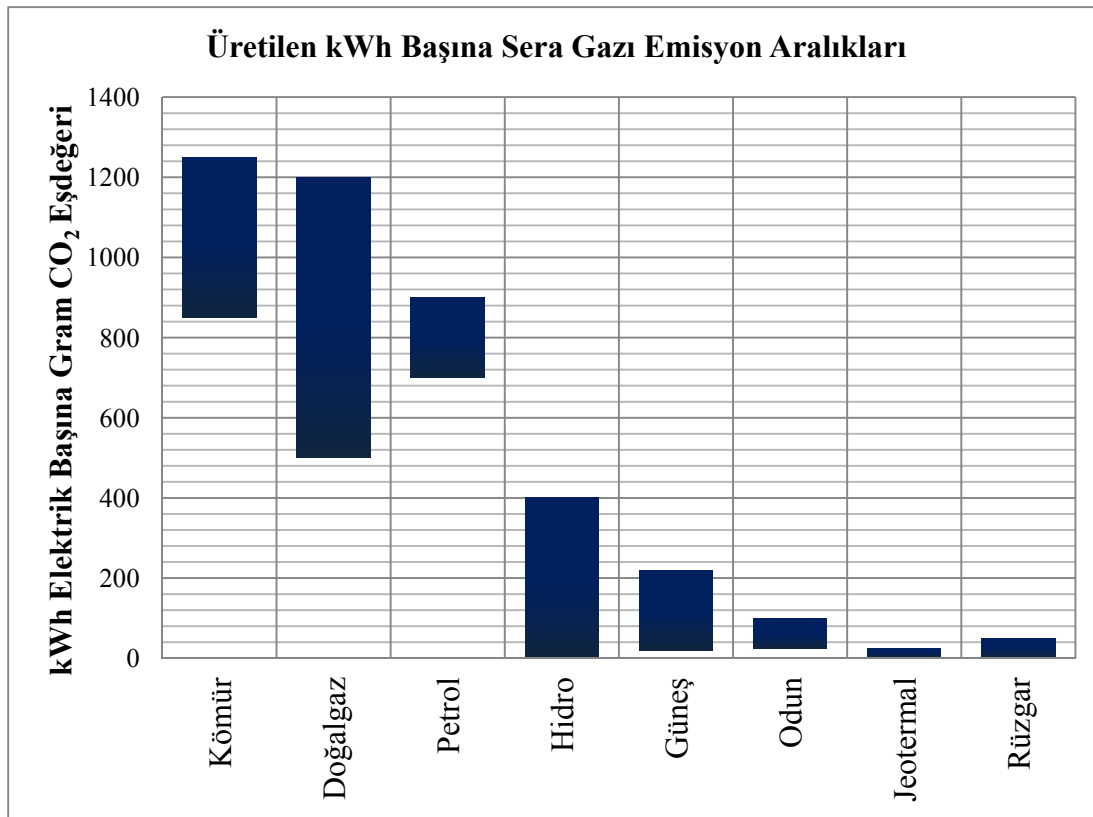
Kaynak zenginliği açısından dünyada ilk 7 ülke arasında yer alan Türkiye’nin termal suları, hem debi ve sıcaklıkları hem de çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleri ile Avrupa’daki termal sulardan daha üstün nitelikler taşımaktadır. Ülkemizde debileri 2-500 lt/sn arasında değişen 1300 dolayında termal kaynak bulunmaktadır.

Türkiye’de, 350 adet kaplıcadan yılda 16 Milyon kişi birçok hastalığın tedavisinde, rehabilitasyon ve dinlenme (tatil) amaçlı olarak faydalanmaktadır. Türkiye’de yılda 10 milyon kişi kaplıcalara gitmektedir.

3.9 Jeotermal Enerji ve Çevre İlişkisi

Jeotermal enerji kaynakları tamamen yenilenebilir ve tükenmeyen enerji ve tamamen çevreci bir enerjidir. Çok yüksek bir verimle (%95’in üzerinde) istenilen enerji türüne dönüşebilmesi de bu enerjinin kullanılmasını cazip kılmaktadır. Ayrıca herhangi bir çevresel kirliliğine ve radyasyona sebep olmaması, kullanımda hiçbir risk faktörü olmadığından (patlama, yangın, zehirlenme v.b.) oldukça güvenilir olması, kurulum ve işletim maliyetlerinin ucuz olması gibi sebepler bu enerji kaynaklarına yönelimde öncelikli sebeplerdendir (<http://www.yenilenebiliriyasam.com/>).

Jeotermal enerji, fosil yakıtlarının tüketimi ve bunların kullanımından doğan sera etkisi ve asit yağmurları gibi çevre sorunlarının önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Jeotermal enerjiye dayalı modern jeotermal elektrik santralleri ve jeotermal merkezi ısıtma sistemlerinde fosil yakıt kullanılmadığından karbondioksit (CO₂) (kömür ve petrol santralleri 1000-2000 kez daha fazla üretir), azotoksit (NO_x), sülfüroksit (SO_x) gazlarının atmosfere salınımı çok düşük olduğundan temiz bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Buhar santralleri çoğunlukla buhar emisyon eder. Binary cycle santralleri kapalı sistem olduğundan herhangi bir gaz atmosfere salınmaz.



Şekil 3.19 : Enerji kaynağına göre emisyon miktarı çizelgesi
(Kalkınma Bakanlığı, 10ncu Kalkınma Planı (2014-2018)).

Jeotermal enerji ile yapılan ısıtma, elektrik üretimi vb. gibi uygulamalarda, hiçbir atık çevreye ve atmosfere atılmamaktadır. A.B.D. Enerji Bakanlığı'nın verilerine göre sera etkisi yaratan Karbondioksit emisyonu:

Kömürde;	900 - 1300 g/kWh,
Doğalgazda;	500 - 1250 g/kWh,
Güneş enerjisinde;	20 - 250 g/kWh,
Rüzgar enerjisinde;	20 - 50 g/kWh,

Jeotermal enerjide**20 - 35 g/kWh' dır.**

(Kalkınma Bakanlığı, 10ncu Kalkınma Planı (2014-2018)).

Şekil 3.19'da enerji kaynağına göre emisyon miktarları görülebilir. Buradan da görülebileceği gibi çevre dostu jeotermal enerjinin emisyonu en azdır.

Temiz olmasının yanısıra bir jeotermik enerji santralının kurulması, akaryakıtla çalışan santrale nazaran % 35 - % 25; nükleer santrale nazaran % 50 daha ucuza mal olur. Ayrıca jeotermal santralin işletme maliyeti termik veya nükleer santrallara nazaran daha az olup, hemen hemen hidroelektrik enerji santrallerinki kadar düşüktür(<http://www.yenilenebiliriyasam.com/>).

Türkiye gibi jeotermal enerji açısından şanslı ülkeler için bir özkaynak teşkil eden jeotermal enerji yerel niteliği nedeniyle ithalinin ve ihracının uluslar arası krizler, savaşlar gibi faktörlerden etkilenmemesi de bir diğer yararı olarak söylenebilir.

4. GEOTERMAL ISI DEĞİŞİM SİSTEMLERİ

Jeolojik ve tektonik süreçlere bağlı olarak yeryüzünün bazı kesimlerinde yerin yüzeyinde ya da yüzeye yakın kesimlerinde ulaşılabilir derinliklerde geotermal kaynaklar mevcuttur. Bu kaynaklar düşük (20-70°C), orta (70-150°C) ya da yüksek (>150°C) sıcaklıklı olabilmektedir. Özellikle yüksek sıcaklıklı geotermal enerjiden elektrik üretilmektedir. Jotermal enerjiden ısıtma ve soğutma amacıyla yararlanmak için 50°C alt sınır olarak alınmakta ve bu değerin altındaki sıcaklıklar verimli ve ekonomik kabul edilmemektedir. Sıcaklık için bu sınır değeri kabul edildiğinde, Türkiye’de konut ısıtmacılığına uygun 92 adet geotermal saha bulunmaktadır (http://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/def1713ebf17722_ek.pdf).

Bu çerçeve içinde kalındığında geotermal enerjinin kullanımı ve kullanım alanı oldukça sınırlı kalmaktadır. Oysa, yeryüzü üzerinde her noktada belirli bir derinlikten sonra mevsimsel sıcaklık değişimlerinden bağımsız ve sabit bir sıcaklık vardır. Bu sıcaklık değeri kış mevsiminde ortalama hava sıcaklığından daha fazla, yaz mevsiminde ise daha azdır.

Zeminin termal sıcaklığından yararlanmak amacıyla ısı pompaları kullanılmaktadır (Toprak Kaynaklı Isı Pompaları). Kullanılan ısıtma ve soğutma sistemlerine karşı bir seçenek oluşturan ısı pompaları; kullandığı ısı kuyusunun adıyla adlandırılırlar. Bu bölümde ısı pompaları, çeşitlerinden bahsedilmiştir.

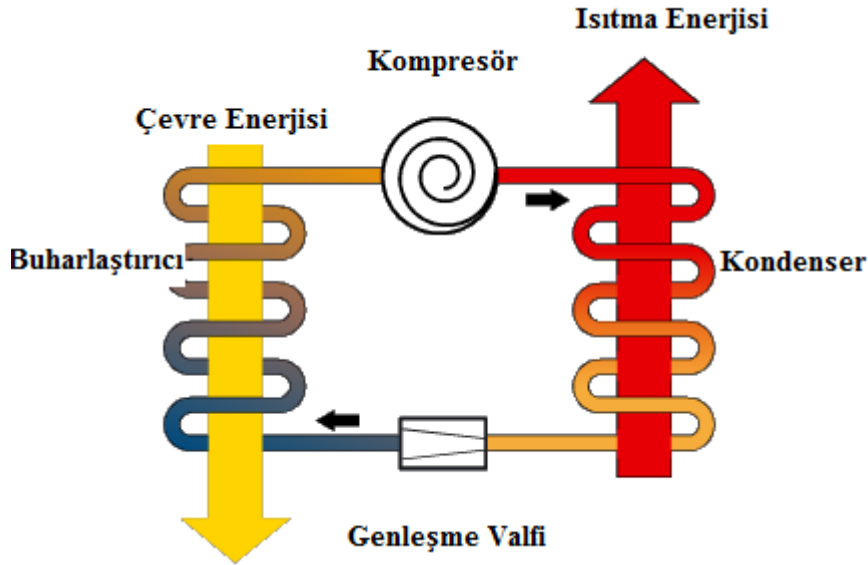
Günümüzde hakim olan perspektif ise zeminle temas halinde olan her türlü yapı elemanı kullanılarak geotermal enerjiden yararlanılabileceği yönündedir. Betonun termal iletkenliğinin ve ısı kapasitesinin yüksek olması nedeniyle mevcut betonarme yapı elemanları doğrudan kullanılabilir. Bu bölümde sığ jeotermal enerjiden günümüze kadar gerçekleştirilen ve verimliliği ispatlanmış çeşitli uygulamalardan bahsedilecektir.

4.1 Isı Pompası

Gerek sanayide ve gerekse günlük yaşamda ısıtma ve soğutmanın önemi ve bu amaç ile sarf edilen enerjinin toplam enerji tüketimi içindeki payının yüksekliği,

araştırmaların enerji kullanımında verimliliğin artırılmasında ve güneş enerjisinden atık ısıya kadar geniş bir yelpaze içerisinde çeşitli kaynakların değerlendirilmesinde yoğunlaşmasına neden olmuştur.

Isı pompası basit olarak ısı enerjisini bir ortamdan diğer bir ortama taşıyan ve elektrikle beslenen bir sistemdir. Bilindiği üzere enerji vardan yok, yoktan var edilemez, sadece ya biçim değiştirir ya da bir yerden bir yere taşınır. Isı pompası da adını, ısı enerjisini bir ortamdan diğer bir ortama “pompalama” veya “taşıma” kabiliyetinden alır. Örneğin, dalgıç pompalar nasıl suyu retmiyorlarsa, ısı pompaları da ısıyı üretmeyip sadece taşırlar. Dalgıç pompalarının su pompalaması için bir su kaynağına daldırılmalarına benzer olarak, ısı pompaları da yeryüzünde bir enerji kaynağına temas etmedikleri sürece ısıyı taşıyamazlar.



şekil 4.1 : Isı pompası çevrimi (<http://www.belgeler.com/>).

Isı geçişinin her zaman sıcaklığın azaldığı yönde yani, başka bir deyişle ısı geçişi yüksek sıcaklıktaki ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama olur. Bu olgunun tersi kendiliğinden gerçekleşemez. Düşük sıcaklıktaki bir ortamdan yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı geçişi ancak ısı pompalarının kullanımıyla gerçekleşebilir. Isı pompaları, soğutma çevrimini esas alarak çalışır. Soğutma çevriminde kullanılan akışkana soğutucu akışkan denir. Bu akışkan farklı makinelerde, kullanım yerine göre değişiklik gösterebilir. Her bir farklı akışkanın birbirlerine göre kullanım avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır.

Asıl amacı, ısının bir yerden başka bir yere transferini gerçekleştiren organ olarak bilinen ısı pompası ve soğutma sistemlerinin mekanik olarak elemanları aynıdır. Aralarındaki tek fark kullanım amaçlarından kaynaklanmaktadır. Isı pompasının amacı, ısıtma aylarında düşük sıcaklıktaki ısı kaynağından ısıyı alarak yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağına ulaştırmak ve kaynağın ısıtmasını sağlamaktır.

Isı pompası, elektrikle ısıtmaya nazaran avantajlı olması ve şehirlerin en büyük dertlerinden biri olan çevre kirlenmesine sebep olmamasıyla, konutların ısıtılmasında geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Ayrıca ısı pompasının birçok sanayide uygulama alanları mevcuttur.

Gerekli şartlar sağlandığında yüksek miktarlarda enerji düşük maliyetlerle kullanıma sunulabilir. Evlerimizdeki buzdolabı, klima, nem giderici ve dondurucular ile ısı pompası aynı mantığın ürünüdürler. Çalışma prensibi ısıyı taşıma mantığına uyduğundan “ısı pompası” başlığı altında toplanabilirler. Bütün ısı pompaları aynı prensiple çalışırlar. Elde edilen ısı, soğutma işleminin bir sonucudur. Evlerdeki buzdolabını ele alacak olursak; Buzdolaplarında yiyeceklerin bulunduğu iç ortam soğuktur ve arkasındaki borular oluşan ısıyı ortama bıraktıklarından sıcaktır. Buzdolabı içindeki yiyecekleri ve dolabın içindeki havanın ısınıp alan akışkan, buzdolabının içini soğuturken odaya ısı vermektedir. Buzdolabının arkasındaki boruların her zaman sıcak olmasının sebebi budur. Buzdolabının yapısındaki kompresör dolabın içinden aldığı enerjiyi 3-4 kat arttırarak, ısı olarak arka tarafa iletir. Asıl amaç soğutma olduğu halde, soğutma işleminin sonucu olarak ısı açığa çıkar. Isı pompası enerji aldığı kaynağı ısıtma konumunda çalışırken soğutur, serinletme yaparken ise ısıtır. Yani her zaman bir ortam soğutulurken, başka bir ortam ısınır.

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 tamamlaması için yapılması zorunlu bir işlemdir fakat amaç değildir.

Isı pompasında amaç bir ortamı ısıtmak iken soğutma tesislerinde amaç ortamı soğutmaktır. Isı pompası, dışarıdan aldığı elektrik enerjisi ile düşük sıcaklıktaki bir ortamdan aldığı ısıyı yüksek sıcaklıktaki ortama veren bir makinedir. Kışın ısıtma

amacı ile kullanılan ısı pompası, yazın da soğutma amacı için kullanılabilir. Isı pompası ısı akış yönü itibarıyla termodinamiğin sıfırıncı yasasına aykırı düşmektedir. Sıfırıncı yasa ısıнын yüksek sıcaklık ortamından düşük sıcaklık ortamına akacağını ifade ederken, ısı pompasında ısı akımı bu ifadenin tamamen tersi bir durumda meydana gelmektedir. Termodinamiğin ikinci kanununa göre düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklığa ısı aktarımı olabilmesi için belli bir iş yapılması gerekir. Bu amaçla genellikle elektrik motoruyla çalışan kompresörler kullanılır (<http://www.belgeler.com/>).

Son yıllarda ülkemizde de adını özellikle konut ısıtma amaçlı olarak sıkça duymaya başladığımız ısı pompası sistemlerinde dış hava, toprak, nehir suyu, göl suyu gibi bir ortam kış şartlarında düşük sıcaklık kaynağı olarak kullanılarak alınan ısı, ısıtılması hedeflenen hacime aktarılmakta; yaz şartlarında ise serinletilmesi hedeflenen hacimden alınan ısı bu sefer yüksek sıcaklık kuyusu olarak görev yapan dış hava, toprak, nehir suyu, göl suyu vb.'ne transfer edilmektedir. Sıcaklık kaynağı veya kuyu olarak kullanılacak ortamın seçilmesi ise iklim şartları, coğrafik yerleşim, ilk yatırım maliyeti gibi pek çok faktöre bağlı olmaktadır.

4.2 Isı Pompası Elemanları

Basit yapısı, geniş çalışma aralığı ve yenilenebilir enerji kaynakları ile entegre olarak kullanılabilmesi sebebiyle son yıllarda gittikçe artan bir ilgiye sahip olan ısı pompaları dört ana elemandan oluşmaktadır:

1. Kompresör,
2. Yoğuşturucu(kondenser),
3. Genişleme vanası,
4. Buharlaştırıcı.

4.2.1 Kompresör

Kompresörler alçak basınçta ve buhar halinde kompresörlerden çıkan havayı yoğuşma sıcaklığına daha kolay gelebilmesi için sıkıştıran elemanlardır. Dört tip kompresör vardır;

- Pistonlu kompresörler
- Rotatif (dönel) kompresörler
- Turbo (santrifüj) kompresörler

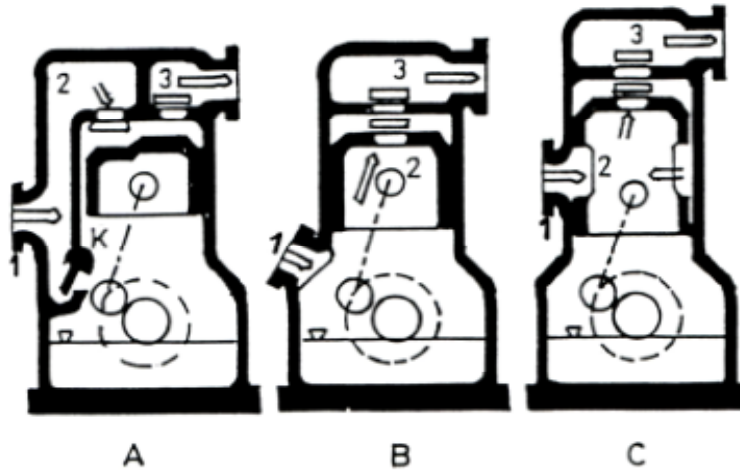
- Vidalı kompresörler

Kompresörler genellikle elektrik motoru yardımıyla tahrik edilmektedir (<http://www.gurselgunacar.com/>).

4.2.1.1 Pistonlu kompresörler

Pistonlu kompresör sisteminde kompresör içerisinde bulunan piston yardımıyla sıkıştırma işlemi yapılır. Bu işlemi yapabilmesi için kompresör gücünü elektrik motoru yardımıyla almaktadır. Kompresörler kullanım alanlarına göre çeşitlilik göstermektedir bunlardan yatay ve dikey olarak bahsedilebilir. En çok kullanım alanı içerisinde olan kompresör çeşitleri dikey tipli olanlardır. Dikey tipin kullanılmasındaki gerekçe daha az yer kaplaması, daha ucuza mal olmaları ve devir sayılarının daha fazla olmasıdır. Yatay tipler dikey tiplerin tam tersine özelliklere sahiptir.

Basma ve emme kısımlarındaki basınç oranı 5'in üstünde olduğu zaman kademeli pistonlu kompresörler yapılmaktadır. Bu kompresörler kademeli pistonlu veya çok silindirli olabilirler (Patlar, 2006).



Şekil 4.2 : Çeşitli kompresör tipleri (Patlar, 2006).

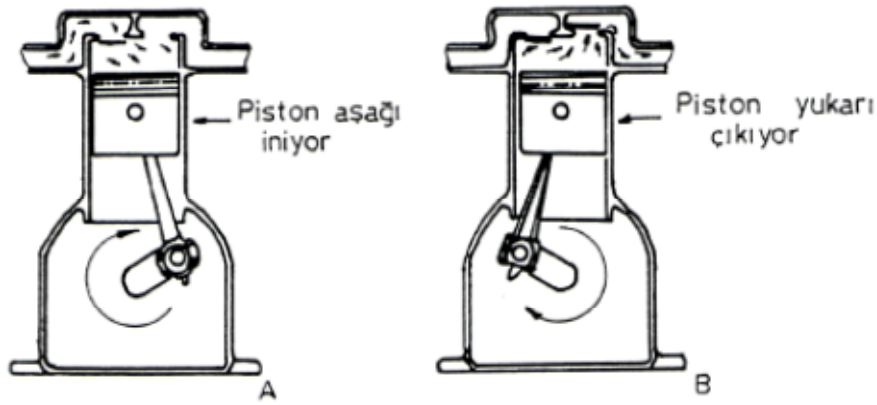
Şekil 4.2’de A tipi dönüşlü, B ve C tipleri ise doğru akımlı kompresörleri göstermektedir. Dikkat edilirse A tipinde emme sübabından emilen buhar halindeki soğutucu akışkan silindir içerisinde bir dönme yapmakta ve tekrar basma sübabından basınçla çıkmaktadır. Halbuki B ve C tiplerinde ise silindir içinde bir yönde akmaktadır. Bu sebeple pistonlu kompresörleri soğutucu akışkanın hareketine göre;

- Doğru akımlı

- Dönüşlü akımlı

olmak üzere sınıflandırmak mümkündür.

B tipinde yağ soğutucu akışkan ile birlikte kompresörden çıkar ve yağ ayırıcı iyi değilse bütün devreyi dolaşır. A tipinde her iki sübap da silindirin üst kısmındaki sübap bloğuna konulmuştur, emiş kısmındaki K borusu yoluyla yağ alt kısma akar. Bu tip genellikle yağ ile çabuk karışarak sürükleyen soğutucu akışkan kullanan tesislerde tercih edilir (Patlar, 2006).



Şekil 4.3 : Pistonlu kompresörlerin çalışma çevrimi (Patlar, 2006).

Şekil 4.3'te A kısmında görüldüğü gibi piston silindir içinde aşağıya doğru inerken silindirin içerisindeki basıncı emme hattındaki basıncın altına düşürür. Bu basınç farkı emme sübabını açar ve soğutucu akışkan silindire girer. Bu arada basma hattındaki basınç silindir içerisindeki basınçtan büyük olduğu için basma sübabını kapalı tutar.

B kısmında görüleceği üzere piston yukarıya doğru çıkarken sıkıştırma işlemini gerçekleştirir. Bu sırada silindir içindeki soğutucu akışkan buharının basıncı büyük ölçüde artar. Silindir içindeki yüksek basınç bu kez emme sübabını kapalı tutar. Silindir içerisindeki basınç basma hattındaki basıncı aştığı zaman basma sübabı açılır ve yüksek basınçlı soğutucu akışkan buharı basma hattına girer. Basma hattı da soğutucu akışkanı yoğuşturucuya iletir. Böylece kompresör, çevrimdeki görevini tamamlamış olur (Patlar, 2006).

4.2.1.2 Rotatif (dönel) kompresörler

Rotatif kompresörler pistonlu kompresörlerden farklı olarak ileri-geri hareketine karşılık dönel hareket yaparlar buda pistonlu kompresörlere göre daha fazla devirde

dönmelerini sağlamaktadır. Daha sessiz ve hafif olmalarına rağmen, imal edilmeleri bir o kadar zordur.

4.2.1.3 Turbo (santrifüj) kompresörler

Bu kompresör tipi diğer pistonlu, dönel kompresörlerin pozitif sıkıştırma hareketleri yerine santrifüjlü sıkıştırma hareketi yapmaktadır.

Turbo kompresörlerde emme tarafı ile basma tarafı arasındaki basınç farkını sağlamak için önce emilen soğutucu akışkan buharına bir hız (kinetik enerji) verilir ve sonra bu hız basınca (potansiyel enerji) dönüştürülür. Bu dönüştürme işlemi sırasında kayıplar olur ve basma tarafı basıncı yükseldikçe bunlar daha da artar. Bu nedenle, turbo kompresörlerde basma basıncının (yoğuşma basıncının) mümkün olduğu kadar emişten az bir farkla oluşması istenir. Bu yüzden yoğuşma basıncı düşük olan soğutucu akışkanlar (F11 ve F113 gibi) turbo kompresörler için uygun olmaktadır. Ayrıca büyük molekül ağırlığı olan F11, F21 ve F114 gibi soğutucu akışkanlar da turbo kompresörler için uygundur.

4.2.1.4 Vidalı kompresörler

Dişli kompresörler F-12, F-22, F-502 ve amonyak gibi çok kullanılan yüksek yoğuşma basınçlı soğutucu akışkanlara uygulanabilirler.



Şekil 4.4 : Vidalı kompresör.

Düzgün (kesintisiz) soğutucu akışkan gaz akışı sağlamaları, emme ve basma sübaplarının bulunmayışı arıza kaynağının ve basınç kayıplarının ortadan kalkması ve diğer tip kompresörlerden daha hafif ve küçük boyutta olmaları dişli kompresörlerin avantajlarını oluşturur (Patlar, 2006).

4.2.2 Buharlaştırıcılar (evaporatörler)

Buharlaştırıcılar soğutulması istenilen ortamdan ısı çekerek ortamın istenilen şartlara ulaşmasını sağlayan elemanlardır. Bu işlem yapılırken ortamdan ısı çeken akışkan burada buharlaşmaya başlar. Soğutucu akışkanın cinsine göre muhtelif malzemelerden yapılır. Genellikle bakır ve çelik borular kullanılır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 : Evaporatör

Buharlaştırıcı şekillerine göre;

- Gövde borulu buharlaştırıcılar
- Koaksiyal buharlaştırıcılar
- Kanatlı buharlaştırıcılar olarak gruplara ayrılırlar.

4.2.3 Yoğuşturucular (kondanserler)

Yoğuşturucular, kompresörden kızgın halde iken üzerine basınç uygulandıktan sonra çıkan akışkan buharının yoğunlaştırıldığı yerdir. Burada soğutma işlemini hava ve su yaptığı için yoğunlaştırıcıları hava soğutmalı ve su soğutmalı gruplar olarak ikiye ayırabiliriz.

Hava soğutmalı sistemlerde yoğuşturucu kanatlı boru sistemine göre yapılır, dışarıda havayla temas eden borular içerisinde soğutucu akışkan bulunmaktadır ve ısı taşınımı bu sistem aracılığı ile yapılır. Hava taşınım katsayısının küçük olduğu için bu sistem genellikle daha küçük alanlarda ve küçük soğutma yüklerinde kullanılır. Bu sisteme en güzel örnek evlerimizde kullandığımız buzdolaplarımız olabilir. Dolabın arkasında açık halde bulunan borulardan geçen akışkan hava ile temasıyla birlikte ısı transferini gerçekleştirir.

Su soğutmalı sistemlerde ise kullanılabilir su varsa ve elektrik enerjisinden tasarruf yapmak isteniyorsa su soğutmalı sistem en kullanışlı hale geçer. Bütün bu soğutma sistemindeki suyun dışarıya nakil edilmesi büyük masraf ve atık sistem yapılmasında sorunlar çıkarabilir. Bu yüzden su kuleleri kurularak suyun devirdaim işlemi yapılması ve suyun tekrar kullanılmasına başvurulmuştur (<http://www.gurselgunacar.com/>).

4.2.4 Expansion (genleşme) valfi

Genleşme valfinin görevi, soğutucu akışkanın basıncını arzu edilen basınç değerine düşüren elemandır. Basınç ayarlayıcı olarak kapiler borular kullanılır ve akışkan miktarını ayarlamak için de belli başlı bazı borular kullanılır.



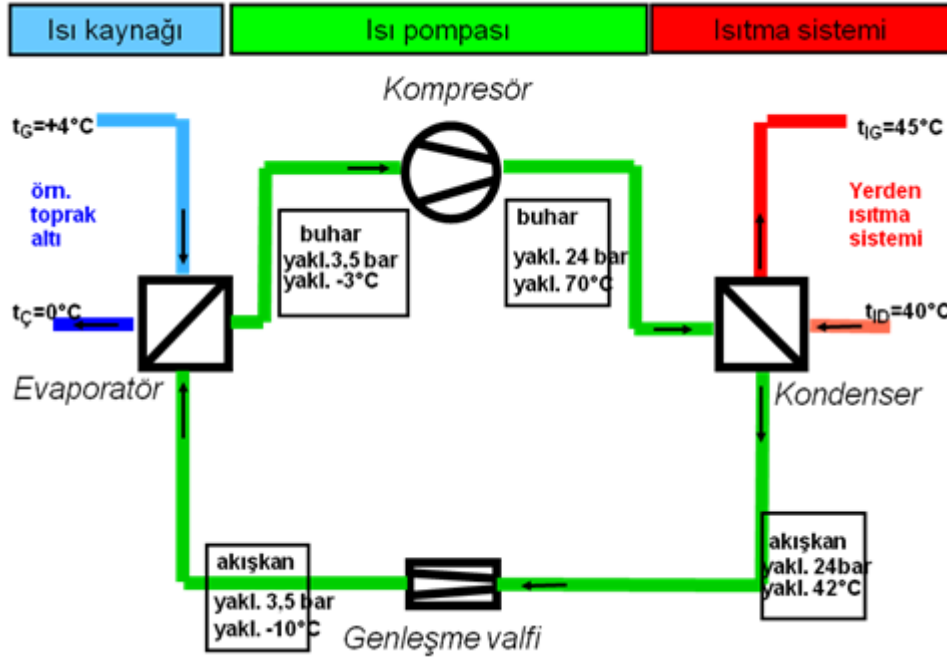
Şekil 4.6 : Genleşme valfi.

4.3 Isı Pompası Çalışma Prensibi

Kaynağı (hava, toprak, su, vb.) ne olursa olsun tüm ısı pompalarının çalışma prensibi temelde Carnot çevrimine dayanır. Bu çevrimde buharlaştırıcı ve yoğuşturucu adını verilen iki adet eşanjör, bir adet kompresör ve genleşme valfi bulunmaktadır. Çevrimdeki dönüşüm bir soğutucu akışkan vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Bu sayılan ana elemanlar yardımı ile ısı pompalarında kullanılan, buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi, aşağıda verildiği gibi özetlenebilir:

Alkol su karışımı ile doldurulmuş polietilen boru ısı çukurundan geçirilir. Sirkülasyon pompası, alkol su karışımını, ısı çukuru ile ısı pompası arasında dolaştırır. Alkol su karışımı, ısı enerjisini ısı çukurundan alır, buharlaştırıcıya transfer eder ve ısı pompasının işletilmesi için gerekli enerjiyi sağlamış olur.

Buharlaştırıcıya aktarılan enerji sayesinde soğutucu akışkan (R407A) buharlaşır ısı pompası soğutucu akışkan, kapalı bir devre içinde ve basınç altında dolaştırılır. Soğutucu akışkan buharlaştırıcıdan gaz halinde çıkarak kompresöre ulaşır.



Şekil 4.7 : Isı pompası çalışma diyagramı

(<http://www.toprakisi.com.tr/>).

Kompresör dışarıdan aldığı enerji ile çevrim içerisinde dolaşan akışkanın sıcaklığını ve basıncını artırır. Sıcaklığı ve basıncı artan bu akışkan yoğurturucu denilen ısı değiştiricide, ısısının büyük bir kısmını, ısıtılması istenen ortama (oda vb.) vererek soğur, yoğurtur ve sıvı faza geçer. Çevrimin devam etmesi için, ısısını verdikten sonra sıcaklığı düşen bu akışkan tekrar kompresöre giriş basıncına düşürülmelidir.

Bunun için genleşme vanasında kompresördekinin tersi bir işlem gerçekleştirilir ve akışkanın sıcaklığı oldukça düşer. Kompresör çıkışındaki akışkan eğer ısısını vermeden genleşme valfine girerse kompresör giriş sıcaklığına geri gelir fakat ısısını verdiği için giriş sıcaklığının daha altında bir sıcaklık değerine düşer. Bu işlem için de bir ısı değiştiricisi kullanılır. Bu ısı değiştiricisinde akışkanın ısısı yükseltilerek buharlaşma yapıldığı için bu ısı değiştiricisi buharlaştırıcı olarak isimlendirilir. Evlerde kullanılan buzdolabı da bu çevrime göre çalışan bir ısı pompasıdır. Dondurucu bölümü buharlaştırıcı, buzdolabının arkasındaki borular ise yoğurturucu görevi görmektedir.

Genleşme valfinde basıncı düşürülen akışkan ve ısı pompası düşük sıcaklıktaki soğutucu akışkan çevrimin başına dönmüş olur. Çevrim, buharlaştırıcıdan çıkan akışkanın kompresöre girmesi ile tamamlanır.

4.4 Isı Pompasının Tarihçesi

Gerçekte bir soğutma çevrimi olan ısı pompası çevriminin temel prensibini Nicolas Léonard Carnot 1824 yılında ortaya atmıştır. 26 yıl sonra 1850 yılında Lord Kelvin'in, soğutma cihazlarının ısıtma amacıyla kullanılabileceğini ileri sürmesiyle ısı pompası uygulamaya girdi. II. Dünya Savaşı'ndan önce ısı pompasının geliştirilmesi ve kullanılır hale getirilmesi için birçok mühendis ve bilim adamı bu alanda araştırmalar ve çalışmalar yaptı. Savaş yıllarında endüstri, imkânlarını daha acil problemlere yönelttiği için ara verilen bu çalışmalara savaştan sonra tekrar başlandı. Isı pompası endüstrisinin 1950'lerde sahip olduğu potansiyel, yüksek kuruluş maliyeti, doğalgaz ve petrole dayanan enerjinin ucuzlaması nedeniyle ısı pompasına olan güven 1960'li yıllarda azaldı. Isı pompalarının bu duraklamadan sonra önem kazanması 1973'teki enerji krizinden sonra olmuş ve bu tarihten sonra birçok çalışma yapılmıştır (wikipedia).

1927 yılında İskoçya'da çalışmalarına başlayan, aynı zamanda ısı pompasının isim babası olan Hadlere bu konudaki yayını 1930 yılında yapmıştır. Avrupa'da ilk büyük ısı pompası, Zürich'te belediye binasının ısıtılması amacıyla 1938 yılında 175 kW ısıtma gücünde dizayn edilmiştir (wikipedia).

Isı Pompası uygulaması için ısı kaynağı olarak toprağın kullanılması fikri ilk defa 1912 yılında İsviçre'de Zoelly tarafından gerçekleştirilen patentle ortaya atılmıştır. ABD'de 1940'lı yılların sonunda ve 1950'li yılların ilk yarısında toprak kaynaklı ısı pompaları konusunda çok sayıda deneysel çalışma yapılmıştır. Toprak kaynaklı ısı pompaları üzerinde ilk teorik ve mühendislik hesaplarına yönelik geliştirmeci çalışmalar 2. Dünya Savaşı'ndan sonra başlamış ve son 10 yıl içerisinde bu konu üzerindeki çalışmalar iyice yoğunlaşmıştır. 1950'lerde önce Ingersoll daha sonra Penrod topraktan borular vasıtası ile ısı çekilmesinin matematik olarak modellenmesi üzerinde çalışmış ve Kelvin Çizgisel Kaynak Teorisi'ni kullanarak topraktaki sıcaklık dağılımlarını iyi bir yaklaşımla elde etmiştir. Son yıllarda Baker' da konutlar için toprak kaynaklı ısı pompaları uygulamalarında, toprak ısı değiştiricilerinin tasarımı üzerinde çalışmış ve yaptığı deneysel çalışmada elde ettiği sonuçların, teorik

olarak elde edilen sonuçlara uygunluğunu göstermiştir. Son yıllarda bu konuda özellikle Amerika Birleşik Devletleri, İsveç ve Kanada'da çalışmalar yapılmıştır. A.B.D'de Bose çeşitli şekillerde yerleştirilmiş yatay toprak ısı değiştiricileri üzerinde çalışmıştır. Bose, toprak kaynaklı ısı pompalarının, güneş enerjisinden kaynak olarak faydalanan ısı pompalarıyla birlikte çalışmalarını da incelemiştir. Yine bu konu üzerinde Avrupa Ekonomik Topluluğu Komisyonu bir fizibilite çalışması yaptırarak, sistemin Kopenhag, Paris ve Marsilya'da uygunluğunu araştırmıştır. Toprağa sabit ısı girişi halinde topraktaki ısı değişimleri ise 1980'den sonra Kalman, Metz ve Parker tarafından değişik zamanlarda incelenmiş ve benzer sonuçlar alınmıştır.

İlk ısı pompalarından biri de Avrupa'da 1938'de Zürih'de kurulmuştur. Bu ünite de ısı kaynağı olarak Limmat Nehri'nin suyu kullanılmıştır. Zürih'de Belediye binasının ısıtılmasını sağlayan bu ısı pompası 175 kW ısıtma gücünde olup, 60°C soğutma (klima) yapabilecek şekilde düzenlenmiştir.

Konut ısıtması amacıyla kullanılan ilk ısı pompalarından biri İngiltere'de Sumner tarafından kendi evinde başarılı bir şekilde kurulmuştur. Başlangıçta ısı, atmosferik çevre havasından çekilmiş ve daha sonra yapılan çalışmalar ile ısı 1 m derinlikteki topraktan çekilmeye başlanmıştır. Bu sistemin ortalama ısıtma tesir katsayısı 2.8'e ulaşmıştır ve sistem günümüzde hala kullanılmaktadır (Sumner, J.A., 1976).

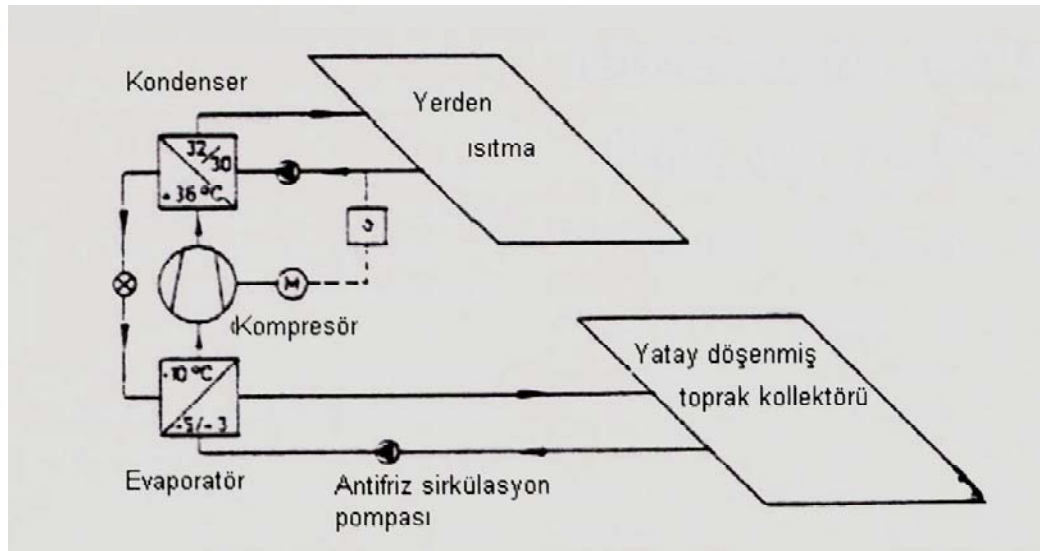
İsviçre'de geliştirilen ilk ısı pompalarından sonra ülkede kömür tüketiminde bir azalma görülmüştür. Bu kurulan ısı pompaları tesisatlarının çoğu 30 yıldan daha uzun süre başarılı bir şekilde çalışmıştır.

Ev tipi uygulamalar için 1950 yıllarında ticari amaçla pek çok küçük ısı pompaları imal edilmiştir. 1950'lerde Amerika ve İngiltere'de, konut ısı pompalarında toprak kaynağının kullanımı ile ilgili çalışmalara başlanmıştır. Baker, 1950-1951 kış ayları boyunca ortalama ısıtma tesir katsayısı 3'ün üzerine çıkan, çift tesirli, toprak kaynaklı bir ısı pompası geliştirmiştir. 1950-1960 yıllarında pompaları, soğuk geçen ısıtma mevsimlerinde zorlu şartlarda çalışmaya uygun olmadıklarından başarısızlığa uğramış ve bu durum ısı pompası endüstrisini çökertmiştir. Bazı ısı pompası uygulamalarında ise kilerden ısı çekerek sıcak su temini gerçekleştirilmiştir. Böylece kilerdeki yiyeceklerin bozulması önlenmiş ve evin sıcak su ihtiyacı karşılanmıştır. Oxford'da yapılan ısı pompasında ise ısı kaynağı olarak düşük sıcaklıktaki lağım

suyu kullanılmıştır. Bu ısı pompasının kompresörü 31 kW'lık bir dizel motoruyla tahrik edilerek, ortalama ısıtma tesir katsayısı 4 civarında olmuştur (Kemler, 1950).

İngiltere'de ilk toprak kaynaklı ısı pompası Griffith tarafından Londra'da inşa edilmiş ve killi toprakta 1.25 m, 1.8 m ve 2.5 m derinliklere gömülmüş bakır yatay boru uygulaması gerçekleştirilmiştir. İngiltere'deki bu çalışmalardan sonra Avrupa'da özellikle İsveç'te bu konudaki çalışmalar 1973 yılındaki OPEC petrol krizinden itibaren yoğunlaşmaya başlamış ve binlerce toprak kaynaklı ısı pompası sistemi inşa edilmiştir.

Almanya'da ise 1981 yılında Von Cube tarafından çelik yatay borulu sistem tasarımı gerçekleştirilmiş ve sistemin yıllık ortalama mevsimlik performansı 3 olarak tespit edilmiştir (Drafz, 1982). Almanya'daki ilk antifriz/su ısı pompası Şekil 4.8' de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 : Almanya'da ilk antifriz/su ısı pompası (Waterkotte, 1972).

Amerika'da imal edilen ilk ısı pompaları, 1940 yılında pazarlanmıştır. Isı pompalarının imalatı, 1952 yılında 1000, 1954'te bunun iki katı, 1957'de on misli olarak gerçekleşmiştir. 1963 yılında imal edilen ısı pompası sayısı 76000 olmuştur. Çoğu Güney Amerika'da kurulmuş olan bu tesisler ile kış aylarında ısıtma sağlayabilecek şekilde kurulan kombine ısı pompaları, klasik sistemlerle rekabet etme imkanına ulaşmıştır. 1973 yılında yaşanan enerji krizinden sonra ısı pompalarına ilgi artarak, 1976 yılında 300,000 adet üretilmiştir. Amerika'da 1978'den sonra inşa edilen binaların %25'inin ısı pompası ile ısıtılması

planlanmıştır. 1980’li yıllarda ısı pompası imalatı bir milyon cihaz/yıl’lık bir kapasiteye ulaşmıştır. Gelişmiş sanayi ülkelerinde, atık ısı kaynaklarından ısı transferi için, ısı pompalarından geniş çaplı olarak yararlanıldığı görülmektedir.

Avrupa ve Amerika’da özellikle 1990’li yıllardan itibaren kullanımı yaygınlaşmaya başlayan ve her geçen gün kullanıcı sayısı artan ısı pompası teknolojisiyle ülkemizin tanışması her konuda olduğu gibi bu konuda da geç olmuş ve ısı pompasının sunduğu bütün avantajlara rağmen hala ciddi sayıda kullanıcı sayısına ulaşamamıştır. Türkiye’de ısı pompası uygulamaları ilk olarak 1990’ların ortalarında gerçekleşmiştir. Fosil yakıtların tükenmekte olması ve her geçen gün bu yakıtların fiyatlarında ciddi artışlar yaşanması ayrıca çevre bilincinin gelişmesi gibi birçok sebepten ısı pompasının çok yakın bir gelecekte ülkemizde de yaygınlaşması kaçınılmaz bir sonuçtur.

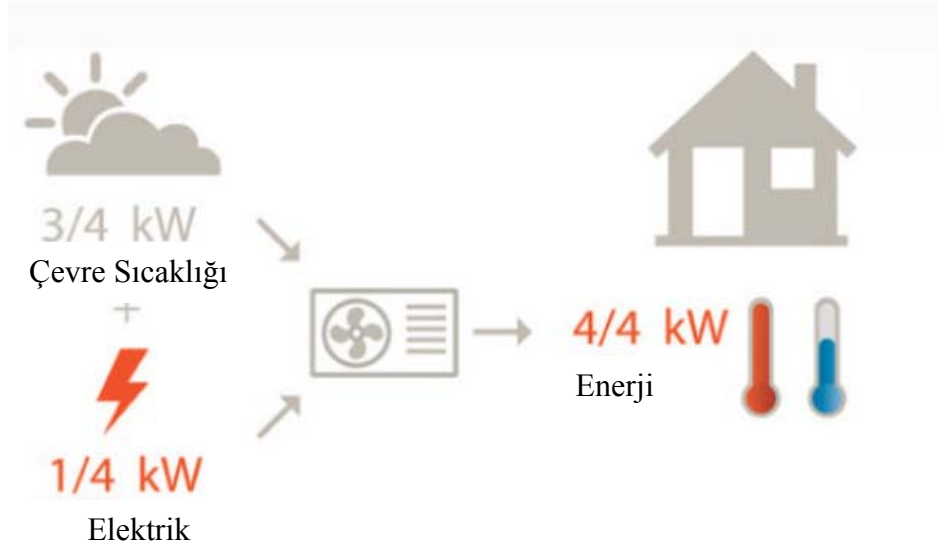
4.5 Isı Pompasının Performansı (Etki Katsayısı EK veya COP)

Isı pompalarının performansı “Coefficient Of Performance” kelimelerinin kısaltması olan COP (Performans Katsayısı) denilen bir faktörle ifade edilir. Türkçe “verim katsayısı” olarak tercüme edilen COP, elde edilen ısı enerjisinin, tüketilen enerjiye oranı olarak özetlenebilir.

Bu terim, ısı pompası gibi, ısıtma verimi veya soğutma veriminin her ikisini belirtmek için kullanılır. Birbirine uygun birimlerde, çekilen ısı miktarının kompresöre verilen enerji miktarına oranı olarak tanımlanır. Başka bir deyişle, cihazın kW soğutma başına ürettiği enerjinin, toplam çektiği enerjiye (kW) oranıdır (Çengel, Y. ve Boles, M. 1996).

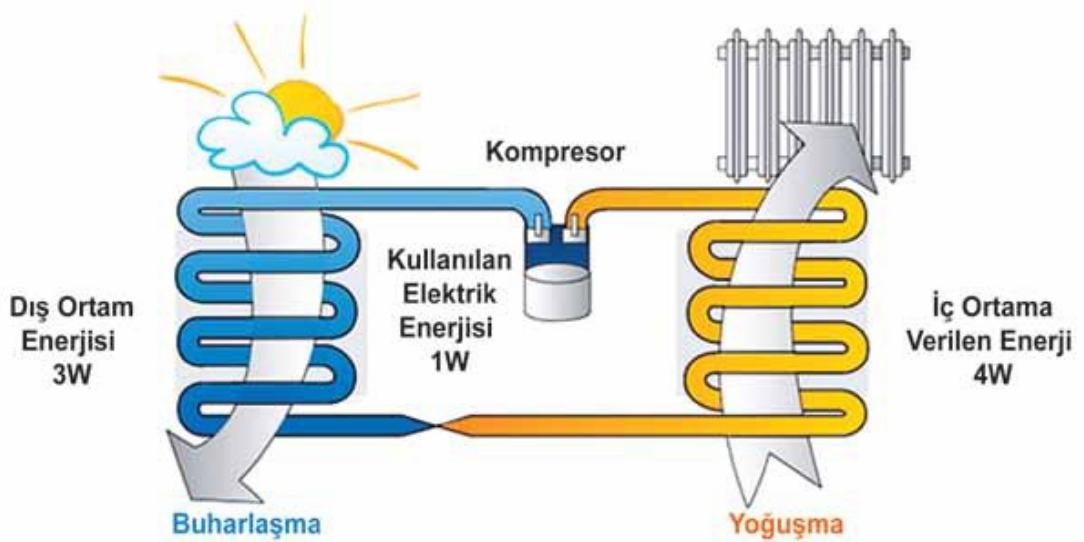
$C.O.P. = \text{Isı Pompasından Elde Edilen Enerji} / \text{Pompa İşletimi İçin Harcanan Enerji}$

Isı pompaları enerjinin büyük bir kısmını (yaklaşık %80) doğal kaynaklardan sağladıkları için az enerji ile daha fazla ısıtma ve soğutma sağlayabilirler. Bu enerji oranı performans katsayısı (COP) olarak adlandırılır. Bir cihazın COP’si ne kadar yüksek ise aynı enerji ile sağlayabileceği ısıtma veya soğutma o kadar fazladır. Örneğin C.O.P. = 4 olmasının anlamı 1 birim elektrik enerjisi sarfedilerek toplam 4 birim enerji elde edilmesidir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 : Isı pompası verim şeması
(<http://www.isipompasicesitleri.com/>).

Verimli bir sistemin COP değerleri tipik olarak 4'e eşittir, yani sisteme girilen her bir birim girdi karşılığında 4 birim enerji elde edilir (Şekil 4.10). Isı pompası veriminin geotermal enerji kullanılarak artırıldığı bu tür sistemler Yer Kaynaklı Isı Pompası (GSHP) olarak adlandırılmaktadır. Isı pompalarının performansı, kullanılan kaynak türüne (toprak, hava, su) ve kullanılan ısı pompasının kalitesine bağlı olarak değişmekle birlikte COP değerleri 3 ile 6 arasında değişmektedir. Japonya'daki COP değerleri 5'in üzerindedir. En iyi ısı pompaları 6.8 COP değerine ulaşmaktadır (wikipedia).



Şekil 4.10 : Isı pompası verim örneği (<http://www.ercankara.net/>).

Mevcut ısı pompalarının elektrik sarfıyatı sıcaklık seviyesi kompresörün çalıştırılma sıklığına ve dolayısıyla dış ortam sıcaklığına bağlıdır. Yani, ısı çevriminin verimi kaynak ile çıkış arasındaki sıcaklık farkına bağlıdır ve bu fark ne kadar az ise ısı pompası verimi o kadar yüksek olacaktır. Yer sıcaklığının yıl boyunca sabit olması da ısı farkının değişken olmamasını ve verimin yüksek olmasını sağlamaktadır.

Gerek ısıtma gerekse soğutma için GSHP sistemi verimi en yüksek olan sistemdir. Soğutma durumunda verim daha yüksek olsa da, özellikle ısıtma durumunda yer kaynaklı enerjinin diğer sistemlere göre avantajı oldukça fazladır (Olgun,2010).

Hava kaynaklı ısı pompalarında, ısıtmada hava sıcaklığı ne kadar düşükse, soğutmada ise hava sıcaklığı ne kadar yüksekse COP bu oranda azalır. Hava kaynaklı ısı pompalarının verimlilikleri doğrudan hava şartlarına bağlıdır. Hava Kaynaklı yani havadan suya ısı pompalarında maksimum COP değeri 4.5 civarındadır (<http://www.isipompasi.net/>). Su kaynaklı ısı pompalarında ise su sıcaklıkları, havaya göre kışın daha sıcak, yazın daha soğuk oldukları için COP diğer ısı pompalarında çok daha yüksektir. Örneğin, Antalya şartlarında hava kaynaklı bir ısı pompasının COP'ı 2,5 ile 3,5 arasında değişirken, su kaynaklı ısı pompalarında bu oran 5 ile 6,5 arasında değişmektedir.

Isı Pompası COP Değerleri;

- * Isı pompası kaynağına bağlıdır. Hava, su yada toprak ısı pompasının kaynaklarıdır.
- * Enerjinin alındığı kaynağın stabilitesine bağlıdır. Hava kaynaklı ısı pompaları ısıtma enerjilerini havadan alırlar, hava sıcaklığı ne kadar değişkense COP değeride o kadar değişkendir.
- * Bina içinde kullanılan ısıtma sistemine bağlıdır. Isı pompalarının dizayn ve test sıcaklığı düşük çıkış suyu sıcaklığına göre yapılır. Isı pompalarının çıkış sıcaklığı test değerlerine göre COP değerleri verilir.
- * Isı pompası dizaynına bağlıdır. Dünyada ısı pompası üreten birçok firma vardır ve bu firmaların dizaynları COP değerini direkt etkiler (www.isipompasicesitleri.com).

4.6 Isı Pompası Amortisman Hesabı

Isı pompası sistemi ile ısıtma, sıcak su ve serinletme çözümü için sistemin amortisman hesabı yapılmalıdır. Amortisman hesabına aşağıdaki adımlar izlenir.

1. Isı pompası toplam maliyeti bulunur.
2. Isı pompası yıllık işletme maliyeti bulunur.
3. Karşılaştırılacak sistemin kurulum maliyeti bulunur
4. Karşılaştırılacak sistemin yıllık işletme maliyeti bulunur.
5. Isı pompası ile karşılaştırılacak sistemin kurulum maliyet farkı hesaplanır.
6. Isı pompası ile karşılaştırılacak sistemin yıllık işletme farkı hesaplanır.
7. Toplam kurulum farkı ile yıllık işletme farkı çıkartılır ve yıllara bölünür. Bu şekilde sistemin amortismanı bulunur.

Isı pompası sistemleri kullanılan kaynağa, sistemin kapasitesine ve karşılaştırılan sisteme bağlı olarak 2 ile 10 yıl arasında kendini amorti eder.

Burada karşılaştırılan yakıtın önemi büyüktür. Doğalgaza göre daha uzun amortisman süresi çıkarken, dökme gaze göre amortisman süresi daha kısadır.

Kurulum farkı - yıllık yakıt tüketim farkı = 1. yıl sonunda ısı pompasına fazladan ödenen bedeldir.

2. yılda sistem :

yakıt farkı - 1.yıl yatırım ve yakıt farkı=kar elde edilir.

4.7 Isı Pompalarında Kullanılan Isı Kaynakları

Isı pompası sistemlerinde, buharlaştırıcıların ısı çektiği ortamlara “ısı kaynakları” denir. Isı pompalarının ısı çektikleri ortam ve ısı attıkları ortam değişik olabilmektedir.

Isı pompalarında başlıca dört kaynaktan yararlanılabilir. Bunlar;

- Jeotermal enerji,
- Hava,
- Su (yerüstü ve yeraltı suları),
- Toprak,
- Güneş enerjisi.

Yukarıda sayılan bu temel ve en çok kullanılan kaynakların yanı sıra, düşük sıcaklıklı jeotermal su kaynaklarından, bir işlem sonucu atılmış atık sıcak veya soğuk sulardan, depolanmış güneş enerjisinden de ısı pompası kaynak olarak faydalanabilir.

Isı pompalarında çevre ısısından faydalanmak için ısı kaynağı olarak toprak, su ve hava kullanılabilir. Bu ortamların tümü güneş enerjisini depoladıklarından güneş enerjisinden dolayı olarak faydalanmış olunur. Bir ısı pompasının teknik ve ekonomik performansı, ısı kaynağının karakteristiğine bağlıdır. Isı kaynağını seçerken;

- Kaynağın bol bulunabilir olması ve coğrafi koşullardan mümkün olduğu kadar az etkilenmesi,
- Mümkün olduğu kadar yüksek depolama özelliği olması,
- Kaynak sıcaklığının fazla değişmemesi,
- Mümkün olduğu kadar yüksek sıcaklık seviyesine sahip olması,
- Yeterli rejenerasyon,
- Düşük ilk yatırım ve işletim maliyetine sahip olması,
- Kaynağın kirli olmaması,
- Korozyona sebep olmaması

Bakımının kolay yapılabilmesi gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır (<http://www.toprakisi.com.tr/>).

Kaynak seçimi yapılırken bölgeye ve amaca göre kaynak seçimi yapılmalıdır. kaynağın olabildiğince stabil olması önemlidir. En stabil kaynak topraktır. Fakat ilk yatırım değeri yüksek olmaktadır. Hava sıcaklıkları ise devamlı değişkendir. Gündüz, gece hatta gün içinde bile çok değişkenlik gösterir. Fakat son yıllarda kompresör teknolojisi ve gazların geliştirilmesi ile ılıman bölgelerde toprak kaynaklı ısı pompaları ile hava kaynaklı ısı pompalarının COP değerleri birbirine çok yaklaşmışlardır.

4.8 Isı Pompası Çeşitleri

4.8.1 Jeotermal ısı pompası

Çok geniş kapsamlı bir enerji kaynağı olan jeotermal enerji aslında, su ve toprak kaynaklarını da kapsar. Bir önceki bölümde de bahsedildiği gibi jeotermal enerji; yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısıнын oluşturduğu, sıcaklığı sürekli 20° C' den fazla olan ve çevresindeki normal yer altı ve yer üstü sularına oranla daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buhar olarak

tanımlanabilir. Yerkabuğunun derinliklerinde var olan bu ısı kaynağı, henüz soğumasını tamamlamamış bir magma kütlesi veya genç bir volkanizma ile ilgilidir. Yerkabuğunun kırık ve çatlaklarından derinlere süzülen meteorik sular bu ısı kaynağıyla ısıtıldıktan ve mineralce zenginleştikten sonra yoğunluk farkı ve basınç nedeni ile yükselirler. Bu sıcak akışkan yerkabuğunun sığ derinliklerinde (100 - 4000 m), üzerinde geçirimsiz örtü kayalar bulunan, gözenekli ve geçirimli hazne kayalarda toplanır (Günerhan, H., Hepbaşlı, A. and Ülgen, K.,2001).

Hazne sıcaklığı 200 °C ve daha fazla olan jeotermal akışkandan elektrik üretimi gerçekleşmektedir. Ancak günden güne gelişmekte olan yeni teknolojilere göre 150 °C' ye kadar düşük hazne çıkışlı akışkandan da elektrik üretilebilmektedir. Ayrıca son zamanlarda buharlaşma noktaları düşük gazlar (Freon, İzobutan vb.) kullanılarak 60-90 °C sıcaklıktaki sulardan da elektrik üretiminde (binary sistem) yararlanma çalışmaları sürdürülmektedir.

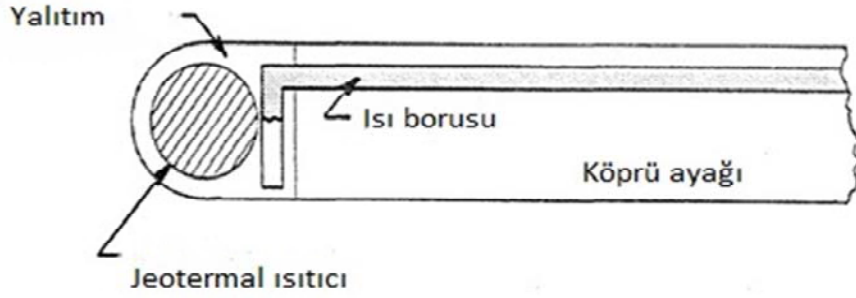
Düşük sıcaklıktaki jeotermal akışkan (30-60 °C) doğrudan ısıtmacılıkta kullanılmaktadır. Yeni geliştirilen ısı pompaları yardımıyla suların sıcaklığı 5 °C' ye düşünceye kadar akışkandan yararlanılabilmektedir. Binaları ve kentleri merkezi sistemle ısıtmada ve de sıcak kullanma suyu olarak (İzlanda, Fransa, Japonya, A.B.D., Türkiye, Yeni Zelanda, Macaristan) 40°C'den fazla sıcaklıktaki jeotermal akışkan kullanılmaktadır.

Macaristan, İtalya, ABD, Türkiye, Japonya, Yeni Zelanda ve İzlanda'da 30 °C' den fazla sıcaklıktaki akışkan kullanılarak seraların ısıtılması sağlanmaktadır. Seraların ısıtılması ile turfanda sebzecilik, meyvecilik, çiçekçilik yapılmaktadır.

Toprak, cadde, havaalanı pistlerinin vb. ısıtılmasında, yüzme havuzu, fizik tedavi merkezleri ve diğer turistik tesislerde İtalya, Japonya, ABD, İzlanda, Türkiye'de kullanılmaktadır.

Buzlanmanın tehlikeli boyutlarda olduğu kuzey ülkelerinde jeotermal kaynakların bulunduğu bölgelerde, jeotermal enerji ısı borularıyla taşınarak buzlanma ile mücadele edilmektedir. Bu bölgede bulunan jeotermal kaynak düşük sıcaklığı nedeniyle donabileceğinden buzlanmanın engellenmesinde direk olarak kullanılmaz. Bu yüzden içindeki iş akışkanı olarak amonyak (NH₃) bulunan ısı borusu kullanılabilir. Isı borusu jeotermal sıcak sudan aldığı ısıyı köprünün ayaklarına ve

yüzeylerine ileterek buzlanmanın engellenmesini sağlar (Swanson, H., 1980; Donnelly, D., 1981).



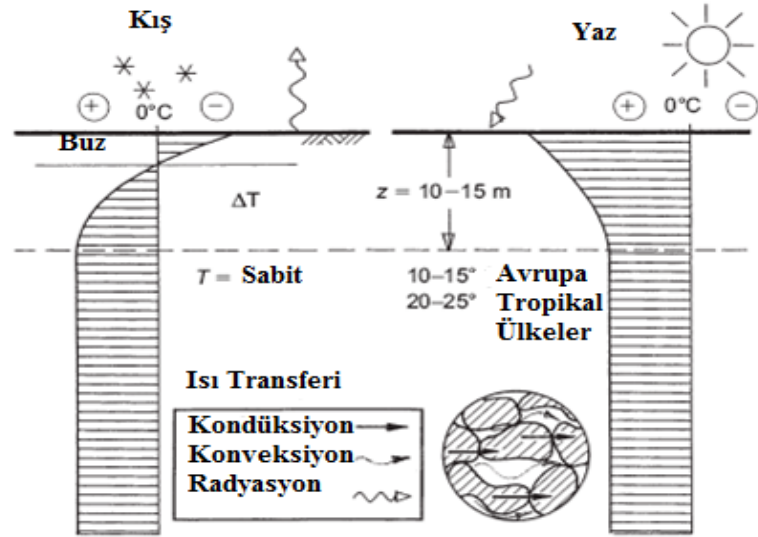
Şekil 4.11 : Jeotermal kaynaklı ısı borusuyla köprü ayağının korunması (Swanson, H., 1980; Donnelly, D., 1981).

Genel olarak 180°C 'nin üzerinde sıcaklığa sahip olan jeotermal akışkanlar enerji üretiminde, $180\text{-}45^{\circ}\text{C}$ arasında olan akışkanlar ve termal sular konut ve sera ısıtmada, $45\text{-}30^{\circ}\text{C}$ arasında olanlar ise banyo ve içme olarak kür ve tedavi amaçlı kullanılır.

4.8.2 Toprak kaynaklı ısı pompası

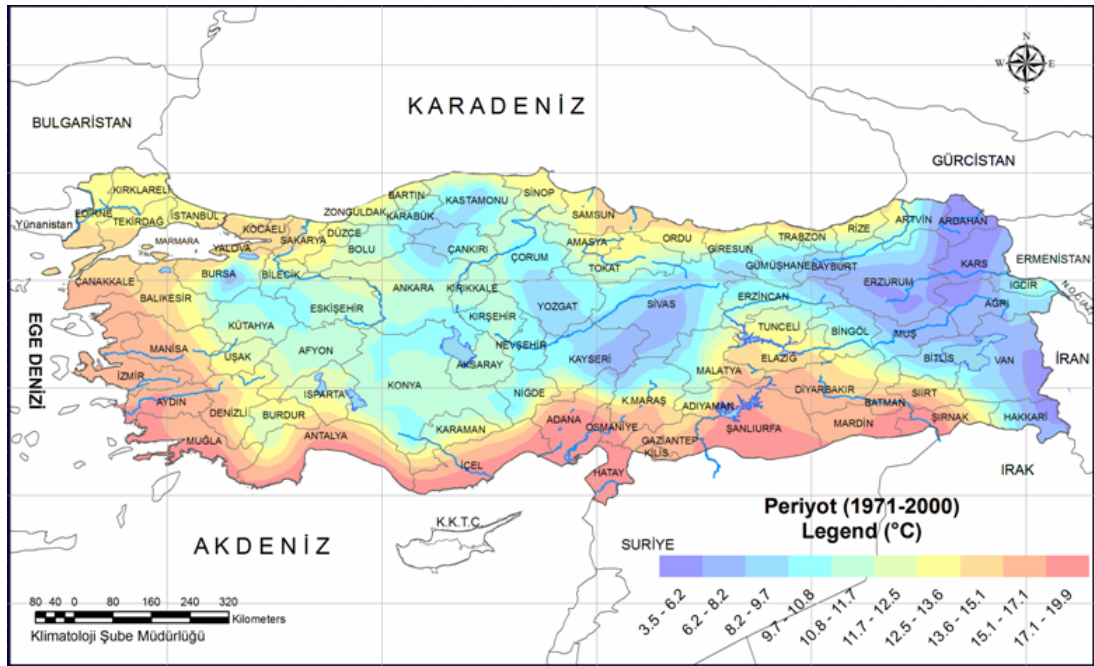
Toprak kaynaklı ısı pompalarında, toprak ısı kaynağı olarak kullanılır. Güneş enerjisi bizim en büyük enerji kaynağımızdır. Fakat, güneş enerjisinin yayılma ve kararsız yapısı nedeniyle doğrudan tutulması pahalı ve güçtür. Büyük bir kütleye sahip olan jeokütle, yeryüzüne ulaşan güneş enerjisinin hemen hemen yarısını bünyesinde barındırır. Dolayısıyla yeryüzü, güneş enerjisini depolayarak soğutma sezonunda dış havadan düşük sıcaklıklara, ısıtma sezonunda ise dış havadan daha yüksek sıcaklıklara sahip bir ısıl enerji olarak karşımıza çıkar. Bu bağlamda; güneş enerjisinin toprakta mevsimlik depolanarak kullanımı bu enerji türünü daha ekonomik hale getirecektir.

Yer, masif (iri) bir yapıya sahip olduğu için, yeryüzüne ulaşan güneş enerjisinin hemen hemen yarısı jeokütlede yutulur ve depolanır. Toprak; ısıtma sezonunda dış havadan daha yüksek sıcaklıkta bir kaynak ve yazın soğutma için, havadan daha düşük bir sıcaklık sağlayarak, tüm yıl göreceli olarak sabit sıcaklıkta kalır (Mcneil, C.S.L. ve Crawford, T.K., 1995). Yeryüzü üzerinde her noktada belirli bir derinlikten sonra mevsimsel sıcaklık değişimlerinden bağımsız ve sabit bir sıcaklık vardır. Bu sıcaklık değeri kış mevsiminde ortalama hava sıcaklığından daha fazla, yaz mevsiminde ise daha azdır.



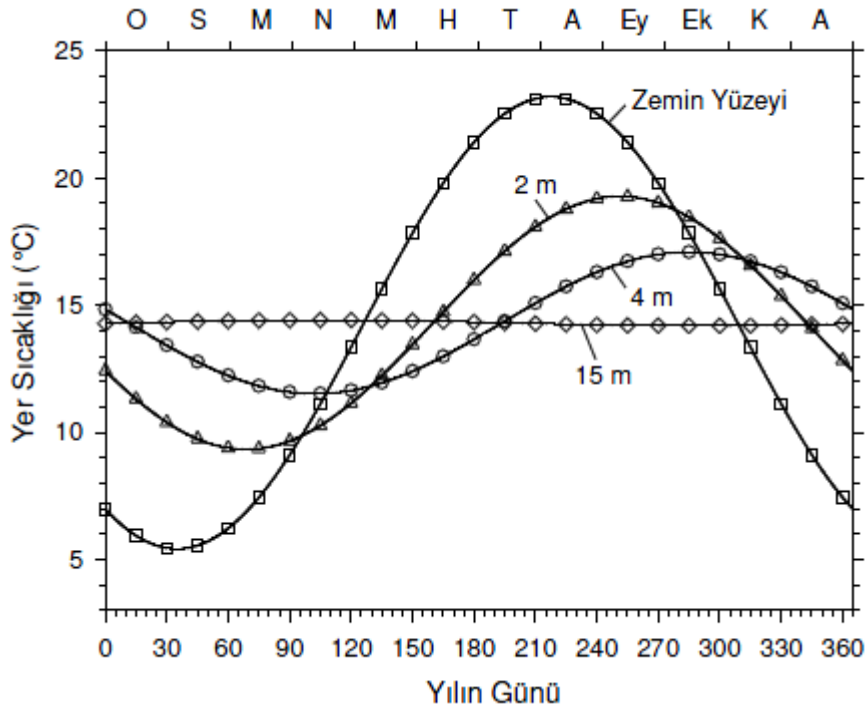
Şekil 4.12 : Derin temellerde Isı iletimi. Zemin sıcaklığı 10 – 15 m derinlikten sonra sabit zemin sıcaklığı (Avrupa’da 10-15 °C, Tropikal Ülkelerde 20 – 25 °C) (Brandl, 2006).

Bölgenin uzun yıllar yıllık sıcaklık ortalaması yer sıcaklığının sabit değerine eşittir. Şekil 4.13’te Türkiye’nin uzun yıllar ortalama sıcaklık dağılımı haritası verilmiştir. Buna göre örneğin İstanbul’da belirli bir derinlikten sonra yer ısısı tüm sene boyunca 12.5-15.1 °C arasında değişmektedir.



Şekil 4.13 : Türkiye Uzun Yıllar Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası.

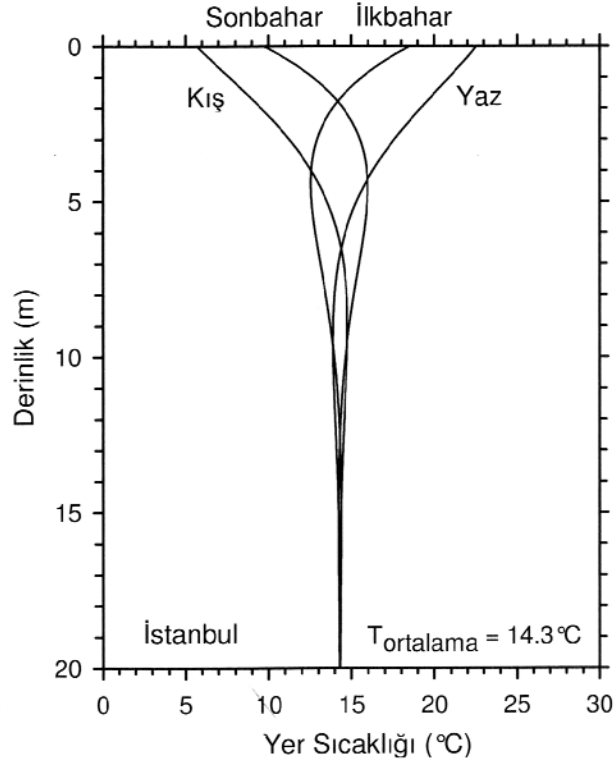
Yer içindeki sıcaklık değişimi yıllık ortalama sıcaklık, mevsimsel sıcaklık değişimi bilgisi ve yerin termal yayılım (difüzyon) özellikleri kullanılarak basit matematiksel modeller yardımıyla güvenilir bir şekilde belirlenebilir. Örneğin İstanbul için hesaplanan farklı derinliklere ait yer sıcaklığı değişimi eğrileri Şekil 4.14'te verilmiştir. Bu şekilde de izlenebildiği gibi yer yüzeyinin sıcaklığı aslında hava sıcaklığını yansıtmakta ve hava sıcaklığının etkisi derinlere gidildikçe azalmaktadır. Farklı derinliklerdeki sıcaklık dalgalanmaları arasında belirgin ölçüde zaman farklarının olması ısının daha derinlerdeki noktalara yayılımının zamana bağlı bir süreç olduğunu göstermektedir. Bu şekil üzerinde ve ayrıca mevsimsel yer sıcaklığının zemin profili boyunca değişiminin yer aldığı Şekil 4.15'te görüldüğü gibi 10 m derinlikten sonra yer sıcaklığı yüzey sıcaklığından etkilenmemektedir.



Şekil 4.14 : İstanbul için farklı derinliklerdeki yer sıcaklığının yıllık değişimi.

Bu zemin sıcaklık profili, İstanbul için yıllık ortalama sıcaklık değeri 14.3°C ile kış mevsimi ortalama en düşük sıcaklık (5.9°C) ve yaz mevsimi ortalama en yüksek sıcaklık (23.5°C) meteorolojik verileri kullanılarak geliştirilmiştir (Devlet Meteoroloji İşleri, 2010). Bu şekilde de izlenebildiği gibi yeryüzeyinin sıcaklığı aslında ortalama hava sıcaklığını yansıtmakta ve yıl içindeki hava sıcaklığı aslında Şekil 4.15'te aynı matematiksel model kullanılarak oluşturulmuştur. Yerin

mevsimsel sıcaklığı zemin profilinin üst kesimlerinde oldukça değişken iken sıcaklıktaki bu dalgalanmalar 6 m derinlikten itibaren oldukça azalmaktadır.



Şekil 4.15 : İstanbul için yer sıcaklığının mevsimsel değişim profili (Olgun, 2010).

Yer sıcaklığının sabit değeri söz konusu bölgenin uzun yıllar yıllık ortalama sıcaklık değerine eşittir (Olgun, 2010). Yer sıcaklığının belirli bir derinlikten sonra sabitleşmesi yer içindeki bu ısının toprak kaynaklı ısı pompaları vasıtasıyla, enerji temelleri ya da dayanma yapıları yoluyla ısıtma ve soğutma amaçlı olarak kullanılabilmesini olanaklı kılmaktadır.

Toprak kaynaklı ısı pompalarında ısıtma ve soğutma toprak altına döşenen boruların içerisinden su dolaştırılarak sağlanır. Toprak altında ısınan su sıcaklığını buharlaştırıcıya bırakır. Daha sonra kompresör bu sıcaklığı sıkıştırarak çok daha yüksek sıcaklıklara çıkarır ve yük tarafında binaya verir. Her ülke, her şehir, her toprak tipine göre farklı sıcaklıklarda bulunabilirler. En önemli gereksinimi kurulumun yapılabileceği bir toprak alanına ihtiyaç duyulmasıdır.

Zeminin termal sıcaklığından yararlanmak amacıyla kullanılan toprak kaynaklı ısı pompaları; daha yüksek enerji kullanım verimleri nedeniyle, geleneksel ısıtma ve soğutma sistemlerine karşı bir seçenek oluşturmaktadır. Toprak kaynaklı ısı

pompaları; 1995 yılından beri, Amerika’da ve Avrupa’da %59 veya yıllık %9.7 olarak en fazla gelişim göstermiştir. Dünya’daki 26 ülkede kurulu kapasite 6850 MW ve yıllık enerji kullanımı ise 23214 TJ/yıl’dır. Kurulu olan sistemlerin sayısı 500000 dolayındadır (Lund, 2000). Bunun yanı sıra, ısı pompaları ülkemizde de gündeme gelmiş ve birçok konutta ısıtma/soğutma amaçlı olarak uygulamaya sokulmuştur (Hepbaşlı ve Ersöz, 1999). Ancak ülkemizde toprak kaynaklı ısı pompaları henüz imalat aşamasına gelmemiştir ve yurt dışından ithal edilen toprak kaynaklı ısı pompaları kullanılmaktadır.

Zeminin bu termal ısısından yararlanmak amacıyla 1980’lerin başında bina radye temel sisteminin ilk defa kullanılmasından çok daha önce enerji kuyuları olarak adlandırılan sistemler kullanılmakta idi. Hala da yaygın olarak uygulanmakta olan bu yöntemlerle, çeşitli derinliklere kadar inen sondaj kuyuları içindeki borularda çevrime tabi tutulan suyun ısı alışverişi vasıtasıyla enerji elde edilmektedir.

Betonun termal iletkenliğinin ve ısı kapasitesinin yüksek olması nedeniyle mevcut zeminle temas halinde olan her türlü yapı elemanı kullanılarak geotermal enerjiden yararlanılabilmektedir.

Toprak özellikleri:

Toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinde en önemli parametre, topraktan çekilen ısıdır. Bu bağlamda toprak özellikleri temel etkindir. Toprak ısı davranışını etkileyen en önemli üç özellik yoğunluk, nem oranı ve toprak taneciklerini oluşturan materyallerdir.

a) Yoğunluk

Toprağın yoğunluğu, bileşimine ve doğal konumdaki yerleşme veya yerleştirme şekline bağlıdır. Isı iletim katsayısını tahmin edebilmek için, kuru yoğunluk ve nem oranı belirlenmelidir. Toprağın nem oranına bağlı olarak buna karşılık gelen bir kuru yoğunluk değeri vardır. Toprak Özellikleri Ölçüm Standartları American Society for Testing Materials (ASTM)’ de mevcuttur (Ünlü, 2005).

b) Nem Oranı

Belli bir yoğunluk için nem miktarının artışı, toprak ısı direncinin düşmesine sebebiyet vermektedir. Çünkü sabit kuru yoğunlukta, nem oranı arttıkça, daha düşük ısı iletim katsayısına sahip olan hava, yerini suya bırakır.

Çizelge 4.1 : Toprak türlerinin ısı karakteristikleri (Ünlü, 2005).

Materyal	Isıl Direnç (mC⁰/W)	Isı İletim Katsayısı(w/mC⁰)
Gevşek Kuru Kum	1,75	0,57
Nemli Kil	0,8-0,9	1,25-1,11
Nemli Kumlu Kil	0,8-0,9	1,25-1,11
Sıkı Kum	0,8-0,9	1,25-1,11
Kül Dolgu	2,00	0,50

c) Tanecik Materyalleri:

Toprağın ısı davranışını, katı taneciklerin ısı iletkenlikleri önemli ölçüde etkiler. Yüksek yoğunluğu ile kuartz tercih edilen bir materyaldir. Bu materyal nem tutucu özelliğe sahip olduğundan ve kil bağlantılı olarak bulunmasından ötürü; killi topraklar tercih edilen topraklar arasında ilk sırayı alırlar (Bose, 1985; Ünlü, 2005).

Çizelge 4.2 : Topraktaki bazı materyallerin ısı karakteristikleri (Ünlü, 2005).

Materyal	Isıl Direnç (mC⁰/W)	Isı İletim Katsayısı (W/mC⁰)
Kuartz	0,11	9,2
Granit	0,25-0,28	4,0-3,6
Kireçtaşı	0,45	2,2
Kumtaşı	0,58	1,7
Mika	1,7	0,59
Organik Materyaller	4/7	0,25/0,14
Islak/Kuru		
Su	1,65	0,6
Hava	41	0,025
Buz	0,78	2,23

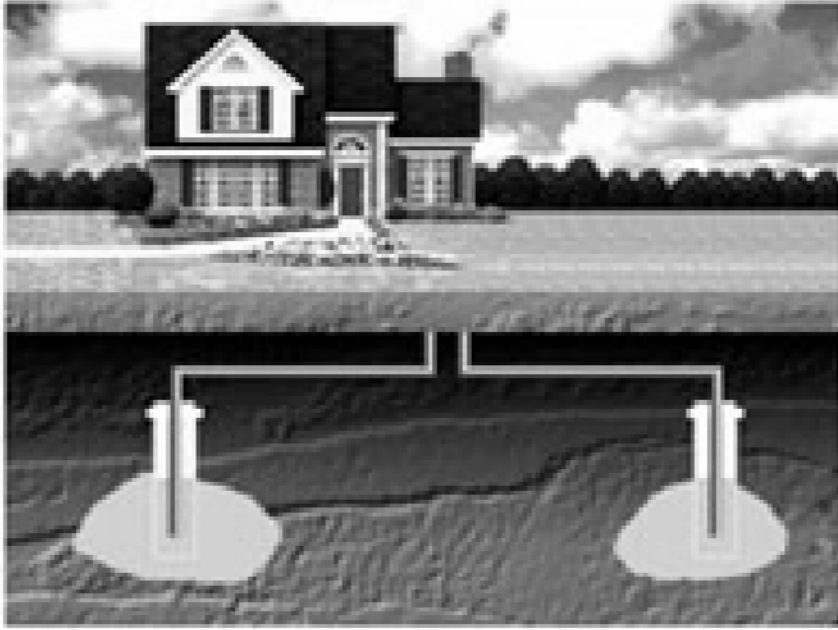
4.8.2.1 Toprak kaynaklı ısı pompası çeşitleri

Açık çevrim sistemler

Açık çevrimli sistemler kapalı çevrimli sistemlere göre daha az tercih edilmesine karşılık kaynak suyunun bol olduğu yerlerde kullanılabilirler. Amaç maliyetin daha az olmasını sağlamaktır. Sistemde gömülü olan borunun içinden akan sıvı akışkan yerine, göl, kuyu gibi kaynaklardan gelen su kullanılır. Yeraltında bulunan su bir kuyudan çekildikten sonra ısı değiştiriciye ısı transferi yapıldıktan sonra tekrar geri boşaltılır. Bu boşaltma ya deşarj kuyusuna ya da tekrar alındığı kaynağa verilir. Hem su ihtiyacını karşılamakta hem de ısı pompasında kullanılan bir sistemdir.

Sistemde deşarj olayı mevcut olduğundan dolayı performansı yüksektir. Yıl boyunca da yer altı su sıcaklığının sabit olması sistemin avantajıdır.

Açık sistemlerin en önemli unsuru su kalitesinin yüksek olması gerekmesidir. Suda korozyona neden olacak maddelerin bulunması, mineraller ısı değıştircisinde birikebilir, demir ve diğerkirler dönüşüm kuyusunu tı kayabilir. Bu yüzden suya aşındırıcılık, asitlik ve mineral içeriğı testlerinin yapılması gerekmektedir. Açık çevrimli sistem örneğı Şekil 4.16’da gösterilmiştir.



Şekil 4.16 : Açık çevrimli sistem örneğı

Sistemde çevreye zarar söz konusu olduğundan bazı yerlerde kullanılması yasaklanmıştır. Suyun geri verilmeme durumu, bulaşıcı riskinin taşınması, organik bileşikleri taşıması gibi olumsuz etkileri vardır.

Kapalı çevrim sistemler

Kapalı çevrim sistemler ekonomik olması, emniyetli olması ve kullanım alanlarının fazlalığı nedeniyle en çok kullanılan sistemdir. Isı değıştirici olan sıvı akışkan devamlı sirküle olmaktadır. Isı taşıyıcı olarak genellikle su-antifriz karışımı kullanılır ve boru sistemi de en çok tercih edilen polietilen malzemesindendir.

Kapalı devre çevrim sistemleri, toprak ısı değıştirici tiplerine göre yatay ve dikey olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

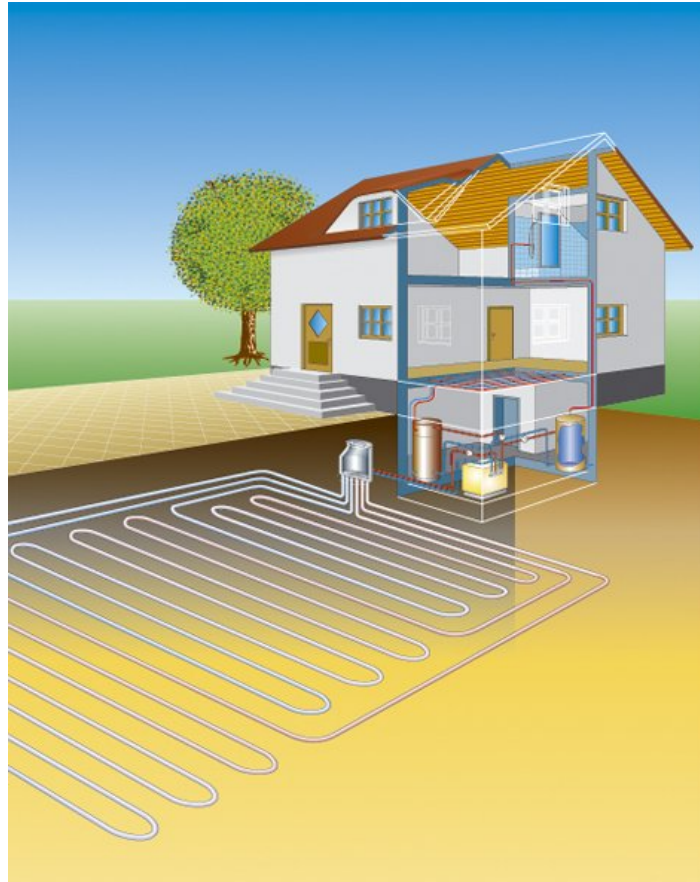
Yatay tip toprak kaynaklı ısı pompaları

Isı değiştirici olarak en yaygın olan sistemdir. Sistemde boru veya borular toprağa yatay olarak gömülürler. Genellikle küçük yapılar ve ticari binalarda kullanılırlar.

Yatay tip değiştiricilerde borular genellikle 0,9-1,8 m derinliklere gömülürler. Boru hatları arasındaki mesafe de 0,3-0,6 m arasında alınabilir.

Dikkat edilmesi gereken bir husus, boru döşenmesi için açılan hendeğin boru döşendikten sonra toprak-boru ısı transferinin en iyi olması için iyi bir şekilde sıkıştırılmalıdır.

Yatay borulu ısı değiştiricili ısı pompasına ait örnek uygulama, New York'ta Upton kasabasında küçük bir konutun ısıtma ve soğutmasını sağlamak için yapılmıştır (Ünlü, 2005). Isıtma yükü 78.106 J/°C-gün olan konut, 140 m²'lik 3 odalı bir çiftlik evidir. Toplam 155m uzunlukta ve 4 cm çapında orta yoğunluklu polietilen borular, yüzeyden itibaren toprağa 1,2 m derinliğe gömülmüşlerdir. Isı taşıyıcı akışkan olarak %25 etilen-glikol karışımı su (antifriz) kullanılmıştır. Isıtma modunda sistemin mevsimlik performansı 1,91 olarak kaydedilmiştir.



Şekil 4.17 : Yatay toprak ısı değiştiricisi (Patlar, 2006)

Yatay boruların yüzeye olan mesafesinin bu tip ısı sistemlerin performansına etkisinin önemine yukarıda değinmiştik. Borular genelde; yüzeyden 0,9-1,8 m derinlikte ve 0,9-1,8 m aralıklarla yerleştiriliyordu. Yeraltı konstrüksiyonlu ısı sistemlerde, toprak türüne bakılmaksızın, yüzeyden 2 m derinliklerde, dış ortam şartlarının sistem performansı üzerinde etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Ancak, hendeğin derinliği arttıkça kazı maliyetinin; dolayısıyla ısı sistemin ilk yatırım maliyetinin arttığına göz ardı edilmemelidir (Ünlü, 2005).

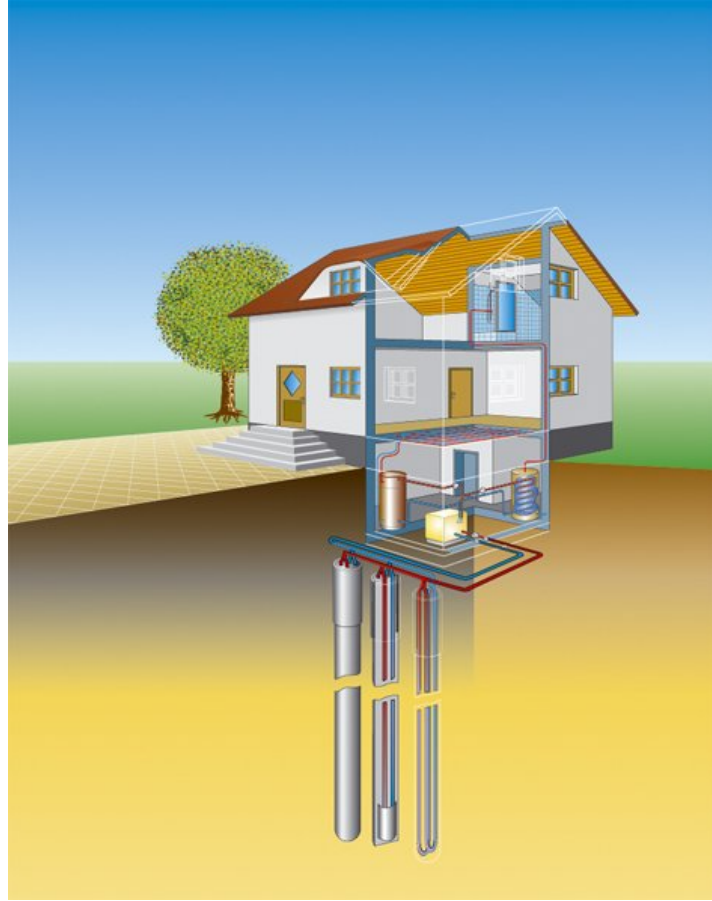
Literatürde, en yaygın yatay ısı değıştircilerinin $\frac{3}{4}$, 1", 1 $\frac{1}{2}$ " lik tek borulu 0,5-2,5 m derinliğe ve birbirinden 0,6-2,5 m aralıklarda döşenmiş yatay ısı değıştircileri olduğu belirtilmiştir (Ünlü, 2005). Bu tip ısı değıştirciler, genelde temel kabul edilir ve diğer ısı değıştircilerinin iyilik dereceleri bunlara göre mukayese edilir. Yatay toprak ısı değıştircilerinde, 700 m boru boyu, 2" boru çapı ve 1 lt/s akışkan debisi kullanılabilir üst sınır degerleri olarak kabul edilir (Bose, 1981; Ünlü, 2005). Çizelge 4.3'de boru çaplarına göre pratikte uygulanan uzunluk sınırları verilmiştir (Ünlü, 2005).

Çizelge 4.3 : Boru çapı ve boyu arasında tavsiye edilen degerler (Ünlü, 2005).

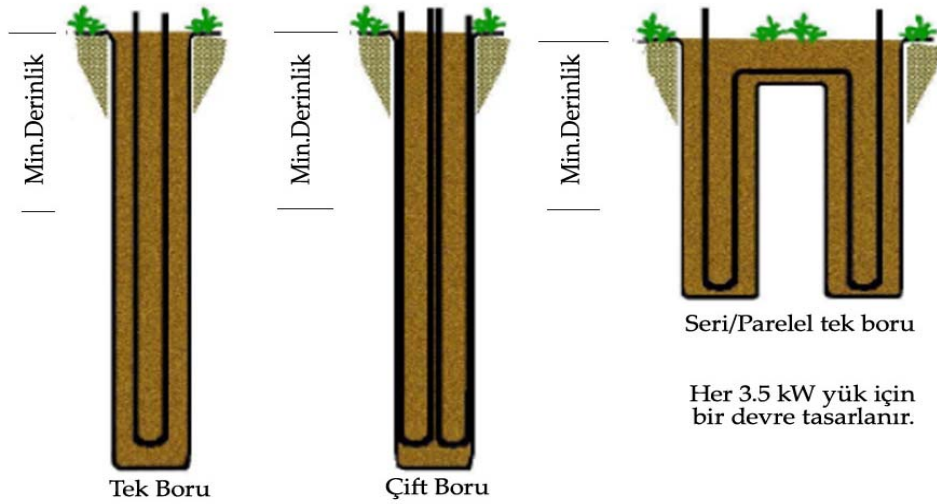
Boru Çapı (inç)	Boru Uzunluğu(m)
$\frac{3}{4}$	≤ 150
1	≤ 230
1-1/4	≤ 900
1-1/2	≤ 1200
2	≤ 2500

Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompaları

Dikey (düşey) tip ısı değıştircileri yeteri kadar alanın olmadığı ve hendek açmanın zor oldu bölgelerde kullanılan ısı pompası türüdür. Dikey tip ısı değıştircilerinin yerleştirilme şekilleri, kesit geometrilerine göre U-tüp, bölünmüş tüp ve eş eksenli tüp olmak üzere sınıflandırılırlar. Burada çeşitli çaplardaki borular genellikle 40-150 m derinlik açılmış kuyulara gömülebilirler (Emerson, 1985; Ünlü, 2005).



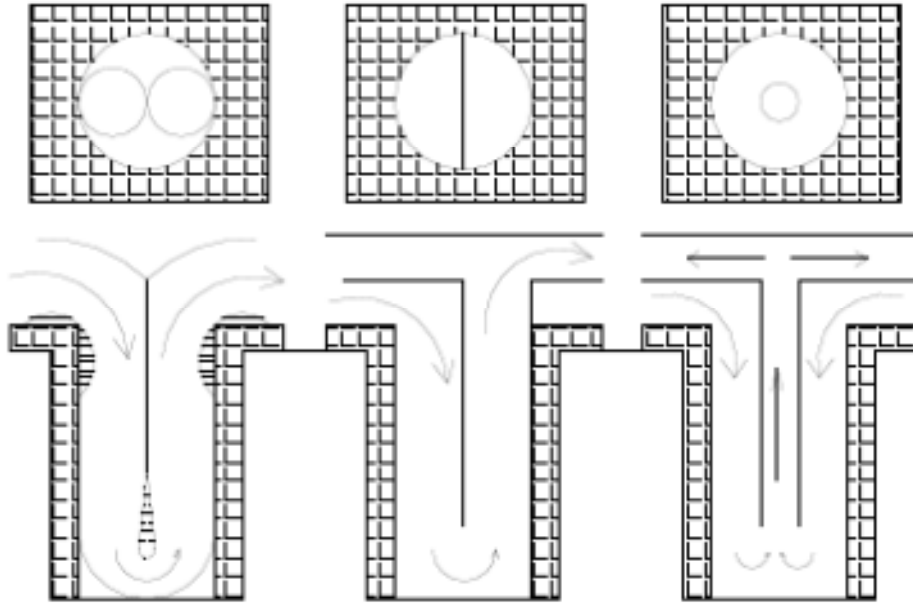
Şekil 4.18 : Dikey tip ısı değıştircisi (Patlar, 2006)



Şekil 4.19 : Dikey tip ısı değıştircisinin ısı pompasına ait resim

Ayrıca düşey ısı değıştircisi boruları farklı geometrilerde uygulanabilir. Şekil 4.20 'de verilen U-tüp, bölünmüş ve eş eksenli borular toprakta açılmış kuyuya yerleştirilirler (Ünlü, 2005). Borular yerleştirildikten sonra kuyudaki boşluk; standart

bentonit, ısı 1 özellikleri iyileştirilmiş bentonit ve kum gibi bazı dolgu maddeleri kullanarak doldurulur. Bu yolla ısı sistemin performansının iyileştirilmesi hedeflenir. Dolayısıyla düşey boruların birbirine olan mesafesi enerji nakli için büyük önem arz etmektedir. U-tüp boru çapları, 3/4"-2" arasındadır. Isı değıştiricisi derinliğı, basınç düşmesi ve ısı geğışi göz önünde bulundurularak boru çaplarına göre 15-185 m arasında değışir (Ünlü, 2005).



Şekil 4.20 : Düşey borulu sistemde ısı taşınımı için üç farklı kanal uygulaması (Patlar, 2006)

Toprak altına yatay olarak yerleştirilen absorberlerin (kolektörler) kullanılması, oldukça fazla yer kapladığından yeni inşaatlarda dahi zordur. Özellikle şehir merkezlerindeki arazi parsellerinin çok küçük olması bu kullanımı daha da zorlaştırmaktadır (Viessmann, 2007).

Yer ısı değıştiricili ısı pompası sistemlerinin tasarımında, ısı değıştiricisinin döşenmesi gereken alanın azaltılmasının bir amaç olduğu düşünülürse, dikey yer ısı değıştiricili ısı pompası sistemlerinin diğer sistemlerden en büyük avantajı ortaya çıkar. En az boruya ihtiyaç duyma, pompalama enerji ihtiyacının diğer sistemlere nazaran daha az olması, tüm sistemler içinde en az yüzey alanına ihtiyaç duyan sistem olması, toprak sıcaklığının mevsimlik değışimlerinden etkilenmemesi dikey toprak ısı değıştiricilerinin diğer avantajlarıdır. Delme makineleri ve ekipmanları gerektirmesi, delme işleminin hendek açma işleminden pahalı olması dikey ısı değıştiricilerin dezavantajlarından (Güven, 2002).

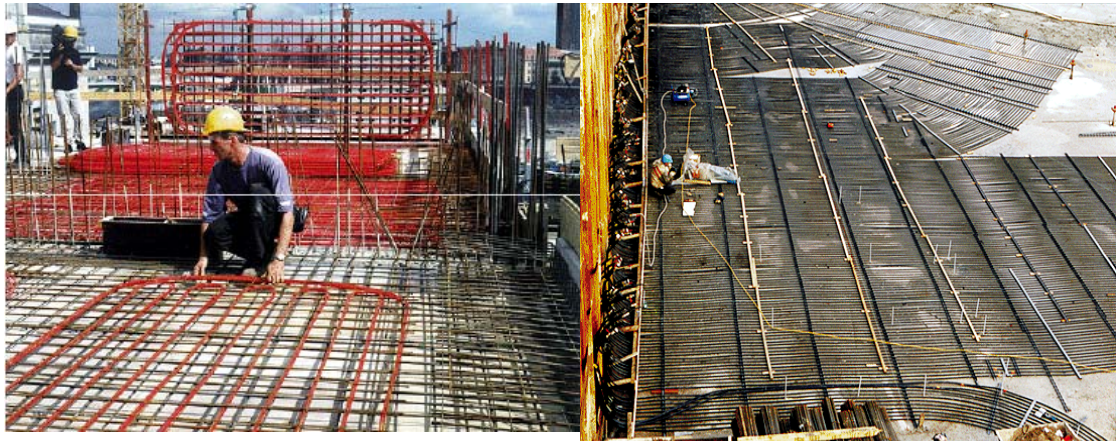
Toprak kaynaklı ısı pompası uygulama alanları

1. Yapının mevcut temel sistemi kullanılarak oluşturulan enerji temellerinde,
2. Dayanma yapıları.
3. Tüneller,
4. Yol kaplamaları, köprü tabliyeleri, havaalanı pistleri,

Enerji temelleri

Yapının mevcut temel sistemi kullanılarak oluşturulan enerji temelleri ve termo-aktif temel sistemlerinde zemin ısısından yararlanılabilir. Başta temel radye plakası olmak üzere her türlü sıg temel sistemi, temel kazıkları, baretler, beton ya da harçlı taş kolonlarda da toprak kaynaklı ısı pompası vasıtasıyla alanlarda ısıtma ve soğutma yapılabilir.

Şekil 4.21’de enerji temeli uygulamaları görülmektedir.



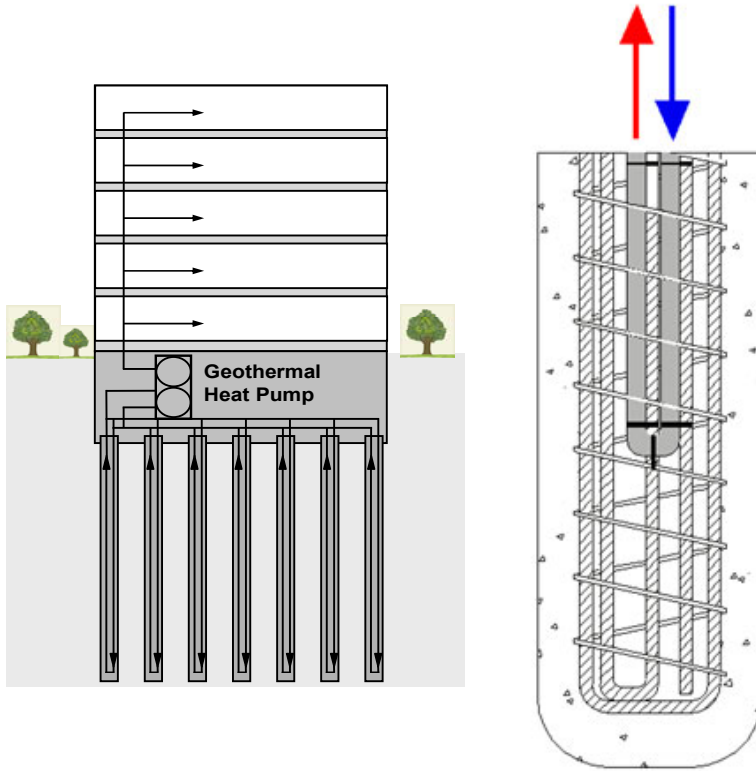
Şekil 4.21 : Enerji temeli uygulamaları

Enerji kazıkları

Modern yapılarda statik sebeplerden ötürü, taşıyıcı zeminin yetersiz olduğu durumlarda destekleyici kazıklar kullanılır. Kazıklar statik fonksiyonunun yanı sıra binalarda çevre dostu ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılırlar. Bu kazıkların içerisine yer ısısından faydalanmak amacıyla boruların entegre edilir. İki fonksiyonlu birden olduğu için bu kazıklar enerji kazıkları olarak adlandırılırlar. Kazıklar prensip olarak kısa sondalar gibi davranırlar ve böylece hem ısıtma hem de soğutma için kullanılabilirler.

İlk olarak 1980'lerin başında İsviçre ve Avusturya'da kullanılmaya başlanan enerji kazıkları geotermal enerjiden yararlanılması konusunda bir kilometre taşı olmuştur. Avrupa'da 300'den fazla uygulaması olan enerji kazıklarına örnek olarak 200 m yüksekliğindeki 56 katlı Frankfurt Ana Kulesi ve Zürih Uluslararası Havaalanı E terminali ilave inşaatından bahsedilebilir. Günümüze kadar İsviçre, Almanya, Avusturya, Japonya, İngiltere, Türkiye ve Çin'de çok sayıda mühendislik uygulaması yapılarak sistemin kullanılabilirliği ve verimi ispatlanmış durumdadır (Olgun, 2010).

Enerji kazıkları kullanılarak geotermal enerjiden her türlü jeolojik ve iklimsel ortamda yararlanılması olanaklı hale gelmektedir. Bu teknoloji ile yapının temel sistemini oluşturan kazıklar ve iksa amaçlı inşaa edilen elemanlar(iksa kazıkları, diyafram duvarlar vb.) aynı zamanda ısıtma-soğutma elemanları olarak da işlev görmektedir. Bu amaçla, kazıkların içine borular yerleştirilmekte ve bu borular içinde dolaşan sıvı vasıtasıyla zemin içindeki ısı çekilmekte ya da zemine ısı iletilmektedir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22 : Enerji kazığı ve ısıtma-soğutma sistemi.

Betonarme bu elemanlar; kazıklar, diyafram duvarlar, istinat duvarları ve temel döşemeleri (tabliyeler) termal enerjiyi zeminden ve yer altı suyundan absorbe ederler. Absorbe edilen enerji sıvı dolu sistemlerle, yapısal nedenlerle temelde

bulunan elemanlarla binalara ulaştırılır. Böylece kazıklar kış mevsiminde ısıtma, yazın ise soğutma elemanları olarak kullanılabilir. Sıvının kazıklar ve bina arasındaki dolaşımı bir ısı pompası yardımı ile sağlanmaktadır. Sonuçta, zaten mevcut olan kazıklı temel sistemine dolaşım boruları yerleştirilerek, alternatif bir enerji kaynağı olarak yenilenebilir geotermal enerjiden her yerde ve her mevsimde yararlanılması oldukça düşük bir maliyetle olanaklı hale gelmektedir.

Hem akma hem de yerinde dökme betonarme kazıklar enerji kazığı olarak kullanılabilir. Uzun yıllar dolaşım boruları ile birlikte imal edilen çakma kazıklar daha çok kullanıldıysa da, özellikle son on yıldır büyük çaplı yerinde dökme kazıkların da enerji kazığı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Son yıllarda betonarme çakma kazıklar yerine dolaşım borularıyla birlikte imal edilen prefabrik sünek dökme demir kazıklar da kullanılmaktadır. Bu kazıklar standart olarak 170 mm çapında ve 5 m uzunluğunda imal edilmekte ve çakma esnasında birbirine eklenmektedir. Enerji kazığı olarak günümüze kadar gerçekleştirilmiş bazı uygulamalarda içi betonla doldurulmuş elik tüp çakma kazıklar, vibro-flotasyon sonrası imal edilen ve daha sonra ilerine dolaşım boruları yerleştirilen beton kolonlar ve kısmen harlanmış vibro-taş kolonlardan bahsedilebilir (Olgun,2010).



şekil 4.23 : Dolaşım boruları ile imal edilmiş prekast enerji kazığı
(Olgun , 2010).

Dolaşım borusu olarak genelde çapları 20 ile 25 mm arasında, et kalınlığı ise 2.0-2.3 mm arasında değişen, malzeme özelliklerinden ve küçük dönüş yarıçaplarına müsaade edebilmelerinden ötürü HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) plastik borular kullanılmaktadır.

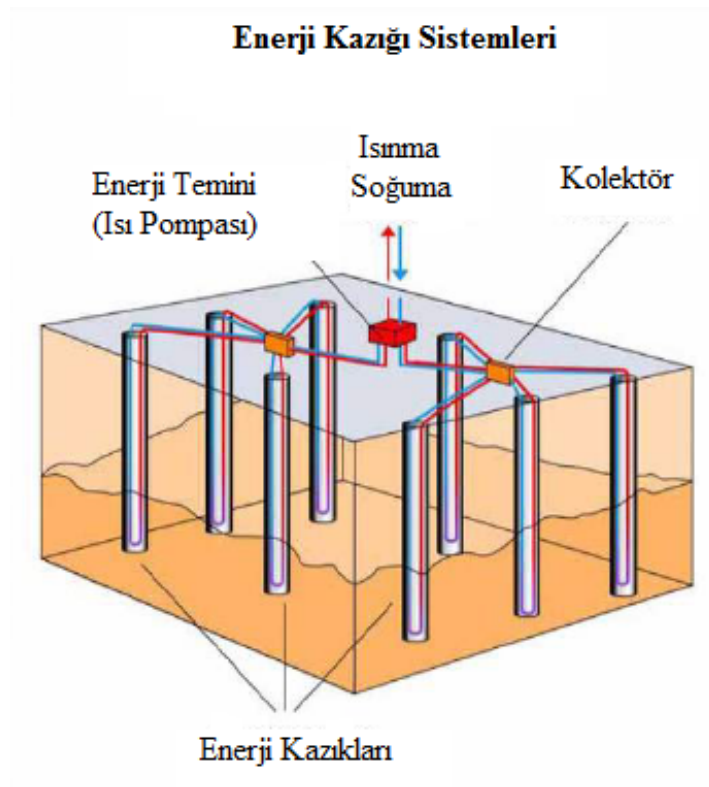


şekil 4.24 : Dolaşım boruları yerleştirilmiş yerinde dökme kazık.

Herbir kazıktan gelen borular temel tabanı altındaki örtü tabakası içinde yer alan kolektörlere ve dağıtım elemanlarına ve buradan da yapı içindeki ısı pompasına bağlanırlar (şekil 4.26 ve şekil 4.27). Bu tür termoaktif sistemlerde birincil devir olarak adlandırılan kısım (Brandl, 2006) yerle temas halindeki yapı elemanları içinde bulunan boru şebekesini içermektedir. Bu şebeke içinde devirdaim eden sıvı yapı ile yer arasındaki ısı alışverişini sağlamaktadır. Isı taşıyıcı bu sıvı çok düşük sıcaklıklarda donma olasılığına karşı antifriz içeren su ya da tuzlu bir çözelti olabilir. Günümüzde en yaygın uygulama su ile poliplen glikol karışımının kullanılmasıdır. Ayrıca başlık bloğunda, valflarda ve ısı pompasında paslanma oluşmasına karşı glikol-su karışımına kimyasallar eklenmesi gerekmektedir. Isı pompası dolaşım sıvısını boru şebekesine pompalamaktadır. Boru bağlantılarının iyi yapılması sızıntı olması ve yeraltı suyunun antifriz içeren bu sıvı ile kirlenmesi olasılığına karşı alınması gereken önemli bir tedbirdir. Bu nedenle boru şebekesinin tüm bağlantıları basınçla test edilmelidir (Lennon et al., 2008).



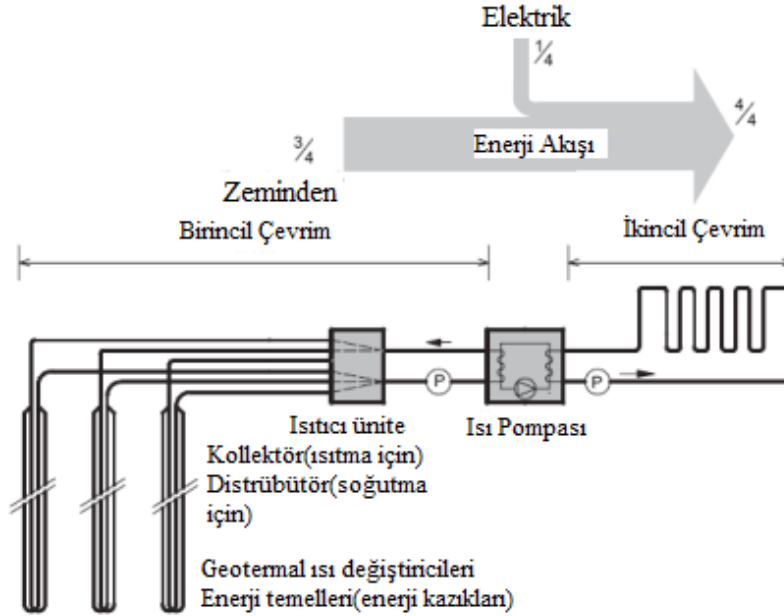
Şekil 4.25 : Kolektör ve dağıtım elemanı.



Şekil 4.26 : Boru şebekesinin bağlantı şeması.

Termoaktif sistemin ikincil devir olarak adlandırılan kısmı ise binanın ısıtma ve soğutma şebekesini oluşturan ve döşemelerin ya da duvarların içine yerleştirilmiş boru sisteminden oluşmaktadır. Birincil ve ikincil devirler sıcaklık seviyesini düzenleyen bir ısı pompası ile irtibatlandırılırlar. Isı pompası ısıyı kaynağından alıp (zemin) buhar sıkıştırma işlemi ile çıkışa (döşeme ve duvarlardaki ısıtma/soğutma sistemi) gönderen çevrimsel bir mekanizma ile çalışmaktadır. Aslında mevcut ısı pompalarının elektrik sarfıyatı sıcaklık seviyesini düzenlemek için kompresörün çalıştırılma sıklığına ve dolayısıyla dış ortam sıcaklığına bağlıdır. Geotermal

sistemin avantajı, dış ortam sıcaklığı mevsimsel olarak oldukça değişken olsa da, belirli bir derinlikten sonra sabit bir sıcaklıkta olan yer sıcaklığından yararlanılarak kompresörün çalıştırılma sıklığının azaltılmasıdır. Bir başka deyişle ısı çevriminin verimi kaynak ile çıkış arasındaki sıcaklık farkına bağlıdır ve bu fark ne kadar az ise ısı pompası verimi o kadar yüksek olacaktır.

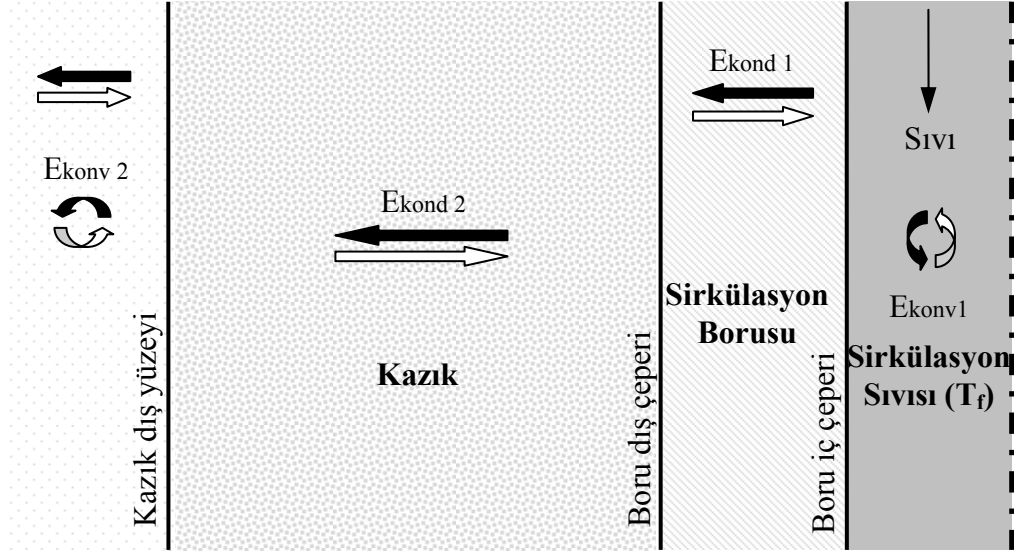


Şekil 4.27 : Enerji kazıklı geotermal enerji sistemi şeması
(Brandl,2006).

Yer sıcaklığının yıl boyunca sabit olması da ısı farkının değişken olmamasını ve verimin yüksek olmasını sağlamaktadır. Örneğin ısı pompasının verimi (performans katsayısı) C.O.P. = 4 olmasının anlamı 1 birim elektrik enerjisi sarfedilerek toplam 4 birim enerji elde edilmesidir (Şekil 4.28). Isı pompası veriminin geotermal enerji kullanılarak artırıldığı bu tür sistemler Yer Kaynaklı Isı Pompası (GSHP) olarak adlandırılmaktadır.

Enerji Kazıklarının Davranışı

Enerji kazıkları yer ile kazık içindeki borularda dolaşan sıvı arasındaki ısı değişimini sağlayan termo-aktif elemanlardır. Enerji kazıklarının kullanım amacı olan ısı değişiminin mekanizması üzerinde durulmasında yarar vardır. Donmamış zeminler içindeki ısı hareketinin temel bileşeni ısı iletimi olmakla beraber ısı transferide bir başka önemli parametredir. Genel olarak ısı hareketinde payı olan ısı ışıması,



Şekil 4.29 : Zemin-kazık arasındaki ısı hareketinin şematik gösterimi (Abdelaziz ve diğ., 2010).

Şekil 4.29’da siyah oklar soğutma nedeniyle zemine ısı aktarılmasını, beyaz oklar ise ısıtma amaçlı olarak zeminden ısı alınmasını ifade etmektedir. Buna göre dolaşım borusu içindeki sıvı ile kazık ve zemin arasındaki ısı hareketinin temel bileşenleri şu şekildedir;

- 1) Sıvı ile borunun iç çeperi arasındaki ısı iletimi (Ekonv1),
- 2) Boru gövdesi içindeki ısı döngüsü (Ekond1),
- 3) Kazık içindeki ısı iletimi (Ekond2),
- 4) Zemin içindeki ısı iletimi (Ekond3),
- 5) Mevcut olması durumunda yeraltı suyu akışı ile oluşan ısı döngüsü (Ekonv2).

Çizelge 4.4’te ise ısı iletim mekanizmasıyla ilgili değişkenler verilmiştir.

Çizelge 4.4 : Enerji kazıklarında ısı alışverişini etkileyen faktörler (Abdelaziz ve diğ., 2010).

Isı Hareketi Tipi	Etkileyen Değişkenler
Isı İletimi	Dolaşım sıvısı, boru, kazık ve zeminin ısı iletkenliği
Isı Döngüsü	- Sıvının akış durumu ve hızı (laminer vs. türbülanslı akış) - Dolaşım borusunun çapı - Dolaşım sıvısının özellikleri (dinamik viskozite, yoğunluk, ısı kapasitesi vs.) - Yeraltı suyu akışı

Abdelaziz ve diğ. (2010) tarafından enerji kazıklarının verimini belirleyen değişkenlerin etkisini incelemek üzere üç-boyutlu sonlu elemanlar analizi ile bir

çalışma yapılmıştır. Analizlerde zeminin ısı iletkenliği, kazık malzemesi, dolaşım borusu çapı, dolaşım sıvısı akış hızı ve dolaşım sıvısındaki karışım oranı parametreler olarak ele alınmış ve herbir parametrenin ısı dağılımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Zemine 1 gün, 1 hafta ve 1 ay süre boyunca ısı verilmesi (binanın soğutulması) sonucunda gerçekleşen ısı değişimi sürecinde elde edilecek enerji güç cinsinden hesaplanmıştır.

Bu çalışmada ayrıca kazık uzunluğu boyunca kazık-zemin arakesitinde ve kazık yüzeyinden 0.50 m uzaktaki ısı dağılımı 1 haftalık bir ısı verme işlemi için hesaplanmıştır. Örnek olarak ısı dağılımı üzerinde zeminin ısı iletkenliğinin etkisi Çizelge 4.5’de verilmiştir. Analizlerde kazık malzemesi olarak ısı iletimi özelliği yüksek termal beton, dolaşım borusu çapı 1.90 cm, dolaşım sıvısı % 50 oranında su-propilen glikol karışımı ve akış hızı 0.648 m³/sa olarak alınmıştır. Zemin cinsinin ve termal özelliklerinin ısı dağılımı üzerinde oldukça önemli etkisi olduğu bu şekilde görülmektedir. Birbirine yakın ısı iletkenliğine sahip suya doygun kum ve kil zeminlerde kazık yüzeyindeki sıcaklık dağılımının hemen hemen aynı olduğu izlenebilmektedir. Daha düşük ısı iletkenliğine sahip olan kuru kum ve kısmen suya doygun kil zemin durumunda ise daha yüksek sıcaklıklar elde edilmiştir. Kazık yüzeyinden 0.50 m uzaktaki sıcaklık dağılımı incelendiğinde ise 1 haftalık işlemin sonunda tüm zemin cinsleri için sıcaklık dağılımının birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir.

Yapılan bir seri parametrik analiz sonucunda enerji kazığı performansı üzerinde en büyük etkinin zeminin ısı iletkenliği olduğu, kazık malzemesinin ısı iletkenliğinin orta derecede etkili olduğu, dolaşım borusu çapının belirgin bir etkisi olmadığı ancak türbülanslı akış durumunun oldukça etkili olduğu belirlenmiştir.

Enerji kazıklarının tasarımı

Zeminden elde edilebilecek enerjinin miktarı kullanılan termal sistemin geometrisine, zemin profiline, yeraltı suyunun konumu ve akımına bağlı olarak değişebilmektedir. Dolayısıyla her tasarım kendine özgüdür. Enerji kazıklarının tasarımı zeminin termal özelliklerinin de belirlendiği ayrıntılı bir zemin araştırmasını, iklimsel koşullar ile temel sistemi özelliklerinin ve söz konusu yapının enerji talebinin belirlenmesini gerektirmektedir.

Çizelge 4.5 : Parametrik analizlerde ele alınan değişkenler ve enerji kazığından elde edilen güç (Olgun, G.,2010).

Analiz	Zemin Cinsi	Zeminin Isı İletkenliği* (W/m·K)	Kazık Malzemesi	Kazık Isı İletkenliği (W/m·K)	Dolaşım Borusu (cm)	Sıvı Akış Hızı/çevrim (gpm)	Propilen (%)	Güç (Watt)		
								1 gün	1 hafta	1 ay
1	Suya Doygun Kum	2.297	Termal Beton	2	1.90	3	50	1748	1166	834
2	Kuru Kum	0.331	Termal Beton	2	1.90	3	50	1526	767	275
3	Suya Doygun Kil	1.540	Termal Beton	2	1.90	3	50	1665	1144	723
4	Kısmen Doygun Kil	0.159	Termal Beton	2	1.90	3	50	1501	691	160
5	Suya Doygun Kum	2.297	Beton	0.65	1.90	3	50	1118	875	701
6	Suya Doygun Kum	2.297	Termal Beton	2	1.90	5	50	1766	1199	816
7	Suya Doygun Kum	2.297	Termal Beton	2	1.90	10	50	2046	1321	844
8	Suya Doygun Kum	2.297	Termal Beton	2	1.90	15	50	2346	1416	861
9	Suya Doygun Kum	2.297	Termal Beton	2	1.90	40	50	5853	2963	2414
10	Suya Doygun Kum	2.297	Termal Beton	2	2.54	3	50	1874	1377	981
11	Suya Doygun Kum	2.297	Termal Beton	2	2.54	5	50	1944	1416	993
12	Suya Doygun Kum	2.297	Termal Beton	2	2.54	10	50	2167	1495	1027
13	Suya Doygun Kum	2.297	Termal Beton	2	2.54	15	50	2332	1557	1032
14	Suya Doygun Kum	2.297	Termal Beton	2	2.54	40	50	6557	3539	2369
15	Suya Doygun Kum	2.297	Termal Beton	2	1.90	3	25	1863	1291	874
16	Suya Doygun Kum	2.297	Termal Beton	2	1.90	40	25	6314	5859	3820

Tipik bir zemin incelemesi sonucunda elde edilecek tabakalaşma bilgisi ve su muhtevası, birim hacim ağırlık ve boşluk oranı gibi fiziksel özelliklerin yanı sıra, zeminin suya doygun ve doygun olmayan durumlarına ait geçirgenlik değerlerinin ve hidrojeolojik özelliklerinin (yeraltı su seviyesinin derinliği ve mevsimsel değişimi, yeraltı suyunun akış yönü ve akış hızı) belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, zemine büyük ölçülerde ısı verilmesi durumunda şişme-büzülme davranışının, ısı alınması durumunda ise donma-çözülme davranışının belirlenmesi önemlidir.

Zeminin termal özellikleri bağlamında ise yer sıcaklığı, termal gradyan, ısı iletkenliği ve farklı sıcaklık değerlerindeki ısı kapasitesi tespit edilmelidir. Ancak zeminlerin ısı iletkenliğini etkileyen en önemli değişkenin su muhtevası olduğu vurgulanmalıdır (Olgun, G. 2010).

Bölgenin iklimsel koşulları kapsamında ise günlük ortalama sıcaklıkların yıllık olarak değişimi belirlenmelidir. Yapıya zemin tarafından sağlanan geotermal ısının yıl boyunca değişimi, yapının aylık ısıtma-soğutma talebi ve en büyük talebi belirlendikten sonra bu değerler karşılaştırılmalıdır. Isı taşıyıcı sıvının da sıcaklığının yıllık bazda tahmin edilmesi gerekmektedir.

Kazıklı temel sistemi ile ilgili verilerin belirlenmesi bağlamında kazık uzunluğu ve çapı, kazık yerleşimi, donatı detayları ve betonun özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir.

Isı dağıtım sistemi ve ısı pompasının yerleşim detayları önceden belirlenmeli ve yapının yalıtım özellikleri, pencerelerin sayısı ve kalitesi gibi fiziksel özellikleri göz önüne alınmalıdır (Brandl, 2006).

Genel fizibilite çalışması ve ön tasarım için büyük ve kompleks yapılar için ayrıntılı bir geotermal analiz gerekmektedir. Enerji kazıklarından elde edilebilecek enerjinin seviyesi ile ilgili şu değerler alınabilir (Olgun, 2010).

(a) Kazık çapı $D = 0.3-0.5$ m arasında değişen kazıklı temeller için : $40-60$ W/m

(b) Kazık çapı $D > 0.6$ m olan kazıklı temeller için: 35 W/m² (kazık-zemin arasındaki birim temas alanı)

(c) Diyafram duvarlar ve tamamen zemin içinde olan kazıklı perdeler için: 30 W/m²

(d) Radye temeller için : $10-30$ W/m²

Isıtma ve soğutma talebi 50kW'dan daha fazla olan büyük projeler, heterojen zemin koşulları ve kazık grupları durumunda yapı içindeki ikincil devir sistemi de dahil olmak üzere bütün termoaktif sistemin üç-boyutlu simulasyonu gerekmektedir (Brandl, 2006). Bu tür bir simülasyonla enerji temelinin ısınma ve soğuma durumuna ait sıcaklık değerleri ve zemin içindeki sıcaklık dağılımı aylık ve gerektiğinde haftalık bazda temel sistemi ve zemin içinde her noktada belirlenmiş olmalıdır. Geotermal temel sistemleri ve iklimsel koşullara bağlı olarak yapının ısı talebi dinamik bir sistem oluşturmaktadır. Bu tür bir sistemin davranışının simulasyon ile incelenmesi gerek güvenli gerekse de ekonomik tasarım açısından neredeyse bir zorunluluktur. Simulasyon çalışması ile sistemin verimini etkileyen birçok değişken bir arada ele alınarak verimde ve maliyette optimizasyon yapılabilmesi olanaklı olmaktadır.

Isıtma ve soğutma çevrimlerinin enerji kazığı davranışına olan etkileri

Enerji kazıklarının sağladığı katkı ve faydalar konusunda yeterince bir deneyim ve uzlaşma mevcutsa da ısıtma ve soğutma çevrimlerinin yük altındaki kazık davranışına olan etkileri konusunda aynı şey söylenememektedir. Aslında enerji kazıklarının yaygın bir şekilde kullanılması önündeki önemli engellerden birisi de enerji kazıklarının termo-mekanik davranışlarının yeterince aydınlatılmamış olmasıdır. Kazıkların hem servis yükü hem de ısınma-soğuma çevrimlerine tabi kalması durumunu ifade eden termo-mekanik yükler altındaki davranışları halen çalışmaların devam ettiği ve farklı sonuçların alındığı bir konudur. Bu alanda yapılması gereken gerçek ölçekli termo-mekanik kazık yükleme deneylerinin sayısı oldukça sınırlıdır.

Brandl (2006) Avusturya'da gerçekleştirilen birçok projeye dayanarak zemine ısı verilmesinin kazık çevre sürtünmesini, taban basıncını ve taşıma kapasitesini etkilemediğini ve oturma ya da kabarmaların ihmal edilebilir seviyelerde olduğunu bildirmiştir. Laloui (2006) ısıtma-soğuma çevrimleri sonucunda zemin yapısında değişiklikler meydana geldiğini ve bunun da kazıkta fazladan yeni gerilmelere, kazık sürtünme direncinde azalmaya ve kazık ile zemin arasında boşlukların oluşabilmesine neden olduğunu belirtmiştir. Bourne-Webb et al. (2009) da benzer saptamalarda bulunarak sıcaklık değişiminin sürtünme direnci ve eksenel yüklerde artış ya da azalmaya neden olduğunu ve bu nedenle ısınma-soğuma çevrimlerinin

etkisinin kazık servis yükü azaltılarak ve sürtünme direncine ait güvenlik katsayısı artırılarak göz önüne alınması gerektiğini vurgulamıştır. İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü'nde 10 yıl süresince yapılan araştırmalar sonucunda da termal yüklerin kazıklarda fazladan gerilmelere neden olduğu ve kazıkların sürtünme direncini azalttığı ancak bu tür termal etkilerin kazık tasarımı aşamasında kolaylıkla elenebileceğini belirlemiştir.

Isınma ve soğuma çevrimlerinin zemine olan doğrudan etkisi ise görece daha bilinen bir konudur. Zemindeki sıcaklık artışı efektif gerilmeyi düşürerek kayma mukavemetinin azalmasına ve büzülme sonucunda da oturmalar neden olmaktadır. Kaba daneli zeminler ince daneli zeminlere göre sıcaklık değişimlerinden daha az etkilenmektedir. Zeminin organik madde içeriği arttıkça sıcaklığa karşı hassaslığı da artmaktadır.

Geotermal sistemde sıcaklığın 0°C 'nin altına düşmesi durumunda donma kabarması ve sıcaklığın artması ile birlikte çözölmeye dayalı olarak oturmalar oluşmaktadır. Bu olayın enerji kazıkları üzerinde herhangi bir etkisi olmasa da taban döşemelerinde kabarmalara ve dayanma yapılarında yanal deformasyonlara ve çatlaklara neden olabilmektedir. Deneyim ve gözlemler, enerji kazıklarının ya da diyafram duvarlarının çeperlerinde sıcaklığın $+2^{\circ}\text{C}$ 'nin altına düşmemesi gerektiğini göstermiştir. Isı pompasının uygun işletimi ile bu sorun çözülebilmektedir.

Yapının soğutulması için zemine yüksek miktarlarda ısı verilmesi zeminden ısı çekilmesi durumuna göre daha az sakıncalı olsa da yeraltı suyunun kalitesi ve mikro-organizma oluşumu açısından sorun oluşturabilmektedir.

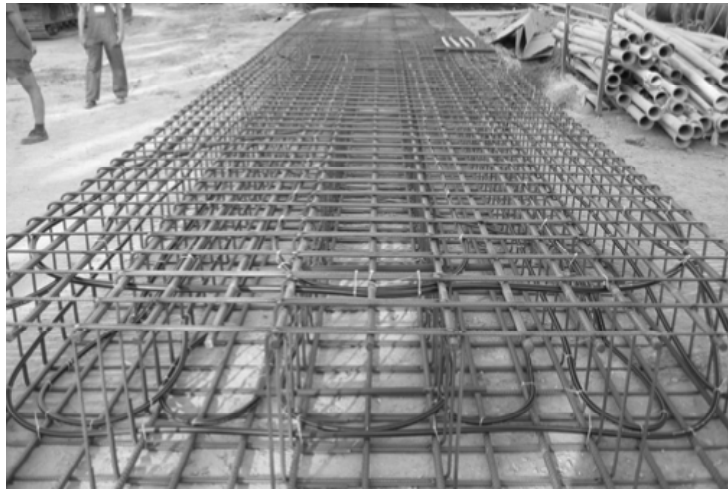
Ennigkeit (2002) tarafından yapılan araştırmada zemin sıcaklığının 2°C ile 65°C aralığındaki değişiminin davranış üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu konuda daha önce yapılan çalışmalara benzer sonuçlar elde edilmiş ve zeminin minerolojisinin ve su muhtevası/suya doygunluk derecesinin ısı davranışını önemli ölçüde belirlediği ifade edilmiştir.

Geotermal temeller, zemin ve temel sistemindeki karmaşık sıcaklık değişimlerinin gerilme ve şekil değiştirmelere neden olduğu dinamik sistemlerdir. Enerji kazıkları durumunda temel tasarımı yeterli bir güvenlikle yapılmamışsa kazıkların genişleme ve büzülme davranışı kazık-zemin sürtünmesinin azalmasına neden olabilmektedir. Enerji kazıklarının termo-mekanik davranışı ve bunun temel tasarımına etkisi

konusunda farklı yaklaşımlar söz konusudur. Geçmiş deneyimlere ve sınırlı sayıdaki saha deneylerine dayanılarak oluşturulan bu yaklaşımların her biri hala geçerliliği ve doğruluğu kanıtlanmamış ancak pratikte uygulanmakta olan yaklaşımlardır. Örneğin İsviçre’de temel sisteminin geotermal enerji amaçlı kullanımı durumunda güvenlik katsayıları iki kat daha fazla alınmaktadır. Amis vd. (2009), Lambeth College geotermal temeli için güvenlik katsayısının 3.5 alındığını bildirmiştir (Olgun, 2010).

Enerji duvarları

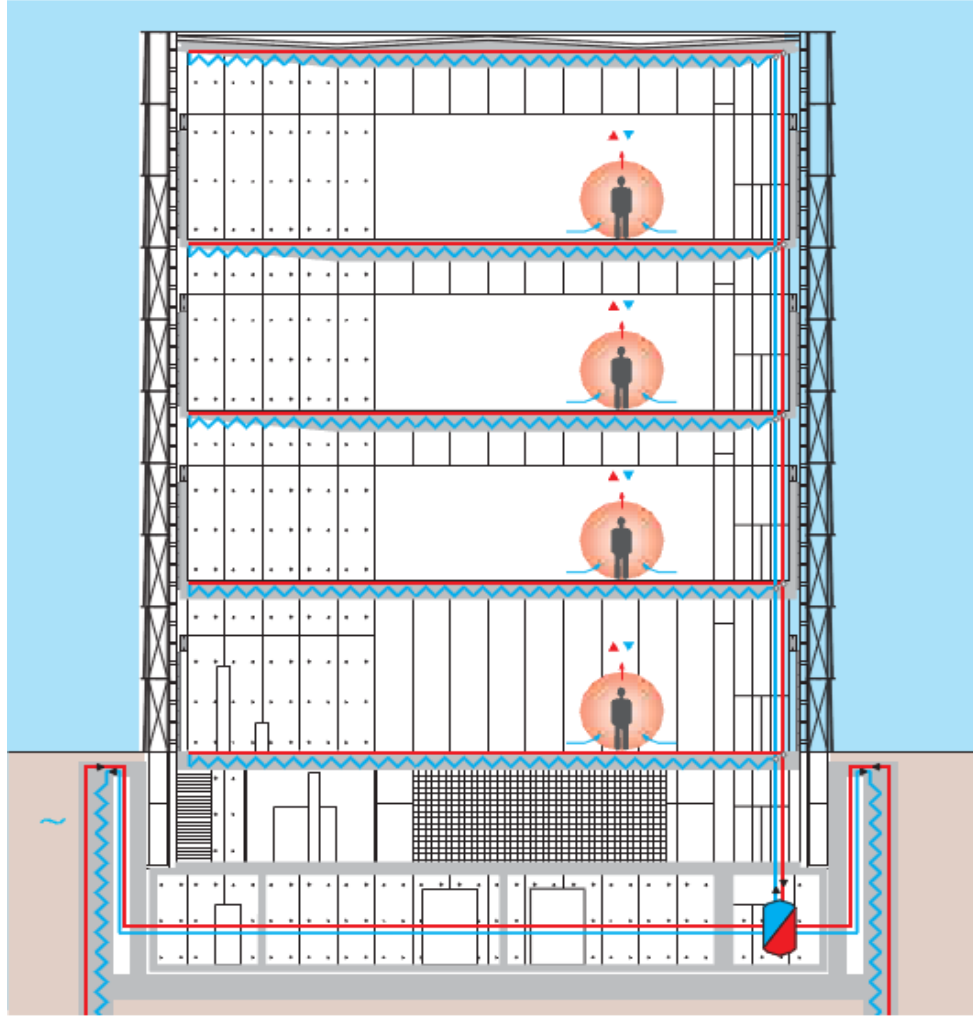
Her türlü betonarme duvar ve perde, kazıklı perde, diyafram duvarlarda ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılırlar(Şekil 4.30 ve Şekil 4.31).



Şekil 4.30 : Diyafram duvar (Unterberger et al, tunnels ground heat)

Enerji tünelleri

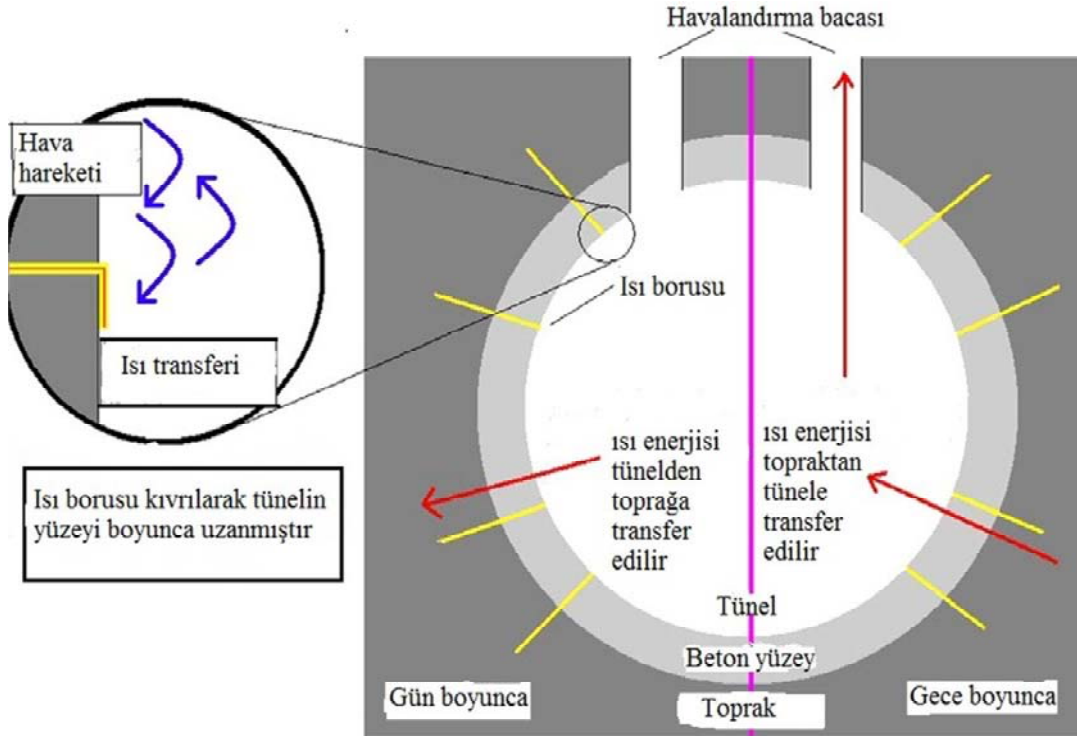
Yeraltı tren yolcu taşımacılığı gelişen ve büyüyen dünyada birçok ülkenin büyük şehirlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yoğun olarak çalışan yeraltı trenleri hareket halindeyken veya durması sırasında büyük miktarda ısı enerjisi üretirler. Bunun yanında tünelde bulunan insanlardan, tünelin aydınlatma sisteminden ve trenlerin soğutulmasında kullanılan klimaların kondenserlerinden çok miktarda ısı tünele atılır. Bu yüzden tünelin sıcaklığı olması gerekenden 8-12 °C daha fazladır. Artan tünel sıcaklığı yolcuların konforunun azalmasına neden olmaktadır. Tünelde üretilen büyük miktardaki bu ısının dışarı atılmasında klimalar kullanılmaktadır. Klimalar çalışırken çok miktarda enerji gereksinimi duymakta ve tünel sıcaklığı cihaz verimleri de düşmektedir. Yeraltı tünellerinin çevresindeki toprak sıcaklığı



Şekil 4.31 : Diyafram duvar uygulaması Avusturya Bregenz Arts Centre

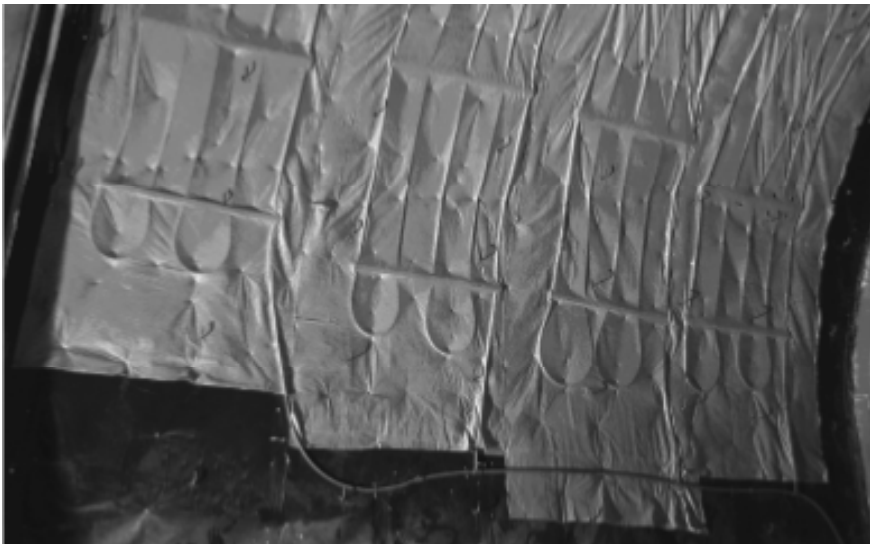
yaklaşık olarak 15 °C ve yıl boyunca neredeyse sabittir. Yaz mevsiminde tünelin sıcaklığı yaklaşık 30 °C olup, bazı zamanlarda 36 °C'e kadar yükselmektedir. Isı boruları çok düşük sıcaklık farkıyla bile mükemmel ısı transferi sağlayabildiğinden tünelin soğutulması toprak kaynaklı ısı borularıyla yapılmıştır.

Şekil 4.32'de görüldüğü gibi tünelin içine yerleştirilen ısı boruları tünelden aldıkları ısıyı toprağa transfer ederler. Kışın tünelin sıcaklığı toprak sıcaklığından daha düşük olursa topraktan tünele ısı transferi gerçekleştirilir. Böylece sistemde kendi kendine tünelin kışın ısıtılması, yazında soğutulması sağlanmıştır (Thompson, J., Maidment, G., Missenden, J., Ampofo, F., 2007; Ampofo, F., Maidment, G., Missenden, J., 2004).



Şekil 4.32 : Toprak kaynaklı ısı boruları ile tünelin soğutulması veya ısıtılması (Özsoy, Yıldırım, 2012).

Tünellerin destek sistemleri ve kaplaması içinde yer alan ankraj, zemin çivisi, geosentetikler ve ikincil beton kaplaması vasıtasıyla tünel etrafındaki zemin geotermal enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Gerçek ölçekli saha deneyleri ve simulasyonlar enerji ankrajlarının geotermal enerji elemanları olarak yüksek verimle kullanılabileceğini göstermiştir (Oberhauser, 2006).

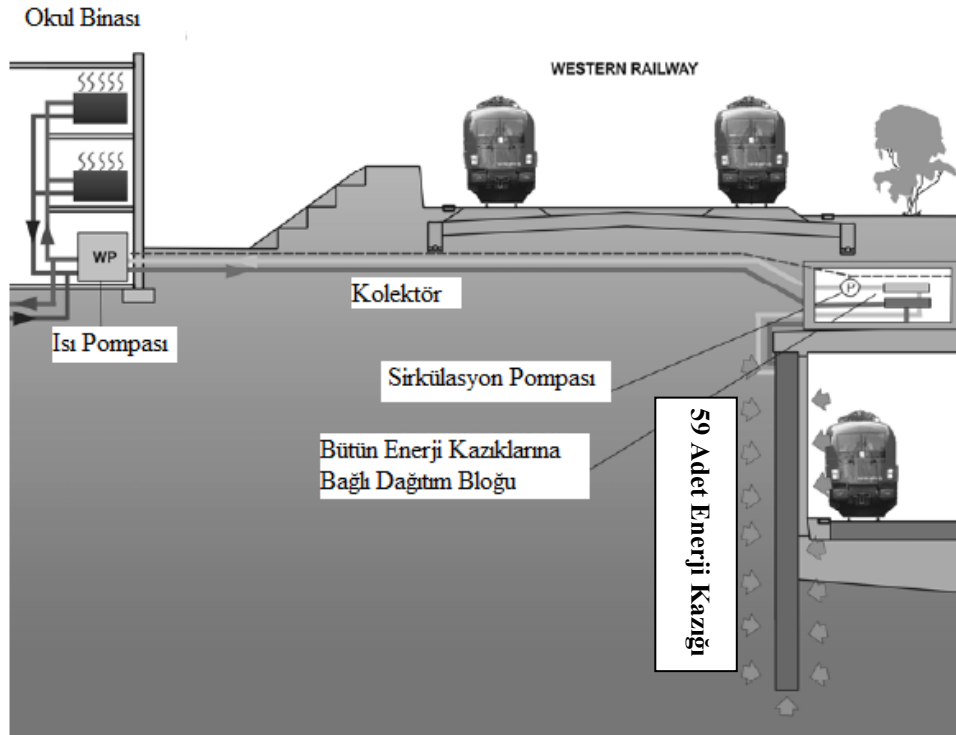


Şekil 4.33 : Lainser tüneline enerji tüneli uygulaması (Markiewicz & Adam, 2003).

LT22 Lainser tüneli inşasında tamamen yeni teknoloji olan termal işlevli beton kaplamalar yapıldı. Absorblayıcı borular öncelikle saha dışında geosentetiklere tutturulmuş ve daha sonra birincil ve ikincil tünel kaplamaları arasına yerleştirilmiştir (Markiewicz & Adam, 2003).



Şekil 4.34 : Geotermal Temel Yapımı (Enerji Döşemesi) (Messe U2 metro istasyonu, Viyana) (Adam&Markiewicz,2009).



Şekil 4.35 : Hadersdorf – Weidlingau aç-kapa tünelinin bir duvarında yer alan enerji duvarını gösteren enkesit (Brandl, (t.y.)).

Yol kaplamaları, köprü tabliyeleri, havaalanı pistleri

Geotermal enerji kullanılarak özellikle kış şartlarında buzlanma önlenebilir ve yol kaplaması altındaki zeminin donması engellenebilir.

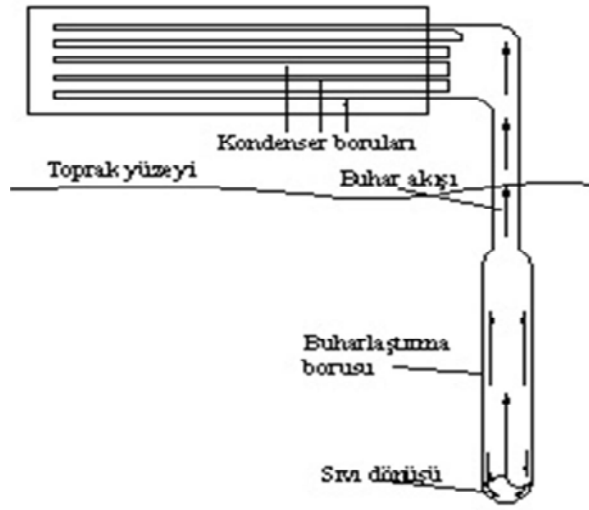
Buzlanma, 0 °C altındaki sıcaklıklarda oluşan doğal bir olaydır. Havaalanları, karayolları ve köprüler üzerinde bulunan kar veya buz zemin içerisine ısı boruları yerleştirilerek erimeleri sağlanabilir.

Kış aylarında yoğun kar yağışı ve buzlanma trafiği olumsuz etkilemektedir. Kar yağışının yoğun olduğu ve buzlanmanın sık olduğu bölgelerde, taşıtların tekerlekleri ile yüzey arasındaki sürtünme katsayısını azalacağından trafiğin akışını zorlaştırmaktadır. Kar yağışı, uçak seferlerinin iptal edilmesi ya da ertelenmesine, yolların kapanmasına neden olabilmektedir. Bu durum ülke ekonomisine büyük miktarda zarar vermektedir. Bu olumsuz durumları ortadan kaldırmak için kar ve buzla mücadele etmede kürüme, tuz, kum ve kimyasal madde kullanımı gibi birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler bazı durumlarda etkili olmakla birlikte çevreye, yol ve köprü yüzeyine zarar vermesi, çevreyi kirletmesi, trafiğin akışını bozmaları, ekipman ve kullanım maliyetinin yüksek olması gibi birçok dezavantajları nedeniyle araştırmacıları kar ve buz ile mücadele etmede yeni arayışlara yönlendirmiştir. Kar ve buzla mücadelede geliştirilen yöntemlerden birisi de toprak kaynaklı ısı borusudur. Yerin bir kaç metre derinliğinde toprağın sıcaklığı yıl boyunca yaklaşık sabit veya belli sıcaklığın üzerinde olması özelliğinden yararlanılarak toprak, ısı kaynağı ya da ısı kuyusu olarak kullanılır. Böylece yol yüzeyindeki buzlanma engellenebilir. Ayrıca tuz yerine bu tür sistemlerin kullanılması ile korozyon oluşumunun miktarı azalabilir, yolların ömrü artırılabilir ve buzlanmaya karşı yapılan tuzlamanın yol açtığı çevre kirliliği de önlenmiş olur.

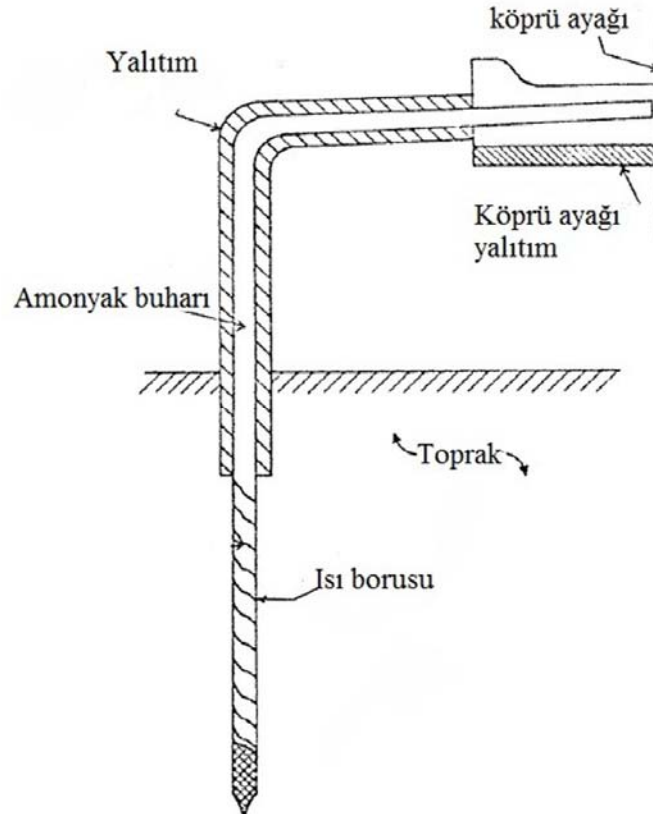
Yol ve pist kaplamaları altında imal edilen termo aktif sistemlerde toprağın içine yerleştirilen evaporatörden ısı çekilip, buzlanmanın önlenmesi istenilen yüzeyin altına yerleştirilen yatay konumdaki kondenserde ısı atılır. Böylece buzlanmanın olduğu yüzeye ısı transfer edilerek buzlanma engellenmiş olur.

Buzlanmanın olduğu yüzeyin sıcaklığı toprağın sıcaklığından fazla olduğunda sistem kendiliğinden durur. Buzlanmanın olduğu yüzeyin sıcaklığı toprak sıcaklığının altına düştüğü zamanda da sistem kendiliğinden yine çalışır. Sistemin topraktan sürekli ısı

çekmesi çekilen ısı enerjisi ile toprağın depoladığı enerji karşılaştırıldığında toprak sonsuz bir kaynak olarak kabul edilebilir.

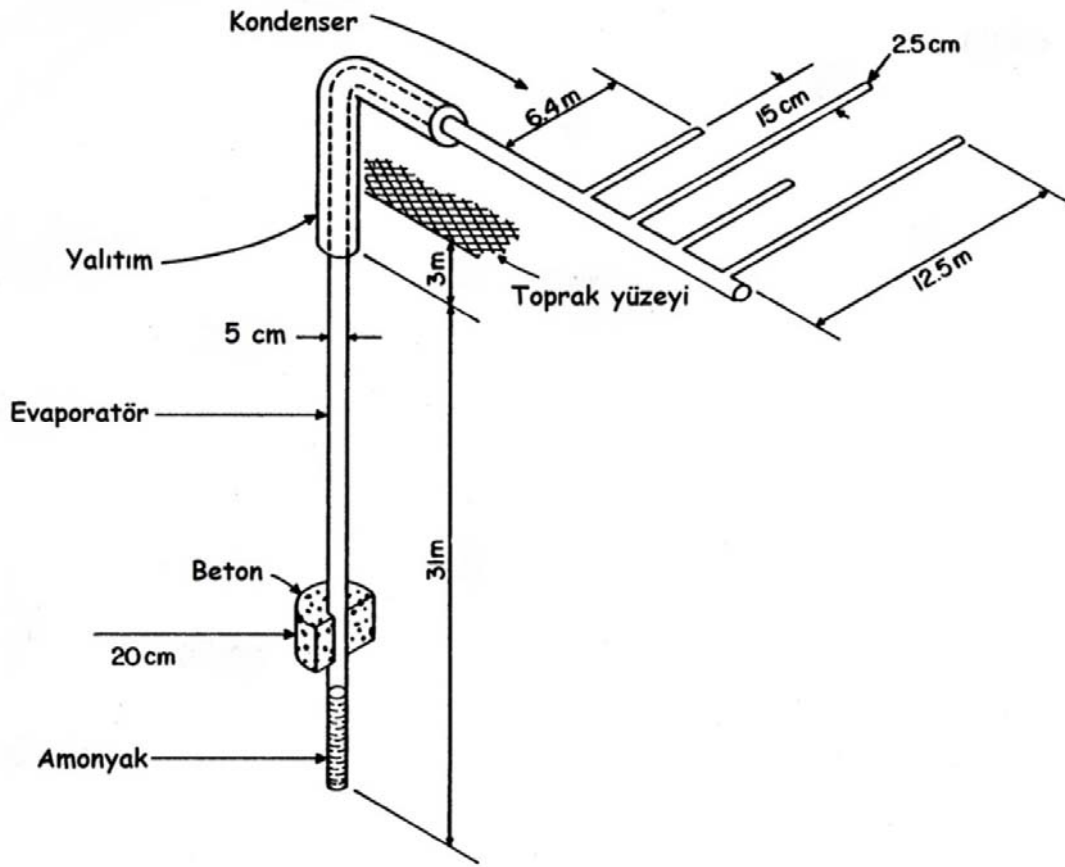


Şekil 4.36 : Toprak kaynaklı ısı borusu sistemi (Balbay, A., Esen, M., 2007).



Şekil 4.37 : Toprak kaynaklı ısı borusuyla köprü ayağının korunması (Swanson, H., 1980).

Toprak kaynaklı ısı boruları köprü ayaklarında ve yüzeylerinde, havaalanlarında, statlarda ve benzeri yerlerde kullanılabilirler. Isı borusunun dışarıdan bir enerji gereksiniminin olmaması, herhangi bir mekanik aksamının bulunmaması, çevreye zarar vermemesi, trafik akışını etkilememesi gibi nedenlerden dolayı diğer yöntemlere göre birçok avantajı bulunmaktadır (Li, S., Ye, X., 2008, Balbay, A., Esen, M., 2007, Engen, I., 1982).

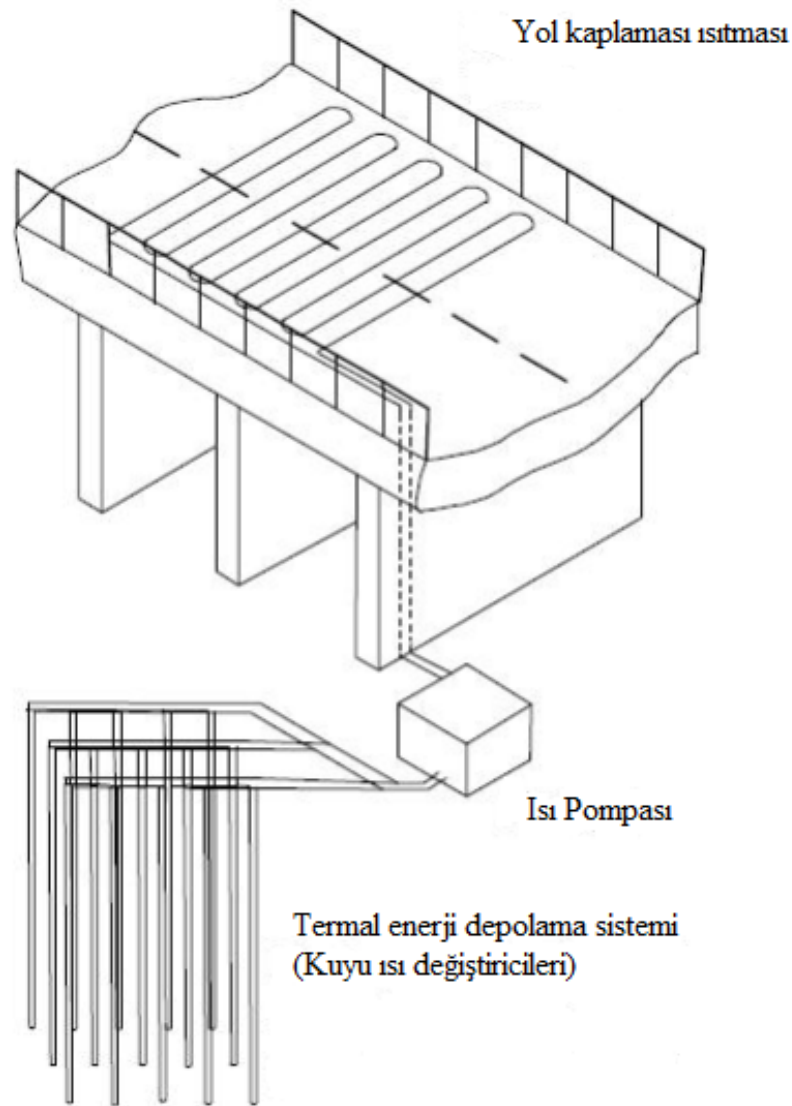


Şekil 4.38 : Köprü ayağında kullanılan dirsek tipi toprak kaynaklı ısı borusu (<http://geoheat.oit.edu/>).

Köprü yüzeylerinde ki buzlanmanın önlenmesi için dirsek tip ısı borusunun kullanıldığı bir uygulamada, her bir ısı borusunun kondenser kısmı 2.5 cm çapında 2 adet 6.4 m ve 2 adet 12.5 m uzunluğunda olmak üzere toplamda 4 borudan oluşmaktadır (Şekil 4.38).

Isı borusunun ısıtılan yüzeyin altında kalan kısımları poliüretan ile yalıtılmıştır. 31 m derinlikte ve 20 cm çapındaki bir kuyuya evaporatör çapları 5 cm olup olan 15 adet

elik malzemeden imal edilen ısı borusu yerleştirilmiştir. Isı borularında iş akışkanı olarak amonyak (NH_3) kullanılmıştır. Kondenserdeki sıvı akışkanın evaporatöre iletilmesi için ısı borusunun kondenserine %2’lik bir eğim verilmiştir. Toprak sıcaklığının $8,3\text{ }^\circ\text{C}$ olmasına rağmen krnn yüzey sıcaklığı $-2,7\text{ }^\circ\text{C}$ ’e kadar ısıtılabilmiştir. Bunun nedeni kondenserdeki eğimin yetersizliğinden kaynaklandığı eğimin % 2’den % 5’e arttırılması gerektiği bildirilmiştir (Lund, J.W., 2000).



şekil 4.39 : Yol kaplaması ısıtması (Sanner, B. 2008).

şekil 4.40 ‘da da kr tabliyesinde uygulama yapılmış ve yapılmamış kesimlerin farklı davranışı görülmektedir.



Şekil 4.40 : Köprü tabliyesindeki uygulama (Kaller,2007).

Aşağıdaki şekilde de yol kaplamasında ısıtma ve soğutma amaçlı toprak kaynaklı ısı pompası uygulaması görülmektedir.



Şekil 4.41 : Geotermal yol kaplaması uygulaması (Kaller,2007).

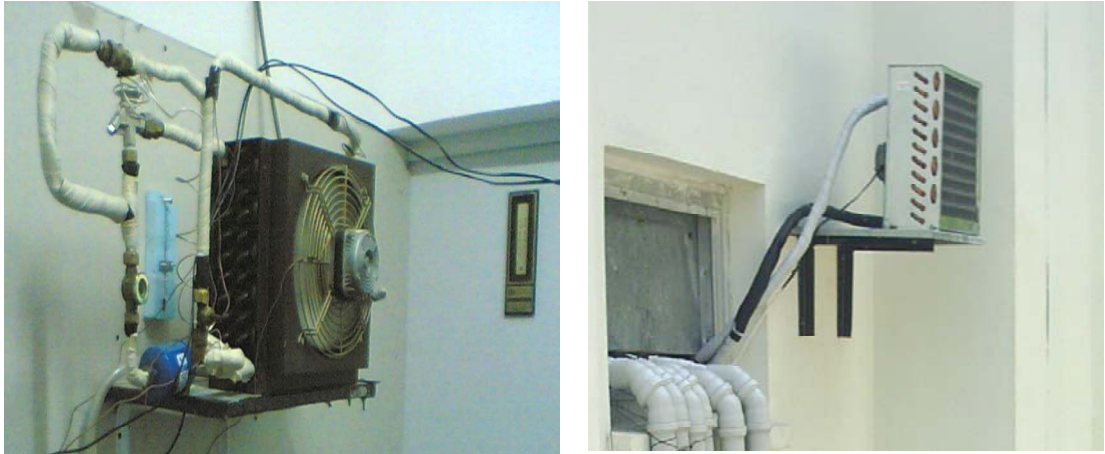
4.8.3 Hava kaynaklı ısı pompası

Isı pompalarında hava, kaynak olarak kullanıldığında hava kaynaklı ısı pompası olarak adlandırılır. Hava, doğada bulunması en kolay ısı kaynağıdır. Ancak hava sıcaklığı yıl boyunca diğer ısı kaynaklarına göre çok büyük değişim gösterir. Isıtmada kaynak sıcaklığının olabildiğince yüksek, soğutmada ise olabildiğince

düşük olması istenir. Hava ise yazın yani soğutmanın yapılması istendiğinde en yüksek değerlerine, kışında ısıtmanın ihtiyaç olduğu durumda en düşük değerine ulaşır. Isı kaynağı ile ısı taşıyıcı arasındaki sıcaklık farkı ne kadar fazla olursa cihaz verimi o kadar düşük olur. Bu nedenle hava kaynaklı ısı pompalarının verimliliği yıl boyunca değişkenlik gösterir.

Yeraltı su kaynağı olmaması ve topraktan ısı alınmasının çeşitli nedenlerle mümkün olmaması durumunda, ısı kaynağı olarak dış hava kullanılır. Isı pompasında mevcut olan donmayı önleyici sistem sonucu, dış hava sıcaklığının -18°C soğuk olması halinde bile kusursuz bir çalışma mümkündür. Bu sistemlerde, ısı pompası bina içine, buharlaştırıcı sistem ise bina dışına kurulur (<http://www.belgeler.com/>).

Toprak kaynaklı ısı pompası ünitesinden farklı olarak hava kaynaklı ısı pompasında dış ortama konan kanatlı borulu ısı eşanjörüdür. Hava kaynaklı ısı pompasında Şekil 4.42’ den görüldüğü gibi soğutucu akışkan, hava kaynaklı kanatlı borulu iç ve dış ünite arasında dolaşmaktadır. Yaz uygulamasında test odası soğutulmakta, kış uygulamasında ise ısıtılmaktadır.



Şekil 4.42 : Hava kaynaklı ısı pompası ünitesine ait iç ve dış kanatlı borulu eşanjörler

Hava kolay elde edilebilmesinden dolayı en uygun ısı kaynağı olmakla beraber; sistem dizaynının, mekana bağlı olarak çok dikkatli bir optimizasyonunun yapılmasını gerektirecek birçok dezavantajı mevcuttur. Bunun sebebi ise;

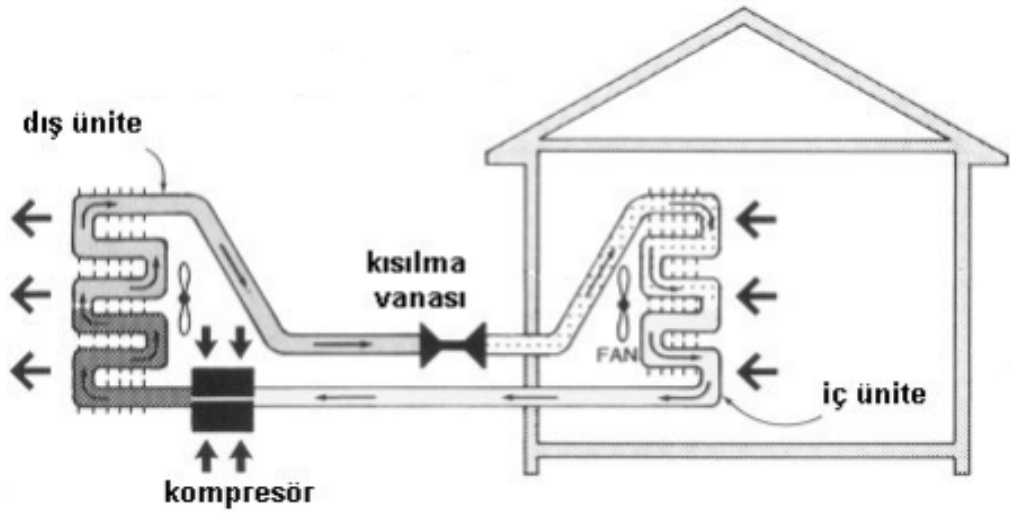
1- Dış havanın oldukça değişken bir sıcaklığa sahip olmasıdır.

2- Buzlanma problemidir.

Kışın ısıtmaya ihtiyaç olduğu zaman havanın soğuk ve yazın soğutmaya ihtiyaç duyulduğu zaman ise, havanın çok sıcak olması ve sıcaklığın gün boyu değişmesi önemli bir dezavantajdır. Bu nedenden ötürü, kış ve yaz daha fazla havanın dış ünitelerden geçirilmesi gerekmektedir. Bu da, daha büyük fan kullanılması ve fanı çalıştırmak için de ilave enerji tüketmek anlamını taşır. Dışarıda sıcaklığın çok düşük olduğu durumlarda ek bir enerjiye ihtiyaç duyulacaktır. Bu gibi durumlarda, elektrikli ya da gazlı ek bir enerji kullanmak suretiyle ortamın ısıtılması sağlanabilir. Bu durumda çevrim akışkanının sıcaklığı belli bir sıcaklığa kadar ısı pompası yardımı ile yükseltilecek, gerek duyulan ek enerji ise; diğer kaynaktan sağlanacaktır (Ünlü, 2005).

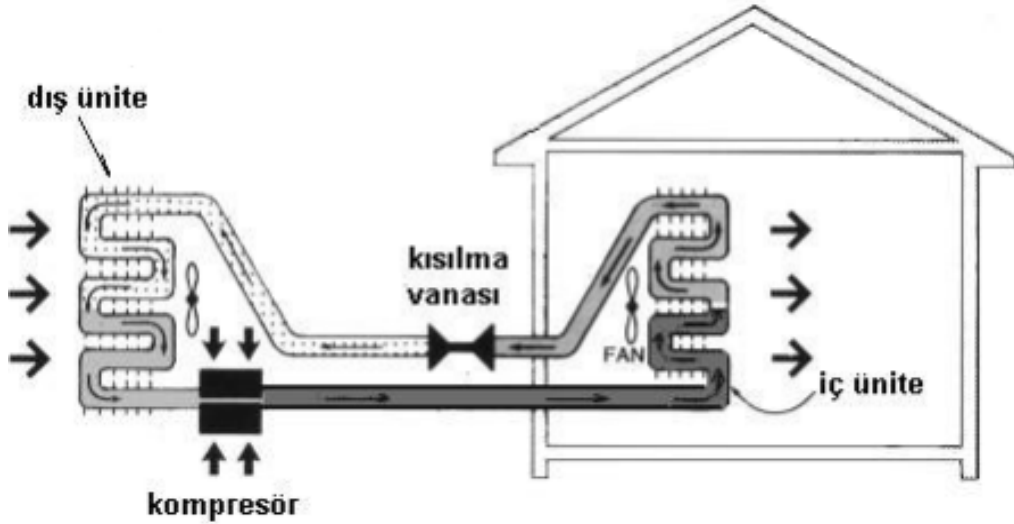
Isı ihtiyacımızın yüksek olduğu anlarda kaynak sıcaklığı da düşüktür. Bu da ısı pompasının ısıtma kapasitesinin düşmesine neden olur. Sıcaklık farkının sistem performansı üzerindeki negatif etkisini azaltmak için bazı önlemler alınmıştır. Bu durumda genellikle ek bir ısıtma kaynağına gerek duyulur. Isı kaynağı sıcaklığının çok değişken olması projelendirmeyi ve ekipman seçimini zorlaştırır (Bose, 1981).

Isı kaynağı ne olursa olsun ısı pompası sistemlerinin yatırım maliyeti konvansiyonel ısıtma sistemlerine göre çok daha fazladır. Sadece ısıtma amaçlı bir sistem düşünülürse, eğer dış hava sıcaklığı düşük olan bir yerde sistem kullanılacaksa, ısı kaybının tamamının sistem tarafından karşılanmasının istenmesi durumunda ilk yatırım maliyet oldukça kabarcaktır. Bu yüzden sistem dizaynı yapılırken minimum sıcaklığın yılın az zamanlarında hissedileceği düşünülerek ve ekonomik kıstaslarda göz önünde bulundurularak sistem dizaynı yapılır. Normal olarak yıllık ısı ihtiyacının tamamı olmamakla beraber büyük bir oranda sağlanılmasına çalışarak sistem dizaynı yapılır. Pik durumlarda ortaya çıkacak ısı ihtiyacı ise ısıtıcılarla sağlanır. Ek ısıtıcılar; elektrikli ısıtıcılar olabileceği gibi bir kazanda olabilir. Elektrikli ısıtıcılar kullanılacağı düşünülürse; ısıtıcıları kontrol etmenin en etkili yolu iç ve dış termostat kullanmaktır. İç ünite iki kademedir oluşmaktadır ve birinci kademe sadece ısı pompasını kontrol ederken, ikinci kademenin esas görevi dış hava sıcaklığı balans noktasının altına düştüğünde dış termostatın yönetmesiyle birlikte ek ısıtıcıları çalıştırmaktır (Ünlü K.,2005).



Şekil 4.43 : Hava - hava ısı pompası soğutma çevrimi(Ünlü, K.2005).

Eğer ısı pompasından soğutma da yapması isteniyorsa dizaynda soğutma yükünün de hesaba katılması gerekecektir. Unutmamak gerekir ki; eğer sistemin soğutma kapasitesi yeterli değilse, daha büyük bir ısı pompası koymaktan başka çare yoktur ve eğer soğutma kapasitesi çok fazla olursa nem kontrolü çok zayıf bir şekilde yapılabilecektir. Yinede soğutma ve ısıtma kapasiteleri gereksinimleri arasında bir denge sağlanmalıdır. (Ünlü K.,2005).



Şekil 4.44 : Basit hava - hava ısı pompası ısıtma çevrimi (Ünlü, 2005)

Isı pompası performansı evaporatör ve kondenser arasındaki sıcaklık farkının artmasına bağlı olarak azalacaktır. Bu da hava kaynaklı ısı pompaları için çok büyük

bir dezavantajdır. Dış hava sıcaklığı düştükçe ısıtılacak alanın ısı ihtiyacı artarken ısı pompasının ısıtma kapasitesi düşecektir.

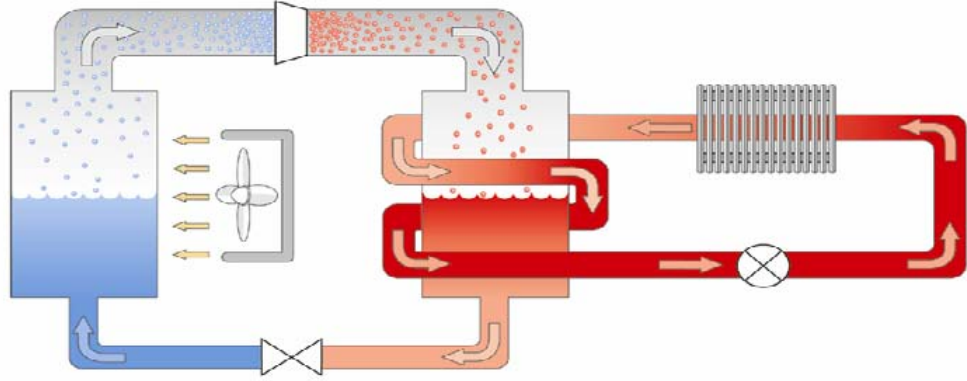
Havanın ısı kaynağı olarak kullanıldığı bir ısı pompasında dış hava vantilatörle, ısı geçişi alanını arttırmak için kanatlarla kaplı olan buharlaştırıcı boruları üzerine üflenir ve borular içindeki soğutucu akışkanla hava arasında 5-10°C' lik sıcaklık farkı oluşturulur. Hava her zaman bulunduğu ve düşük işletme-bakım masraflarına sahip donanımla çalışma nedeniyle en çok tercih edilen ısı kaynaklarındandır. Havanın ısı kaynağı olarak kullanılmasının en büyük sorunu, sıcaklığın sürekli ve çabuk değişmesidir. Bir gün boyunca olduğu gibi mevsimden mevsime de çok büyük değişiklikler gösterir. Isı ihtiyacının en çok olduğu kış aylarında sıcaklığın iyice düşmesi çevrim verimini olumsuz yönde etkiler. Ayrıca hava içinde çok büyük miktarlarda su buharı, buharlaştırıcı üzerinde yoğunlaşır ve düşük hava sıcaklıklarında donar. Oluşan bu buz tabakasının buharlaştırıcı üzerinden bertaraf edilmesi gerekir. Bunun için defrost işlemi yapılır. Çünkü oluşan karlanma ve buz; ısı iletim katsayısını ve kanatlar arasını doldurması nedeni ile ısı geçişi alanını azaltmasına sebebiyet verir. Buzun, buharlaştırıcı yüzeyleri üzerinde uzun süre birikmesine müsaade edildiği takdirde ısı geçişi engellenir. Bu durum ısı pompası ısıtma tesir katsayısı ve kapasitesinin düşmesine neden olur. Ayrıca suyun buza dönüşmesi esnasında buzun genişmesi, buharlaştırıcıya zarar verebilir. Deniz kıyısında ve endüstriyel alanlarda korozyonu önlemek için dış ortam serpantinlerinin tamamı bakırdan yapılmalıdır (Ünlü, 2005). Yapılan araştırmalar, buz birikiminin 9,8-14,6 kg/m² değerine kadar ısı geçişini artırıcı yönde rol oynadığını göstermektedir (ASHRAE Handbook, 1984). Ama yine de daha fazla birikmeyi engellemek için, buzun periyodik olarak buharlaştırıcı yüzeylerinden çözülmesi gerekmektedir.

Hava kaynaklı ısı pompalarında bir başka problem de, buharlaştırıcıda ısı geçişinin düşük olmasıdır. Bu yüzden ısı geçişini arttırmak amacıyla genellikle genişletilmiş yüzeylerden ve fanlardan yararlanılır (Ünlü K.,2005).

4.8.3.1 Hava kaynaklı ısı pompası çalışma prensibi

Bir ısı pompası için sadece bir ısı kaynağı (hava), iki ısı eşanjörü (bir tanesi ısıyı absorbe etmek, diğeri ısıyı mahale aktarmak için) ve sistemin çalışmasını sağlamak için göreceli olarak düşük miktarda elektrik enerjisi gereklidir. Isı pompası enerjiyi

çevreden sağlamaktadır. Hava kaynaklı ısı pompası sisteminde kaynak dışarıdaki havadır. Isı pompası enerjiyi belirli bir sıcaklıkta alır, bu sıcaklığı yükseltir ve ardından bir akışkana aktarır. kullanılan akışkan sudur ve radyatörler, döşemeden ısıtma sistemi veya fan coil üniteleri içerisinde dolaşır.



Şekil 4.45 : Hava Kaynaklı Isı Pompasının Çalışma Prensibi.

Isıtma çevriminde, düşük basınçta ve sıcaklıkta sistemde kullanılan soğutucu akışkan (R410A, R134), buharlaştırıcıdan geçer ve havadaki ısıyı alır, ardından gaz fazına geçer. Bu adımdan sonra kompresör devreye girer. Bir gazı sıkıştırdığınızda gaz fazdaki ısı enerjisi moleküller ile birlikte konsantre hale gelir ve sonuçta sıcaklık yükselir. Bisiklet tekerleği şişirilirken tekerlek içerisindeki havanın ısınması gibi.

Isı pompasının kompresöründe sıcaklık, kaynağın (dış hava) başlangıçtaki sıcaklığına kıyasla çok büyük oranda yükselir. Sıkıştırılan gaz, gazın kendisinden daha soğuk bir yüzey olan kondansere girdiğinde ısıtılan ortamda ikinci ısı değişimi meydana gelir. Son olarak gaz yoğuşur ve evinizi ısıtacak olan ısı açığa çıkar.

Yoğuşma işlemi gazın tekrar sıvı hale dönüşmesidir. Soğutucu akışkan bir genişleme vanasından geçer, başlangıçtaki basıncına ulaşır ve tüm proses tekrar başlar.

Soğutma çevriminde ise bir dört yollu vana ile yapılan işlemler tersine çevrilerek iç ortamdan alınan ısı dış ünite üzerinden atmosfere verilir. Bu işlemle en yüksek verim fancoil ile soğutma yapılan tesisatlarda elde edilir.

4.8.3.2 Hava kaynaklı ısı pompalarının avantaj ve dezavantajları

Hava kaynaklı ısı pompaları, en kolay bulunabilen ısı kaynağı olan çevre havasının enerjisini kullanarak alanlarda ısıtma veya soğutma yapabilen cihazlardır. Kaynak

tarafında havayı kullanan ısı pompaları, elde ettikleri enerjiyi yük tarafında suya veya havaya aktarabilirler. Havadan havaya ısı pompaları “klima olarak adlandırılır. Havadan suya ısı pompaları ise yük tarafında enerjilerini suya aktardıklarından döşemeden ısıtma veya radyatörle daha konforlu ısıtma yapabilme imkanı sunarlar. Sudan havaya ısı pompası sistemleri, split veya monoblok olarak tasarlanmaktadır. monoblok sistemlerde tüm bileşenler alanın dışındadır. Split tiplerde ise, soğutucu akışkan devresinin bulunduğu (su devresi eşanjörü hariç) bir dış ünite mahalin dışına yerleştirilirken, su devresi eşanjörü, hidrolik grup ve kontrol ünitelerinin bulunduğu ünite mahalin içerisine yerleştirilir.

Hava kaynaklı ısı pompasının avantajları

- Konutlara Genel Çözüm: Çeşitli işletim sistemlerinde çok yönlü kullanım ve maksimum konfor imkânı sunar. Döşemeden ısıtma sistemi, düşük sıcaklık radyatörleri, radyatör ile ısıtma, döşemeden ısıtma sistemi ile pasif soğutma ve ayrıca fancoil ile ısıtma ve soğutma. Ayrıca yıl boyunca sıcak kullanım suyunu karşılayabilme imkanı sağlar.
- Kolay ve Esnek Kurulum: Montajının kolay olması yanında, yüksek maliyetli sondaj ve kurulum gerektirmez. Az yer kaplayan dış ünite, sınırlı alanlarda kolaylıkla kullanılabilir. İç ünite için özel bir odaya, havalandırma veya baca gibi ilave bir alt yapıya gerek yoktur. Hava kaynaklı ısı pompası, mevcut düşük sıcaklıklı sistemlere sorunsuz olarak bağlanabilir.
- Optimum Kontrol: Çıkış suyu sıcaklığı, o anda ki dış hava sıcaklığının bir fonksiyonudur ve bu yüzden hava sıcaklığına bağlı olarak yalnızca o andaki enerji gereksinimi karşılanır. İnverter teknolojisi, kompresör hızını anlık ihtiyaca göre ayarlar, gereksiz dur kalk yapmasını engelleyerek enerji tasarrufu sağlar ve iç hava sıcaklığını istenilen değerde sabit tutar.
- Maksimum Verim ve Düşük Elektrik Faturaları: Hava kaynaklı ısı pompası her bir kWh elektrik enerjisi tüketimi ile 3-5 kWh arasında ısı enerjisi üreterek son derece yüksek verim sağlar.
- Düşük Giderli Su Isıtması: Çoğu ticari yapıda soğutma sistemiyle alınan, iç yüklerden ortaya çıkan atık ısı söz konusudur. Bu atık ısı, su ısıtma ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılabilir. Bu, seçilen ısı pompalarındaki ısı geri kazanım serpantinleriyle veya bu amaçla kullanılan su-su ısı pompalarıyla gerçekleştirilebilir.

- Daha Az Bakım İhtiyacı: Bakım gerektiren bir kazan ya da temizlenecek bir baca yoktur.
- Çevre Dostu: Fosil yakıtları doğrudan kullanmadığından kendisi karbondioksit üremez (Özyirmidokuz, 2010).

Hava kaynaklı ısı pompasının dezavantajları

- Değişken Hava Sıcaklığı: Havanın kararlı bir sıcaklığa sahip olmaması, sıcaklığının aynı gün içerisinde bile değişkenlik göstermesi ısı pompası performansının ve kapasitesinin düşmesine sebep olmaktadır.
- Buzlanma: Dış hava sıcaklığının düşmesi sonucunda buharlaştırıcı ile düşük sıcaklık farkı oluşur. Bu durum buharlaştırıcının buzlanmasına sebep olur. Oluşan karlanma ve buzlanma ısı iletim katsayısını ve ısı geçiş alanını azaltır. Bunu engellemek için yapılması gereken defrost işleminde harcanan ek enerji, kapasite ve performansta hızlı düşmeye sebep olur. Ayrıca suyun faz değiştirmesi esnasında buzun genleşmesi sürecinde evaporatör zarar görebilir.
- Düşük Isı Geçişi: Buharlaştırıcıda ısı geçişi, toprak ve su kaynaklı ısı pompalarına göre nispeten düşüktür (Özyirmidokuz, 2010).

Hava kaynaklı ısı pompası cihazları ılıman bölgeler için ideal bir çözümdür. Kurulumu çok uygun olup ortalama ömürleri 20 - 25 yıldır. Kurulduğu binanın özelliklerine ve karşılaştırılan emsal yakıta göre 1-5 yıl arasında sistem kendini amorti eder. Özellikle dökme gaz, motorin ve elektrikli ısıtmaya karşın çok büyük ekonomi sağlar.

4.8.4 Su kaynaklı ısı pompası sistemleri ve uygulama esasları

Su kaynaklı ısı pompalarında, su kaynak olarak farklı şekillerde kullanılır. Bunlar; denizler, göller, ırmaklar olabileceği gibi derinliklerden çekilecek yer altı suları da olabilir. Ayrıca ısı pompaları için yeni bir kaynak sayılabilecek kazan/kule sistemi de sulu kaynaklara örnektir.

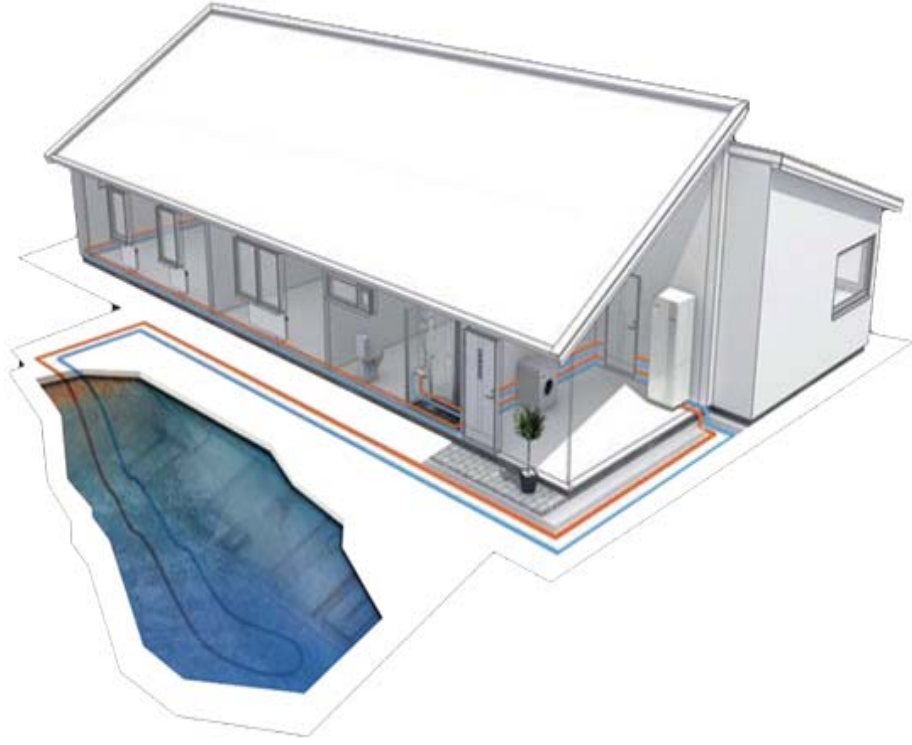
Su toprak gibi güneş enerjisini çok iyi depolayan bir kaynaktır. En soğuk kış şartlarında bile yeraltı sularının sıcaklığı 7 ile 12 °C arasındadır. Eğer ısıtılacak veya soğutulacak mekanın yakınında ırmak, göl, deniz, yer altı suları v.s var ise ısı taşıyıcı

borular bu kaynakların içine yerleştirilir. Yeraltı suyu bir kaynaktan alınır ve ısı pompasının buharlaştırıcısına getirilir ve daha sonra su soğuyarak kaynağa geri döner. Bina içinde kullanılacak ısı pompasının kW değeri baz alınarak ihtiyaç olan saatteki su debisinin doğru hesaplanması gerekmektedir. Su sondajlarının ihtiyaç olan derinliği su debisine göre hesaplanır. Su kaynaklı ısı pompası var olan ısıtma sistemine entegre edilebilir.

Çok kullanılan diğer bir ısı kaynağı olan su konusunda, Avrupa’da yeraltı ve yerüstü sularını kaynak olarak kullanan ısı pompalarını geliştirmek yönünde çok yönlü projeler yapılmaktadır. Yüzey sularının(nehir, göl, deniz, dere v.b) kullanılması halinde sıcaklığın mevsimlerle değişimi sorun olarak karşımıza çıkar. Bu değişim havada meydana gelen sıcaklık dalgalanmalarından daha düşük değerdedir. Yer altı sularını kaynak olarak kullanan ısı pompasında, yer altı suyu buharlaştırıcıya pompayla taşınabileceği gibi, buharlaştırıcı yer altı sularının olduğu yere gömülerek de ısı çekilebilir. Yer altı sularının en büyük avantajı, sıcaklığının yıl boyunca büyük bir değişim göstermemesidir. Suyun ısı geçiş katsayısı havadan daha iyidir. Diğer taraftan, yer altı suyu kullanan ısı pompasının maliyeti; ısı kaynağı olarak yerüstü suyu veya hava olan ısı pompasına göre daha fazladır. Su kullanan sistemlerin en büyük sorunları korozyon ve sudaki canlıların buharlaştırıcıya yapışmasıdır.

Kuyu suları da sabite yakın su sıcaklığıyla iyi bir kaynaktır. Sıcaklığı, kuzey iklimlerde 10 °C’ ye yakın, güney iklimlerde ise yükselerek ekvatora yakın yerlerde yaklaşık 15 °C’ ye ulaşmaktadır. Zayıf kaliteli kuyu suları da ısı değiştiricilerinde korozyona sebebiyet vermektedir. Suyun sistemde kullanılmadan önce kalite testi kesinlikle yapılmalı ve içerdiği mineraller korozyon probleminden ötürü önceden incelenmelidir. Montaj uygulamalarının pahalı olması bu sistemin düzenli kullanılması için bir dezavantajdır.

Bazen de 50 metreden daha az derinlikten elde edilebilecek yer altı suları da ısı kaynağı olarak kullanılabilir. Yapılan araştırmalara göre böyle bir kaynağın verimli kullanılması durumunda, alan ısıtması için kullanılan ısı pompalarının geri ödeme periyodu %10 azaltılmaktadır.



Şekil 4.46 : Su Kaynaklı ısı pompası

Su kaynaklı ısı pompası sisteminde her cihazda, yük tarafında fanlı bir, soğutucu akışkandan havaya ısı değiştiricisi, kaynak tarafında, soğutucu akışkandan suya bir ısı değiştiricisi, kompresör ve kumanda panosu bulunmaktadır. Cihaz yük tarafında havayı soğutmaya başladığında kaynak tarafı suyu ısınırken, ısıtmaya başladığında kaynak tarafı suyu soğur. Her bir ünite bağlı olduğu termostattan aldığı ısıtma ya da soğutma isteğine göre çalışarak, ortama istenilen soğutma veya ısıtmayı yapar. Bu sırada ortaya çıkan atık enerji ise cihazın kondenserinden geçmekte olan suya aktarılır.

Toprağın ulaşılabilir derinliğinde sürekli akışı olan yeraltı su kaynağı bulunması durumunda bu kaynaktaki su ısı kaynağı olarak kullanılabilir. +8°C ila +12°C sıcaklıkları arasındaki su optimal bir işletmeye imkan tanır. Bu sistemlerde, yeraltı suyu açılan bir kuyu ile topraktan emilir, ısı pompasında kullanıldıktan sonra emiş kuyusuna 15 metre uzaktaki bir geri basma kuyusu ile tekrar toprağa gönderilir. Isı elde etmek için, bir hortum, ısının deniz suyundan birkaç derece daha fazla olduğu denizin dibine veya deniz dibi balçığının içine yerleştirilir. Hortumun su yüzeyine çıkması için üzerine ağırlık konulması önemlidir. Hortum ne kadar dipte olursa kaza riski o kadar az olur. Deniz suyu daha çok relatif yüksek ısı tüketimi olan evlerde ısı kaynağı olarak kullanılabilir. Denizden ısıyı transfer edecek su polietilen borular

içerisinde dolaştırılarak makinelere geri dönmektedir. Suyun kapalı bir sistemde dolaştırılmasından dolayı suyun hiçbir kötü etkisinden sistem zarar görmemektedir (<http://www.belgeler.com/>).



Şekil 4.47 : Dolaşım borularının suya batırılması.

Kuyu veya göle borular helezonik şekilde yerleştirilir. İki metre derinliğe ihtiyaç vardır ve boru uygulamalarında ısı transferinin en verimli ve en ekonomik olarak sağlandığı sistemdir. Burada deniz suyun sıcaklığının dış hava sıcaklığına göre daha az değişiklik göstermesi ve yazın serin kışında sıcak olmasından dolayı sistem yıl boyunca yüksek bir verimlilikle çalışmaktadır.

Su kaynaklı ısı pompası avantajları

Oldukça uzun bir geçmişe sahip olan uygulama örnekleri sayesinde diğer sistemlere göre verimliliği birçok kez ispat edilmiş, Amerika'daki kullanım grafiklerine de bakıldığında, normal klima sistemlerindeki kullanım artışının oldukça üzerinde bir kullanım artışı olduğu görülmektedir.

Birçok kullanıcı daha yüksek verim değerlerinden dolayı bu sisteme doğru dönmektedir. Türkiye'de de su kaynaklı ısı pompası sistemi, İstanbul'da yüksek katlı bir iş merkezi ve alışveriş merkezinde klasik sistem bazında (kule ve kazan ile) uygulanmış ve ilk kış ve yaz sezonunu başarılı bir şekilde tamamlamıştır. Özellikle yurt dışı kaynaklı mekanik projeler sayesinde Türkiye'deki kullanım isteği de sürekli artış göstermektedir. Sistemin kullanımı ve örneklerine baktıktan sonra neden tercih edildiğini, yani avantajlarını incelemek gereklidir:

1. Düşük maliyet,
2. Yüksek enerji verimi,
3. Bağımsız zon kontrolü,
4. Binada az yer gereksinimi,
5. Basit ve ekonomik bakım maliyeti,
6. İhtiyaca göre kolaylıkla cihaz ekleme,
7. Her kullanıcının harcamasının ayrı ölçülebilmesi,
8. Uzun cihaz ömrü,
9. Çevre dostu.

Yanma, patlama, zehirlenme riski olmayan, Dünya'nın en güvenilir ısıtma sistemidir.

Sonuç olarak;

Sistemin basitliği, ilk maliyetinin ucuzluğu ve her şeyden önemlisi sağladığı konfor ve enerji ekonomisi sayesinde yurt dışında da ülkemizde de çok hızlı bir şekilde gelişecektir.

5. TÜRKİYE’DE ISI POMPASI UYGULAMA ÖRNEKLERİ

5.1 Yer Kaynaklı Isı Pompası Uygulama rneği

Yer kaynaklı ısı pompası (YKIP) bundan yaklaşık 15 yıl önce Türkiye’deki HVAC sektörüne girdi. Başlarda her yeni konuda olduğu gibi bir dirençle karşıldı. Bu dirençlerin haklı olduğu noktalarda vardı. Uygulama rneklerinin olmaması, uygulama konusunda yetişmiş tecrbeli insanların olmaması, tüm bu risklerle birlikte ilk yatırım maliyetinin yüksek olması konuya olan direncin haklı sebepleri idi.

Zaman içerisinde konuya merak duyan yenilikçi insanların uygulamalara izin vermesiyle piyasada referanslar birikmeye başladı. Bununla birlikte sistemi uygulama konusunda teknik personel de tecrbelerini artırdı. İşletme maliyetlerindeki farkı diğer yakıtlara göre oldukça büyük olması, sistemi cazip kılan en önemli etkidir. Yalnız, ısıtmada en yakın rakibi olan doğal gazın birçok nedenden dolayı ülkemizde hkmetler tarafından ucuz tutulması sonucunda, YKIP sisteminin yalnızca ısıtmada kullanılması durumunda ilk yatırım maliyet farkı karşılama süresi uzun olmaktadır. Güncel fiyatlar üzerinden bir karşılaştırma yapmak gerekirse YKIP sistemin işletme maliyet karşılaştırmasında doğal gaz kullanımına göre %25 daha ucuzdur.

Doğal gazın yayılmasıyla otomasyonlu, otomatik kontrollü yoğuşmalı kazanların imalatı ve kullanımı artmıştır. Bu tip kazanlar düşük sıcaklıklarda çalışarak daha fazla verim elde edebilen sistemlerdir. Sistemlerin kullanımı için bina içerisindeki yüksek su sıcaklığı 90/70, 200/160 kullanımına uygun olan tesisat bileşenlerinin de gelişmesi gerekliydi. Bu ihtiyaç yerden ısıtma tesisatlarını, panel radyatörleri ve fan-coil kullanımını artırmıştır.

Isıtma tesisatında kullanılan su sıcaklıklarının düşmesi ve buna uygun tesisat elemanlarının kullanımıyla YKIP ‘nın ısıtmada dezavantajı olan bir madde ortadan kalkmıştır.

YKIP ‘nın en önemli kısmı yer ısı değiştiricisinin hesaplanması ve uygulanmasıdır. Uygulamalar farklı yöntemlerle yapılabilirler. Bu yöntemler her proje için farklılık

göstermektedir. Önemli olan en doğru çözümü en ucuza sunabilmektir. Yer ısı değiştiricisi ilk yatırımda en önemli maliyet kalemidir. Ayrıca düzgün hesaplanmadığında ve uygulanmadığında sistemin tamamen çalışmaması ve düşük bir verimde çalışması söz konusudur.

5.1.1 Bir YKIP sisteminin yer ısı değiştiricisinin tasarımı

YKIP kurmanın en önemli kısmı yer ısı değiştiricisini tasarlamak ve uygulamaktır. Düzgün toprak ve hava analizleri, doğru yapılmış bir hesaplama, uygun seçim ve boyutlandırma ve en önemlisi düzgün bir şekilde uygulama YKIP'nin çalışması için önem teşkil eden maddelerdir. Bu konuda yapılacak bir hata direkt olarak sistem verimini etkileyeceğinden, sistemin kendini geri ödeme süresi uzamaktadır. Hatta uygun şekilde tasarlanmayan bir yer ısı değiştirici sonucu sistem çalışmayabilmektedir.

İhtiyacımız olan enerjiyi alabilmek ve verebilmek için ısı değiştiricinin kullanacağı bir kaynak olmalıdır. Bu, toprak, deniz, göl, akarsu veya yeraltı su kaynakları olabilir. Bu kaynak ısı değiştiricisinin uygulama yöntemini belirlemektedir. Eğer kaynak olarak toprağı kullanacaksak kapalı bir sisteme ihtiyacımız vardır. Sistemin toprak altına nasıl uygulanacağı ise uygulamanın yapılacağı yerdeki serbest toprak kullanım alanına bağlıdır. Eğer ısı değiştiricisinin ihtiyaç duyduğu alan proje sahasında bulunuyorsa, yatay serme yöntemi uygulanır. Bu uygulamada borular toprağın belli bir derinliğine yatay olarak serilir. Bu serme yöntemi de yine kullanılacak alana göre değişiklik göstermektedir. Eğer proje sahasında ihtiyaç duyulan alandan daha az bir alan varsa dikey serme yada bir başka deyişle sondajla uygulama gerekir. Bu uygulamada arazi üzerinde sondajla dik olarak ihtiyaç duyulan çapta delikler açılır ve kapalı sistem olarak çalışacak boru çifti sondaj deliğı içerisine indirilir.

İki uygulama arasında ilk kurulum maliyetlerinde ciddi farklar vardır. Yatay serme yönteminde toprakta açılacak bir kanal yada toprağın bir kısmının kaldırılmasında saatlik ücretlerle çeşitli kepçeler kullanılarak çözülebilirken, sondaj uygulamasında metre başına 50 YTL ile 100 YTL arasında fiyatlar ödenmektedir. Sondaj uygulamalarında kuyu içerisi koruma borularına ihtiyaç olmaması, sondaj çaplarının küçük olması ve derinliklerin çok olmaması aslında metre başına ücretleri aşağıya

çekmelidir. Bu tip uygulamaların artmasıyla da sondaj firmaları konuyu daha iyi anlayacaklar ve daha düşük ücretlere delim yapmaları mümkün olacaktır.

Eğer projenin uygulanacağı sahada bir su kaynağı var ise yer ısı değiştiricisinin uygulama yöntemleri değişiklik göstermektedir. Eğer su kaynağı yer altı su kaynağı ise açık sistem uygulanması mümkün olacaktır. Açık sistemde proje sahası içerisinde sondaj ileriki su kuyusu açılır. Birinci kuyudan çekilen suyun ısısı alınarak veya elimizdeki ısı atılarak transfer gerçekleştirilir, daha sonra bu su ikinci bir kaynaktan yeraltına tekrar gönderilir. Burada yeraltındaki suyun yalnızca ısısı değiştirilir. Bu yüzden çevreye hiçbir zararı yoktur. Bu yöntemde bir diğer uygulamada yeraltından alınan suyun yakındaki bir göle verilmesidir. Bu sistem toprak için uygulanan kapalı sistem türlerinin ikisinden de daha ucuzdur. Suyun kaynak olarak kullanıldığı ikinci yöntem bir akarsuyun, gölün veya denizin kullanılmasıdır. Bu kaynaklardan faydalanmak için iki yöntem kullanılır, açık veya kapalı sistem. Kapalı sistemde ısı değiştiricisi borular çeşitli yöntemlerle kaynak içerisine yerleştirilir. Bu uygulamada sistem kaynağın sahip olduğu suyun hiçbir negatif özelliğinden etkilenmez. İlk yatırımı açık sisteme göre biraz daha ucuz olmasına rağmen toprak uygulamalarındaki kadar fark büyük değildir. Açık sistemde su kaynağı içerisine bir ısı değiştiricisi yerleştirilmesi yerine su kaynağı direkt kullanılır. Sistemin kendisini koruması için makineden önce bir ısı değiştiricisi daha kullanımı tavsiye edilir. Bu yöntemde suyun sahip olduğu özellik önem teşkil etmektedir. Özellikle denizin kaynak olarak kullanımında deniz suyunun özelliği sistemin nasıl kurulacağını belirleyicisidir. Deniz uygulamalarında kapalı sistemin kullanılması açık sisteme göre daha fazla basitlik sağlamaktadır. Burada sistemin büyüklüğü de belirleyicidir. Sistem büyüdükçe açık sistemin avantajı artmaktadır.

Aşağıda verilecek örneklerde her iki kaynak seçeneğinde uygulanan yöntemlerden birer tanesi anlatılmıştır. Bu iki sistemde mevcut uygulanan sistemlere göre daha ucuz ilk yatırım maliyetlerine sahiptirler.

Birinci örneğimizde Bodrum'da bir villanın ısıtılmasında, soğutulmasında, kullanım suyunun ısıtılmasında ve havuzunun ısıtılmasında kaynak olarak denizin kullanımını göreceksiniz. Bu uygulamada 16 KW 3 adet sudan havaya ve 14 KW ve 17 KW iki adet sudan suya cihaz kullanılmıştır. Kaynağın deniz olarak kullanımında kapalı sistem uygun görülmüş ve alttaki resimlerde de görüldüğü gibi uygulanmıştır. Isı değiştiricisinde 40 lık SDR11 polietilen boru kullanılmıştır. Boru metrajı yaklaşık

1500'm dir. Bu yöntemde denizden ısıyı transfer edecek su polietilen borular içerisinde dolaştırılarak makinelere geri dönmektedir. Suyun kapalı bir sistemde dolaştırılmasından dolayı deniz suyunun hiçbir kötü etkisinden sistem zarar görmemektedir. Deniz suyunun içerisindeki tuzdan ve diğer maddelerden dolayı metallere karşı aşındırıcı bir etkisi olduğunu biliyoruz. Açık bir sistem kullanılması durumunda makineleri korumak için ikincil bir eşanjör kullanımı gerekmektedir. Burada eşanjörün paslanmaz veya titanyumdan olması fiyatı çok artırmakla birlikte kati şarttır. Sistem çok büyük olmadığı için kapalı sistemin kullanımı daha uygun görülmüştür. Burada deniz suyun sıcaklığının dış hava sıcaklığına göre daha az değişiklik göstermesi ve yazın serin kışında sıcak olmasından dolayı sistem yıl boyunca yüksek bir verimlilikle çalışmaktadır. Yaz boyu soğutma sezonunda COP yani verimlilik 6,5 değerinin altına düşmemektedir. Sisteme alternatif olabilecek her hangi bir soğutma sisteminin verimi dış hava sıcaklığına bağlı olduğu için hiçbir zaman bu COP değerini yakalayamamaktadır.

Aşağıdaki resimler Türkiye'den Bodrum' da uygulanmış kapalı çevrim bir deniz uygulaması resimleridir.



Şekil 5.1 : Uygulama için hazırlanmış deniz ısı değiştiricileri.



Şekil 5.2 : Borular denize batırılmadan önce.

Bir diğer örnekte İstanbul’da bir alışveriş merkezinde yer alan yatay serme uygulamasıdır. Uygulama yapılan binada 90 kW’ lık bir ısı pompası kullanılmıştır. Binada yatay serme uygulaması için yeterli yer olmamasından dolayı normalde sondaj uygulaması kullanılması gerekmektedir. Fakat aşağıdaki resimde gördüğünüz helezon yöntemiyle yer ısı değiştiricisi aynı verimde daha ucuza mal olarak uygulanmıştır.



Şekil 5.3 : Isı değiştiricisi hazırlıkları ve hafriyat.

Bu yöntem toprağın verebileceği ısı miktarı hesaplanarak borunun belli bir alana yayılması prensibi ile kullanılmaktadır. Helezon yatay serme, klasik yatay serme

yöntemi kadar fazla kazının yapılmadığı fakat sondajla yatay serme arası bir boru uzunluğu kullanarak enerjinin alındığı bir yöntemdir.

Bu uygulamada toprağa serilen borular fazla bir basınç kaybı düşüşü olmaması için 8 ayrı kola ayrılmıştır. Binada daha önce var olan kazan sökülmemiş ve kışın uç noktalardaki ısıtma yüklerinde tamamlayıcı olması için sisteme adapte edilmiştir. Burada iki sistemin birleştirilmesi için bir akümülayon tankı kullanılmıştır. Bina içerisinde mevcut fan-coil tesisatına dokunulmamış yalnızca bakımı yapılmıştır. Sistem ısıtmada 5 COP civarında bir değerle çalışmaktadır.

5.2 Enerji Kazığı Uygulamalarına Örnekler

5.2.1 Bursa Sheraton Otel enerji kazığı uygulaması

Bursa Sheraton Otel için bina temelinde fore kazıkların içerisine boru yerleştirilerek enerji kazıkları sistemi uygulanmıştır. Bu proje kapsamında 434 adet 20m derinlikte kazıklar yer almaktadır. Bu kazıkların 232 adedi 100cm diğer 202 adedi ise 65cm kalınlıktadır. Yapılan enerji dengesi hesaplarında projede yer alan tüm kazıkların enerji kazığı olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Çünkü kazıklar arasındaki yaklaşık 3m²'lik mesafe sayesinde ısıtma ve soğutma enerjisinden faydalanan kazıklarda toprak dengesi bozulmamaktadır. Kazıkların içerisine yerleştirilecek boru adedi ve kalınlığı elde edilecek enerji miktarını değiştirmektedir. Kazıkların içerisine yerleştirilecek boruların tasarımı ve boru özellikleri incelenerek elde edilebilecek enerji miktarı hesaplanmıştır.

Çizelge 5.1 : Boru aded ve çapları (Altınkaya K., Özer Ö. Ç., 2011).

Boru Adedi adet/kazık	Boru Çapı Mm	Topraktan Alınabilecek Enerji kW/kazık
4 adet	Ø25	1,357
4 adet	Ø32	1,378
2 adet	Ø25	1,173
2 adet	Ø32	1,182

Tablodan görülebileceği gibi kazık içerisine 4 adet boru yerleştirildiğinde 2 adet yerleştirildiği duruma göre daha fazla enerji elde edilmektedir. Bu nedenle kazık içerisine 4 boru yerleştirilmesine karar verilmiştir. Tablodaki veriler incelendiğinde kazık başına elde edilebilecek en yüksek kapasite 4 adet boru ve Ø32'lik boru çapı olarak görülmektedir. Ancak 32'lik boru ile 25'lik boru arasında enerji kapasitesinde

artış olmasının yanı sıra yatırım maliyet farkı da olmaktadır. Sağladığı enerji artışı için yapılacak ilk yatırım maliyet farkını geri ödeme süresini ancak 25 yıl gibi uzun bir sürede geri ödemektedir. Bu nedenle kazık başına 4 adet 25' lik boru alternatifi en uygun olan alternatif olarak seçilmiştir. 434 adet kuyunun tamamından enerji elde edilmesi istendiği durumda toplamda 589 kW kapasite elde edilmiştir. Burada kazık başına 2 adet boru uygulanması alternatifi en kısa geri ödeme süresine sahip olmasına rağmen imalat sırasında hatalara karşı güvende kalabilmek için 4 boru alternatifi değerlendirilmiştir.

Topraktan alınacak enerji miktarına göre kurulacak ısıtma ve soğutma sisteminin COP değeri ile orantılı olarak elde edilecek ısıtma ve soğutma kapasiteleri hesaplanabilmektedir. Aşağıdaki tabloda yüksek verimli bir ısı pompası cihazı ile enerji kazıklarının kaynak olarak kullanıldığı durumda elde edilecek kapasiteler görülmektedir.

Topraktan elde edilecek 589 kW'lık kapasite ısıtma veya soğutma amacı ile kullanılabilecektir. Yukarıdaki tabloda elde edilen kapasiteler ısıtmada 8°C kaynak giriş sıcaklığı ve 32°C yük çıkış sıcaklığı için ve soğutmada 25°C kaynak giriş sıcaklığı ve 7°C yük çıkış sıcaklığı için hesaplanmıştır.

Çizelge 5.2 : Enerji Analizi (Altınkaya K., Özer Ö. Ç., 2011).

ENERJİ ANALİZİ	
Topraktan Alınabilecek Kapasite	589 Kw
Isı Pompası Cihazı Isıtma COP' si	6,3
Isı Pompası Cihazı Isıtma Kapasitesi	700 kw
Isı Pompası Cihazı Soğutma COP' si	6,6
Isı Pompası Cihazı Soğutma Kapasitesi	510 kw

Topraktan elde edilecek 589 kW'lık kapasite ısıtma veya soğutma amacı ile kullanılabilecektir. Yukarıdaki tabloda elde edilen kapasiteler ısıtmada 8°C kaynak giriş sıcaklığı ve 32°C yük çıkış sıcaklığı için ve soğutmada 25°C kaynak giriş sıcaklığı ve 7°C yük çıkış sıcaklığı için hesaplanmıştır.

Çizelge 5.3 : Isıtma işletim maliyetleri (Altınkaya K., Özer Ö. Ç., 2011).

ISITMA MALİYET KARŞILAŞTIRMA TABLOSU							
ISITMA CİNSİ	Birim Fiyat	Yakıt Isıl Değeri	Verim	Isıtma Enerjisi	Yakıt Harcama (saat)	Maliyet (saat)	Maliyet* (Yıl)
Kalorifer Yakıtı no:4	2,02000 TL/Kg	9875 Kcal/kg	0,8	602.000 Kcal/h	76,203 kg/h	153,929 TL/h	305.034 €
Motorin	3,73965 TL/kg	10256 Kcal/kg	0,84	602.000 Kcal/h	69,878 kg/h	261,318 TL/h	517.841 €
Doğal Gaz	0,73850 TL/m3	8250 kcal/m3	0,93	602.000 Kcal/h	78,462 m3/h	57,944 TL/h	114.824 €
LNG	1,06200 TL/m3	8250 kcal/m3	0,93	602.000 Kcal/h	78,462 m3/h	83,327 TL/h	165.124 €
LPG Dökmegaz	4,36871 TL/kg	11100 kcal/kg	0,92	602.000 Kcal/h	58,950 kg/h	257,536 TL/h	510.347 €
İthal Sibirya Kömür	0,62000 TL/Kg	7000 kcal/kg	0,65	602.000 Kcal/h	132,308 kg/h	82,031 TL/h	162.556 €
Yerli Linyit Kömür	0,33984 TL/Kg	4640 kcal/kg	0,65	602.000 Kcal/h	199,602 kg/h	67,833 TL/h	134.421 €
Elektrik	0,28327 TL/kwh	860 kcal/kwh	0,99	602.000 Kcal/h	707,071 kwh/h	200,293 TL/h	396.910 €
	Birim Fiyat	COP		Isıtma Enerjisi	Yakıt Harcama (saat)	Maliyet (saat)	Maliyet* (Yıl)
YKIP Sistemi	0,28327 TL/kwh	6,3		602.000 Kcal/h	111,111 kwh/h	31,474 TL/h	62.371 €
		860 kcal/kwh	0,99	21.500 Kcal/h	25,253 kwh/h	7,153 TL/h	14.175 €
6 ay:180 gün: 4320 saat					YKIP Toplam:		76.547 €

elektrik birim fiyat =0,23 TL/kw

* Yakıt alt ısı değerleri ve birim fiyatları Aralık-2010 tarihli Tesisat Dergisi'nden alınmıştır.

** Fiyatlar konut tipi uygulamalar için KDV dahil fiyatlardır.

Çizelge 5.4 : Soğutma işletim maliyetleri (Altinkaya K., Özer Ö. Ç., 2011).

SOĞUTMA MALİYET KARŞILAŞTIRMA TABLOSU						
ISITMA CİNSİ	Birim Fiyat	Verim	Soğutma Enerjisi	Yakıt Harcama (saat)	Maliyet (saat)	Maliyet* (Yıl)
Su Soğutmalı Chiller	0,28327 TL/Kwh	5	438.600 Kcal/h	102,000 kwh/h	28,894 TL/h	57.257 €
Kule Fanı	0,28327 TL/Kwh	0,99	17.200 Kcal/h	20,202 kwh/h	5,723 TL/h	11.340 €
Sirkülasyon Pompası (Kaynak)	0,28327 TL/Kwh	0,99	17.200 Kcal/h	20,202 kwh/h	5,723 TL/h	11.340 €
Su Soğutmalı Toplam:						79.937 €
	Birim Fiyat	COP	Soğutma Enerjisi	Yakıt Harcama (saat)	Maliyet (saat)	Maliyet* (Yıl)
YKIP Sistemi	0,28327 TL/kwh	6,6	438.600 Kcal/h	77,273 kwh/h	21,889 TL/h	43.376 €
Sirkülasyon Pompası (Kaynak)	0,28327 TL/kwh	0,99	21.500 Kcal/h	25,253 kwh/h	7,153 TL/h	14.175 €
YKIP TOPLAM :						57.552 €

6 ay:180 gün: 4320 saat

1 € 2,18 TL

* Yakıt alt ısı değerleri ve birim fiyatları Aralık-2010 tarihli Tesisat Dergisi'nden alınmıştır.

** Fiyatlar konut tipi uygulamalar için KDV dahil fiyatlardır.

Tablolarda görüldüğü gibi ısıtmada doğalgaza göre %33 ve soğutmada su soğutmalı-kuleli sisteme göre %28 kar elde edilmektedir. Yıllık toplam işletme karı 60.663 €/yıl civarında olmaktadır.

İlk yatırım maliyeti iki alternatif şeklinde hazırlanmıştır. İlk alternatifte kazıkların içerisine ithal boru yerleştirilmiştir. İkinci alternatifte ise kazık içerisine ithal hammadde yerli imalat boru yerleştirilmiştir. İthal boru yerleştirildiği durumda ilk yatırım maliyeti 323.598,62€+KDV olmaktadır. Bu durumda sistemin geri ödeme süresi 5,33 yıl olmaktadır. Yerli boru kullanıldığı durumda ise ilk yatırım maliyeti 195.682,60 €+KDV olmaktadır. Geri ödeme süresi 3,23 yıl seviyelerine inmektedir (Altınkaya K., Özer Ö. Ç., 2011).

5.2.2 HABOM (Havacılık Bakım Onarım ve Modifikasyon Merkezi)

Enerji kazığı uygulaması

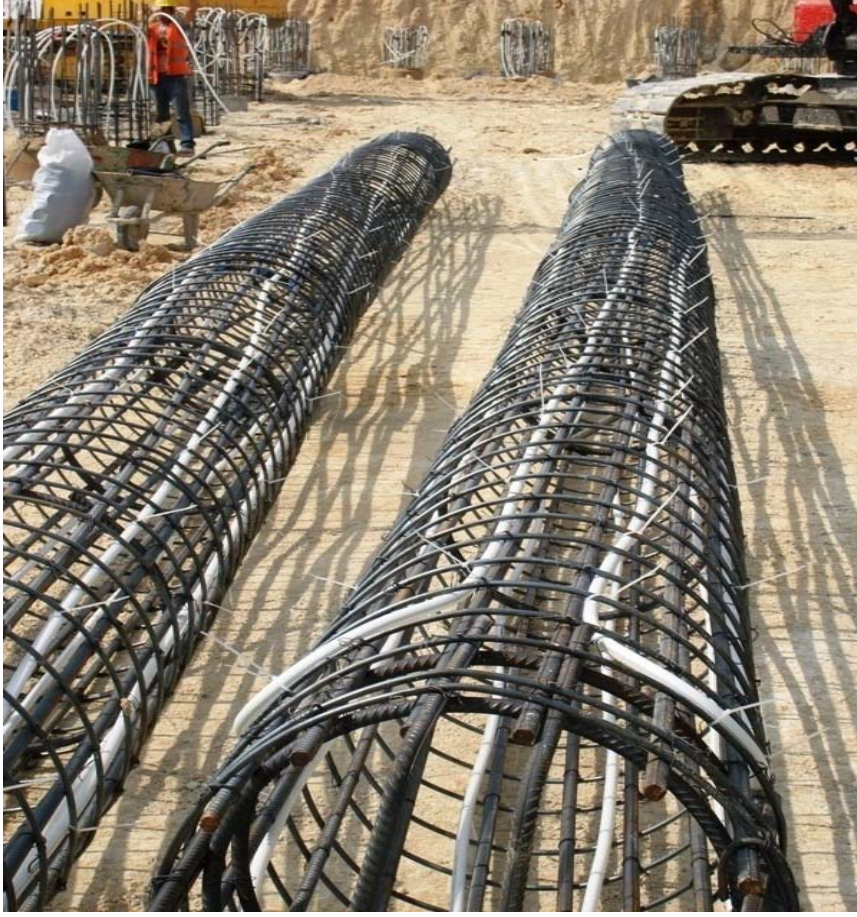
Türk Hava Yolları Teknik A.Ş.'nin Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı yeni bakım-onarım merkezi projesi ve yapacağı tüm yatırımlar için HABOM Projesi (Havacılık Bakım Onarım ve Modifikasyon Merkezi) kapsamında kurulan tüm tesisler, çevreye duyarlı ve maksimum enerji tasarrufu sağlayan şekilde tasarlanmıştır.

Dünyada şimdiye kadar gerçekleştirilen en büyük enerji kazığı uygulamalarından biri olan HABOM (Havacılık Bakım Onarım ve Modifikasyon Merkezi) projesinde, enerji kazığı ve endüstriyel yerden ısıtma/soğutma sistemleri beraber uygulanmaktadır. İnşaat sahasında çekilen aşağıdaki resimlerde Uponor'un sağladığı enerji kazığı ve endüstriyel yerden ısıtma uygulamaları görülmektedir. Bu projede, binanın temeli için açılan 7200 kazıktan 2400 tanesi, enerji kazığı olarak tasarlanmıştır. Uygulama resminde görüldüğü gibi, 80 cm çapındaki kazıklar içerisinde, 4 hat boyunca Uponor pePex boruları kullanılmıştır. Henüz tasarım aşamasında, açılacak olan kazıklardan en yüksek verimi alabilmek için tüm kazıklar enerji kazığına dönüştürülmemiş, kazıkların arasında ısı depolanması için belirli aralıklar bırakılmıştır. Beklenen ısı çıkışı kazık başına 960 W mertebesinde. Kazıklar çalışmaya başladığında, binanın ısıtma ve serinletme yüklerinin önemli bir kısmını karşılayacaktır. Toprak içerisinde kalan 20 mm çapındaki Uponor pePex boruları toplamda 270 km uzunluğundadır (<http://www.tesisat.com.tr/>).



Şekil 5.4 : HABOM enerji kazığı uygulaması.

Havacılık Bakım Onarım ve Modifikasyon Merkezi projesinde, endüstriyel yerden ısıtma/serinletme uygulaması da yapılmıştır. Bu uygulama için, zemin betonu içerisindeki mevcut çelik hasır kullanılmış, borular tel yardımıyla çelik hasıra tutturulmuştur. Hangar zemininin maruz kalacağı yükler oldukça fazla olduğu için, boruların üzerinde geleneksel yerden ısıtma sistemlerine kıyasla daha kalın bir beton tabakası bulunmaktadır. Sistem hem ısıtma, hem de serinletme için, yıl boyunca kullanılacaktır (<http://www.tesisat.com.tr/>).



Şekil 5.5 : Dolaşım borularının yerleştirilmesi.



Şekil 5.6 : Dolaşım boruları yerleştirilen enerji kazıklarının istiflenmesi.

25x2.3mm PE-Xa boruları ile uygulanan sistem, ısıtma için 34°C, serinletme için ise 17°C sıcaklığında su ile beslenmektedir. İçine bol miktarda ışık alacak şekilde tasarlanan binada, endüstriyel yerden serinletme sistemi seçilerek, güneş yüklerinin önemli bir kısmının bertaraf edilmesi sağlanmıştır.

Enerji verimliliğinin giderek önem kazandığı günümüzde, yüksek verimli ve çevreci sistemleri kullanmak, özellikle endüstriyel işletmeler için artık bir zorunluluk haline gelmiştir.



Şekil 5.7 : Kazıkların yerleştirilmesi.

Enerji verimliliği, binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinin, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne yol açmadan, birim hizmet veya ürün miktarı başına enerji tüketiminin azaltılması olarak tanımlanmıştır. Endüstriyel işletmelerde bu konu özellikle önemlidir, zira karbon ayakizinin küçültülmesi konusunda alınacak her önlem büyük etkilere sahip olacaktır (<http://www.thesisat.com.tr/>).



Şekil 5.8 : Enerji kazığının yerleştirilmesi.

Her iki sistem de çalışma aralığında (0-2 m) istenen sıcaklığı sağlayabilmektedir, fakat yerden ısıtma sisteminde yüzey sıcaklığı daha yüksek olmakta ve ideal ısı dağılımına daha yakın bir dağılım çizmektedir. Ayrıca hiçbir hava akımı oluşturmayarak, konforu en üst seviyeye çıkarır. Bunun yanında; hava üfleyici ile (tavandan uygulanan her ısıtma sisteminde olacağı gibi), binanın üst kısmında sıcaklık daha yüksek olmaktadır; bu da binanın işlevsel olmayan bir bölgesini ısıtmak için enerjimizi boşa harcadığımız anlamına gelir.



Şekil 5.9 : Betonu dökülen enerji kazıkları.

Besleme sıcaklıkları geleneksel sistemlere göre daha düşük olduğu için toprak kaynaklı veya su kaynaklı ısı pompalarıyla, enerji kazığı uygulamaları ve diğerk jeotermal sistemlerle sorunsuz bir şekilde çalışabilmektedir.



Şekil 5.10 : Kazıklar üzerine binanın inşaa edilmesi.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji ekonomik ve toplumsal gelişmenin birincil kaynağıdır. İnsanoğlunun geleceği enerji kaynaklarının doğru kullanımına bağlıdır. Ekosistemdeki kaynakların sürdürülebilir olarak kullanılması hayatımızın kalitesi ve çevremizin korunması için yeterlidir.

Fosil-temelli yeraltı enerji kaynaklarının sınırlı oluşu ve toplumu tehdit edecek biçimde azalması, maliyetinin fazla olması ve daha da önemlisi bu enerji kaynaklarının kullanımı ile atmosfere salınan başta CO₂ olmak üzere kükürt ve azot gazlarının dünyadaki yaşam kalitesini tehdit eder ölçülere geldiği günümüzde temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılması artık bir zorunluluk haline gelmiştir. Petrol rezervlerinin azaldığı dünyamızda, ekonomik ve çevre kirliliği oluşturma riski düşük yenilenebilir enerji kaynaklarının bulunması ve geliştirilmesi gerekmektedir. Bu anlamda, rüzgar, su, güneş enerjisi, jeotermal enerji gibi yenilenebilir kaynaklar kullanılarak alternatif kaynaklara yönelmek, bitmeyen, temiz, ve maliyeti düşük enerji kullanmak için teşvikler yapılmalıdır.

Jeotermal Enerji; yenilenebilir bir enerji olduğundan, bir başka deyişle, dünya var olduğu sürece, bulutlardan dünyamıza dökülen yağmur, kar gibi atmosferik olaylar da devam ettikçe, bu enerji türünün tükenmeyecek olması, fosil enerji kaynaklarının tükenme olasılığının tartışıldığı günümüzde daha güvenilir bir kaynaktır. Çevresel etkisi bakımından, jeotermal enerjinin doğrudan ve dolaylı kullanımı, fosil yakıtlara oranla sera etkisi veya asit yağmurları gibi etkileri olmaması bakımından üstündür. Ayrıca jeotermal enerjinin maliyeti, gerek elektrik üretiminde, gerekse ısıtma yönünden diğer enerjilerin maliyetine oranla %50 - %80 kadar daha ucuzdur ve diğer enerji türlerine göre kendini kısa sürede amorti etmektedir.

Sera ısıtmasından, turizme, tarımsal kullanımlara kadar çeşitli alanlarda kullanılan jeotermal enerji çevreye zarar vermeyen, üretim maliyeti oldukça düşük, yatırımını kısa zamanda geri kazandıran bir enerji türüdür. Türkiye’de oldukça büyük bir kaynak potansiyeli bulunan jeotermal enerjiden yeterince faydalanılmamaktadır. Türkiye’deki jeotermal enerjinin yeteri kadar hızlı gelişmemesinin en önemli

nedenlerinden biri uzun yıllardan beri jeotermal enerjiye yatırım yapılmamasıdır. Bunun nedeni de ilk yatırım masraflarının fazla olması, riskli olması ve gerekli teşvik sisteminin bulunmamasıdır. Türkiye’de jeotermal enerji üzerine devlet destekli yatırımlar yapılması gerekmektedir. Jeotermal enerji ile ilgili doğru politikalarla kullanımı hayli artacaktır.

Yerisısı, özellikle binaların ısıtılması ve soğutulması amacıyla kullanılabilecek ekonomik ve çevre bakımından problemsiz bir alternatif enerji kaynağı olarak görülmektedir. Isıtma ve soğutma sisteminin alternatif elemanlarından biri olan ısı pompası sistemi, son yıllarda en çok rağbet gören sistemler arasındadır. Kullanım kolaylığı açısından da piyasada önemli bir yere sahiptir. Isı pompasının kullanım alanlarının artmasıyla, diğer ısıtma sistemlerin daha az kullanılması ve böylece çevreye olan zararlı emisyonların (CO_2 , SO_2 , NO_x) azaltılması söz konusu olabilir. Isı pompası, rekabetin en büyük unsurlarından birisi olan yenileme politikası doğrultusunda gün geçtikçe yeni gelişmeler kaydetmektedir ve taleplerini arttırmaktadır. Enerji sarfiyatının büyük bir kısmının ısıtma sistemlerinde kullanıldığı göz önüne alındığında verimli, çevreye dost, düşük enerji sarfiyatı yanında konfor sağlayan sistem olarak göze çarpmaktadır. Yüksek verim (COP) ile düşük işletme maliyetleri sunan ısı pompalarının Avrupa ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de yaygınlaştırılması için gerekli önem verilmelidir, maliyetlerin düşürülerek daha cazip hale getirilmesi sağlanmalıdır. Isı pompası sisteminin avantajlarının yanında en büyük dezavantajı ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasıdır.

Yapıların mevcut temel sistemlerinin kullanılması ile yer ısısından her mevsim enerji elde edilebilmesinin verim ve etkililiği ilgili geoteknik parametrelerin ve zeminin termal özelliklerinin bilinmesinin yanı sıra temel sistemi geometrisine de bağlıdır. Dolayısıyla bu alanda geoteknik mühendisliğinin katkısı çok önemli olmaktadır. Yapı temel sisteminin ve zeminin ısıtma/soğutma çevrimlerinden ne ölçüde etkilendiği konusundaki çalışmalar halen devam etmektedir.

Günümüze kadar gerçekleştirilmiş olan çok sayıda uygulama sonucunda toprak kaynaklı ısı pompası vasıtasıyla bina ısıtma/soğutmalarında, yol, köprü, havaalanı pistleri buz eritme uygulamaları, enerji duvarları, enerji tünelleri, enerji temelleri, enerji kazıkları ve diğer enerji yapıları yoluyla jeotermal enerjiden yararlanılmasının işlevselliği ve verimi ispatlanmış durumdadır. Çevreci olan toprak kaynaklı ısı pompaları geleceğe yönelik çözüm oluşturmaktadır.

Türkiye’de ısı pompası sistemlerinin yaygınlaşabilmesi için yurt dışında olduğu gibi devlet teşvikinin verilmesi önemlidir. Yurt dışı örneklerinde devlet emlak vergisinde indirim, elektrik faturasında indirim gibi teşviklerle ilk yatırım maliyetinin bir kısmını üstlenmekte veya işletme maliyetlerinin düşmesini sağlamaktadır. Sonuçta ülkedeki enerji ihtiyacının toplamda düşüyor olması devletin verdiği teşvikin kat ve katını geri vermektedir.

Eğer yerli enerji kaynaklarında kullanım çeşitlendirilmez ve enerji tüketimindeki artış bu hızla devam ederse ihtiyacın karşılanmasında dışa bağımlılık oranı giderek artacaktır. Bu bağlamda Türkiye, enerji kaynaklarını en ekonomik ve maksimum yararlanmayı sağlayacak biçimde değerlendirmek ve tükenebilen enerji kaynakları ile yarışacak düzeyde potansiyele sahip olmamakla birlikte yenilenebilir, kirlletici etkisi olmayan, çevre dostu, yerli, sürdürülebilir özellikleri ile öne çıkan jeotermal enerji kaynaklarını kullanmak zorundadır. Geniş bir yelpazede kullanım olanağı sunan ve ülkemizde önemli bir potansiyel oluşturan jeotermal enerji kaynağının fosil enerji kaynaklarının yarattığı olumsuz çevresel etkilerini azaltması yanında ucuz, sürdürülebilir, döviz tasarrufundan dolayı ekonomik kazanımlar gibi nedenlerle var olan enerji kaynakları ile beraber daha fazla kullanılmasını gerektirmektedir.

Jeotermal kaynaklar bazında dünyada ilk 7 ülke arasında bulunan ülkemizin sahip olduğu kaynakları doğru bir politikayla değerlendirmesi halinde kalkınması ve enerji konusunda bir atılım yapması kaçınılmazdır. Sağlıklı bir çevre ve sağlıklı bir toplum için temiz ve yenilenebilir enerji kaynağı olarak jeotermal enerjiden tüm boyutlarıyla yararlanmak ve akılcı planlama çalışmaları ile mevcut yapıyı güçlendirmek tüm planlamacı meslek disiplinlerinin öncelikli gündemi olmalıdır.

Sonuç olarak; döviz harcamalarında tasarruf sağlamak, enerjide dışa bağımlılığı azaltmak, yurt içi istihdam ve geliri artırmak için ekonomik maliyeti düşük olan yer ısısından ve jeotermal enerjiden olabilecek en yüksek düzeyde yararlanmamız gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Adam, D., Markiewicz, R.** (2009). Energy from Earth-Coupled Structures, Foundations, Tunnels and Sewers, *Geotechnique*, Vol. 59,(3),229-236.
- Altinkaya K., Özer Ö. Ç.** (2011). Sheraton Otel Bursa Isıtma ve Soğutma Sistemi Yer Kaynaklı Isı Pompası Teknik Raporu Makine Mühendisi Makine Mühendisi İstanbul, Nisan.
- Altinkaya K.** (2004). Isımas A.Ş. , “Yer Kaynaklı Isı Pompası Uygulamaları”, <http://www.isimas.com.tr/documents/makale3.pdf>.
- Ampofo, F., Maidment, G., Missenden, J.** (2004). “Underground Railway Environment in the UK Part 3: Methods of Delivering Cooling”, *Applied Thermal Engineering*, 24, 647–659.
- Arslan S., Darıcı M., Karahan Ç.** (2001). Türkiye’nin Jeotermal Enerji Potansiyeli, Jeotermal Enerji Semineri.
- Arslan S., Darıcı M., Karahan Ç.** Türkiye’nin Jeotermal Enerji Potansiyeli www.geocen.iyte.edu.tr
- Balbay, A., Esen, M.** (2007). “Yollardaki Kar ve Buzu Önleyici Sistemler”, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 6,1, 169-174.
- Başkır, H.** (1993). Türkiye’ de Jeotermal Enerjinin Isıtma Amaçlı Kullanım Potansiyeli ve Afyon Şehrinin Hava Kirliliğinin Azaltılmasında Jeotermal Enerjiden Yararlanma İmkanları, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Bose, J.E.** (1981). Design and Testing of a Solar asisted Coils”, DOE Bildirisi, Ocak 1981, Washington.
- Bourne-Webb, P. J., et al.** (2009). Energy pile test at Lambeth College, London: geotechnical and thermodynamic aspects of pile response to heat cycles *Ge’otechnique* 59, No. 3.
- Brandl, H.** (2006). Energy foundations and other thermo-active ground structures. *Geotechnique*. Vol. 56, 2, pp. 81-122.
- Brandl, H.** (1998). Energy piles for heating and cooling of buildings. Vienna,. pp. 341-346.
- Brandl, H.** (t.y.). Geothermal heating and cooling of buildings.
- Çengel, Y. ve Boles, M. (Çeviren: Derbentli, T.).** (1996). “Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik”, Literatür Yayıncılık.
- Çetin E., Rıza A., Alpan, Arıcı E., Uçman C., Karaman T.,** (2009). Denizli İli Enerji Üretim İncelenmesi, Ege Bölgesi Enerji Forumu.

- Dağdaş, A.** (2004). Jeotermal Enerji Kaynaklarının Optimal Kullanım Modelinin Geliştirilmesi ve Yöresel Uygulaması, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Demirel, M.** (1998). Jeotermal Enerjinin Yerleşim Alanlarına Etkisi, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, Kütahya.
- Donnelly, D.** (1981). “Geothermal Energy for Highway Snow and Ice Control, Colorado Department of Highways Summary Report”, CDH-DTP-R-81-13, 25s, Colorado.
- Engen, I.** (1982). “Geothermal Deicing of Highways and Bridge Structures” U.S. Department of Energy Informal Report, EGG-GTH-5739, 7p, Idaho.
- Ennigkeit, A.** (2002). Engerieanlage mit Saisonalem Thermospeicher, Mitteilungen des Institutes und der Versuchsanstalt für Geotechnik der Technischen Universität Darmstadt, No. 60.
- GENÇOĞLU M. T.** (t.y.). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından Önemi Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 23279 Elazığ.
- Günerhan, H., Hepbaşlı, A. and Ülgen, K.** (2001). Experimental Studies on Geothermal Heat Pumps at Turkish Universities, 6th Turkish-German Energy Symposium, Izmir, Turkey, 21-23 June.
- Hepbaşlı, A., Çanakçı, C.** (2003). Geothermal District Heating Applications in Turkey: A case study of İzmir-Balçova, Energy Conversion and Management, 44; 1285-1301.
- Hepbaşlı A., Ertöz Ö.** (1999). Geleceğin Teknolojisi Yer Kaynaklı Isı pompaları, IV.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi.
- Hepbaşlı A., Hancıoğlu E.** Toprak Kaynaklı (Jeotermal) Isı Pompalarının Tasarımı, Testi ve Fizibilitesi, V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi.
- İlgar, R.** (2005). Ekolojik Bakışla Jeotermal Kaynaklara Dualist Yaklaşım, Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi, Cilt 4, Sayı 13(88-98), Çanakkale.
- Isı Pompası Sistemleri Hakkında Genel Bilgiler,** (1997). Tesisat Dergisi, Sayfa: 57, Sayı: 30, Kasım/Aralık.
- Kalkınma Bakanlığı,** 10ncu Kalkınma Planı (2014-2018) Madencilik Politikaları Özel İhtisas Komisyonu Enerji Hammaddeleri Grubu Jeotermal Çalışma Alt Grubu Raporu.
- Kaller, R.** (2007). Dimensioning of De-Icing and Snow Melting SYSTEMS Supplied by Geothermal Energy, 18th European Young Geotechnical Engineers Conference, Ancona, Italy.
- Katzenbach, R., Clauss, F. and Waberseck, T.** (2007). Geothermal Energy - Sustainable and Efficient Supply and Storage in Urban Areas. The Sixth China Urban Housing Conference. Beijing, China : s.n., March.
- Li, S., Ye, X.** (2008). “Study On The Bridge Surface Deicing System In Yuebei Section of Jingzhu Highway”, International Journal of Business and Management, Vol.3, No.12, 116-121.

- Lund, J.W.** (2000). "Pavement Snow Melting", <http://geoheat.oit.edu/bulletin/bull21-2/art4.pdf> Erişim Tarihi: 31.05.2012.
- Lund, J.W., Freeston D.H.** (2000). World-wide direct uses of geothermal energy, Japonya.
- Markiewicz, R. & Adam, D.** (2003). Utilisation of geothermal energy using earth coupled structures: theoretical and experimental investigations, case histories. Proc. 13th Eur. Conf. Soil Mech. Geotech. Engng, Prague 2.
- Mcneil, C.S.L. ve Crawford, T.K.** Vertical Borehole Groundloop Heat Pump Installation, Advanced Buildings, Newsletter, 1995 Royal Architectural Institute of Canada, Vol. 1, No. 8, 11 Sayfa, Haziran 1995 (<http://www.discribe.ca/nordic/projtruro.htm>).
- Mertoğlu, O., Bakır, N., Kaya, T.** (2003). Geothermal Applications in Turkey, Geothermics, 32-419-428.
- Oberhauser, A.** (2006). Verfahrens- und Komponentenentwicklung zur Planung von Tunnelthermie Anlagen. PhD thesis, Vienna University of Technology (in German).
- Onur, M., Satman, A.** (2012). Jeotermal Sistemlerin Potansiyellerinin Belirlenmesinde ve Sürdürülebilir İşletilmesinde Rezervuar Mühendisliği Çalışmaları ve Önemi Türkiye’de jeotermal kaynaklar arama ve uygulamalar sempozyumu 8-9 Kasım, İTÜ Maden Fakültesi, Maslak, İstanbul.
- Olgun G., Sezen A., Martin II J. R., Abdelaziz S. L.** (2010). Temel Mühendisliğinde Yenilenebilir Enerji Uygulamaları, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onüçüncü Ulusal Kongresi 30 Eylül – 1 Ekim 2010, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul.
- Özsoy A., Ragıp Yıldırım R.** (2012). Toprak Kaynaklı Isı Boruları ve Uygulama Alanları Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 9, No: 2, (61-73).
- Özyirmidokuz, H.** (2010). Hava kaynaklı ısı pompası ve ekserji analizi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
- Patlar, Ö.** (2006) Toprak Kaynaklı Isı Pompalarından Ekserji Analizi Marmara Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi Makine Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı.
- Sanner, B.** (2008). Geothermal energy use in transport infrastructure. RESTMAC Conference, Budapest, Hungary : s.n., 25 April. European Geothermal Energy Council (EGEC).
- Sumner, J. A.** (1976). An Introduction to Heat Pumps, Prism Press, ISBN 0 90472738 6.
- Shibaki, M.** (2003). "Geothermal Energy for Electric Power", A REPP Issue Brief, Renewable Energy Policy Project, Washington.

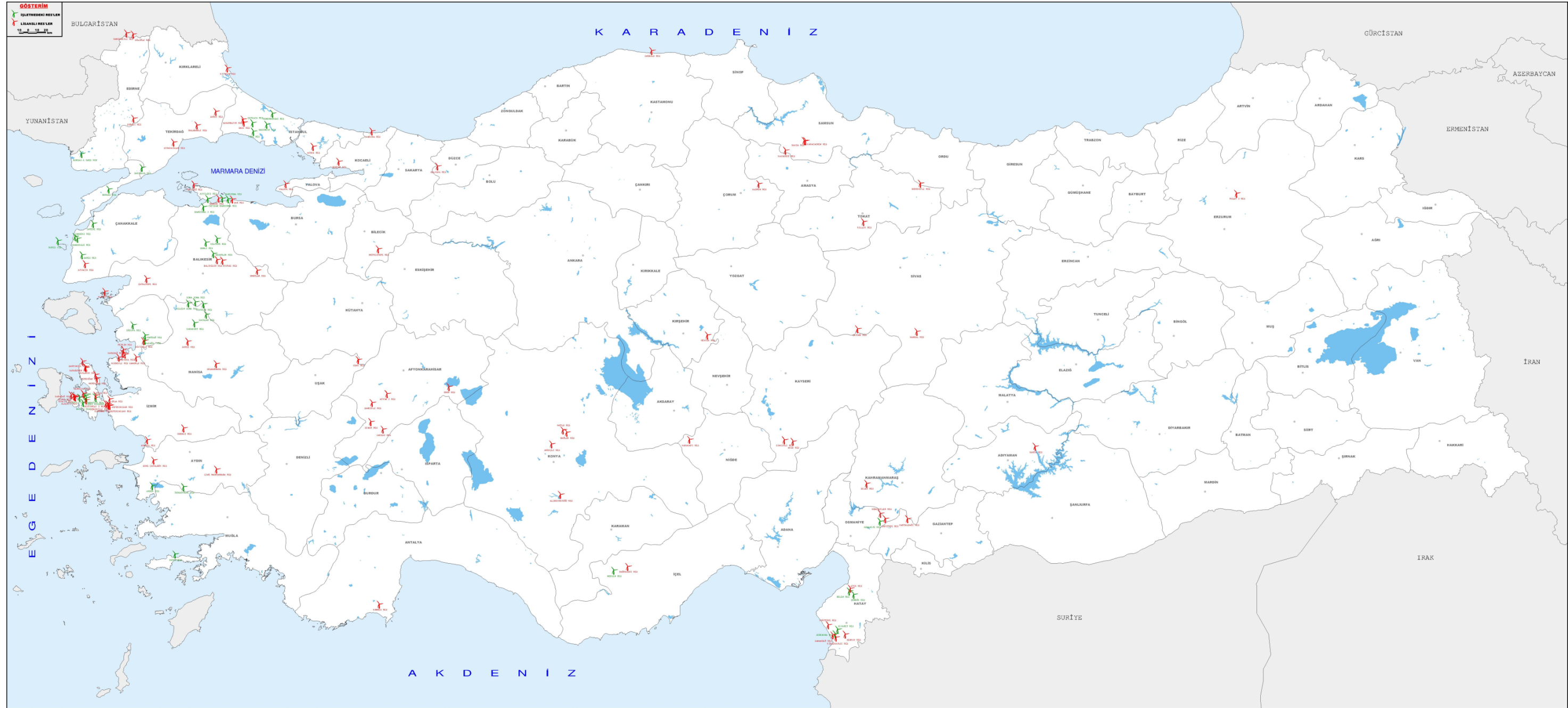
- Swanson, H.** (1980). "Evaluation of Geothermal Energy for Heating Highway Structures", Colorado Department of Highways Interim Report, FHWA-CO-80-6, 66s, Colorado.
- Tesisat Dergisi,** (1997). Isı Pompası Sistemleri Hakkında Genel Bilgiler, Sayfa: 57, Sayı: 30, Kasım/Aralık.
- Thompson, J., Maidment, G., Missenden, J., Ampofo, F.** (2007). "Geothermal Cooling Through Enhancement of The Natural Heat Sink Effect – Proof of Concept", Experimental Thermal and Fluid Science, 31, 551–558.
- Toka, B.** (2008). Jeotermal Enerji Araştırmaları Eğitim Semineri 2008.
- U.S. Department of Energy,** Office of Geothermal Technologies, Strategic Plan for the Geothermal Energy Program, DOE/GO-10098-572.
- Ülker, İ.** (1994). Sağlık Turizmi, Kaynaklar Planlama ve Tanıtım.
- Ünlü, K.** (2005). Hava Ve Toprak Kaynaklı Isı Pompalarına Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi Uludağ Üniversitesi Doktora Tezi.
- Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı,** (1996). T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Jeotermal Enerji Çalışma Grubu Raporu. Yayın No: DPT : 2441 – ÖİK: 497.
- Yıldırım, Ö.** (2005). Termal Turizm İşletmelerinde Müşteri Sadakati Ve Bir Araştırma, Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir.
- Yiğit, Ü.** (1994). Jeotermal Enerjinin Uygulama Alanları, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- 10/05/2005 tarih ve 5346 Sayılı YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ AMAÇLI KULLANIMINA İLİŞKİN KANUN
- Url-1** <http://www.tesisat.com.tr/yayin/181/uponordan-endustriyel-yerden-isitma-ve-serinletme-uygulamaları:_habom-havacilik-bakim-onarim-ve-modifikasyon-merkezi-ve-bmw-dunyasi-binalari_3029.html>, alındığı tarih: 19 Mart 2012.
- Url-2**<http://www.teknolojikarastirmalar.com/pdf/tr/01_2012_9_2_127_749.pdf>, alındığı tarih: 19 Mart 2012.
- Url-3**<Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Araştırma ve Geliştirme Çalışmaları <http://www.meteor.gov.tr/webler/arge/argealt25.htm>>, alındığı tarih: 19 Mart 2012.
- Url-4**<National Renewable Energy Laboratory (NREL) resmi web sitesi, <http://www.nrel.gov>>, alındığı tarih: 19 Mart 2012.
- Url-5**< T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü Güneş Enerjisi ve Teknolojileri, http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx >, alındığı tarih: 14 Ağustos 2012.
- Url-6**<<http://www.wind-energy-the-facts.org>>, alındığı tarih: 18 Kasım 2012.

- Url-7**<<http://www.meteor.gov.tr/>>, alındığı tarih: 13 Ekim 2010.
- Url-8**<http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/jeotermal/11jeotermal_enerji_nedir.html >, alındığı tarih: 28 Nisan 2013.
- Url-9**<www.dektmk.org.tr>, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Enerji Raporu, Aralık 2012, Ankara.
- Url-10** <www.jmo.org.tr> , alındığı tarih: 29.04.2013.
- Url-11** <<http://www.nrel.gov>> , alındığı tarih: 10.01.2013.
- Url-11**<<http://www.alternaturk.org/jeotermal-enerji.php>>, alındığı tarih: 07.12.2012.
- Url-13**<<http://www.yerbilimleri.com/aktif-tektionigin-ikrami-sifir-zararli-jeotermal-enerji/>>, alındığı tarih: 14.08.2010.
- Url-14**<www.mta.gov.tr>, alındığı tarih: 10.04.2012.
- Url-15**<<http://geocen.iyte.edu.tr>>, alındığı tarih:13.06.2012.
- Url-16**<<http://www.jeotermaldernegi.org.tr>>, alındığı tarih: 01.05.2013.
- Url-17**<<http://www.belgeler.com>>, alındığı tarih: 21.07.2012.
- Url-18**<<http://www.gurselgunacar.com>>, alındığı tarih: 17.02.2013.
- Url-19**<<http://www.toprakisi.com.tr>>, alındığı tarih: 03.02.2013.
- Url-20**<<http://www.yenilenebiliriyasam.com>>, alındığı tarih: 19.03.2013.
- Url-21**<<http://www.isipompasicesitleri.com>>, alındığı tarih: 18.04.2012.
- Url-22**<<http://www.ercankara.net>>, alındığı tarih: 17.05.2013.
- Url-23**<<http://www.isipompasi.net>>, alındığı tarih: 31.03.2012.
- Url-24**<<http://www.toprakisi.com.tr>>, alındığı tarih: 10.06.2012.
- Url-25**<<http://geoheat.oit.edu>>, alındığı tarih: 10.04.2012.
- Url-26**<<http://www.belgeler.com>>, alındığı tarih: 07.06.2012.
- Url-27**<<http://www.tesisat.com.tr>>, alındığı tarih: 13.02.2013.
- Dickson M. H. and Fanelli M.** (2004). What is Geothermal Energy? Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR, Pisa, Italy, February. Alındığı tarih: 13.07.2011, adres: http://www.geothermal_energy.org/geothermal_energy/what_is_geothermal_energy.html.
- KÜÇÜKA, S.** (t.y.). Jeotermal Bölge Isıtması Dağıtım Sistemlerinin Genel Esasları, V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi. Alındığı tarih: 22.05.2012, adres: http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/b2c50d21733e0c8_ek.pdf.

EKLER

EK A: Haritalar

EK A



Şekil A.1 : Türkiye’de bulunan işletmedeki ve lisanslı rüzgar elektrik santralleri(RES)

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Fulya Aracı

Doğum Yeri ve Tarihi: Üsküdar 29.04.1984

Adres: Elmalıkent Özakin Sitesi A-1 Blok Daire=22 Ümraniye / İstanbul

E-Posta: fulyaaraci1984@hotmail.com

Lisans: Çevre Mühendisliği ve İnşaat Mühendisliği

Yüksek Lisans : İstanbul Teknik Üniversitesi - Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Yüksek Lisans Eğitimi

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

12.2010 - 03.2012 Geocon Zemin Uzmanları ve Mühendislik Ltd. Şirketi –İnşaat Mühendisi

02.04.2012 - devam ediyor Emay Uluslararası Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş.- İnşaat Mühendisi