

**T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**BALIKESİR GÖNEN VE KÜTAHYA SİMAV  
JEOTERMAL ISITMA SİSTEMLERİNİN  
KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Özlem MOLLAHÜSEYİNOĞLU**

**Balıkesir, Haziran-2006**

T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

BALIKESİR GÖNEN VE KÜTAHYA SİMAV  
JEOTERMAL ISITMA SİSTEMLERİNİN  
KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özlem MOLLAHÜSEYİNOĞLU

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Cemal OKUYAN

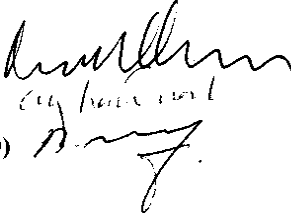
---

Sınav Tarihi: 23.06.2006

Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Cemal OKUYAN (BAÜ-Danışman)

Yard. Doç. Dr. Ayhan ONAT (BAÜ-GMYO)

Yard. Doç. Dr. Niyazi AKSOY (DEÜ-TMYO)



Balıkesir, Haziran-2006

## **ÖZET**

### **BALIKESİR GÖNEN VE KÜTAHYA SİMAV JEOTERMAL ISITMA SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**Özlem MOLLAHÜSEYİNOĞLU**

**Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,**

**Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**(Yüksek Lisans Tezi / Tez Danışmanı: Prof. Dr. Cemal OKUYAN)**

**Balıkesir, 2006**

Bu çalışmada, Türkiye'nin ilk bölgesel jeotermal ısıtma sistemi olan Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sistemi ile Simav jeotermal bölgesel ısıtma sistemleri karşılaştırılmıştır. Gönen ve Simav jeotermal ısıtma sistemlerinin kuyu sıcaklıkları, kuyu debileri, kaynak kapasiteleri ve çalışma verimleri karşılaştırılarak öneriler ortaya konmuştur.

Tez çalışmasının ilk bölümünde, tezin amacı ve kapsamı hakkında bilgi verilerek, daha önce yapılmış çalışmalar ifade edilmiştir.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde, enerji kavramı tanımlanıp, enerji çeşitlerinden özellikle yenilenebilir enerji kaynakları ve yenilenebilir enerji kaynaklarından jeotermal enerji hakkında bilgi verilmiştir.

Tez çalışmasının üçüncü bölümünde, jeotermal bölgesel ısıtma sistemleri hakkında bilgi verilmiştir.

Tez çalışmasının dördüncü bölümünde, Türkiye'nin ilk bölgesel jeotermal ısıtma sistemi olan Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sistemi hakkında bilgi verilmiştir.

Tez çalışmasının beşinci bölümünde, Türkiye'nin ikinci bölgesel ısıtma sistemi olan Simav jeotermal bölgesel ısıtma sistemi hakkında bilgi verilmiştir.

Tez çalışmasının altıncı bölümünde, Gönen ve Simav jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Tezin son bölümünde ise yapılan karşılaştırma sonucu elde edilen verilere göre öneriler yapılmıştır.

Sonuç olarak; Türkiye'nin ilk bölgesel jeotermal sistemi olan Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sistemi ile Simav jeotermal bölgesel ısıtma sistemleri karşılaştırılarak, her iki sistemin daha verimli çalışmaları için gerekli çözüm önerileri ifade edilmiştir.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** yenilenebilir enerji / jeotermal enerji / bölgesel ısıtma sistemi / Gönen / Simav.

## **ABSTRACT**

### **COMPARISON OF BALIKESIR GONEN AND KUTAHYA SIMAV GEOTHERMAL HEATING SYSTEM**

**Özlem MOLLAHÜSEYİNOĞLU**

**Balikesir University, Institute of Science, Department of Mechanical  
Engineering**

**(Msc. Thesis / Supervisor: Prof. Dr. Cemal OKUYAN)**

**Balikesir-Turkey, 2006**

In this study, Gonen geothermal district heating system, the first geothermal heating system in Turkey, and Simav geothermal district heating system were compared.

Some recommendations were made after the comparison of the temperatures and flow rates of wells, supply capacities and working efficiencies.

In the first part of the thesis, it is given information about the purpose of the study, the scope of the thesis and reviewed previous literatures.

In the second part of the thesis, the concept of energy was defined, and it was given information about the energy types, especially renewable energies and geothermal energy.

In the third part of the thesis, it was given information about geothermal district heating systems.

In the fourth part of the thesis, it was given information about Gonen geothermal district heating system which is the first geothermal district heating system in Turkey.

In the fifth part of the thesis, it was given information about Simav geothermal district heating system.

In the sixth part of the thesis, it was made a comparison of Gonen geothermal district heating system and Simav geothermal district heating system.

In the last part of the thesis, it was given information about the findings of comparison.

As a result, comparing Gonen geothermal district heating system and Simav geothermal district heating system, some recommendations were made for the two systems to work more effectively.

**KEY WORDS:** Renewable energy / geothermal energy / district heating system / Gonen / Simav.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
ŞEKİL LİSTESİ .....	vii
TABLO LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ .....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. ENERJİ.....	8
2.1 Tükenebilir Enerji Kaynakları .....	8
2.1.1 Taşkömürü ve Linyit .....	9
2.1.2 Petrol .....	9
2.1.3 Doğal Gaz .....	10
2.1.4 Nükleer Enerji.....	11
2.1.5 Odun .....	12
2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	12
2.2.1 Hidrolik Enerji .....	14
2.2.2 Güneş Enerjisi.....	16
2.2.3 Rüzgar Enerjisi.....	18
2.2.4 Biyokütle Enerjisi .....	19
2.2.5 Deniz Kökenli Yenilenebilir Enerjiler .....	21
2.2.6 Hidrojen Enerji.....	22
2.2.7 Jeotermal Enerji .....	23
2.2.7.1 Jeotermal Sistem .....	24
2.2.7.2 Jeotermal Kaynakların Sınıflandırılması .....	27
2.2.7.3 Jeotermal Enerji Kaynaklarının Araştırılması .....	28
2.2.7.4 Jeotermal Akışkan Üretim ve Re-enjeksiyon Kuyuları.....	28
2.2.7.5 Dünyada Jeotermal Enerji.....	34
2.2.7.5.1 Dünyadaki Önemli Jeotermal Kuşaklar.....	36
2.2.7.5.2 Jeotermal Enerjinin Dünyadaki Kullanım Alanları.....	38
2.2.7.6 Türkiye’de Jeotermal Enerji .....	42
3. JEOTERMAL BÖLGESEL ISITMA SİSTEMLERİ .....	47
3.1 Tek Merkezli Bölgesel Isıtma Sistemleri .....	48
3.2. Çok Merkezli Bölgesel Isıtma Sistemleri.....	51
4. GÖNEN JEOTERMAL BÖLGESEL ISITMA SİSTEMİ .....	53
4.1 Gönen Jeotermal Sistemi Kuyuları .....	58
4.1.1 G1 Kuyusu .....	58
4.1.2 G2 Kuyusu .....	59
4.1.3 G3 Kuyusu .....	60
4.1.4 G4 Kuyusu .....	60
4.1.5 G5 Kuyusu .....	61
4.1.6 G6 Kuyusu .....	61
4.1.7 G7 Kuyusu .....	61

4.1.8 G8 Kuyusu .....	62
4.1.9 G9 Kuyusu .....	63
4.1.10 G10 Kuyusu .....	63
4.1.11 G11 Kuyusu .....	64
4.1.12 G12 Kuyusu .....	64
4.1.13 G13 Kuyusu .....	65
4.1.14 G14 Kuyusu .....	65
4.1.15 G15 Kuyusu .....	65
4.1.16 G16 Kuyusu .....	66
4.1.17 G17 Kuyusu .....	66
4.2 Gönen Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistemi Bina Altı Uygulaması .....	67
5. SİMAV JEOTERMAL BÖLGESEL ISITMA SİSTEMİ .....	69
5.1 Simav Jeotermal Sistemi Kuyuları .....	73
5.1.1 EJ 1 Kuyusu .....	73
5.1.2 E2 Kuyusu .....	74
5.1.3 EJ3 Kuyusu .....	75
5.1.4 E5 Kuyusu .....	75
5.1.5 E6 Kuyusu .....	75
5.1.6 E8 Kuyusu .....	76
5.1.7 E9 Kuyusu .....	76
5.1.8 E10 Kuyusu .....	77
5.1.9 E11 Kuyusu .....	77
5.2 Simav Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistemi Bina Altı Uygulaması .....	78
6. GÖNEN ve SİMAV JEOTERMAL BÖLGESEL ISITMA SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI .....	80
7. SONUÇLAR .....	81
KAYNAKLAR .....	85



## ŞEKİL LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1 İdeal Bir Jeotermal Sistemin Şematik Gösterimi.....	25
Şekil 2.2 Jeotermal Sistem Modeli.....	26
Şekil 2.3 Jeotermal Proje Aşamaları.....	29
Şekil 2.4 Jeotermal Enerjinin Dünyada ve Türkiye’de Değerlendirilmesi ve Karşılaştırılması.....	34
Şekil 2.5 Dünyadaki Jeotermal Kuşaklar.....	37
Şekil 2.6 Kuyu İçi Eşanjörlü Jeotermal Sistem.....	39
Şekil 2.7 Kuyu Dışı Eşanjörlü Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemi.....	40
Şekil 2.8 Jeotermal Isı Pompası Sistemi Örnek Sıcaklık Rejimi.....	40
Şekil 2.9 Jeotermal Akışkanların Dünyadaki Kullanımlarının Yüzde Dağılımı.....	42
Şekil 2.10 Türkiye’nin Neotektoniği-Volkanik Etkinliği ve Jeotermal Alanları.....	44
Şekil 2.11 Türkiye’deki Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemlerinde Konut Bağlantı Miktar ve Oranları.....	45
Şekil 2.12 Türkiye’nin Jeotermal Mevcut Durumu ve Projeksiyonları.....	46
Şekil 3.1 Dallanan Tip Şebekenin Şematik Gösterimi.....	48
Şekil 3.2 İki Borulu Düz Geri Dönüştümlü Sistemin Şeması.....	49
Şekil 3.3 İki Borulu Ters Geri Dönüştümlü Sistemin Şeması.....	50
Şekil 3.4 Ring Tipi Şebekenin Şematik Gösterimi.....	51
Şekil 3.5 Luplu Tip Şebekenin Şematik Gösterimi.....	52
Şekil 4.1 Gönen’in Türkiye Haritasındaki Yeri.....	53
Şekil 4.2 Gönen Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistem Şeması.....	56
Şekil 4.3 Gönen Jeotermal Bölgesel Isıtma Sisteminin Eşanjör Dairesine Ait Resimler.....	57
Şekil 4.4 Gönen Jeotermal Kuyu Yerleşim Planı.....	58
Şekil 4.5 G1 Kuyusuna Ait Resimler.....	59
Şekil 4.6 G2 Kuyusuna Ait Resim.....	59
Şekil 4.7 G4 Kuyusuna Ait Resimler.....	60
Şekil 4.8 G5 Kuyusuna Ait Resim.....	61
Şekil 4.9 G7 Kuyusuna Ait Resimler.....	62
Şekil 4.10 G8 Kuyusuna Ait Resimler.....	62
Şekil 4.11 G9 Kuyusuna Ait Resimler.....	63
Şekil 4.12 G10 Kuyusuna Ait Resimler.....	64
Şekil 4.13 G11 Kuyusuna Ait Resimler.....	64
Şekil 4.14 G13 Kuyusuna Ait Resimler.....	65
Şekil 4.15 G16 Kuyusuna Ait Resimler.....	66
Şekil 4.16 G17 Kuyusuna Ait Resimler.....	66
Şekil 4.17 Başaranlar-II Sitesinin Bina Altı Uygulaması.....	67
Şekil 4.18 Eğitimciler-I Sitesi Bina Altı Uygulaması.....	67
Şekil 4.19 Santrifüj Pompaya Ait Resimler.....	68
Şekil 5.1 Simav’ın Türkiye Haritasındaki Yeri.....	69

Şekil 5.2 Simav Jeotermal Bölgesel Isıtma Siteminin Eşanjör Dairesine Ait Resimleri.....	72
Şekil 5.3 Simav Jeotermal Kuyu Yerleşim Planı. ....	73
Şekil 5.4 EJ1 Kuyusuna Ait Resimler.....	74
Şekil 5.5 E6 Kuyusuna Ait Resimler.....	75
Şekil 5.6 E8 Kuyusuna Ait Resimler.....	76
Şekil 5.7 E9 Kuyusuna Ait Resimler.....	77
Şekil 5.8 E10 Kuyusuna Ait Resimler.....	77
Şekil 5.9 Simav Jeotermal Merkezi Isıtma Sisteminin Konutlardaki Bina Altı Eşanjör Sistem Şeması.....	78
Şekil 5.10 Bazı Binaların Bina Altı Eşanjör Sistemlerinin Resmi.....	79

## TABLO LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 2. 1 Tükenebilirliğine Göre Enerji Türleri.....	14
Tablo 2.2 Dünyanın ve Türkiye'nin Hidroelektrik (HES) Potansiyeli.....	16
Tablo 2.3 Jeotermal Enerjiyi Elektrik Üretiminde Kullanan Ülkeler ve Kurulu Kapasiteleri.....	35
Tablo 2.4 Dünyada Jeotermal Enerjinin Doğrudan Kullanımı.....	35
Tablo 4.1 Gönen Belediyesi Jeotermal Enerji Merkezi Isıtma Sistemi Abone Bilgileri .....	55
Tablo 4.2 Gönen Kaplıcalarındaki Mevcut ve Açılmakta Olan Sıcak Su Kuyularının Yapıldıkları Yıl, Derinlik, Sıcaklık, Debi ve Basınç Değerleri.....	55
Tablo 5.1 Simav Belediyesi Jeotermal Enerji Merkezi Isıtma Sistemi Abone Bilgileri .....	71
Tablo 5.2 Eynal Kaplıcalarındaki Mevcut ve Açılmakta Olan Sıcak Su Kuyularının Yapıldıkları Yıl, Derinlik, Sıcaklık, Debi ve Basınç Değerleri.....	71
Tablo 6.1 Gönen ve Simav Jeotermal Isıtma Sistemlerinin Fiziki Boyutta Karşılaştırılması.....	80

## ÖNSÖZ

Enerji, günümüzde tüm dünya ülkelerinin en başta gelen sorunlarından. Bunun en önemli nedenleri olarak nüfusun giderek artması, sanayileşme ve yaşam standardının yükselmesi gösterilebilir.

Tüm dünyada hızlı bir artış gösteren enerji gereksiniminin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan ve hidrolik enerjiden karşılanmaktadır. Dünyadaki enerji kaynaklarının hızla tükenmesi sonucu yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına talebi arttırmıştır. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi de jeotermal enerjidir.

Tez çalışmalarım süresince, bilgileri, tecrübeleri ve pozitif bakış açısıyla beni yönlendirerek çalışmalarına her zaman katkıda bulunan Sayın Hocam Prof. Dr. Cemal OKUYAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez konusunu seçmemde bana destek olan ve her konudaki yardımlarını esirgemeyen Gönen Jeotermal Enstitüsü Müdürü Yard. Doç. Dr. Ayhan ONAT'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışmamda her zaman yanımda olup desteğini esirgemeyen Öğr. Gör. Ufuk ÇELİK'e, Arş. Gör. Okan KON'a ve jeotermal konusundaki değerli bilgilerini benimle paylaşan Öğr. Gör. İzzet Fuat ONAR'a teşekkür ediyorum.

Ayrıca Gönen ve Simav Belediyesi Jeotermal Müdürlüklerine ve ayrıca Simav Jeotermal Müdürü Makine Mühendisi İbrahim ÇOBAN'a teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan ve beni her konuda destekleyen aileme şükranlarımı sunuyorum.

“Balıkesir - 2006

Özlem MOLLAHÜSEYİNOĞLU”

## 1. GİRİŞ

Enerji, günümüzde tüm dünya ülkelerinin başlıca sorunlarından biridir. Dünyada enerji ihtiyacının büyük bir kısmı fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Dünyadaki enerji kaynaklarının hızla tükenmesi sonucu yeni enerji kaynakları arama ve bulma araştırmaları yapılmaktadır. Ekonomik açıdan gelişmeler sonucunda dünyadaki enerji ihtiyacı artmaktadır. Dolayısıyla ülkeler, mevcut kullandıkları enerji kaynaklarından daha ekonomik olarak yararlanma yollarını araştırmaktadırlar. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarını daha kapsamlı bir şekilde kullanabilmek için çalışmalar yapmaktadırlar. Bilim adamları, son dönemlerde yenilenebilir enerji (jeotermal, güneş, rüzgar, hidrolik, biyokütle, gel-git, hidrojen gibi) kaynaklarını ekonomik olarak kullanma yollarını araştırmaktadırlar. Bu konulardaki çalışmalar halen hızlı bir şekilde devam etmektedir.

Bu çalışmada, Gönen ve Simav jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinin kaynak kapasiteleri, kuyu sıcaklıkları, kuyu debileri ve çalışma verimleri karşılaştırılarak, sistemlerin en iyi performansta çalışabilmeleri için öneriler yapılmıştır.

Bu tez çalışması; enerji kavramı ve enerji çeşitlerinden yenilenebilir enerji kaynakları, jeotermal enerji ve jeotermal bölgesel ısıtma sistemleri hakkında bilgileri, Gönen ve Simav jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinin karşılaştırılması, sonuç ve önerileri kapsamaktadır.

R. Gordon Bloomquist [1] yaptığı çalışmada, jeotermal kaynakların ısıtma endüstrisinde %37'sinin kullanıldığını ve bunun %75'inin bölgesel ısıtma sistemleri olduğunu belirtmiştir. İlk endüstriyel jeotermal kullanımın 14 yy.'da Fransa'da Chaudes-Aigues Cantal'da bölgesel ısıtma sistemi olduğunu, 2003 yılı itibariyle bölgesel jeotermal ısıtma sisteminin 12 ülkede kullanıldığını ve 44.772 TJ yıllık enerji üretiminin olduğu belirtmiştir. Bölgesel ısıtma için genelde 50 °C sıcaklığın

üzerindeki sıcaklıkların gerektiğini ve bazı şartlarda 40 °C gibi düşük sıcaklıkların kullanılabilirliğini ve eğer jeotermal ısı pompaları da dahil edilirse bölgesel ısıtmanın diğer formlara iyi bir alternatif olduğunu ifade etmiştir.

Kaya, D. [2] yaptığı çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarının ilkelerini ve bu ilkeleri şekillendiren politik organizasyonları incelemiştir. Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli ve bu potansiyelin etkin kullanımı, enerji politikaları, politik organizasyonlar, teşvikler, fiyatlar ve cihaz alımları, araştırma ve geliştirme çalışmaları, yenilenebilir enerji uygulamalarının geliştirmesinin önündeki engelleri araştırmıştır.

Erdoğmuş, B., Toksoy, M., Özerdem, B., Aksoy, N. [3] yaptıkları çalışmada, Balçova-Narlidere jeotermal bölgesel ısıtma sistemini ekonomik açıdan yatırım karlılığı dönüş metodunun dahili oranı ile incelemişlerdir. 780 farklı yaklaşım bu araştırmada geliştirilip incelenmiştir. Geri kalan proje zamanlamasında potansiyel nakit akışını değerlendirmek için; aylık enerji faydalanması fiyatları 17\$ ile 72\$ arasında bu yaklaşımlarda değiştirilirken, işletme masrafları 2002 yılında alternatif olarak %5-%30 arasında %5'lik adımlarla arttırılıp azaltılmıştır. Enerji kullanım masrafları sıfır IRR değerine göre tüm yaklaşımlar için çevresel ve sosyal etkileri göz önünde bulundurarak araştırmışlardır. Aylık düzenli enerji kullanım fiyatı işletme masrafları ve ısıtma kapasitesi 2002 yılında aynı kalmak şartıyla 100 m<sup>2</sup> bir ev için 55,5\$ olarak belirlemişlerdir.

Gökçen, G., Koçar, G., Hepbaşlı, A. [4] yaptıkları çalışmada, 2002 yılı sonu Türkiye'deki jeotermal gelişimin durumunu incelemişlerdir. Orta ve düşük sıcaklıktaki (<150 °C) kaynaklarda Türkiye'deki jeotermal gelişim potansiyelinin uygun olduğunu belirtmişlerdir. Bu sebeple kaynakların daha çok doğrudan kullanım uygulamaları için uygun olduklarını ve elektrik üretimi için uygun olan 6 tane yüksek sıcaklıklı alan bulunmuş olsa da sadece Kızıldere jeotermal alanının geliştirilmiş olduğunu söylemişlerdir. Bugün Türkiye'de doğrudan kullanım ısı için 540.8 MWt civarında, sauna ve fiziksel tedavi merkezleri için yaklaşık 327 MWt kapasite ile toplam 867.8 MWt doğrudan kullanım uygulamaları bulunduğunu ve

elektrik üretimi sadece 20.4 MWt ile Denizli-Kızıldere’de uygulandığı hakkında bilgi vermişlerdir.

Kaygusuz, K., Kaygusuz, A. [5] yaptıkları çalışmada, enerji ihtiyacının yarısından fazlasını ithal ettiği petrolden sağlanması ile Türkiye’nin enerji ithal eden bir ülke olduğunu, hava kirliliğinin dikkate değer bir önem arz eden çevre sorunu olmaya başladığını ve bu bağlamda jeotermal enerjinin ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının temiz ve sürdürülebilir bir enerji çözümü olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, jeotermal enerjinin Türkiye’deki uygulama alanları ve kapasiteleri hakkında bilgi vermişlerdir.

Mertoğlu, O. [6] yaptığı çalışmada, jeotermal enerjinin Türkiye’deki uygulama alanlarından, kapasitelerinden ve jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinin Türkiye’deki jeotermalin uygulamaların temelini oluşturduğunu ifade ederek, Türk halkına ekonomik açıdan uygun bir sistem olduğunu ve temiz çevre ortamı oluşturduğunu belirtmiştir. Bölgesel ısıtma sistemlerinin Türkiye’de geniş alanlarda şehir tabanlı jeotermal ısıtma sistemleri ile başladığını ve bu oluşumun teknik ve ekonomik bakış açısından Türkiye’de jeotermal ısıtma sistemleri yatırımı için önemli bir avantaj teşkil ettiği, jeotermal ısıtma sistemi bağlantılarının yıllık %23’lük artış ile 1983’den beri devam etmekte olduğunu ifade etmiştir.

Mertoğlu, O., Canlan, A., Bakır, N., Dokuz, İ., Kaya, T. [7] yaptıkları çalışmada, Türkiye’de jeotermal enerjinin daha çok doğrudan kullanımda (yerleşim alanları, sera, kaplıca) ve tedavi amaçlı uygulamalarda kullanıldığını ve kullanımların Türkiye’deki kapasitelerinden bahsetmişlerdir. Ayrıca jeotermal kaynak şartları ve kullanımlarının karakteristikleri bölgesel jeotermal ısıtma sistemi tasarım ve teknolojisine bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Mertoğlu, O., Bakır, N., Kaya, T. [8] ve Mertoğlu, O., Bakır, N., Kaya, T. [9] yaptıkları çalışmada, jeotermal enerjinin, Türkiye’deki uygulama alanlarının daha çok direk kullanım olduğunu ve kullanım kapasitelerini belirtmişlerdir. Ayrıca Kızıldere’de 20.4 MWe gücünde bir jeotermal elektrik çevrim santralinin bulunduğunu, bu santrale likit CO<sub>2</sub> ve kuru buz üreten fabrikanın entegre edildiğini

ve Binary çevrimli 25 MWe kapasiteli jeotermal elektrik santralının Aydın-Germencikte kurulacağını ifade etmişlerdir.

Hepbaşı, A., Özgener, L. [10] yaptıkları çalışmada, yenilenebilir enerjinin sadece Türkiye için değil dünya için de gelecek açısından anahtar kaynak olduğunu belirterek jeotermal enerjinin Türkiye'deki uygulama alanlarını, kapasitelerini ve dünyadaki sıralamaları hakkında bilgi vermişlerdir.

Batik, H., Koçak, A., Akkuş, İ., Şimşek, Ş., Metoğlu, O., Dokuz, İ., Bakır, N. [11] yaptıkları çalışmada, Türkiye'de ilk jeotermal araştırmaların MTA tarafından 1960 yılında başladığını, günümüzde 170 adet jeotermal alanın keşfedildiğini ve bu alanların %95'nin düşük jeotermal alan olduklarını ve toplam kapasitelerini belirtmişlerdir.

Serpen, U., Aksoy, N. [12] yaptıkları çalışmada, Gönen jeotermal sisteminin Kuzey Anadolu fay hattının Yenice-Gönen bölümünün doğusunda oluşan düşük sıcaklıklı jeotermal alan olduğunu ve jeotermal sistemin jeofiziksel araştırmalar tarafından tanımlanan daha küçük faylarla sınırlandırılan bölgesel sistemlere benzediğini ifade etmişlerdir. Bölgede uygulanan re-enjeksiyonun basınç düşüşünü engellemediğini ve jeotermal rezervuarın soğumasına sebep olduğunu belirtmişlerdir. 16 yıl içerisinde bölgesel ısıtma sisteminin mevcut kapasitesinin 4 katına çıkarılmasından sonra rezervuarda yaklaşık 6 bar basınç düşüşü ve 10-15°C soğuma gözlemlenmiştir. Bu çalışmada jeolojik, jeofiziksel araştırmalar ve uygulanan testlerle mevcut rezervuar yönetiminden kaynaklanan problemler belirtilmiş ve sürdürülebilir jeotermal sistem için çözüm önerileri sunulmuştur.

Özgener, L., Hepbaşı, A., Dinçer, İ. [13] yaptıkları çalışmada, Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sistemini enerji ve ekserji açısından incelemişlerdir. Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin ekserji yıkılımını 6 °C'de referansta enerji ve ekserji akış diyagramlarını kullanarak belirlemiş ve grafiklemiştir. Yaptıkları çalışmada enerji kayıplarının pompalardan, eşanjörlerden ve boru hatlarından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Bu sistemdeki enerji ve ekserji üretkenliğini araştırarak analiz



etmişlerdir. Verimliliğin %45.91 ile %64.06 civarında olması gerektiğini belirlemişlerdir.

Onat, A., Onar, İ., Mollahüseyinoğlu, Ö., Aslan, A. [14] yaptıkları çalışmada, Türkiye'nin ilk bölgesel jeotermal ısıtma sistemi olan Gönen jeotermal ısıtma sisteminde karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri ele alınmıştır. Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sistemini kaynak kapasitesini, mevcut konut kapasitesini ve ısıtma sisteminin çalışma verimini inceleyerek proje ve uygulama bazında çözüm önerileri ortaya koymuşlardır. Su debisinin yeterli ve yeni açılan kuyuların verimli olmaması nedeniyle özellikle dış ortam sıcaklığının 0°C'nin altındaki sıcaklık değerlerinde eksik debinin karşılığı olan enerjinin ek ısıtma ile karşılanmasını önermişlerdir.

Mollahüseyinoğlu, Ö., Onat, A., Onar, İ., Okuyan, C. [15] yaptıkları çalışmada, Türkiye'nin ilk bölgesel jeotermal ısıtma sistemi olan Gönen bölgesel jeotermal ısıtma sistemi ile Simav bölgesel jeotermal ısıtma sistemini karşılaştırılmışlardır. Gönen ve Simav jeotermal ısıtma sistemlerinin kaynak kapasitesini, kuyu sıcaklıklarını, kuyu debilerini ve çalışma verimlerini karşılaştırılarak çözüm önerileri ortaya koymuşlardır.

Aslan, A., Çanakçı, C. [16] yaptıkları çalışmada, Gönen bölgesel ısıtma sistemini, tasarım ve işletme değerleri açısından incelemişlerdir. Jeotermal saha ve mevcut üretim kuyularının üretim ve performans değerlendirilmesi yapılarak sahadan en yüksek sıcaklık farkı, en yüksek debi ile enerji elde edilmesi için kuyu testleri yapılmıştır. Bazı üretim kuyularında yapılacak pompa değişiklikleri ile daha az enerji tüketilerek daha fazla enerji üretilebileceğini belirtmişlerdir. Isı merkezleri tasarım değerlerini tespit ederek, 2000-2004 yılları arasındaki işletme formlarından alınan değerler ile karşılaştırmışlar ve işletmenin daha ekonomik çalışması için gerekli konstrüktif önlemler önermişlerdir. Şehir dağıtım hattı hidrolik analizi yapılarak sistemde enerjinin homojen bir şekilde dağıtılabilmesi için; ana sirkülasyon pompa değişikliği, şehir dağıtım hattında yapılabilecek değişiklikler, bina altı sistem değişiklikleri gibi alternatif projeler teknik ve ekonomik olarak değerlendirilerek sistemin iyileştirilmesi için yatırım alternatifleri belirlemişlerdir.

Özgener, L., Hepbaşı, A., Dinçer, İ. [17] yaptıkları çalışmada, jeotermal bölge ısıtma sistemlerinin enerji ve ekserji bakış açılarından değerlendirilmesinde kullanılan söz konusu performans parametrelerini analiz etmişlerdir. Enerji ve ekserji modellerini, Balçova-İzmir, Salihli-Manisa ve Gönen-Balıkesir’de bulunan üç farklı jeotermal bölgesel ısıtma sistemi üzerinde uygulamışlardır. Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinin performans parametrelerinden; özgül ekserji göstergesi, enerji ekserji verim eşitlikleri ve termodinamik parametrelere yer vermişlerdir.

Köse, R. [18] yaptığı çalışmada, Kütahya-Simav’daki mevcut jeotermal enerji kaynaklarının potansiyelini ve verimliliğini incelemiştir. Simav-Eynal arasındaki jeotermal akışkanın ısısı bölgesel ısıtma sistemi için çok yüksek olması sebebiyle elektrik enerjisi üretimi ihtimalini araştırarak fizibilite çalışmalarını yapmıştır. Çevresel sebepler yüzünden bu ikili güç ünitesinde çalışan akışkan olarak HCFC-124 seçilmiştir. Kütahya-Simav jeotermal enerji ünitesi olarak 2.9 MWe kapasite ile çalışabileceği ve minimum 17020MWh/yıl elektrik enerjisi üretebileceğini ifade ederek ön fizibilite çalışmaları sonucunda projenin uygun ve yapılabilir durumda olduğunu belirtmiştir.

Köse, R. [19] yaptığı çalışmada, jeotermal enerjinin elektrik enerjisi üretiminde kullanımını ve Kütahya-Simav bölgesinde var olan jeotermal enerji kaynaklarından elektrik enerjisi elde etmenin kullanılabilirliğini araştırmıştır. Teorik olarak tasarımı yapılan santralde, jeotermal akışkanın düşük sıcaklık ve sıvı ağırlıkta olması nedeniyle binary çevrimi kullanılmış ve bu santralde akışkan olarak R-134a seçmiştir.

Köse, R., Tuğcu, A., Gün, A., [20] yaptıkları çalışmada, ülkemiz için önemli bir potansiyel teşkil eden jeotermal enerjinin elektrik üretiminde kullanımını incelemişlerdir. Jeotermal enerjiyle elektrik üretiminde kullanılan termodinamik çevrimler araştırılmış, Simav yöresindeki mevcut jeotermal kaynaklara uygulanabilirliği irdelenmiştir. Teorik olarak tasarımı yapılan santralde, jeotermal akışkanın düşük sıcaklık ve sıvı ağırlıkta olması nedeniyle binary çevrim kullanılmıştır. Visual BASIC programlama dilinde yazılan program ile santralın fizibilite çalışmasını yapmışlardır.

Tuğcu, A. [21] yaptığı tez çalışmasında, Simav yöresindeki mevcut jeotermal enerji kaynaklarından binary çevrimle elektrik üretimi olasılığını araştırmıştır. Kütahya ilindeki mevcut kaynaklar hakkında bilgi verildikten sonra Simav-Eynal jeotermal enerji sahasında binary çevrimle çalışan bir elektrik santralının tasarımı yapmıştır. Santralin tasarımında kullanılacak hesaplamalar için Visual BASIC programlama dilini kullanarak, bir paket program hazırlamış ve santral tasarımının n fizibilite çalışmasını yapmıştır.

## **2. ENERJİ**

Üretilmeyen ve ancak mevcut bir formdan diğerine dönüştürülebilen enerji; etkiyen kuvvet anlamına gelmektedir. Ayrıca, enerji fizik biliminde iş yapabilme yeteneği ve depolanan iş olarak da tanımlanır [22].

Ülkelerin ekonomik ve sosyal gelişmelerinin sürükleyici unsuru ve en temel gereksinimlerinden biri, enerjidir. Bu nedenle de ülke yönetimlerini üstlenenler, enerjiyi kesintisiz, güvenilir, temiz ve ucuz yollardan bulmak ve bu kaynakları da mutlaka çeşitlendirmek zorundadırlar. Kimi geleneksel enerji kaynakları ile geri kalmış teknoloji kullanımının, doğal çevrede geri dönülmez tahribatlara yol açmaması içinse, “sürdürülebilir kalkınma” kavramı gündeme gelmiştir. Buna paralel olarak da, yalnız enerji kaynağı teminini ve enerji üretimini temel alan planlamanın yerini, gelişmiş toplumlarda enerji-ekonomi-ekoloji dengesini özenle gözetilen planlama anlayışı ile kaynak çeşitliliğini ve jeopolitik gerçekleri dikkate alan enerji güvenliği modelleri almaya başlamıştır. Dünyanın gelişmiş ülkelerinin, enerji politikalarında gözettikleri en önemli unsurlardan birisi de enerji verimliliğini arttırmak, enerji yoğunluğunu azaltmak ve enerji tasarrufuna özen göstermektir [23].

Enerji; tükenen enerji kaynakları ve yenilenebilir enerji kaynakları olmak üzere iki ana grupta incelenebilir.

### **2.1 Tükenen Enerji Kaynakları**

Tükenen enerji kaynakları; taşkömürü, petrol, doğal gaz, linyit, odun ve nükleer enerjidir.

### **2.1.1 Taşkömürü ve Linyit**

Kömür, dünyada en büyük kaynağa sahip fosil yakıttır. Dünyanın en önemli taş kömürü kaynakları Çin'de bulunmaktadır. Türkiye'nin en büyük kömür havzası Zonguldak ve çevresinde bulunmaktadır. Türkiye'nin 2001 yılı sonu itibariyle taşkömürü rezervi 1.126 milyar tondur [24].

Türkiye'nin hemen hemen her bölgesinde çok değişik özellikte linyit rezervi bulunmaktadır. Dünya linyit rezervinin %2'si Türkiye'de bulunmakla birlikte, dünya linyit üretiminin %8'i Türkiye'de yapılmaktadır. Türkiye'nin 2001 yılı sonu itibariyle linyit rezervi 8.075 milyar tondur. Bu rezervin 3.357 milyar tonu Elbistan havzasındadır [24]. Üretilen linyitin ısı değeri düşük olduğu için termik santrallarda kullanılmaktadır.

### **2.1.2 Petrol**

Dünyadaki enerji üretiminin büyük bir kısmı petrolden karşılanmaktadır. 2004 yılında dünyada kanıtlanmış petrol rezervlerine sahip ilk beş ülkesi Suudi Arabistan, İran, Irak, Kuveyt ve Birleşik Arap Emirlikleri'dir. Bu ülkelerin başında  $262.7 \cdot 10^9$  varil rezerviyle Suudi Arabistan gelmektedir [25].

Her yenilenemez enerji kaynağı gibi petrol rezervleri de sınırlıdır. Bununla beraber uzun yıllar yetecek petrol rezervleri mevcuttur ve yeni rezervlerde yeraltında keşfedilmeyi ve üretilmeyi beklemektedir. Gelişen teknoloji sayesinde petrol, derin deniz diplerinde ve yer altının karmaşık yapıda olduğu bölgelerde dahi aranmakta, bulunmakta ve üretilmektedir [25].

2002 yılı kaynaklarına göre, dünya petrol üretiminin 2/3'nü Orta Doğu ülkeleri üretmektedir. 2004 yılı kaynaklarına göre bu ülkeleri, Rusya Federasyonu, Amerika Birleşik Devletleri, İran ve Meksika izlemektedir [25].

Türkiye’de ise, petrol uzun yıllardan bugüne kadar ithal edilen enerjidir. Türkiye’nin yıllık petrol üretimi 1991 yılında 4.451 milyon ton seviyesindeyken günümüzde 2.276 milyon ton seviyesine gerilemiştir. Petrol tüketimi ise 1991 yılında 22.113 milyon ton seviyesinde iken günümüzde 31.729 milyon ton seviyesine çıkmıştır. Bu da petrole olan talebin her geçen gün arttığının göstergesidir [24].

### **2.1.3 Doğal Gaz**

Doğal gaz organik teoriye göre, milyonlarca yıl önce yaşamış bitki ve hayvan artıklarından oluşmuştur. Yeryüzü kabukları arasına gömülen bu atıklar, basınç ve sıcaklık etkisiyle, kimyasal değişikliklere uğrayarak doğal gazı meydana getirmiştir. Bugün üretilen doğal gazın %40 kadarı petrol ile aynı yataklardan, %60 kadarı ise petrolün olmadığı yataklardan sağlanmaktadır [26].

Doğal gaz, uzun zamandır enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte sanayinin gelişmesiyle kullanımı artan fosil yakıtların çevreye verdikleri zararların artması temiz bir yakıt olan doğalgazın önemini son yıllarda arttırmıştır.

Dünyada bilinen doğal gaz rezervleri 100 trilyon m<sup>3</sup> mertebesinde. En büyük kaynak %35 ile Bağımsız Devletler Topluluğu topraklarında bulunmaktadır. Bunu %34 payla Ortadoğu takip etmektedir. Geri kalan rezervler çok daha küçük oranlarda Güneydoğu Asya, Kuzey Amerika, Latin Amerika, Afrika, Batı Avrupa ve Orta Avrupa’dadır [26].

Türkiye’de 2004 yılında doğal gaz üretimi 708 milyon m<sup>3</sup>, tüketim ise 22446 milyon m<sup>3</sup> olarak gerçekleşmiştir [24].

Türkiye’de sınırlı miktarda doğal gaz çıkarılmakta ve kullanıma sunulmaktadır. Türkiye doğal gazı esas olarak Rusya ve İran’dan boru hatlarıyla, Cezayir ve Nijerya’dan sıvılaştırılmış olarak deniz yoluyla satın almaktadır. Ayrıca Azerbaycan ve Türkmenistan ile doğal gaz temini için anlaşmalar yapılmıştır [26].

#### 2.1.4 Nükleer Enerji

Atom çekirdeklerinin parçalanması sonucunda büyük bir enerji açığa çıkmaktadır. Ağır atom çekirdeklerinin nötronlarla bombardımanı sonucunda bu çekirdeklerin parçalanması sağlanabilir. Bu tepkimeye "filyon" adı verilmektedir. Bunun haricinde hafif atom çekirdeklerinin birleşme tepkimeleri de büyük bir enerjinin açığa çıkmasına sebep olmaktadır. Bu birleşme tepkimesine ise "füzyon" adı verilmektedir. Filyon ve füzyon tepkimeleri ile elde edilen bu enerjiye "nükleer enerji" denir. Nükleer reaktörlerde filyon reaksiyonu ile edilen enerji elektriğe çevirmektedir. Güneşteki reaksiyonlar ise füzyon reaksiyonudur. Bu reaksiyonun yarattığı sıcaklık filyon reaksiyonundakinden çok daha fazladır. Bu yüzden bu sıcaklığı kontrol edebilecek bir füzyon reaktörü henüz kurulamamıştır [27].

Dünyada 2002 yılı itibariyle işletmede olan 442 adet nükleer santral bulunmaktadır. İşletmede olan santrallerin net gücü 356.746 MWe, üretilen enerji 2544 TWh'tir [27].

Dünyada bazı ülkelerin elektrik üretiminde nükleer enerji payları Fransa %77, Belçika %58, Slovak Cumhuriyeti %53, Ukrayna %46, İsveç %44, Macaristan %39, Güney Kore %39, İsviçre %36, Japonya %34, Almanya %31, Finlandiya %31, İspanya %27, İngiltere %23, ABD %20, Çek Cumhuriyeti %20, Rusya Federasyonu %15, Kanada %13, Arjantin %8, Güney Afrika Cumhuriyeti %7 ve Hindistan %4'tür [27].

Günümüzde ticari üretimde bulunan nükleer santrallerde yakıt olarak uranyum kullanılmaktadır. Hiçbir endüstriyel kullanım alanı olmayan uranyum doğada, bol miktarda bulunmaktadır. İkinci bir nükleer hammadde ise toryumdur ve Türkiye dünyanın en zengin toryum yataklarına sahip ülkesidir. Mevcut rakamlara göre Türkiye'nin toplam 9.100 ton uranyum (U3O8) ve 380.000 ton toryum (ThO2) rezervi vardır [28].

Türkiye'de nükleer enerji uzun süredir gündemde yer almaktadır. Son yıllardaki krizlerden ve çevreci akımlardan olumsuz yönde etkilenmesine rağmen, son günlerde

ülkemizde nükleer santral kurma çalışmaları artmıştır. Ayrıca radyoaktif sızıntılar, kalıntılar, atıklar ve atom enerjisinin kaynağı olan Uranyumun 50 yıl içinde tükenmesi, bu enerjinin önündeki bir başka büyük engeldir.

### **2.1.5 Odun**

Odun, ateşin bulunmasıyla birlikte hemen hemen tek ısı enerjisi kaynağı olmuştur. Bugün az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde tüketilen enerjinin büyük kısmı, halen odundan karşılanmaktadır. Gelişmiş ülkelerde ise odunun yakıt olarak, yani enerji kaynağı olarak değil; sanayi girdisi olarak değerlendirilmesi esas alınmıştır. Buna örnek olarak, kağıt üretimi verilebilir [22].

## **2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları**

Enerji, günümüzde tüm dünya ülkelerinin başlıca sorunlarından biridir. Dünyada enerji ihtiyacının büyük bir kısmı fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Dünyadaki enerji kaynaklarının hızla tükenmesi sonucu yeni enerji kaynakları arama ve bulma araştırmaları yapılmaktadır. Ekonomik açıdan gelişmeler sonucunda dünyadaki enerji ihtiyacı artmaktadır. Dolayısıyla ülkeler, mevcut kullandıkları enerji kaynaklarından daha ekonomik olarak yararlanma yollarını araştırmaktadır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarını daha kapsamlı bir şekilde kullanabilmek için çalışmalar yapmaktadırlar. Bilim adamları, son dönemlerde jeotermal, güneş, rüzgar, hidrolik, biyokütle gel-git, hidrojen gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını ekonomik olarak kullanma yollarını araştırmaktadırlar. Bu konulardaki çalışmalar halen hızlı bir şekilde devam etmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları tükenmez oluşları ve süreklilik göstermeleri açısından önemlidir. Ancak, teknolojik gelişmelerin yeniliği ve klasik kaynaklarla ekonomik rekabet güçlükleri, hidrolik enerji dışında yer alan ve “yeni ve yenilenebilir kaynaklar denilen alternatif kaynakların enerji bütçelerinde arzulan



düzeylede yer almasını önlemiştir. Bununla birlikte birçok ülkede jeotermal, güneş, rüzgar, modern biyokütle enerjileri ile ilgili üretim hızlı bir gelişme göstermektedir. Yeraltında ısı enerji depolaması, özellikle gelişmiş ülkelerde hızlı bir yaygınlaşma sürecine girerken, hidrojen enerjisi alanında da kullanıma hazır bir teknoloji oluşturulduğu gözlenmektedir. Yeni enerji çevrim yöntemlerinde de aşamalar sağlanmaktadır [29].

Türkiye fosil yakıt ihtiyacının büyük bir bölümünü ithalatla karşılamaktadır. Enerjinin dış alıma fazla yönelmesi parasal olarak büyüklüğünü arttırmaktadır. Ayrıca fosil yakıtın aşırı kullanılması sonucu çevre kirliliğinin de artış görülmektedir. Bunun yanı sıra fosil yakıtın üretim ve tüketimi insan ve hayvan sağlığını ve doğal bitki örtüsünü tehdit etmektedir. Diğer taraftan Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları özellikle güneş, rüzgar ve jeotermal açıdan zengin bir ülkedir. Bu yüzden Türkiye yenilenebilir enerji kaynaklarına daha fazla önem vermeli ve yapılan araştırmaları desteklemelidir.

Yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılma nedenlerinden biri de dünyadaki fosil yakıt rezervlerinin yakın gelecekte tükenebilir olmasıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları enerjinin ana kaynağına göre, güneş kaynaklı, dünya kaynaklı ve ay kaynaklı olarak üç ana grupta incelenebilir. Tablo 2.1’de tükenebilirliğine göre enerji türleri gösterilmiştir [22].

**Tablo 2. 1** Tükenebilirliğine Göre Enerji Türleri [22].

<b>YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI</b>				
<b>Ana Kaynak</b>	<b>Birincil enerji kaynakları</b>	<b>Doğal Enerji Dönüşümü</b>	<b>Teknik Enerji Dönüşümü</b>	<b>Kullanım Enerjisi</b>
<b>Güneş</b>	Su	Buharlaştırma, Yağış	Su Güç Tesisleri	Elektrik Enerjisi
	Rüzgar	Atmosferdeki Hava Hareketi	Rüzgar Enerjisi Tesisleri	Elektrik ve Mekanik Enerji
		Dalga Hareketi	Dalga Enerjisi Tesisleri	Elektrik ve Mekanik Enerji
	Güneş Işınları	Yer ve Atmosferin Isınması	Isı Pompaları	Isı Enerjisi
		Güneş Işınları	Kolektörler	Isı Enerjisi
			Güneş Pilleri	Elektrik Enerjisi
	Biyokütle	Biyokütle Üretimi	Isı Güç Tesisleri	Isı ve Elektrik Enerjisi
			Dönüşüm Tesisleri	Yakıt Enerjisi
<b>Dünya</b>	Yer Merkezi Isısı	Jeotermal Enerji	Jeotermal Güç Tesisleri	Isı ve Elektrik Enerjisi
<b>Ay</b>	Ay Çekimi Gücü	Gel-Git Olayı	Gel-Git Güç Santralleri	Elektrik Enerjisi

### 2.2.1 Hidrolik Enerji

Hidrolik enerji, Türkiye'nin kullanılabilir en önemli yenilenebilir enerji kaynağını oluşturmaktadır. Hidrolik enerji, suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi ile sağlanan bir enerji türüdür. Suyun üst kotlardan alt kotlara düşürülmesi ile açığa çıkan enerji türbinlerin dönmesini sağlamak ve türbinlere bağlı jeneratörlerin dönmesi ile de elektrik enerjisi üretilmektedir. Üretilen enerji miktarı iki değişkene bağlıdır [29]:

- Yükseklik (Üst ve alt kotlar arasındaki düşey mesafe)

b) Su debisi (Türbinlere birim zamanda verilen su miktarı)

Ülkemiz hem yükseklik, hem de su miktarı açısından şanslı sayılabilecek ülkeler arasında yer almaktadır. Avrupa'nın bir çok ülkesinde termik ve nükleer enerji üretiminin hidrolik enerji üretime oranı daha fazladır. Türkiye'de ise termik ve hidrolik enerji üretimi birbirine yakındır [29].

Gelişmiş ülkelerin hemen hemen tümünde hidrolik enerji potansiyelinin büyük bir bölümünün değerlendirilmiş olmasına karşın, Türkiye'de işletmeye açılan tesislerde söz konusu potansiyelin ancak %29'luk bölümü hizmete sunulmuş durumdadır [29].

Hidrolik enerjiden elektrik enerjisi eldesi, barajlarda biriktirilen suyun potansiyel enerjisinden faydalanması ile olur. Baraj göllerinde biriktirilen suyun potansiyel enerjisi, dev türbinlerden geçirilerek, mekanik enerjiye oradan da elektrik enerjisine dönüştürülür. Hidrolik enerjinin günümüzde dünyadaki en güvenilir enerji kaynağı olduğu düşünülmektedir [22].

Hidroelektrik potansiyel, o ülkenin brüt teorik hidroelektrik potansiyelidir. Ancak mevcut teknolojilerle bu potansiyelin tümünün kullanılması mümkün olmadığından mevcut teknoloji ile değerlendirilebilecek maksimum potansiyele teknik yapılabilir hidroelektrik potansiyel denir. Teknik potansiyelin, mevcut ve beklenen yerel ekonomik şartlar içinde geliştirilebilecek bölümü ekonomik yapılabilir hidroelektrik potansiyel olarak adlandırılır. Türkiye'nin teorik hidroelektrik potansiyeli dünya teorik potansiyelinin yaklaşık %1'i'dir. Tablo 2.2'de Dünyanın ve Türkiye'nin hidroelektrik (HES) potansiyeli verilmiştir [30].

**Tablo 2.2** Dünyanın ve Türkiye'nin Hidroelektrik (HES) Potansiyeli [30].

<b>DÜNYA VE TÜRKİYE HİDROELEKTRİK (HES) POTANSİYELİ</b>			
	<b>Brüt HES Potansiyeli (GWh/yıl)</b>	<b>Teknik HES Potansiyeli (GWh/yıl)</b>	<b>Ekonomik HES Potansiyeli (GWh/yıl)</b>
Dünya	40 150 000	14 060 000	8 905 000
Avrupa	3 150 000	1 225 000	-
<b>Türkiye</b>	433 000	216 000	127 381

Günümüz itibariyle Türkiye'de 135 adet hidroelektrik santral işletmede bulunmakta ve 41 adet hidroelektrik santral halen inşaat halindedir [30].

Hidrolik enerjinin en önemli avantajları; çeşitli enerji kaynakları içerisinde hidroelektrik enerji santralleri çevre dostu olmaları ve düşük potansiyel risk taşımaları sebebiyle tercih edilmektedir. Bu tür santraller ani talep değişimlerine cevap verebilmekte ve bu sebeple ülkemizde de pik santral olarak kullanılmaktadır. Hidroelektrik Santraller; çevreyle uyumlu, temiz, yenilenebilir, pik talepleri karşılayabilen, yüksek verimli (% 90'ın üzerinde), yakıt gideri olmayan, enerji fiyatlarında sigorta rolü üstlenen, uzun ömürlü (200 yıl), yatırımı geri ödeme süresi kısa (5-10 yıl), işletme gideri çok düşük (yaklaşık 0.2 cent/kWh), dışa bağımlı olmayan yerli bir kaynaktır [30].

Hidrolik enerjinin en önemli dezavantajları; yatırım maliyetlerinin fazla olması, toplam inşaat süresinin uzun olması ve yağışlara bağlı olumsuz etkilenmesidir[31].

### **2.2.2 Güneş Enerjisi**

Güneş enerjisi, güneşten gelen ve dünya atmosferinin dışında şiddeti sabit ve  $1370 \text{ W/m}^2$ , yeryüzünde ise  $0-1100 \text{ W/m}^2$  değerleri arasında olan yenilenebilir bir enerjidir. Bu enerji ısıtmadan soğutmaya kadar çeşitli ısı uygulamalarda ve elektrik üretiminde kontrollü olarak kullanılabilir. Türkiye coğrafi konumu itibariyle

güneş kuşağı içerisinde yer alıp, güneş enerjisi kullanımının uygun olduğu bir ülkedir [29].

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından bir çok ülkeye göre şanslı durumdadır [32]. Uzun yıllara ait meteorolojik gözlemlerin ortalaması alınarak bulunan Türkiye'nin yıllık güneşlenme süresi 2640 h (saat) olup, maksimum değer 362 h ile Temmuz ayında ve minimum değer 98 h ile Aralık ayında gerçekleşmektedir. Güneşlenme süresi yönünden en zengin bölge 3016 h ile Güneydoğu Anadolu olup, bunu sırasıyla Akdeniz (2923 h), Ege (2726 h), İç Anadolu (2712 h), Doğu Anadolu (2693 h), Marmara (2528 h) bölgeleri izlemekte ve en düşük değeri 1966 h ile Karadeniz Bölgesi göstermektedir [29].

Türkiye'de güneş enerjisinin en yaygın kullanımı güneş kolektörleri kullanılarak sıcak su üretim sistemleridir. Güneş pilleri ise halen elektrik şebekesinin olmadığı, yerleşim yerlerinden uzak yerlerde ekonomik yönden uygun olarak kullanılabilir. Bu nedenle ve istenen güçte kurulabilmeleri nedeniyle genellikle sinyalizasyon, kırsal elektrik ihtiyacının karşılanması vb gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Güneş pilleri; ülkemizde halen telekom istasyonları, Orman Genel Müdürlüğü yangın gözetleme istasyonları, deniz fenerleri ve otoyol aydınlatılmasında kullanılmaktadır [32].

Güneş enerjisinin en önemli avantajları; doğrudan güneş enerjisinin kullanılması, doğal ısıtma ve soğutma sistemleri kullanarak binaların gereksiz ve aşırı ticari enerji tüketimlerinin önlenmesi, çevre değerlerini koruyup çevreye verilen zararları en aza indirilmesi, doğal ve sağlığa zararlı malzemelerin kullanılmaması, ekonomik olması ve dışa bağımlı olmamasıdır [31]. Güneş enerjisinin en önemli dezavantajı sürekliliğinin olmamasıdır.

### 2.2.3 Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisi indirekt, bir başka deyişle çevrime uğramış güneş enerjisidir. Güneş enerjisinin karaları, denizleri ve atmosferi her yerde özdeş ısıtmamasından oluşan sıcaklık ve buna bağlı basınç farkları rüzgarı yaratmaktadır. Rüzgar, yüksek basınç alanından alçak basınç alanına yer değiştiren havanın, dünya yüzeyine göre bağlı hareketidir. Yer değiştiren hava kütesine yerin dönmesinden kaynaklanan Coriolis kuvveti de etki eder. Ayrıca, rüzgarlar bir merkez çevresinde dolandıklarından santrifüj kuvvet etkisinde kaldıkları gibi, yeryüzü ile akışkan hava arasında sürtünme kuvvetinden etkilenirler. Kutuplar ve ekvator arasındaki hava akımlarına bağlı belli rüzgarlar varsa da, enerji üretimi açısından denizler ve karalar ya da dağlar ve vadiler arasındaki hava akımlarına dayalı yerel rüzgarlar önemlidir [29].

Havanın özgül kütlesi az olduğundan, rüzgardan sağlanacak enerji rüzgar hızına bağlıdır. Rüzgarın hızı yükseklikle, gücü ise hızının kübü ile doğru orantılı biçimde artar. Sağlayacağı enerji, gücüne ve frekansına bağlıdır [29].

Ortalama rüzgar hızı, yıldan yıla değişebilir. Mevsimsel değişimler yüzünden, rüzgar enerjisi potansiyelinden elde edilecek enerji, yıllık ortalama hız değerinden hesaplanan enerjiden daha fazla olmaktadır [29].

Rüzgar, atmosferde bol ve özgürce bulunan, kararlı, güvenilir ve sürekli bir kaynaktır. Doğasına bağlı olarak taşıdığı enerji, kinetik enerjidir [29].

Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyeline ilişkin sağlıklı ölçüm sonuçlarına ve çıkarılmış rüzgar atlasına dayalı kesin veriler yoktur. Rüzgar enerjisi zenginliği sırasıyla Marmara, Ege, Akdeniz ve Karadeniz kıyı alanlarında bulunmaktadır. Ayrıca Güneydoğu Anadolu, İç Anadolu'nun belli kesimlerinde rüzgarca zengin yerlerin var olduğu bilinmektedir. Türkiye'nin ekonomik rüzgar potansiyelinin 50 milyar kWh/yıl olduğu tahmin edilmektedir. Bu potansiyelin değerlendirilmesi için gereken kurulu rüzgar gücü ise 20 000 MW'dır. Bugün Türkiye'de ölçümlerle kanıtlanmış güvenilir 12.4 milyar kWh/yıl rüzgar potansiyeli, yaklaşık 5000 MW

kurulu güçle değerlendirilmeyi beklemektedir. Otoprodüktör kapsamında, Çeşme’de kurulan 580 kW’lık üç türbinden oluşan ilk rüzgar santrali, 1988’de işletmeye açılmıştır. Daha sonra Çeşme-Alaçatı’da bir özel kuruluş tarafından kurulan 1.8 MW kurulu gücündeki santral 1988’de üretime başlamıştır. “Yap-İşlet-Devret” modeli kapsamında yapımı hükümetçe desteklenen rüzgar enerjisi santrallerinin kurulu güç kapasitesi 8.7 MW’a ulaşmış olup, yaklaşık toplam 700 MW civarında olan başvurular ise değerlendirme aşamasındadır [33].

Rüzgar enerjisinin en önemli avantajları; kararlı, güvenilir, sürekli bir kaynak olması, dışa bağımlı olmaması ve gelişen teknoloji ile birlikte enerji birim maliyetlerinin düşmesidir [31].

Rüzgar enerjisinin en önemli dezavantajları; türbin için geniş alanlar istemesi, görsel ve estetik olmaması, gürültülü çalışmasıdır [31].

#### **2.2.4 Biyokütle Enerjisi**

Biyokütle enerjisi klasik ve modern olmak üzere iki grupta ele alınır. Klasik biyokütle enerjisi ormanlardan elde edilecek yakacak odun ve yine yakacak olarak kullanılan bitki ve hayvan artıklarından oluşmaktadır. Klasik biyokütle enerjisi kullanımının temel karakteri, biyokütle materyalinden enerjinin ilkelden geliştirilmiş çeşitli yakma araçları ve doğrudan yakma tekniği ile elde edilmesidir. Sanayileşmemiş kırsal toplumlarda kullanımı yaygındır [29].

Modern biyokütle kaynakları ise, enerji ormancılığı ürünleri ile orman ve ağaç endüstrisi atıkları, enerji tarımı, tarım kesimindeki bitkisel ve hayvansal atıklar, kentsel atıklar, tarıma dayalı endüstri atıkları olarak sıralanır. Yakıt için, kökenli sentetik akaryakıt kapsamında yer alan alkol karışimli benzin ve bitkisel yağ karışimli motorin dışında, bazı enerji bitkilerinden elde olunan yağlar dizel yakıtı yerine kullanılabilir. Ayrıca biyokütleden yapay ham petrol üretmek de olanaklıdır [29].

Enerji ormanları için en uygun olan türler, özellikle öze yakın yıllık halkaları hızla büyüyen genç odunlar dikkate alınarak seçilmelidir. Yine bu seçimde enerji ormanı tesis edilecek bölgeye en iyi uyabilecek türlerin iyi sürgün verme özelliği olmalı, ayrıca mantar ve böcek zararlarına karşı dayanıklılığı bulunmalıdır. Yapraklı ağaçlar ibrelilere oranla daha iyi olmaktadır. Çünkü yapraklıların genç odun büyümeleri daha hızlı ve bataklık orman için elverişlidir. Bugün dünyada enerji ormancılığı için en fazla karakavak, balzam kavakları ve titrek kavaklar kullanılmaktadır [29].

Enerji ormancılığının yanı sıra plansız ağaçlandırmanın bir sonucu olarak kentlerde, kent zararlısı olarak nitelenen gerek kökleri, gerekse dalları ve polenleri ile kent altyapısını ve insanları olumsuz etkileyen kavak, söğüt, kokar ağaç, akasya gibi ağaçların saptanıp, biyokütle materyal olarak değerlendirilmesi olanaklıdır. Böylece, kentlerde istenmeyen ağaç türleri hem kentlerden uzaklaştırılıp hem de bu ağaçlardan biyokütle enerji üretimiyle en yüksek fayda elde edilebilir. Bunların yerine kent ekoloji ve estetiğine uygun alternatif türler dikilerek kent peyzajı da geliştirilebilir [29].

Günümüzde enerji tarımı ya da enerji yetiştiriciliği denilen yeni bir tarım türü geliştirilmiştir. Bu tarım özellikle bir yıllık ve C<sub>4</sub> tipi bitkilerle birlikte yapılmaktadır. C<sub>4</sub> tipi bitkiler grubuna tatlı darı, şeker kamışı, mısır gibi bitkiler dahildir. C<sub>4</sub> tipi bitkiler diğer bitkilere göre CO<sub>2</sub> ve suyu daha iyi kullanmakta, kuraklığa dayanıklı olmakta, fotosentetik verimleri de yüksek bulunmaktadır. Bu bitkilerden alkol ve diğer biyokütle yakıtlar üretmek olanaklıdır [29].

Biyokütle materyaller ön hazırlama ve dönüştürme işlemlerinden geçirilerek biyoyakıtlara çevrilir. Biyoyakıtlar ısı ve elektrik üretimi için kullanılabilir. Biyoyakıtların fosil yakıt türevleri ile karıştırılmış biçimde kullanılması da olanaklıdır. Biyoyakıt kullanımı büyük merkezi güç santrallerinden taşıtlara kadar uzanmaktadır. Modern biyoyakıtların birim maliyetlerinin veya fiyatlarının fosil yakıt fiyatlarının üzerinde olması kullanımı sınırlandırmaktadır. Birleşik ısı ve güç üretim teknolojileri (kojenerasyon ve entegre enerji sistemleri) ile biyokütle enerjiden yararlanmak daha ekonomik olabilmektedir [29].



Modern biyokütle enerji teknikleri, materyalin fiziksel durumu sabit kalacak ve/veya değişecek biçimde dönüştürülmesi çevrimlerine dayanır ve alçak biyokütle teknikler ile yüksek biyokütle teknikler olarak ikiye ayrılır. Alçak biyokütle teknikler, direkt yanma, anaerobik bozunma, fermantasyon-distilasyon işlemleridir. Yüksek biyokütle teknikler ise piroliz, hidrogazifikasyon hidrojenasyon, parçalayıcı distilasyon, asit hidroliz, biyolojik hidrojen üretimi işlemlerinden oluşmaktadır. Modern biyokütle enerjisi, çevre ile tam uyumlu, sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır [29].

Biyokütle enerjisinin kökeninde fotosentezle kazanılan enerji yatmaktadır. Türkiye’de biyokütle enerji brüt potansiyeli teorik olarak 135-150 Mtep/yıl kadar hesaplanmakla birlikte, kayıplar düşürüldükten sonra net değerin 90 Mtep/yıl olacağı varsayılmaktadır. Ekonomik sınırlamalarla 25 Mtep/yıl değeri, Türkiye’nin ekonomik biyokütle enerji potansiyeli olarak alınabilir [33].

### **2.2.5 Deniz Kökenli Yenilenebilir Enerjiler**

Deniz kökenli yenilenebilir enerjiler; deniz dalga enerjisi, deniz sıcaklıklı gradyent enerjisi, deniz akıntıları enerjisi (boğazlarda) ve gel-git (med-cezir) enerjisidir. Ancak Türkiye’de gel-git enerjisi olanağı yoktur. Ülkemiz için söz konusu enerji grubu içerisinde en önemlisi deniz dalga enerjisidir. Üç tarafı denizlerle çevrili Türkiye’de deniz dalga konvertörleri ile bu enerjiden yararlanılması düşünülmektedir. Ayrıca, denizlerde biyokütle yetiştiriciliği de olanaklıdır [29].

Deniz dalga enerjisinin kökeninde rüzgar enerjisi yatmaktadır. Türkiye’nin Marmara Denizi dışında açık deniz kıyıları 8210 km’yi bulmaktadır. Türkiye’de dalga rasatları ve bunlara ilişkin ölçüm verileri bulunmamaktadır. Ancak, küçük dalga enerji sistemleri için, birim dalga cephesi başına güç 10-20 kW/m olurken, geliştirilmiş sistemlerde 40 kW/m düzeyinin üzerine çıkmaktadır. Tüm kıyılarda bu tür tesislerin kurulması deniz trafiği, turizm, balıkçılık, kıyı tesisleri vb nedenlerle olanaklı değildir. Türkiye kıyılarının beşte birinden yararlanılarak sağlanabilecek dalga enerjisi teknik potansiyeli 18.5 TWh/yıl düzeyindedir. Bu kaynağın

değerlendirilmesi için dalga rasatlarından başlanarak, teknik ve ekonomik incelemeler yapılmalıdır [29].

### **2.2.6 Hidrojen Enerji**

Doğadaki ana enerji kaynakları birincil enerji kaynaklarıdır. Birincil kaynakların fiziksel durumu farklı olacak biçimde dönüştürülmesi ile elde olunan ikincil enerjilere, enerji taşıyıcısı denir. Elektrik yüzyılı aşkın süredir kullanılan bir enerji taşıyıcısıdır. Bugüne kadar kullanılan yakıtlar ise ya doğal yapılı ya da bunların fiziksel durumları sabit kalarak değiştirilmesi ile elde edilmiş ürünlerdir. Doğada bileşik biçimde bol miktarda bulunan hidrojen serbest biçimde bulunmadığından, bir doğal enerji kaynağı değildir. Hidrojen birincil enerji kaynakları ile değişik hammaddelerden üretilebilmekte ve üretiminde dönüştürme işlemi yer almaktadır. Bu nedenle, elektrikten bir yüzyıl sonra teknolojinin geliştirdiği yeni enerji taşıyıcısıdır [29].

Hidrojen karbon içermeyen bir yakıt olduğundan, fosil yakıtların neden olduğu türden bir kirliliğe yol açmayacaktır. Yanmadan elektrik üretimine kadar çeşitli alanlara yanıt verebilen esnek bir yakıttır. Gaz ve sıvı biçiminde saklanarak uzun mesafelere taşınabilmektedir. Üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanılması durumunda, bu kaynakların doğasında bulunan kesintili olma sorununa da çözüm getirmektedir [29].

Hidrojenin alevli yanması; içten yanmalı motorlar, gaz türbinleri, jet motorları, roket motorları, ısıtma ve pişirme alanlarında kullanılmaktadır. Hidrojenin direkt buhara dönüşme işlemi ise buhar türbinleri, buharlı tahrik, endüstriyel buhar ve buharla ısıtma uygulamalarda kullanılır. Hidrojenin katalitik yanması; pişirme, su ısıtma, mahal ısıtma ve absorpsiyonlu soğutma işlemlerine uygulanmaktadır [29].

Hidrojenin hidridleşme çevrimi önemli bir özelliği olup, pek çok uygulamada bu özelliğinden yararlanılmaktadır. Bu uygulamalar; H<sub>2</sub> depolama, H<sub>2</sub> zenginleştirme-

ayırma, D<sub>2</sub> ayırma, kompresyon, pompaj, ısı pompası, soğutma, iklimlendirme ve elektrik üretimi olarak sıralanabilir [29].

Hidrojen Carnot çevriminin sınırlayıcı etkisi altında kalmadan, yakıt hücreleri yardımıyla ve elektrokimyasal çevrimle direkt elektrik üretiminde kullanılabilen bir yakıttır. Genel olarak hidrojen; ulaştırma için en uygun, en iyi dönüşebilirliği olan, kullanım verimi en yüksek, çevre ile en uyumlu, emniyetli bir yakıttır [29].

### **2.2.7 Jeotermal Enerji**

Yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan jeotermal enerji; yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklığı sürekli 20°C'den fazla olan ve çevresinde normal yer altı ve yer üstü sularına oranla daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buhar olarak tanımlanmaktadır [34]. Ayrıca herhangi bir akışkan içermemesine rağmen bazen bazı teknik yöntemlerle ısısından yararlanan yerin derinliklerindeki sıcak kaynaklarda jeotermal enerji olarak nitelendirilmektedir [35].

Yapılan deneysel çalışmalar ve hesaplamalar dünyanın başlangıçta eriyik halde bulunduğunu ve binlerce yıl önce katı hale geldiğini göstermektedir. Yer kabuğunun derinliklerinde bulunan uranyum, toryum ve potasyum gibi radyoaktif maddelerin bozuşması sonucu sürekli olarak ortaya ısı çıktığını ve çıkan bu ısının jeotermal enerjinin kaynağını oluşturduğu tahmin edilmektedir [36].

Jeotermal enerji, yenilenebilir ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır [37]. Jeotermal akışkanı oluşturan sular meteorik kökenli oldukları için yeraltındaki rezervuar kayaları sürekli beslenmekte, beslenmenin üzerinde kullanım olmadıkça bu kaynakların tükenmesi söz konusu olmamaktadır [38].

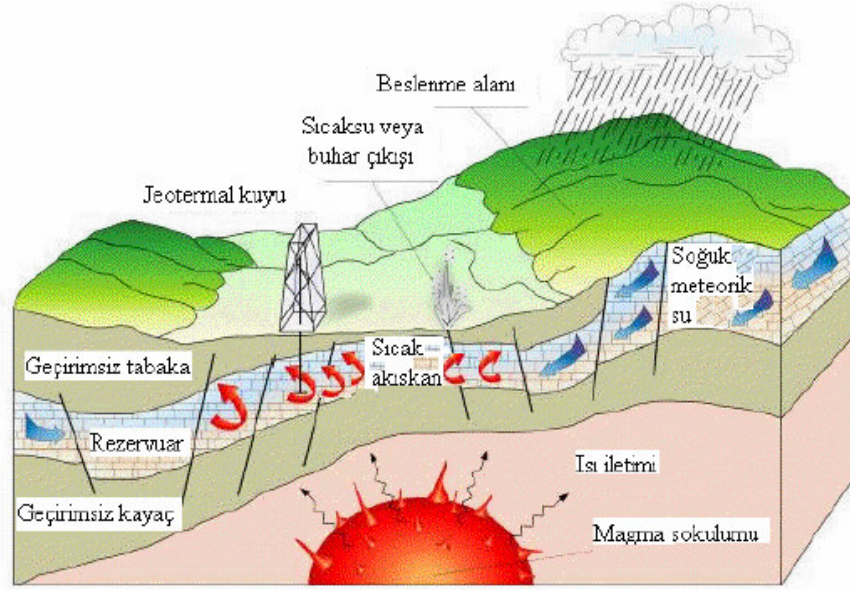
Yağmur, kar, deniz ve magmatik suların yeraltındaki gözenekli ve çatlaklı kayac kütlelerini besleyerek oluşturdukları jeotermal rezervuarlar, yer altı ve re-enjeksiyon

koşulları devam ettiği sürece yenilenebilir ve sürdürülebilir özelliklerini korurlar ve kısa süreli atmosferik koşullardan etkilenmezler [36].

Suyu ısıtmak ve buharlaştırmak için fosil yakıt kullanılarak çevreyi kirletecek herhangi bir işlem yapılmadığından, jeotermal enerji çevre dostu bir enerji türüdür. Ancak jeotermal akışkanın korozyona ve kireçlenmeye sebep olabileceği, içerdiği bor yüzünden tarımsal sulamaya uygun olmadığı, yapısındaki karbondioksit ve hidrojen sülfür gibi gazların açığa çıktığı bilindiğinden, jeotermal enerji uygulamalarında bazı teknolojik önlemlerin alınması gerekmektedir. Hem rezervuar parametrelerinin korunması ve hem de jeotermal suyun ve gazların çevreye zarar vermesinin önlenmesi için, tüm dünyada yasalarla zorunlu hale getirilmiş olan re-enjeksiyon uygulanmalıdır. Bu durumda jeotermal enerji, çevreyi kirletmeyen bir enerjidir [29].

### **2.2.7.1 Jeotermal Sistem**

Jeotermal sistem; yeraltındaki hidrolik sistemin bütün parçaları (beslenme zonu, yeryüzüne çıkış noktaları ve yer altındaki kısımları gibi) olarak tanımlanır [39]. Jeotermal sistem üç ana unsurdan meydana gelmektedir. Bunlar; ısı kaynağı, rezervuar ve ısıyı taşıyan akışkandır. Şekil 2.1’de ideal bir jeotermal sistemin şematik gösterimi verilmiştir. Isı kaynağı yüksek sıcaklıklı (>600 °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 °C/100 m) olabilir. Rezervuar ise ısıyı taşıyan sıvının devir-daim edebileceği geçirgen olan gözenekli kayalardır. Rezervuarların üzerinde genellikle geçirimsiz tabakalar bulunmaktadır. Jeotermal akışkan ise çoğu durumda meteorik sudur ve rezervuarda sıcaklık ve basınca bağlı olarak buhar veya sıvı haldedir. Bu su genellikle bazı kimyasal maddeler ve gazlar içerir [36].



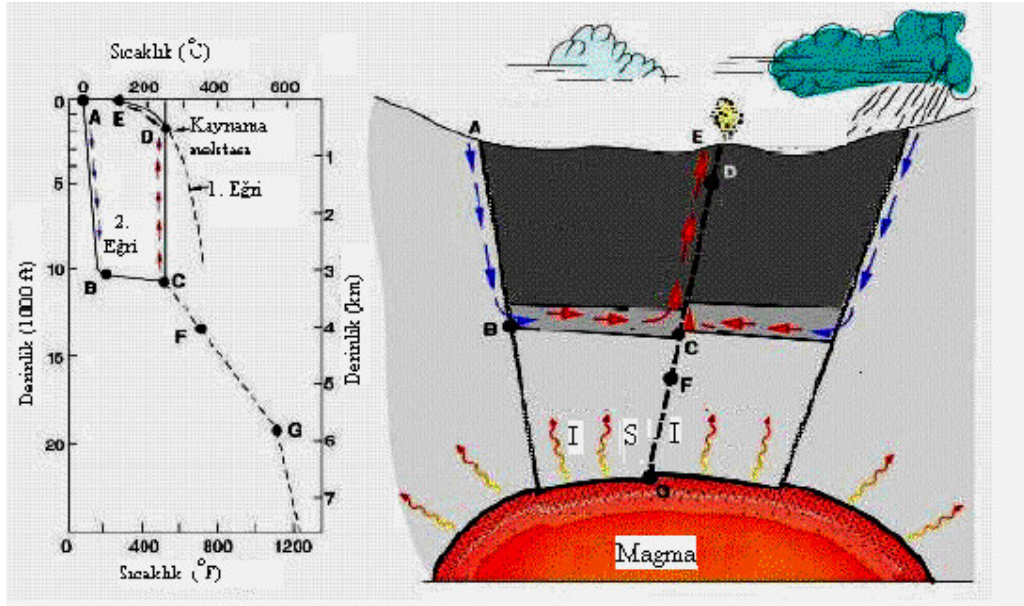
**Şekil 2.1** İdeal Bir Jeotermal Sistemin Şematik Gösterimi [36].

Jeotermal sistemin mekanizması sıvının ısıyı iletimi üzerinedir [36].

Sistemde ısınan akışkan genişler ve taşınım ile yukarı doğru hareket eder. Düşük yoğunluklu ısınmış sıvı, sistemde yükselme eğilimindedir ve sistemin kenarlarından gelen yüksek yoğunluklu soğuk su ile yer değiştirir. Doğal olarak konvansiyonel akım sisteminde, alt kısımlarda sıcaklık azalma eğiliminde iken üst kısımlarda sıcaklık artma eğilimindedir [36].

Şekil 2.2’de ise jeotermal sistem modeli verilmiştir. Gerçek jeotermal sistemler için yapılacak iyi bir modelleme oldukça zordur. Yapılacak modellemede yüksek sıcaklığa bağlı olarak çok disiplinli ve geniş bir çalışmaya gereksinim vardır. Jeotermal sistem çok değişken jeolojik, fiziksel ve kimyasal karakteristiğinin kombinasyonuna bağlı olarak oluşur. Jeotermal sistem unsurları içerisinde sadece ısıtıcı kaynak doğaldır. Diğerleri sisteme sonradan eklenebilir. Örneğin, elektrik üretiminde kullanılan akışkan su ve buhar olarak ikiye ayrıldıktan sonra atık hale gelen su tekrar yeraltına enjekte edilerek tekrar 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 çatlaklara nüfuz ederek çevresindeki doğal rezervuar olarak davranan kayaların ısısını 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 [36].



**Şekil 2.2** Jeotermal Sistem Modeli.

1. Eğri Saf Suyun Kaynama Noktasını, 2. Eğri İse A Noktasından Beslenen E Noktasından Boşalan Suyun Devir Daim Sıcaklık Profilini Göstermektedir [36].

Jeotermal kaynaklar dünyada birçok yerde vardır. Jeotermal sistemler ve jeotermal enerji çoğunlukla yerküredeki levha sınırlarıyla ilişkilendirilmektedir. Jeotermal enerji volkanik bölgelerde bulunmakla beraber, sedimanter formasyonlar içinde ılık yer altı suları olarak da görülmektedir. Doğal çıkışı olan jeotermal

sistemler olduğu gibi herhangi bir yeryüzü etkinliği göstermeyen sistemlerde vardır [39].

### 2.2.7.2 Jeotermal Kaynakların Sınıflandırılması

Ülkelere göre değişik sınıflandırmalar olmasına rağmen jeotermal enerji, sıcaklık içeriğine göre genel olarak üç gruba ayrılır [40].

- 1) Düşük sıcaklıklı jeotermal kaynaklar (20-70 °C sıcaklık)
- 2) Orta sıcaklıklı jeotermal kaynaklar (70-150 °C sıcaklık)
- 3) Yüksek sıcaklıklı jeotermal kaynaklar (150 °C sıcaklıktan yüksek)

Düşük ve orta sıcaklıklı jeotermal kaynaklar bugünkü teknolojik ve ekonomik kuşaklar altında, başta ısıtıcılık olmak üzere (sera, bina, zirai kullanımlar), endüstride (yiyecek kurutulması, kerestecilik, kağıt ve dokuma sanayinde, dericilikte, soğutma tesislerinde), kimyasal madde üretiminde (borik asit, amonyum bikarbonat, ağır su, akışkandaki CO<sub>2</sub>' den kuru buz eldesinde) kullanılmaktadır [40].

Ancak günümüzde gelişen yeni teknolojilerle orta sıcaklıklı jeotermal kaynaklarda elektrik üretim amaçlı kullanılabilir. Yüksek sıcaklıklı jeotermal kaynaklardan da elde edilen akışkan ise elektrik üretiminin yanı sıra entegre olarak diğer alanlarda da kullanılabilir [40].

Türkiye'de keşfedilmiş jeotermal sistemlerin çoğunluğunun düşük sıcaklıklı sistemler olduğu bir gerçektir. Düşük sıcaklıklı sistemler için ısı kaynağı normalden yüksek sıcaklıklı yer kabuğudur. Süregelen tektonik aktiviteler neticesinde akışa açık olan çatlak, kırık ve faylar, yeraltından ısı taşıyan ve sistem içinde dolaşan su için kanallar oluşturur [39].

### **2.2.7.3 Jeotermal Enerji Kaynaklarının Araştırılması**

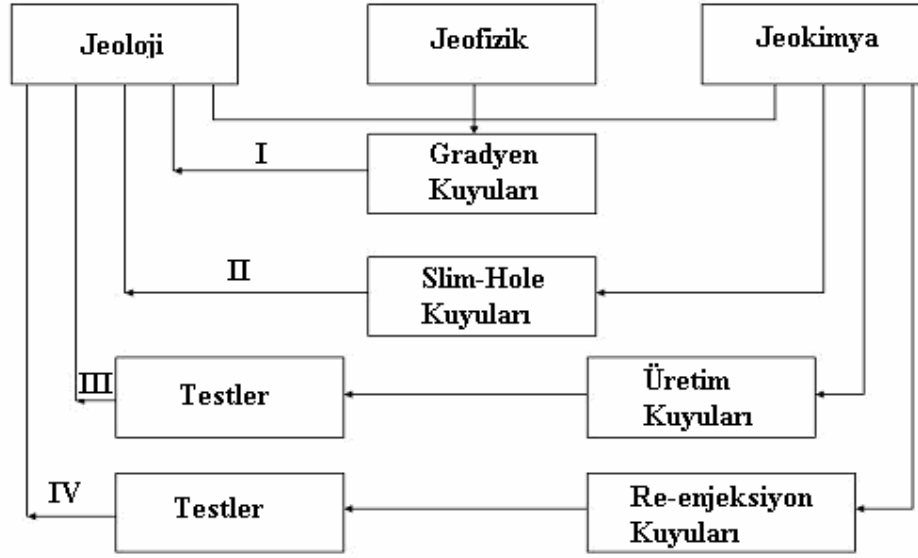
Jeotermal enerji kaynaklarının araştırmasının amacı;

- Jeotermal akışkanı 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 oluşturmak,
- Çevresel hassas parametrelerin ilk ölçüm sonuçlarını elde etmek,
- Saha gelişimi sırasında herhangi bir probleme sebep olabilecek karakteristik bilgileri elde etmektir [40].

### **2.2.7.4 Jeotermal Akışkan Üretim ve Re-enjeksiyon Kuyuları**

Jeotermal arama ve işletme projeleri sırasında, birkaç aşamada değişik tipte kuyular açılır. Bu çalışmalarda en önemli husus her çalışma devresinden sonra, elde edilen bilgilerin yeniden değerlendirilmesi ve bir sonraki aşamaya, elde edilmiş bu yeni veriler ışığında geçilmesidir. Şekil 2.3'de jeotermal proje aşamaları verilmiştir [41].





**Şekil 2.3** Jeotermal Proje Aşamaları [41].

Bütün çalışmaların birlikte değerlendirilmesi sonucu, yer altı sıcaklık gradyenini tespit etmeye yönelik, sığ derinlikte ve dar çaplı gradyen kuyuları açılır. Bu kuyulardan alınan sıcaklık ölçümüne göre yer altı sıcaklık gradyeni ( $^{\circ}\text{C}/10\text{ m}$ ) ve sıcaklık dağılım haritaları çıkarılarak, sahada muhtemel jeotermal kaynağın tespitine yönelik, Slim-hole (derin ve dar çaplı) kuyular açılır [41].

Slim-hole kuyularında yapılacak testler ile sahada rezervuar özelliklerinin tespitine yönelik çok önemli bulgulara ulaşılır. Bu kuyulardan, sıcaklık, basınç, debi, jeokimyasal yapı ve uygulanacak rezervuar testleri ile saha ve rezervuar hakkında çok önemli bilgilere ulaşılır. Slim-hole kuyuları sonrası mevcut jeoloji, jeofizik ve jeokimyasal verilere, test sonuçlarının da ilavesiyle, üretim kuyularının yerleri ve sayısı tespit edilir [41].

Slim-hole ve üretim kuyularından sonra yapılan testlere, ek olarak yapılması gereken girişim testleri ile diğer üretim ve re-enjeksiyon kuyu yerleri belirlenir [41].

Suyun etkin olduğu jeotermal rezervuarlardan çok yüksek miktarlarda sıcak su üretimi yapılır. Üretilen sıcak suyun bir kısmı sıcak su olarak doğrudan kullanılırken geri kalan önemli bir kısmı ise bölgesel jeotermal ısıtma sistemlerinde eşanjörler vasıtası ile ısısı alınır. ısısı alınan jeotermal akışkan jeotermal sahanın yakınındaki deniz, göl ve akarsu gibi yerlere verilebilir. Ancak bu yöntem pek doğru çözüm olmadığı gibi bazı çevresel sorunlara da sebep olmaktadır. Doğru olan çözüm, jeotermal suyun geldiği yere veya uygun yer altı formasyonlarına basılmasıdır veya tekrar geri gönderilmesidir. [42].

Jeotermal rezervuarlar içinde akışkan akışı incelenirken dikkat edilmesi gereken en önemli özelliklerden birisi gözenekli ortamda akış sırasında sıcaklığın ve basıncın değişken olmasıdır. Üretilen atık su rezervuara basılır, basılan jeotermal akışkan rezervuarda ilerlerken ısınır, ısınan akışkan tekrar üretilir. Dolayısıyla bu tür bir basma işlemi tekrarlanan bir işlemdir ve tekrar-basma işlemi olarak adlandırılmaktadır. Rezervuara tekrar-basma işlemi sırasında oluşan akışta sıcaklık değişkendir [42].

Jeotermal sahanın işletilmesinde, üretim ve tekrar-basmanın birlikte düşünülmesi, planlanması, tasarlanması ve uygulanması gerekmektedir. Sahadaki üretim ve tekrar-basma uygulaması incelenerek, uygulamaların teknik ve ekonomik başarısı hakkında karar verebilmek için üretim ve tekrar-basma verileri değerlendirilmelidir. Sahanın geliştirilme aşamasında olması durumunda veya gerekli verilerin yetersizliği nedeniyle teknik ve ekonomik başarı hakkında doğru değerlendirme yapmak mümkün değildir [42].

Jeotermal rezervuarlardan üretilen akışkanların enerjisi farklı alanlarda kullanılır. Üretilen akışkanın enerjisinden yararlandıktan sonra ısısı alınmış akışkanın yararlı alanlarda kullanılması veya çevreye zarar vermeden uzaklaştırılması gerekmektedir. ısısı alınmış akışkanın değerlendirilmesi uygulamada ve saha işletiminde önemli bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Bu sorun için en uygun çözüm kullanılmayan akışkanın rezervuara tekrar basılmasıdır. Söz konusu işlem tekrar-basma veya re-enjeksiyon olarak tanımlanmaktadır [42].

Jeotermal akışkanın rezervuara tekrar-basılmasının yararları şunlardır: [43]

- Kullanılmayan sıcak suyun çevreyi kirletmesi önlenir.
- Üretilen akışkan rezervuara tekrar basıldığından dolayı rezervuarın dengesi bozulmayacak, rezervuarın basıncı korunmuş olacaktır.
- Tekrar-basma işleminin uygulanmasıyla rezervuarın kullanım ömrü artar.
- Kullanımdan dolayı rezervuar hacmindeki azalmanın sonucunda oluşan yeryüzü çökmeleri en aza indirgenmiş olur ve sonuç olarak doğal denge korunmuş olur.

Tekrar-basmanın tasarımında ve uygulanmasında dikkat edilmesi gereken bazı kriterler bulunmaktadır. Bunlar;

- Suyun basıldığı bölgedeki hidrolik koşullar iyi belirlenmelidir. Basılan akışkanın doğrudan ana jeotermal bölgesine gitmesi gerekmektedir. Çevredeki içilebilir veya kullanılabilir su kaynaklarına zarar vermemesi gerekmektedir. Basılan akışkan ile orijinal rezervuar akışkanı arasındaki kimyasal bileşim farkı gözlenmelidir [42].
- Yüzey donanımlarında, enjeksiyon kuyusunda ve akışkanın basıldığı formasyonda oluşabilecek mineral çökmesi önemli sorunlar yaratabilir [44]. Olası çökme sorununu ve su içinde askıda katı maddelerin formasyonu kirletme sorununu en aza indireyecek tasarımlar yapılması önemlidir [42].
- Basılan akışkanın kimyasal bileşimi rezervardaki orijinal akışkanın bileşiminden farklı olması durumunda, bileşimlerdeki farklılıktan dolayı oluşan kimyasal cephe (hidrolik cephe), sıcaklık cephesinden (ısıl cepheden) daha hızlı hareket eder [45].
- Isıl cephenin üretilen suyu etkileyip etkilemediğinin belirlenme yöntemlerinden en kolayı enjeksiyon kuyusunun yakınındaki üretim kuyularından üretilen jeotermal akışkanın sıcaklığının ölçülmesidir. Basılan jeotermal akışkanın ve üretilen jeotermal akışkanın sıcaklıklarının periyodik olarak ölçülmesi ve kaydedilmesi gerekir [43].
- Tekrar-basma uygulaması sırasında basılan formasyonda yer altı hareketleri olabilir. Dolayısıyla uygulama boyunca belirli dönemlerde sismik çalışmaların yapılması gerekir [42].

- Enjeksiyon kuyularının maliyeti ile birlikte pompa ve pompaları çalıştırmak için gerekli gücün tekrar-basma uygulaması ekonomisinin değerlendirilmesinde önemli faktörlerdir [42].

Tekrar-basma olayında; jeotermal akışkanın basılması için kaç kuyu kullanılacağı, pompa gerekip gerekmeyeceği ve jeotermal akışkanın nereye basılacağı sorularının cevaplandırılması gerekir. Basılan jeotermal akışkanın debisi biliniyorsa, ısıl kirlenmeyi önlemek için rezervuardakinden daha düşük sıcaklıktaki jeotermal akışkanın üretim bölgesinden ne kadar uzakta bir kuyudan veya kuyulardan basılması gerektiği tekrar-basma uygulanmasında incelenmesi gereken en önemli konudur [42].

Re-enjeksiyon kuyu yeri seçiminde en önemli faktörlerden biri basılan jeotermal akışkanın, üretim zonuna ulaşma zamanıdır. Üretim sıcaklığından daha düşük sıcaklıkta basılan jeotermal akışkan çok kısa sürede üretim kuyularının bulunduğu bölgeye ulaşırsa, rezervuarın soğuması nedeniyle sistemde sıcaklık ve basınç, dolayısıyla güç düşümüne sebep olacaktır. Bu olumsuz durumun bazı jeotermal sahalarında görülen örnekleri vardır [41]. Dolayısıyla re-enjeksiyon ve üretim kuyuları arasında güvenilir bir mesafenin olması gerekmektedir [42].

Üretim kuyuları enjeksiyon kuyularına dönüştürülebilir. Ancak bu dönüştürme işlemi kuyunun incelenmesi, tasarlanması ve hazırlanması aşamalarını gerektirmektedir. Kuyunun enjeksiyon işlemi için teknik ve ekonomik uygunluğu kesinlikle araştırılmalıdır [42].

Kuyunun enjeksiyon kuyusu olarak kullanılması durumunda incelenecek ilk işlem kuyubaşının enjeksiyona uygunluğu olmalıdır. Kuyubaşı donanımı enjeksiyonda gerekli olabilecek yüksek basınç dayanıklı olmalıdır [42].

Diğer taraftan kuyu içindeki koruma borusunun durumu incelenmelidir. Kaçak veya herhangi bir mekanik bozulma durumu araştırılmalı ve gerekli onarım ve önlemler alınmalıdır. Gerekli durumda kuyunun yeniden delinerek derinleştirilmesi veya mekanik koşulların iyileştirilmesi gerekir. Üretilirliği düşük olan kuyuların

enjeksiyon kuyusuna dönüştürülmesi ilk akla gelen yaklaşımlardan birisidir. Ancak, düşük üretilebilirliğin formasyonunun olası düşük geçirgenliğinden ve düşük net kalınlıktan kaynaklanabileceği ve dolayısıyla bu parametrelerin aynı zamanda basma işlemini de olumsuz olarak etkileyebileceği unutulmamalıdır [42].

Enjeksiyon kuyularının yerlerinin seçiminde belirli bir sistematik yerleşim programı uygulanmalı, kuyuları gelişigüzel yerleştirilmesinden sakınılmalıdır. Kuyunun mümkün olduğunca üretim sahasının dışında tutulması doğru bir yaklaşımdır. Enjeksiyon kuyusu ile yakınındaki üretim kuyuları arasında bir akış kanalı oluşturabilecek çatlak veya kırık yapının olmamasına dikkat edilmelidir. Bu tür bir akış kanalı basılan soğuk jeotermal akışkanın hızla üretim kuyusuna gelmesine neden olabilir ve ısı üretimi olumsuz etkilenir [42].

Tekrar-basma planlamasında en önemli parametrelerden birisi de kuyu sayısıdır. Enjeksiyonun mümkün olduğunca çok sayıda kuyudan yapılmasında yarar vardır. Enjeksiyon debisi küçük tutularak, basılan soğuk akışkanın rezervuarda daha çabuk ısınması sağlanırken, formasyonda ısıl kirlenmeden kaynaklanan olası olumsuz etkiler minimum düzeyde tutulabilir. Doğal olarak, enjeksiyonda kullanılan kuyu sayısı arttıkça maliyette yükselecektir. Dolayısıyla, basılacak toplam miktar, kuyu sayısı ve maliyet arasında bir optimizasyona gitmek en akılcı yaklaşım olmaktadır [42].

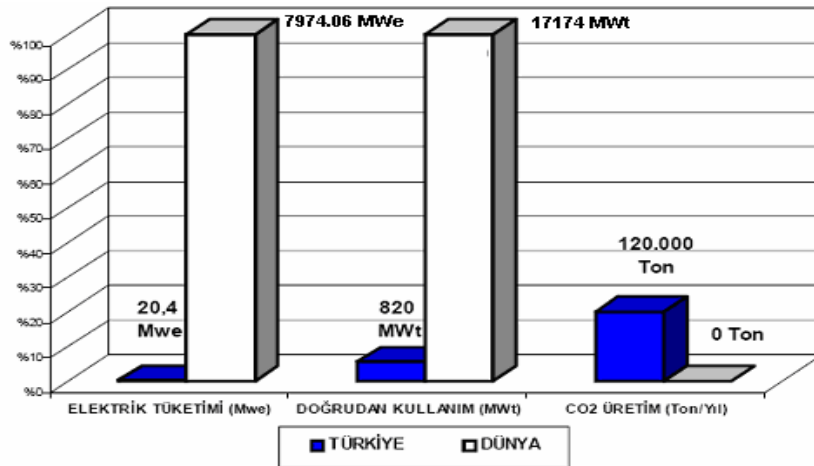
Jeotermal sahalarda re-enjeksiyon kuyularının belirlenmesi, üretim kuyu yerlerinin belirlenmesinden çok daha zordur. Bu kuyu yerlerinin tespiti için test ve gözlem çalışmalar detaylı olarak yapılmalı ve iyi yorumlanarak sistemin 3 boyutlu modeli oluşturulmalıdır [41].

Üretim kuyularının teçhizi, rezervuardan üretilen akışkanın sıcaklık, basınç ve debi gibi özellikleri dikkate alınarak yapıldığı gibi, re-enjeksiyon kuyularının teçhizi de rezervuar derinliği, rezervuara basılacak akışkanın debisi, sıcaklığı ve basıncı gibi faktörler göz önüne alınarak yapılır [41].

### 2.2.7.5 Dünyada Jeotermal Enerji

İlk çağlardan beri ilkel yollarla sağlık amaçlı olarak yararlanılan doğal sıcak su kaynakları ilk defa 1827 yılında İtalya'da asitborik 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 olan ilk turbojeneratör kurulmuştur [40].

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 burada 200 MWe 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 [40]. 2000 yılı verilerine göre dünyadaki jeotermal elektrik üretimi 7974 MWe ve 2000 yılı verilerine göre jeotermalin doğrudan kullanımı ise 17174 MWt'dir [37]. Şekil 2.4'de jeotermal enerjinin dünyada ve Türkiye'de değerlendirilmesi ve karşılaştırılması verilmiştir. Tablo 2.3'de jeotermal enerjiyi elektrik üretiminde kullanan ülkeler ve kurulu kapasiteleri ve Tablo 2.4'de ise dünyada jeotermal enerjinin ülkeler bazında doğrudan kullanım kapasitesi verilmiştir.



Şekil 2.4 Jeotermal Enerjinin Dünyada ve Türkiye'de Değerlendirilmesi ve Karşılaştırılması [40].

**Tablo 2.3** Jeotermal Enerjiyi Elektrik Üretiminde Kullanan Ülkeler ve Kurulu Kapasiteleri [37].

Ülke	Kurulu Güç (MWe)	Üretim Kapasitesi (GWh)
Çin	29.17	100
Kostarika	142.5	592
El salvador	161	800
Guatemala	33.4	215.9
İzlanda	170	1138
Endonezya	589.5	4575
İtalya	785	4403
Japonya	546.9	3532
Kenya	45	366.47
Meksika	755	5681
Yeni zelanda	437	2268
Nikaragua	70	583
Filipinler	1909	9181
Portekiz	16	94
Rusya	23	85
Tayland	0.3	1.8
<b>Türkiye</b>	<b>20.4</b>	<b>119.73</b>
A.B.D.	2228	15470
Diğer ülkeler	12.89	55.55
<b>Toplam</b>	<b>7974.06</b>	<b>49261.45</b>

**Tablo 2.4** Dünyada Jeotermal Enerjinin Doğrudan Kullanımı [37].

Ülke	Kurulu Güç (MWt)
Avusturya	255
Kanada	378
Çin	2814
Fransa	326
Gürcistan	250
Almanya	397
Macaristan	391
İzlanda	1469
İtalya	326
Japonya	1159
Meksika	164
Yeni zelanda	308
Romanya	152
Rusya	307
İsveç	377
İsviçre	547

**Tablo 2.4'**ün devamı.

<b>Türkiye</b>	<b>992</b>
Ürdün	153
A.B.D.	5366
Diğer ülkeler	1215
<b>Toplam</b>	<b>17174</b>

#### **2.2.7.5.1 Dünyadaki Önemli Jeotermal Kuşaklar**

Dünyadaki yüksek ısı akısı gösteren jeotermal kuşakların dağılımı, petrol alanlarında olduğu gibi belli jeolojik özellik gösteren kuşaklar şeklindedir. Bu alanlarda diğer bölgelere göre daha fazla ısı akısı bulunmaktadır [37].

And Volkanik Kuşağı; Güney Amerika'nın batı sahillerinde bulunan bu kuşak, Venezuela, Kolombiya, Ekvator, Peru, Bolivya, Şili ve Arjantin'i kapsamaktadır. Çok sayıda aktif volkanizmanın oluşması sayesinde yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemlerin gelişmesine yol açmıştır. Ancak buralarda mevcut jeotermal alanlar henüz çok fazla değerlendirilmemiştir [40].

Alp-Himalaya Kuşağı; Hindistan Platosu ile Avrasya Platosu'nun çarpışması sonucu oluşan bu jeotermal kuşak dünyanın en büyük jeotermal kuşakları arasındadır. 150 km genişliğinde ve 3000 km uzunluğundadır. Bu kuşak İtalya, Yugoslavya, Yunanistan, Türkiye, İran, Pakistan, Hindistan, Tibet, Çin, Myanmar (Burma) ve Tayland'ı kapsamaktadır [40].

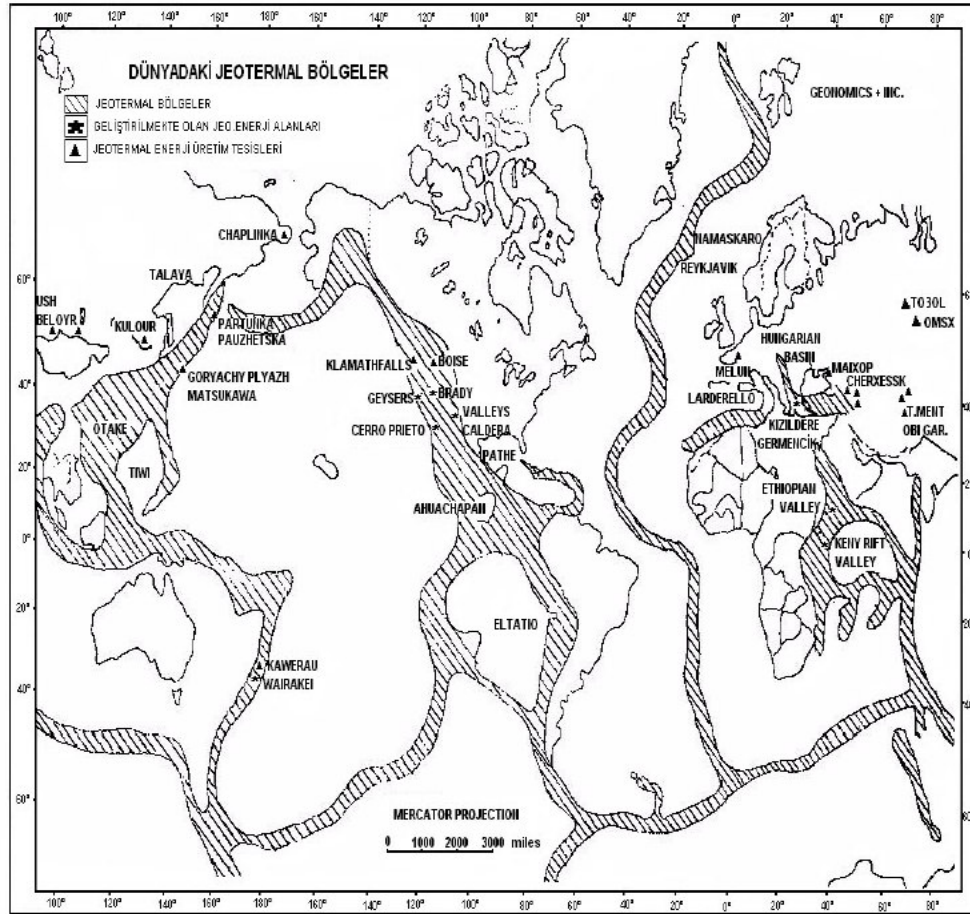
Doğu Afrika Rift Sistemi; aktif olan bu sistem Zambiya, Malavi, Tanzanya, Uganda, Kenya, Etiyopya ve Djibuti gibi ülkeleri içine alır. Aktif volkanizma Kenya, Etiyopya ve Tanzanya'dadır [46].

Karayib Adaları; aktif volkanizmanın hakim olduğu kuşakta, önemli potansiyel görülmektedir [46].



Orta Amerika Volkanik Kuşağı; Guatamela, El Salvador, Nikaragua, Kosta Rika ve Panama'yı içine alan bu kuşakta, çok sayıda jeotermal sistem veya saha bulunmaktadır [46].

Bunların dışında; Kanada, Amerika Birleşik Devletleri, Japonya, Doğu Çin, Filipinler, Endonezya, Yeni Zelanda, İzlanda, Meksika, Kuzey ve Doğu Avrupa ve Bağımsız Devletler Topluluğu, gibi ülkeler farklı tektonik oluşumlar nedeniyle verimli jeotermal sahalara sahiptir. Şekil 2.5'de dünyadaki jeotermal kuşaklar gösterilmiştir [40].



Şekil 2.5 Dünyadaki Jeotermal Kuşaklar [40].

### 2.2.7.5.2 Jeotermal Enerjinin Dünyadaki Kullanım Alanları

Jeotermal akışkan, önemli ölçüde elektrik ve ısı enerjisi eldesinde kullanılmaktadır. Ayrıca, tropikal bitki ve balık yetiştirilmesinde, hayvan çiftliklerinin ve cadde ve havaalanı pistlerinin ısıtılmasında, yüzme havuzu, termal tedavi merkezleri ve diğer turistik tesislerde de yararlanılmaktadır [40].

Bunların yanında, yiyeceklerin kurutulması ve sterilizasyonunda, konservecilikte, kerestecilik ve ağaç kaplama sanayinde, kağıt ve dokuma endüstrisinde ağartma maddesi olarak, derilerin kurutulması ve işlenmesinde, şeker, ilaç, pastörize süt fabrikalarında ve soğutma tesislerinde kullanılmaktadır. Ayrıca, akışkanın içeriğinden farklı kimyasal maddeler de elde edilebilmektedir [40].

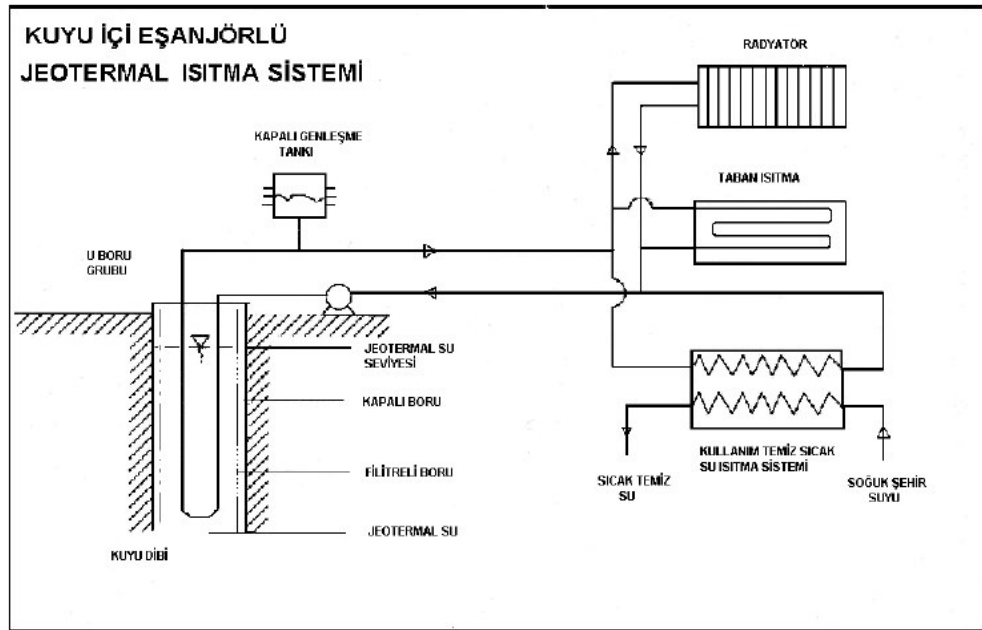
Düşük sıcaklıklı jeotermal akışkanlar doğrudan ısıtma sistemlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca, ısı pompaları yardımıyla sıcaklığı 5 °C'ye düşünceye kadar akışkandan yararlanılabilmektedir [46].

Düşük sıcaklıklı jeotermal akışkanın ısıtma amaçlı ülkelere göre uygulama alanları;

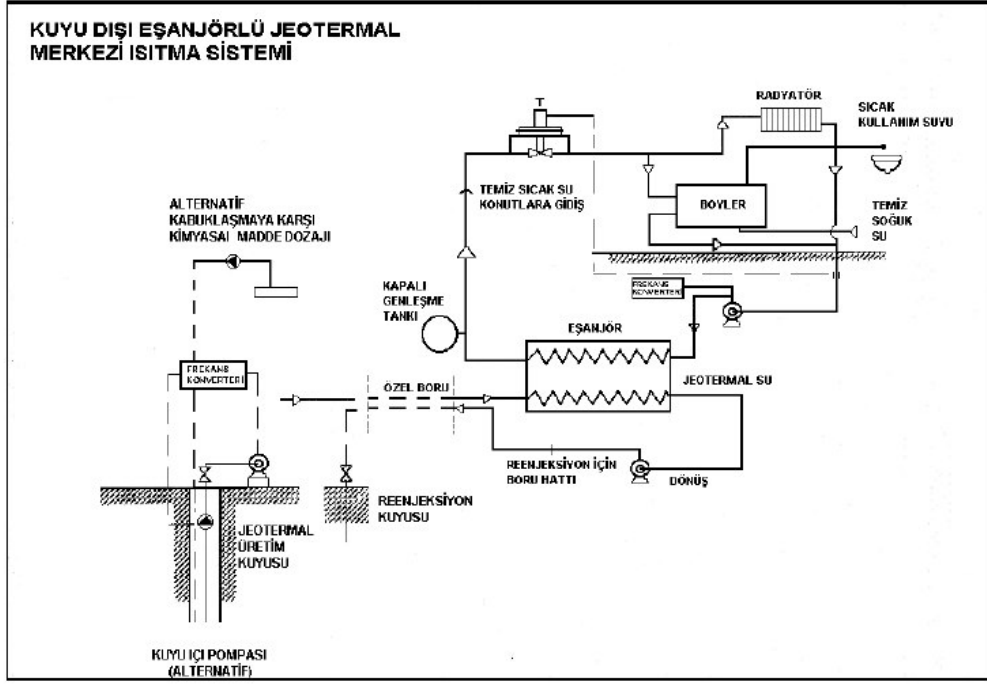
- İzlanda, Fransa, Japonya, Yeni Zelanda, Türkiye, B.D.T., Macaristan, Kanada, Çin, Meksika, Arjantin ve Kuzey Avrupa Ülkeleri'nde 40 °C'den fazla sıcaklıktaki jeotermal akışkanlardan binaların ve şehir merkezlerinin ısıtılmasında ve sıcak su temininde kullanılmaktadır [40].
- Seraların ısıtılması ile turfanda sebzeçilik, meyvecilik, çiçekçilik yapılmakta ve dünyadaki jeotermal doğrudan kullanım değerinin önemli bir bölümü sera ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Macaristan, İtalya, Türkiye, ABD, Japonya, Meksika, Doğu Avrupa Ülkeleri, Yeni Zelanda ve İzlanda'da 30 °C'den fazla sıcaklıktaki akışkan kullanılarak seraların ısıtılmasında kullanılmaktadır [40].
- Japonya'da tropikal bitki ve Filipinler, Çin, İzlanda'da balık (Japonya'da timsah yetiştiriciliği dahil) yetiştirilmesinde kullanılmaktadır [46].
- Japonya, ABD, Yeni Zelanda, Macaristan ve Bağımsız Devletler Topluluğu'nda tavuk ve hayvan çiftliklerinin ısıtılmasında kullanılmaktadır [46].

- Sibirya’da toprak, cadde, havaalanı pistlerinin vb. ısıtılmasında kullanılmaktadır [40].
- İtalya, Japonya, ABD, İzlanda, Türkiye, Çin, Endonezya, Yeni Zelanda, Arjantin, Doğu Avrupa Ülkeleri, B.D.T’nda yüzme havuzu, termal tedavi ve diğer turistik tesislerde kullanılmaktadır [40].

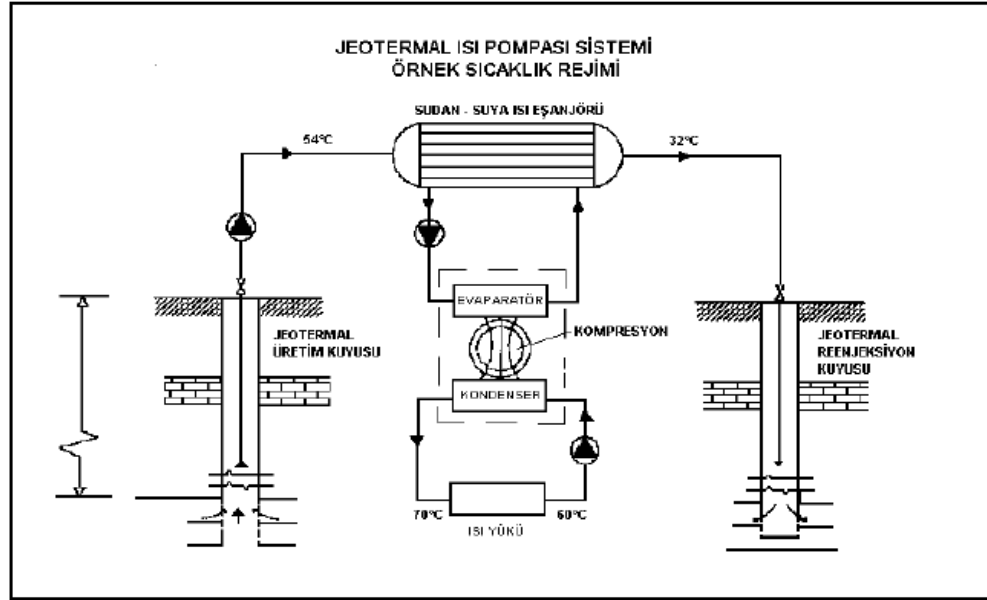
Şekil 2.6’da kuyu içi eşanjörlü jeotermal sistem verilmiştir. Şekil 2.7’de kuyu dışı eşanjörlü jeotermal merkezi ısıtma sistemi verilmiştir. Şekil 2.8’de ise jeotermal ısı pompası sistemi örnek sıcaklık rejimi verilmiştir.



Şekil 2.6 Kuyu İçi Eşanjörlü Jeotermal Sistem [40].



Şekil 2.7 Kuyu Dışı EŞanjörlü Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemi [40].



Şekil 2.8 Jeotermal Isı Pompası Sistemi Örneğ Sıcaklık Reğimi [40].

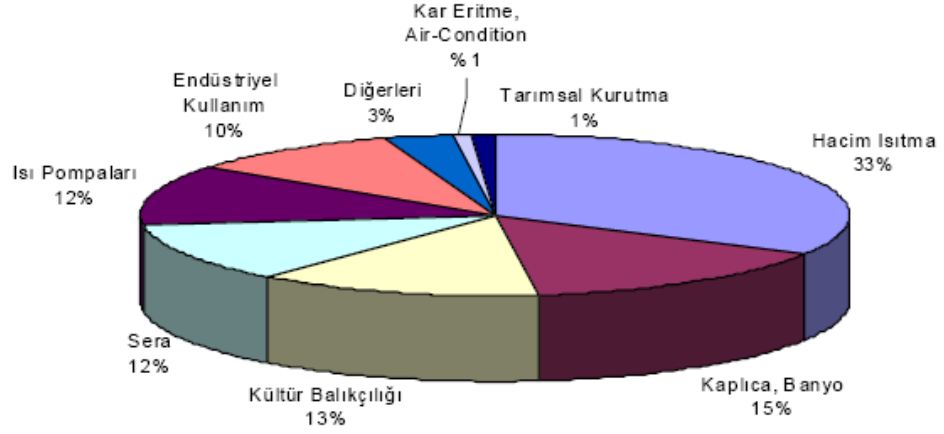
Jeotermal akışkanın endüstriyel amaçlı ülkelere göre uygulama alanları;

- Japonya, ABD, İzlanda, Filipinler, Yeni Zelanda, Tayland'da yiyeceklerin kurutulmasında (balık, yosun vb.) ve sterilize edilmesinde ve konservecilikte kullanılmaktadır.
- Yeni Zelanda, Meksika, B.D.T'nda kerestecilikte ve ağaç kaplama sanayinde kullanılmaktadır.
- Yeni Zelanda, İzlanda, Japonya, Çin, ve B.D.T'nda kağıt, dokuma ve boyamacılıkta kullanılmaktadır.
- Japonya'da derilerin kurutulması ve işlenmesinde kullanılmaktadır.
- Japonya'da bira ve benzeri endüstrilerde mayalama ve damıtmada kullanılmaktadır.
- İtalya ve Meksika'da soğutma tesislerinde kullanılmaktadır.
- Meksika'da beton blok kurutulmasında kullanılmaktadır.
- Macaristan, B.D.T, Tunus ve Cezayir'de soğutularak içme suyu olarak kullanılmaktadır.
- Japonya'da yıkama amaçlı olarak çamaşırhanelerde kullanılmaktadır [40].

Jeotermal akışkanın kimyasal madde üretimi amaçlı ülkelere göre uygulama alanları;

- İtalya, ABD, Japonya, Filipinler ve Meksika'da jeotermal akışkan borik asit, amonyum bikarbonat, ağır su (döteryum oksit:D<sub>2</sub>O), amonyum sülfat, potasyum klorür vb. kimyasal maddelerin elde edilmesinde kullanılmaktadır.
- ABD ve Türkiye'de jeotermal akışkandaki CO<sub>2</sub>'den kuru buz elde edilmesinde kullanılmaktadır [40].

Şekil 2.9'da jeotermal akışkanların dünyadaki kullanımlarının yüzde dağılımı verilmiştir [40].



**Şekil 2.9** Jeotermal Akışkanların Dünyadaki Kullanımlarının Yüzde Dağılımı [40].

#### 2.2.7.6 Türkiye’de Jeotermal Enerji

Alp-Himalaya orojenik kuşağı üzerinde bulunan ve genç tektonik etkinlikler sonucu gelişen grabenlerin, yaygın volkanizmanın, doğal buhar ve gaz çıkışlarının, hidrotermal alterasyon ve farklı sıcaklıklarda 1000’in üzerindeki jeotermal kaynağının varlığı Türkiye'nin önemli bir jeotermal enerji potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir [40].

1962 yılında MTA tarafından başlatılan jeotermal envanter çalışmaları, 1968 yılında elektrik üretimine elverişli Kızıldere-Denizli Jeotermal sahasının keşfedilmesiyle hız kazanmıştır. 1982 yılında yine elektrik üretimine uygun Aydın-Germencik ve Çanakkale-Tuzla sahaları da keşfedilerek bu konudaki çalışmalar daha da genişletilmiştir. Bunlardan başka ısıtma uygulamalarına yönelik birçok saha keşfedilmiş olup, Balıkesir-Gönen, Kütahya-Simav, Kırşehir, Kızılcabamam, İzmir-Balçova, Afyon-Ömer, İzmir-Narlıdere, Afyon-Sandıklı, Kozaklı ve Diyardin sahalarında ısıtma uygulamaları yapılmış olup, bu uygulamalar halen devam etmektedir. Türkiye’de 40 °C’nin üzerinde jeotermal akışkan içeren 170 adet jeotermal saha bulunmaktadır. Bunlardan Denizli- Kızıldere (242 °C), Aydın-Germencik (232 °C), Çanakkale-Tuzla (173 °C), Aydın-Salavatlı (171 °C) elektrik üretimine uygun, gelişen teknolojilere ve gerekli desteğin temin edilmesine göre

Manisa-Salihli-Caferbeyli (155 °C), Kütahya-Simav (162 °C), İzmir-Seferihisar (153 °C)-Dikili (130 °C) elektrik üretebilir konumda, diğerleri ise doğrudan ısıtma ve endüstriyel kullanıma uygundur [40].

Yüksek sıcaklıklı jeotermal akışkan içeren sahalar genelde genç tektonik etkinlikler sonucu oluşan grabenlerden dolayı Türkiye'nin batısında yer almaktadır. Düşük ve orta sıcaklıklı sahalar ise volkanizmanın ve fay oluşumlarının etkisi ile Orta ve Doğu Anadolu'da ve Kuzey Anadolu Fay hattı boyunca da kuzeyde yer almaktadır. Şekil 2.10'da Türkiye'nin neotektoniği-volkanik etkinliği ve jeotermal alanları verilmiştir [46].

Türkiye'de elektrik üretimine yönelik ilk uygulamalar 1968 yılında Denizli-Kızıldere sahasının geliştirilmesi ile başlamış ve 1974'de 0.5 MWe kapasiteli pilot santral devreye girmiştir. Daha sonra 1984 yılında TEAŞ tarafından 20.4 MWe kapasiteli bir santral kurdurulmuştur. Aydın-Germencikte ise kapasitesi 50-100 MWe arasında değişebilecek bir santralin kurulmasına yönelik girişimler sürdürülmektedir [40].

Türkiye'de ilk jeotermal ısıtma uygulaması 1964 yılında Gönen Park Otelin ısıtılması ile olmuştur. Balıkesir-Gönen'de 1987 yılından beri ısıtma yapılmaktadır. Günümüzde yaklaşık 2600 konut ve otellerin ısıtılması ve ayrıca sanayi tesislerinin (tabakhanelerin) sıcak su ihtiyacını karşılamaktadır [15].

Türkiye'de halen işletilmekte olan başlıca jeotermal bölgesel ısıtma sistemleri arasında, 143.3 MWt kapasite ile Balçova'da 9600 konut eşdeğeri ısıtma, 100.000 m<sup>2</sup> sera ısıtması ve Dokuz Eylül Üniversitesi kampüs ısıtması Türkiye'nin en büyük ve önemli jeotermal bölgesel ısıtma uygulaması olarak öne çıkmaktadır [40].

2000 yılı itibariyle Türkiye'de 210.000 civarında jeotermal konut ısıtmasının fizibilitesi ve projesi tamamlanmıştır. Halen 51.600 konut eşdeğeri ısıtma yapılmaktadır [40].

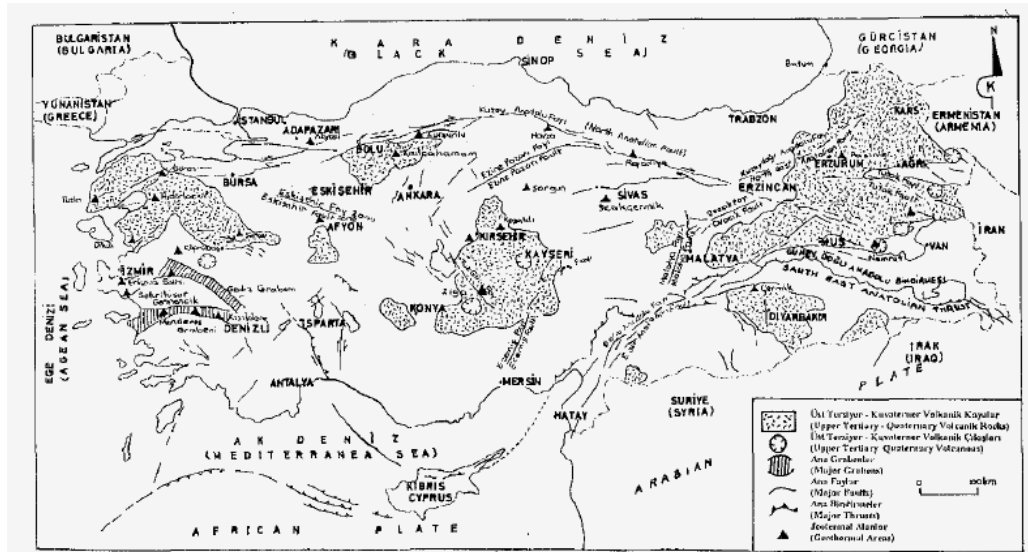
Bugünkü teknoloji ile 40°C'nin üzerindeki (ısı pompası hariç) jeotermal akışkanlar ile ısıtma yapılmaktadır. Buna örnek olarak, Havza Kaplıcaları,

Haymana'da 2 adet caminin 43°C sıcaklıktaki jeotermal akışkanla ısıtılması, Afyon-Oruçoğlu Termal Resort tesisleri (49°C) ve Rize-Ayder kür merkezi ve kaplıca tesisi (54°C) verilebilir [40].

Türkiye’de, şu anda, Gönen, Simav, Kırşehir, Kızılcahamam, Afyon, İzmir (Balçova + Narlıdere), Sandıklı, Kozaklı, Diyardin ve Bigadiç jeotermal merkezi şehir ısıtma sistemleri bulunmaktadır. Buralardaki konutlar ve binalar jeotermal enerji ile ısıtılmaktadır. Türkiye, jeotermal enerji (ısıtma amaçlı) potansiyeli olarak, dünyada önde gelen ülkeler arasına girmektedir [40].

Jeotermal enerji yeni ve yenilenebilir bir enerji türü olup, Türkiye potansiyelinin yaklaşık % 95'i ısıtmaya uygun jeotermal sahalardan oluşmaktadır [40].

Jeotermal kaynaklardan kimyasal madde üretimi ticari anlamda Denizli-Kızıldere’de yılda 120.000 ton kapasiteli olarak kurulan CO<sub>2</sub> fabrikasında gerçekleştirilmektedir [40].



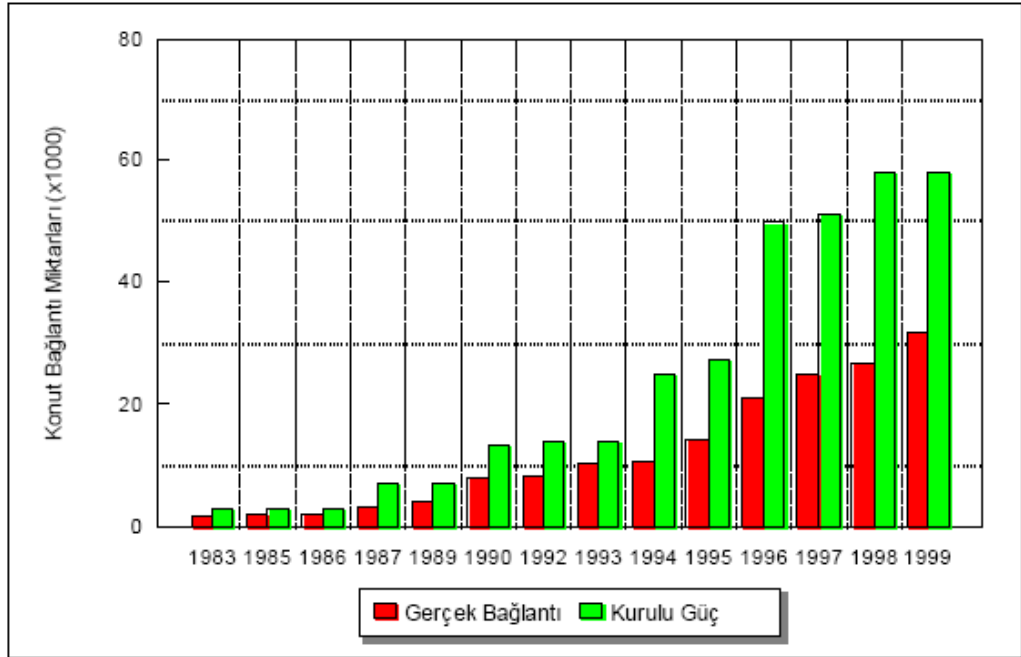
Şekil 2.10 Türkiye'nin Neotektoniği-Volkanik Etkinliği ve Jeotermal Alanları [40].



Jeotermal enerjinin en önemli ve yaygın uygulama şeklinin hızla yaygınlaşan konut ısıtmacılığı olabileceği belirlenerek bu alanda araştırma ve uygulamalara hız verilmiştir [40].

Kuyuiçi eşanjörünün Türkiye’de 1981 yılında İzmir-Balçova ilk kez uygulaması sonucu Balçova Termal Tesisleri işletilmektedir [40].

1983 yılından bu yana Türkiye’deki jeotermal merkezi ısıtma uygulamalarındaki konut bağlantı miktarlarındaki yıllık artış oranı ortalama % 23 civarında gerçekleşmiştir. Şekil 2.11’de Türkiye’deki jeotermal merkezi ısıtma sistemlerinde konut bağlantı miktar ve oranları verilmiştir [40].



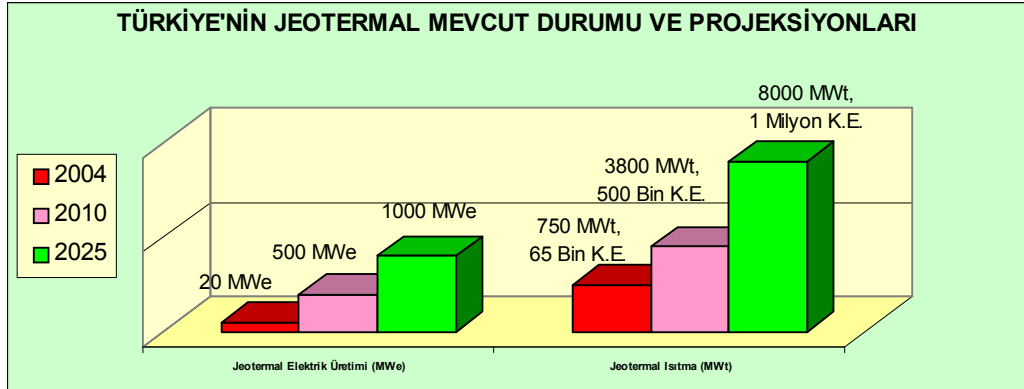
**Şekil 2.11** Türkiye’deki Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemlerinde Konut Bağlantı Miktar ve Oranları [40].

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 [37].

Toplam jeotermal potansiyelini elektrik üretimi, şehir ısıtma, soğutma, sera ısıtma, termal tesis ısıtma, kaplıca kullanımı, kimyasal maddeler üretimi, sanayide kullanım vb uygulamalarda değerlendirilmektedir [37].

Türkiye, 1995 yılında jeotermal ısı ve kaplıca uygulamalarında dünyada 11. sırada iken, 2000 yılında 5. sıraya yükselmiş, 2005 yılında beşinciliğini sürdürmüştür. Mayıs 2005 itibariyle, jeotermal kaynak potansiyelimizin ancak % 4'ü değerlendirilmektedir. Şekil 2.12'de Türkiye'nin jeotermal mevcut durumu ve projeksiyonları verilmiştir [37].



**K.E. : Konut Eşdeğeri**

Şekil 2.12 Türkiye'nin Jeotermal Mevcut Durumu ve Projeksiyonları [37].

### 3. JEOTERMAL BÖLGESEL ISITMA SİSTEMLERİ

Genel olarak ısıtma sistemlerini üç grupta toplamak mümkündür.

- Tekil ısıtma sistemleri; kat kaloriferleri, bireysel klimalar, sobalar, kombiler vb.
- Merkezi ısıtma sistemleri; Bir binayı tek bir kazan ile ısıtma, HVAC sistemi ile ısıtma,
- Bölgesel ısıtma sistemleri; Endüstri tesisleri, toplu konut uygulamaları, mahalle ve şehir ısıtmaları gibi büyük ölçekli ısıtma sistemleridir.

Bölgesel ısıtma sistemlerinde ısının üretildiği veya aktarıldığı ısı merkezlerinin tasarımı sistemin sağlıklı bir şekilde işletilmesinde önemli bir parametredir. Seçilen sisteme bağlı olarak tüm bileşenlerin özellikleri, boyutları, yerleşimi, bakım ve işletme kolaylığı sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır.

Klasik bölge ısıtmasında bir ısı merkezinde üretilen ısı, boru şebekesi ile primer devre akışkanı tarafından ısıtılması düşünülen binalara taşınır. Her binanın altındaki ısı eşanjöründe sekonder devrede dolaşan ısıtıcı akışkan ısıtılır. Primer devre sıcak su, kızgın su veya buhar sekonder devrede ise genellikle sıcak su dolaşır.

Bölge ısıtmasında seçilecek sistemin, yatırım ve işletme maliyetleri üzerine etkisi çok önemlidir. Bu bakımdan her bölge ısıtma uygulaması için öncelikle bir fizibilite veya ekonomiklik çalışması yapılması gerekir. Bu fizibilite çalışmasında ana parametreler: ısı kaynağı, primer devre akışkanın cinsi ve sıcaklığı, ısı merkezi sayısı ve boru şebekesinin dağılımı ve boruların izolasyonundan oluşmaktadır.

Bölgesel ısıtma sistemlerinde uygulanan diğer bir sistem de primer devrede üretilen sıcak akışkanın doğrudan bloklara verilmesidir. Burada işletme basıncına dikkat edilmelidir [47].

Bölgesel ısıtma sistemleri işletme maliyetlerinin daha düşük olduğu, çevreyi daha az zarar veren, yakıt ve kül taşıma problemlerinin olmadığı, tehlikesi az, sağlıklı ve konforlu bir ısıtma sağlayan sistemlerdir. Fakat dağıtım hattı maliyetleri, sistem maliyetleri, otomasyon zorlukları gibi problemler bu tür sistemlerin ılıman bölgelerde tercih edilmemesine yol açmaktadır. En çok kullanılan sistemler koojenasyon ve jeotermal bölge ısıtma sistemleridir [47].

### 3.1 Tek Merkezli Bölgesel Isıtma Sistemleri

Bazı şehir ısıtma sistemleri dışında bölge ısıtma sistemleri genellikle tek ısı merkezli sistemlerdir. Bu tür sistemlerde dallanan tip şebeke kullanılır. Dallanan tip şebekede, tüm kullanım noktaları bir tek kol ile beslenir. Dolayısıyla bu sistemler bakım ve onarımı zor olan sistemlerdir. Sadece problem olan noktada değil, bu noktadan itibaren tüm kullanım yerlerinde besleme kesilir. Şekil 3.1’de dallanan tip şebekenin şematik gösterimi verilmiştir [47].



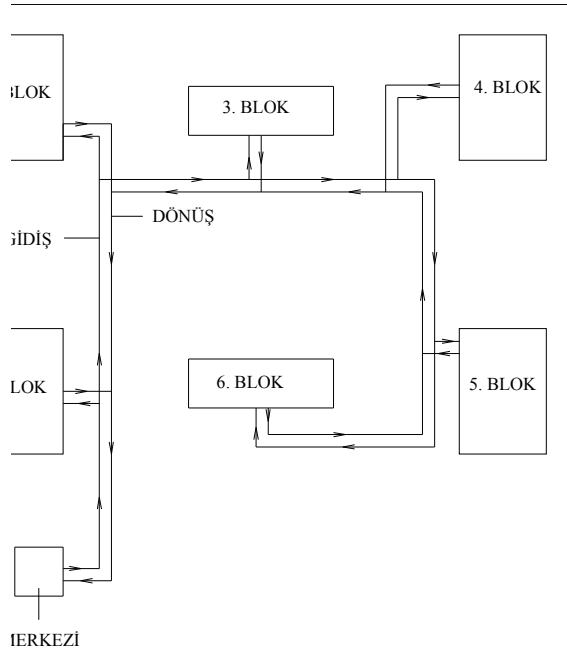
Şekil 3.1 Dallanan Tip Şebekenin Şematik Gösterimi [47].

Tek merkezli bölgesel ısıtma sistemlerinin boru şebekesini bir, iki, üç veya dört borulu yapmak mümkündür. Bir borulu sistemler sadece buharlı tesisat için kullanılır. Bu sistemde tek borudan kullanıcıya buhar ulaştırılır. Ancak kondens geri gönderilmez. Pahalı bir işletme sistemi olduğu için çok özel durumlarda kullanılmaktadır.

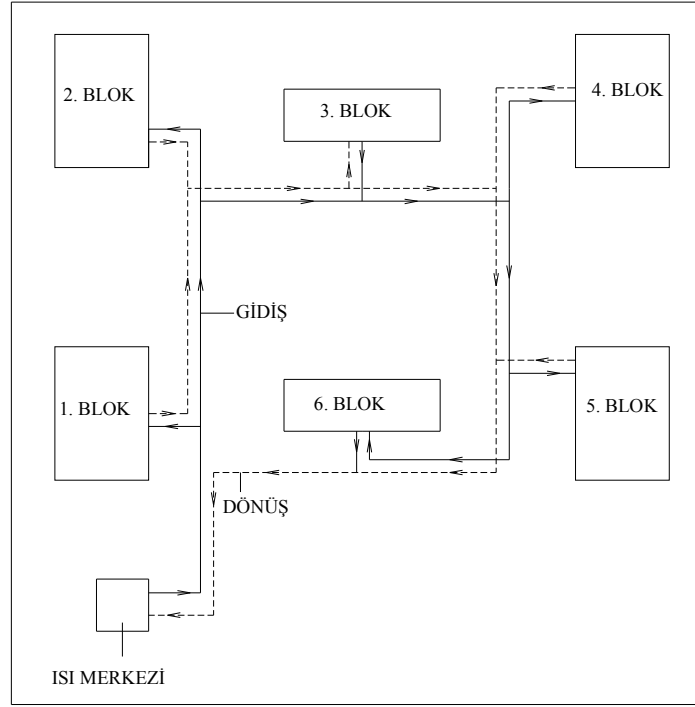
En yaygın olarak kullanılan sistem iki borulu sistemdir. Bir boru buhar, kızgın su ya da sıcak su gidiş, diğer boru ise kondens yada sıcak su dönüş borusudur. İki borulu ısıtma sistemlerini;

- 1- Düz geri dönüşlü,
- 2- Ters geri dönüşlü (Eş direnç sistemi veya Tichelmann sistemi) olarak düzenlemek mümkündür [47].

Şekil 3.2’de iki borulu düz geri dönüşlü sistemin şeması, Şekil 3.3’de ise iki borulu ters geri dönüşlü sistemin şeması verilmiştir [47].



**Şekil 3.2** İki Borulu Düz Geri Dönüşlü Sistemin Şeması [47].



**Şekil 3.3** İki Borulu Ters Geri Dönüslü Sistemin Şeması [47].

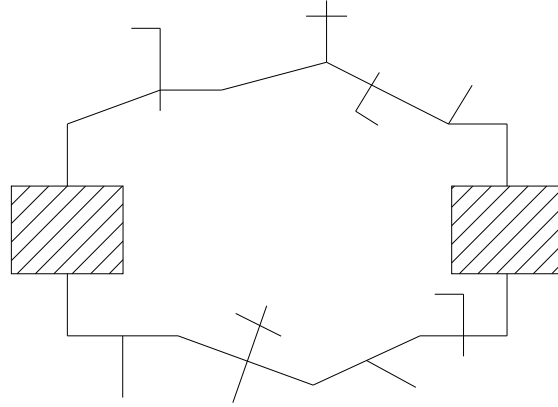
Düz geri dönüslü sistemlerde paralel gidiş ve dönüş boruları aynı çaplıdır. Bu sistemlerin tasarımı ve yapımı kolaydır. Boru çaplarından dolayı daha ucuz ve ekonomik olmasının yanı sıra ayar ve reglaj problemleri mevcuttur. İlk blokta gidişle dönüş hattı arasında basınç farkı çok fazladır. Bu fark en son blokta ise çok azdır. Dolayısıyla ilk bloklarda önlem alınmazsa çok su dolaşır ve bu blok iyi ısınırken, son blokta az su dolaşır ve ısınma problemleri ortaya çıkar. Ters geri dönüslü sistemde ise basınç farkı dağılımı düzgündür. Dolayısıyla reglaj gereksinimi minimum düzeydedir. Eğer mümkün oluyorsa, çift borulu sistemlerde Tichelmann sistemine göre tasarım yapmak ileride ortaya çıkabilecek dengesizliklerin önlemini sağlar [47].

### 3.2. Çok Merkezli Bölgesel Isıtma Sistemleri

Büyük şehir ısıtmalarında sistemin kullanım güvenliği açısından aynı kullanım noktasına farklı santrallerden besleme yapılabilmesi esas alınmalıdır. Çok merkezli bölge ısıtması boru dağıtım şebekesine bağlı olarak iki grupta incelenir.

- 1- Ring Şebeke,
- 2- Luplu şebekedir.

Ring şebeke birden fazla ısı merkezinin bulunduğu büyük sistemler için uygundur. Herhangi bir arıza durumunda kullanım noktalarını başka bir yerden beslenebilmektedir. Şekil 3.4’de ring tipi şebekenin şematik gösterimi verilmiştir [47].

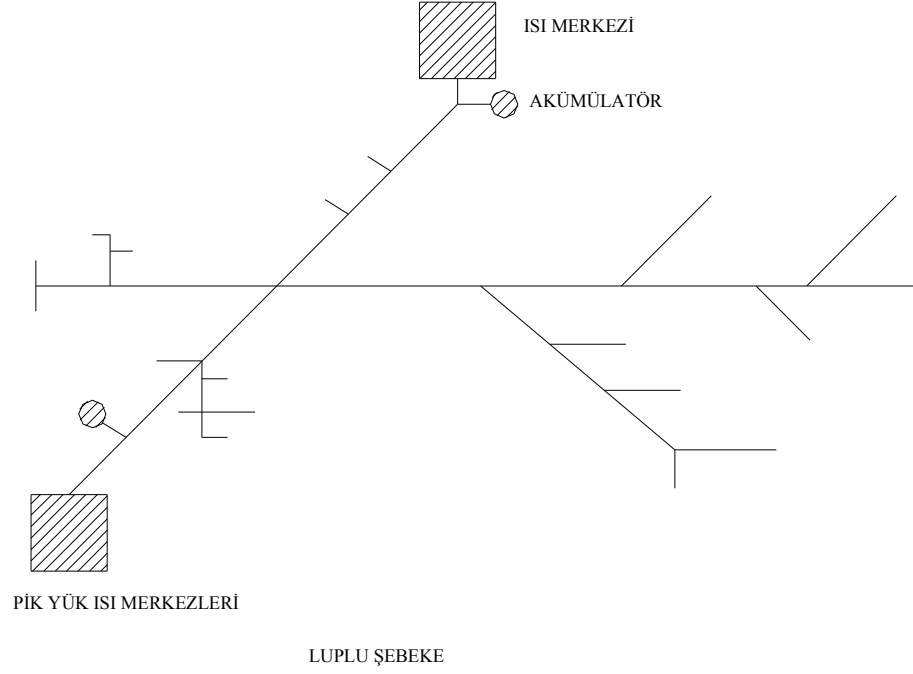


### RİNG ŞEBEKE

Şekil 3.4 Ring Tipi Şebekenin Şematik Gösterimi [47].

Luplu şebekede pik yük ısı merkezleri ve boylerler bulunmaktadır. Bu sistem en büyük şebekelerde kullanılır. Sistemin çalışma güvencesi arttırılmış ve her

kullanıcıya en az iki noktadan ulaşabilme olanağı getirmiştir. Şekil 3.5’de luplu tip şebekenin şematik gösterimi verilmiştir [47].

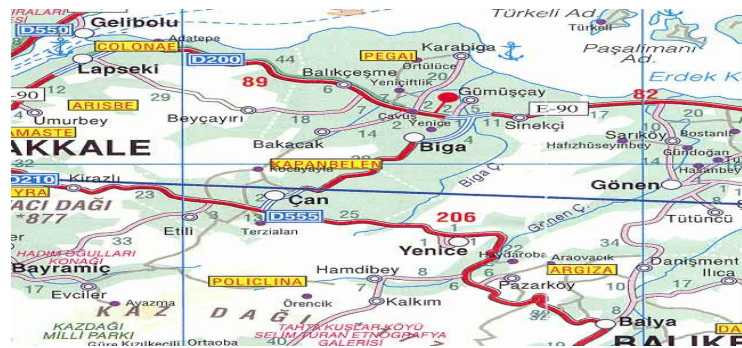


**Şekil 3.5** Luplu Tip Şebekenin Şematik Gösterimi [47].



#### 4. GÖNEN JEOTERMAL BÖLGESEL ISITMA SİSTEMİ

Gönen, Marmara Bölgesi'nin Güney Marmara Bölgesi içinde Balıkesir iline bağlı yaklaşık 36.000 nüfuslu ilçedir. 11 mahallede yaklaşık 10,000 hane bulunmaktadır. Toplam alanı 1152 km<sup>2</sup> olan Gönen ilçesinin Doğusu Manyas ilçesi, kuzeydoğusu Bandırma ilçesi, batısı Biga ve Yenice ilçeleri, kuzeyi Marmara Denizi ve Erdek Körfezi ve güneyi Balya ilçesi ile çevrilidir. Deniz seviyesinden yüksekliği 33 metredir. Gönen ilçesine bağlı 89 köy ve Sarıköy beldesi bulunmaktadır. Genellikle ovalarda kurulan köyler, dağlara gidildikçe seyrekleşir. Balıkesir'e 145 km. uzaklıkta olan Gönen Çanakkale'ye 150 km., Bursa'ya ise 155 km. mesafededir. Deniz, hava ve demiryolu ulaşımı bakımından önemli bir merkez olan Bandırma'ya ise 45 km'dir. Gönen, iklim şartları bakımından Marmara Denizinin etkisi altındadır. Marmara'nın etkisi bütün ova üzerinde sürmesinin nedeni denizden buraya kadar doğal bir engelin bulunmamasıdır. Bu nedenle ılıman, yazları sıcak, kışları yağışlı yumuşak Akdeniz iklimi özelliği görülür. Bu özelliğin unsuru olan makilerin şehrin kuzeyindeki varlığı da bu durumu açıklayan bir örnektir. Ancak belirli ve kararlı bir iklimi olduğu tam olarak söylemek imkanı yoktur. Bu iklim özelliği çevresindeki yüksek yerlerde nispi karasallığa dönüşmektedir. Gönen'de yıllık sıcaklık ortalaması 14 °C gibi bir değer göstermektedir. Yağış ortalamasının 600-700 ml civarındadır [15]. Şekil 4.1'de Gönen'in Türkiye haritasındaki yeri verilmiştir.



Şekil 4.1 Gönen'in Türkiye Haritasındaki Yeri

Gönen jeotermal alanının yer aldığı Biga Yarımadası Paleozoyik yaşlı epimetamorfik kayalardan oluşmaktadır. Alanda Üst Paleozoyik ve Paleojen olmak üzere farklı iki yaşta granitik sokulum bulunmaktadır. Temelde bulunan birim en eski kayaç topluluğu olan Kazdağ Grubudur. Grubun en üst seviyeleri genellikle granoblastik dokulu, ince tabakalı ve çok kıvrımlı mermerlerden oluşmuştur. Kazdağ Grubunun üzerine çok yaygın olarak Karakaya Formasyonu gelir. Bu kayaların litolojileri zaman zaman derinleşen fakat genellikle sık ve dengesiz bir ortamda çöken birimleri kapsamaktadır [48].

Gönen jeotermal sahası en eski termal alanlardandır. Çok eski yıllardan beri bu alandaki suların şifa bulmak amacıyla yararlanılmıştır. Günümüzde gelişen teknolojiyle beraber modern tesislerin yapımı ortaya çıkmaktadır. Bundan dolayı gerekli miktarda jeotermal su temini için MTA Genel Müdürlüğüne geniş kapsamlı jeolojik, jeofizik, jeokimyasal araştırmalar ve testler yapılmıştır. Türkiye’de ilk jeotermal ısıtma uygulaması 1964 yılında Gönen Park Otelin ısıtılması ile olmuştur. Balıkesir-Gönen’de 1987 yılından beri ısıtma yapılmaktadır. Gönen jeotermal alanında bugüne kadar derinliği 133-800m arasında değişen 17 adet araştırma ve üretim kuyusu açılmıştır. Kuyularda üretilen jeotermal akışkan termal tesislerde, şehir konut ve sanayi ısıtılmasında kullanılmaktadır. Gönen jeotermal ısıtma sisteminin I. Etap proje çalışmasına 1985 yılında başlanmış ve 1987 yılında devreye alınmıştır. 1994-1995 yıllarında II. Etap proje devreye alınmıştır. I. Etapta 1600 eşdeğer konut ısıtma yapılmıştır. II. Etapta 1000 eşdeğer konut ısıtma yapılmıştır. Günümüzde 2600 konut ve otellerin ısıtılması (400 eşdeğer konut) ve ayrıca sanayi tesislerinin (tabakhanelerin) sıcak su ihtiyacını karşılamaktadır. Tablo 4.1’de Gönen belediyesi jeotermal enerji merkezi ısıtma sistemi abone bilgileri Tablo 4.2’ de ise Gönen Kaplıcalarındaki mevcut ve açılmakta olan sıcak su kuyularının yapıldıkları yıl, derinlik, sıcaklık, debi ve basınç değerleri verilmiştir. Gönen’de pompalı üretim yapıldığı için Tablo 4.2’de verilen değerler pompa sonrasında ulaşılan kuyu başı basıncı değerlerini göstermektedir [14].

**Tablo 4.1** Gönen Belediyesi Jeotermal Enerji Merkezi Isıtma Sistemi Abone Bilgileri [49].

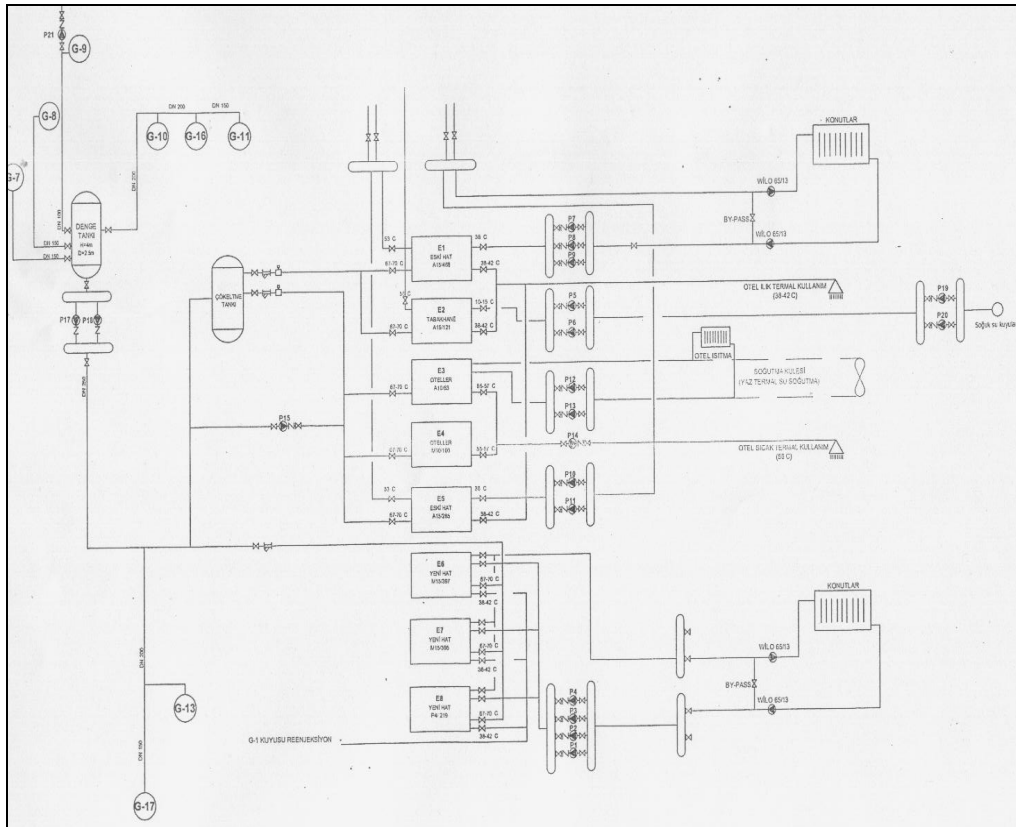
Abone Tipi	Abone miktarı (Adet)
Konut+ İşyeri	2442
Resmi Daire	21
Tabakhaneler	60
Gönen Kaplıcaları Termal Tesisleri	400
Toplam	3923

**Tablo 4.2** Gönen Kaplıcalarındaki Mevcut ve Açılmakta Olan Sıcak Su Kuyularının Yapıldıkları Yıl, Derinlik, Sıcaklık, Debi ve Basınç Değerleri [49].

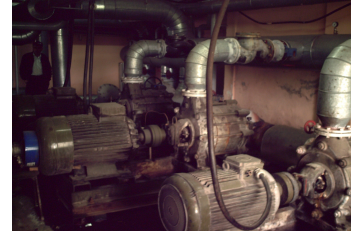
Kuyu No	Delindiği Yıl	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C) K.D (Kuyu Dibi)	Debi (l/s)	Basınç (Atü) (Pompa sonrası kuyubaşı basıncı)
G-1	1976	133	Kullanılmıyor		
G-2	1976	535	Kullanılmıyor		
G-3	1985	308	Reenjeksiyon kuyusu olarak kullanılıyor		
G-4A	1990	317	Kullanılmıyor		
G-5	1993	332	Reenjeksiyon kuyusu olarak kullanılıyor		
G-6		385	Kullanılmıyor		
G-7		325	62	20	1.8
G-8		280	62	20	1.8
G-9		560	94	8	
G-10		265	69	20	1.8
G-11	(1999)2002	816	79	8	
G-12	2002	500	Kullanılmıyor		
G-13	2002	356	71	20	1.4
G-14	2002	350	Reenjeksiyon kuyusu olarak kullanılıyor		
G-15		188	Reenjeksiyon kuyusu olarak kullanılıyor		
G-16	2003	316	79	25	1.8
G-17	2004	230	60	20	1.8

Üretim alanında su seviyesinin düşmesi ve çevre kirliliğinin önlenmesi amacıyla atık suyun reenjeksiyonu zorunlu hale gelmiştir. Gönen'deki önceki uygulamalarda, üretim sahası içine yapılan atıksu reenjeksiyonu sonucu, üretim kuyularında sıcaklık düşüşü belirlenmiştir. Reenjeksiyon yeri ve derinliğinin, akışkan üretimi yapılan

jeotermal rezervuarı olumsuz etkilemeden ve su seviyesinin yükselmesini sağlayacak şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Üretim kuyularından elde edilen termal su; kuyu başı basınçlarının dengelenmesi amacıyla önce dengeleme tankına, daha sonrada içindeki istenmeyen partiküllerin ayrıştırılması amacıyla çöktürme tankına gider. Yaklaşık ortalama 70 °C sıcaklıktaki ve 141 l/s debili termal akışkan eşanjörlere dağılır. Eski hat 2 adet yeni hat 3 adet eşanjör konut ısıtmada, 2 adet eşanjör otel ısıtmada, 1 adet eşanjör de tabakhane sıcak su hattı için kullanılmaktadır. Termal akışkanın dönüş suyu sıcaklığı yaklaşık 40 °C'dir. Otel eşanjörleri dönüş suyu otelin sıcak termal su kullanımını, eski hat ve tabakhane eşanjörleri dönüş suyu ise otelin ılık termal su kullanımını karşılamaktadır. Yeni hat eşanjörleri dönüş suyu ise reenjeksiyon olarak kullanılmaktadır [14]. Şekil 4.2'de Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sistem şeması verilmiştir [49]. Şekil 4.3'de ise Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin eşanjör dairesine ait resimler verilmiştir.



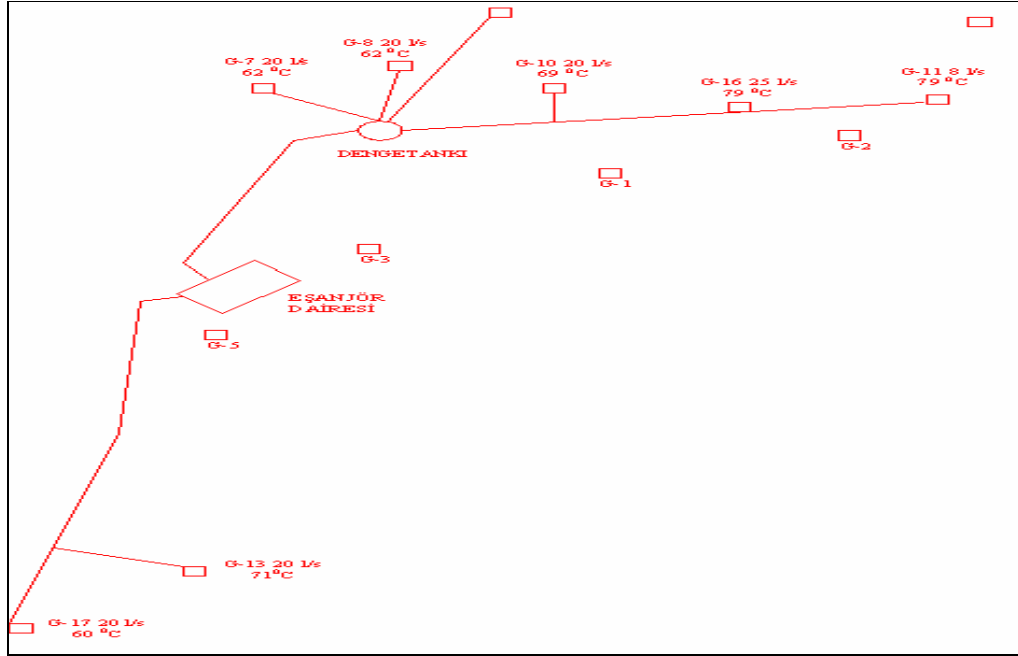
Şekil 4.2 Gönen Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistem Şeması



Şekil 4.3 Gönen Jeotermal Bölgesel Isıtma Siteminin Eşanjör Dairesine Ait Resimler.

#### 4.1 Gönen Jeotermal Sistemi Kuyuları

Gönen jeotermal sisteminde G1, G2, G4, G6 ve G12 kuyuları hiç kullanılmamakta, G3, G5, G14 ve G15 kuyuları ise reenjeksiyon amaçlı kullanılmaktadır [14]. Şekil 4.4’de Gönen jeotermal kuyu yerleşim planı verilmiştir [49].



Şekil 4.4 Gönen Jeotermal Kuyu Yerleşim Planı.

##### 4.1.1 G1 Kuyusu

G1 kuyusu 1976 yılında 133 m derinlikte açılmıştır. Şu anda kuyuda su bulunmadığından dolayı kullanılmamaktadır. Şekil 4.5’te G1 kuyusuna ait resimler verilmiştir.



**Şekil 4.5** G1 Kuyusuna Ait Resimler.

#### **4.1.2 G2 Kuyusu**

G2 kuyusu 1976 yılında 535 m derinlikte açılmıştır. Şu anda kuyuda su bulunmadığından dolayı kullanılmamaktadır. Şekil 4.6'da G2 kuyusuna ait resim verilmiştir.



**Şekil 4.6** G2 Kuyusuna Ait Resim.

#### 4.1.3 G3 Kuyusu

G3 kuyusu 1985 yılında 308 m derinlikte açılmıştır. Şu anda re-enjeksiyon kuyusu olarak kullanılmaktadır.

#### 4.1.4 G4 Kuyusu

G4 kuyusu 1990 yılında 317 m derinlikte açılmıştır. Şu anda kuyuda çökme meydana geldiğinden dolayı kullanılmamaktadır. Şekil 4.7’de G4 kuyusuna ait resimler verilmiştir.



Şekil 4.7 G4 Kuyusuna Ait Resimler.



#### 4.1.5 G5 Kuyusu

G5 kuyusu 1993 yılında 332 m derinlikte açılmıştır. Şu anda re-enjeksiyon kuyusu olarak kullanılmaktadır. Şekil 4.8’de G5 kuyusuna ait resim verilmiştir.



Şekil 4.8 G5 Kuyusuna Ait Resim.

#### 4.1.6 G6 Kuyusu

G6 kuyusu 385 m derinlikte açılmıştır. Şu anda Devlet Su İşleri tarafından kullanılmaktadır.

#### 4.1.7 G7 Kuyusu

G7 kuyusu 325 m derinlikte açılmıştır. Kuyu dibi sıcaklığı 62 °C, debisi 20 l/s’dir. Pompa sonrası kuyu başı basıncı 1.8 Atü’dür. Şekil 4.9’da G7 kuyusuna ait resimler verilmiştir.



**Şekil 4.9** G7 Kuyusuna Ait Resimler.

#### **4.1.8 G8 Kuyusu**

G8 kuyusu 280 m derinlikte açılmıştır. Kuyu dibi sıcaklığı 62 °C, debisi 20 l/s'dir. Pompa sonrası kuyu başı basıncı 1.8 Atü'dür. Şekil 4.10'da G8 kuyusuna ait resimler verilmiştir.



**Şekil 4.10** G8 Kuyusuna Ait Resimler.

#### 4.1.9 G9 Kuyusu

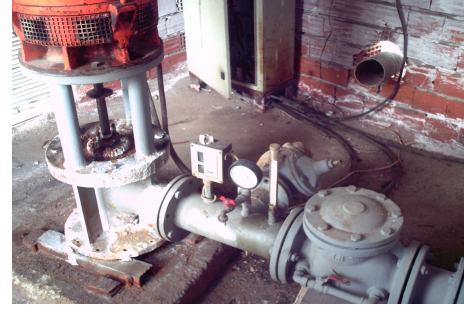
G9 kuyusu 560 m derinlikte açılmıştır. Kuyu dibi sıcaklığı 94 °C, debisi 8 l/s'dir. Şekil 4.11'de G9 kuyusuna ait resimler verilmiştir.



Şekil 4.11 G9 Kuyusuna Ait Resimler.

#### 4.1.10 G10 Kuyusu

G10 kuyusu 265 m derinlikte açılmıştır. Kuyu dibi sıcaklığı 69 °C, debisi 20 l/s'dir. Pompa sonrası kuyu başı basıncı 1.8 Atü'dür. Şekil 4.12'de G10 kuyusuna ait resimler verilmiştir.



**Şekil 4.12** G10 Kuyusuna Ait Resimler.

#### **4.1.11 G11 Kuyusu**

G11 kuyusu 1999 yılında 816 m derinlikte açılmıştır. Kuyu dibi sıcaklığı 79 °C, debisi 8 l/s'dir. Şekil 4.13'de G11 kuyusuna ait resimler verilmiştir.



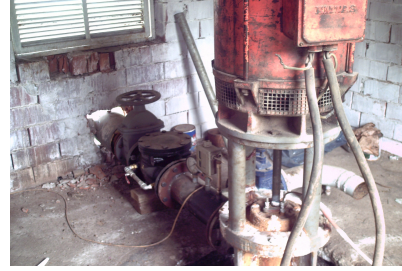
**Şekil 4.13** G11 Kuyusuna Ait Resimler.

#### **4.1.12 G12 Kuyusu**

G12 kuyusu 2002 yılında 500 m derinlikte açılmıştır. Sondaj çalışmalarında su bulunmadığı için kullanılmamaktadır.

#### 4.1.13 G13 Kuyusu

G13 kuyusu 2002 yılında 356 m derinlikte açılmıştır. Kuyu dibi sıcaklığı 71 °C, debisi 20 l/s'dir. Pompa sonrası kuyu başı basıncı 1.4 Atü'dür. Şekil 4.14'de G13 kuyusuna ait resimler verilmiştir.



Şekil 4.14 G13 Kuyusuna Ait Resimler.

#### 4.1.14 G14 Kuyusu

G14 kuyusu 2002 yılında 350 m derinlikte açılmıştır. Şu anda re-enjeksiyon kuyusu olarak kullanılmaktadır.

#### 4.1.15 G15 Kuyusu

G15 kuyusu 188 m derinlikte açılmıştır. Şu anda re-enjeksiyon kuyusu olarak kullanılmaktadır.

#### 4.1.16 G16 Kuyusu

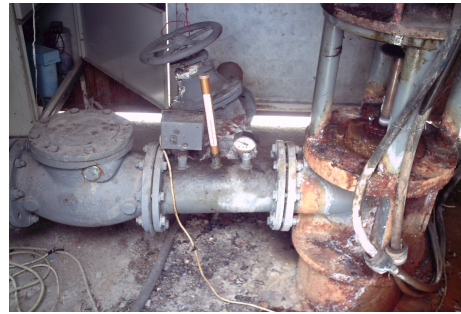
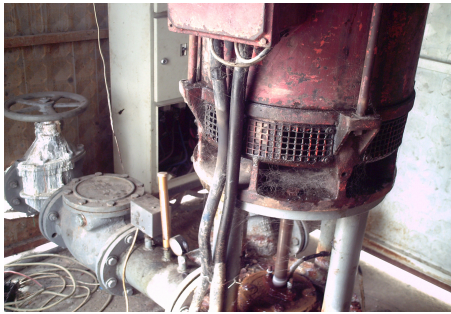
G16 kuyusu 2003 yılında 316 m derinlikte açılmıştır. Kuyu dibi sıcaklığı 79 °C, debisi 25 l/s'dir. Pompa sonrası kuyu başı basıncı 1.8 Atü'dür. Şekil 4.15'de G16 kuyusuna ait resimler verilmiştir.



Şekil 4.15 G16 Kuyusuna Ait Resimler.

#### 4.1.17 G17 Kuyusu

G17 kuyusu 2004 yılında 230 m derinlikte açılmıştır. Kuyu dibi sıcaklığı 60°C, debisi 20 l/s'dir. Pompa sonrası kuyu başı basıncı 1.8 Atü'dür. Şekil 4.16'da G17 kuyusuna ait resimler verilmiştir.



Şekil 4.16 G17 Kuyusuna Ait Resimler.

#### 4.2 Gönen Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistemi Bina Altı Uygulaması

Gönen jeotermal bölge ısıtması dağıtım şebekesi çift borulu dal şebekesi şeklinde dağıtılmıştır. Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sisteminde konutlarda sıcak su dağıtımını sirkülasyon pompalarıyla sağlanmaktadır. Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de eşit kapasite iki sitenin bina altı uygulaması olan sirkülasyon pompalarının resimleri verilmiştir.



Şekil 4.17 Başaranlar-II Sitesinin Bina Altı Uygulaması.



Şekil 4.18 Eğitimciler-I Sitesi Bina Altı Uygulaması.

Aynı kapasitedeki merkezi sistem girişlerinde girişte iki adet pompa, dönüşte bir adet pompa bulunmaktadır. Başaranlar-II sitesinde bina altı uygulamasında NCP 10/125 (tek hızlı) sirkülasyon pompası, Eğitimciler-I sitesinde ise wilo 65/13 (üç hızlı) sirkülasyon pompası kullanılmaktadır. Eğitimciler-I sitesinde devir kontrollü (üç hızlı) sirkülasyon pompasının kullanılmasının nedeni, kış aylarında 0 °C sıcaklık değerinin altında tüm merkezi sistemlerdeki pompalar çalıştığına dönüş hattındaki hat basıncı yükseldiğinden pompalar basıncı yenemediği için o noktada sirkülasyon durmakta ve sistem kısa devre yapmaktadır. Bu yüzden bu noktada devir kontrollü (üç hızlı) motor kullanılarak kademelinin yükselmesi ve basıncın artması sağlanarak sirkülasyonun olası sağlanır.

En uç noktalarda sirkülasyon pompası dönüş hattı basıncını yenemediği için kademeli santrifüj pompa kullanılmaktadır. Şekil 4.19'da santrifüj pompaya ait resimler verilmiştir.



**Şekil 4.19** Santrifüj Pompaya Ait Resimler.



## 5. SİMAV JEOTERMAL BÖLGESEL ISITMA SİSTEMİ

Simav ise Ege bölgesinin İç Batı Anadolu bölümünde Simav dağlarının eteğinde kurulu, Kütahya iline bağlı ve il merkezinin 147 kilometre güneybatısında yer alan bir ilçedir. Simav'ın şehir nüfusu 40.000, ilçe nüfusu ise 125.000'dir. Simav'ın; Dursunbey-Sındırgı (Balıkesir), Selendi-Demirci(Manisa), Emet-Tavşanlı, Gediz-Hisarçık-Şaphane ve Pazarlar ilçeleriyle sınırları bulunmaktadır. Simav, Kütahya ilinin yeryüzü şekilleri özelliklerini taşıyan tipik bir bölgesidir. İlin diğer bölgesi İç Anadolu karakteri göstermesine karşın Simav, dağ ve ovaların yerleşimi bakımından tam bir Ege bölgesi görünümündedir. Denizden yüksekliği 800 m'dir. Yörede iklim Ege, Marmara ve İç Anadolu iklimlerinin ortak özelliğini taşır. Simav'da ılıman bir iklim hüküm sürmektedir. İlçe Merkez Belediye ve 21 adet belde belediyesi olmak üzere 22 adet belediye, ilçe merkezinde 16 adet mahalle muhtarlığı ve ilçeye bağlı 72 köy vardır [15]. Şekil 5.1'de Simav'ın Türkiye haritasındaki yeri verilmiştir.



Şekil 5.1 Simav'ın Türkiye Haritasındaki Yeri.

Simav jeotermal alanı ve çevresinde jeolojik istifi tabandan Paleozoyik öncesi, Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimlerden oluşur. Paleozoyik öncesi Kalkan Formasyonu Simav jeotermal alanının temelini oluşturmaktadır. Simav Metamorfitlerinin alt kısmında Kalkan Formasyonu uyumsuz olarak yer alır. Üstte Balıkbaşı Formasyonu ile geçişlidir [50].

Simav Eynal Kaplıcaları Türkiye’de sayılı jeotermal alanlarından biridir. 1985 yılında Belediye ve Özel İdare Yönetimi jeotermal enerjinin varlığını araştırmak için muhtelif zamanlarda MTA’ya sıcak su kuyuları açtırmıştır. Yaklaşık 725 m derinlikte 160 °C sıcaklıktaki suya rastlanılmıştır. 1987 yılında ilk önce Eynal Kaplıcalarındaki otel, kuyu içi eşanjör sistemi ile ısıtılmıştır. 1989, 1990 ve 1991 yıllarında Simav şehir merkezine 4 km uzaklıkta bulunan Eynal Kaplıcalarındaki jeotermal akışkanla ilk etapta 1000 eşdeğer konut ısıtma uygulaması işletmeye alınmıştır. Daha sonraki yıllarda abone sayısının artması nedeniyle boru çaplarının yetersiz kalması ve şehir içi ana hat CTP borularında (Cam Elyaf Boru) zamanla kırılma ve çatlama olmaları nedeniyle merkezi ısıtma sisteminde sorunlar meydana gelmiştir. Bu yüzden 1999 yılından itibaren ilk etapta Eynal-Simav arası 250 mm çapındaki CTP boru ve Simav-Eynal arası 300 mm’lik çapındaki asbest boru ana hattı iptal edilerek yerine gidiş-dönüş mesafesi yaklaşık 9 km olan 400 mm çapında pur izoleli paket çelik boru ana hattı döşenmiştir. 2000 ve daha sonraki yıllarda Simav şehir merkezindeki tüm CTP borular değiştirilerek 2005 Mayıs ayı sonu itibarıyla muhtelif çaplarda yaklaşık 100 000 metre pur izoleli çelik boru döşenmiştir. Ayrıca yeni üretim kuyularının açılması ile 6500 eşdeğer konut ısıtma kapasitesine ulaşılmıştır. Şu anda 4726 eşdeğer konut ısıtma yapılmaktadır. Tablo 5.1’de Simav belediyesi jeotermal enerji merkezi ısıtma sistemi abone bilgileri ve Tablo 5.2’de ise Eynal Kaplıcalarındaki mevcut ve açılmakta olan jeotermal kuyularının açıldıkları yıl, derinlik, sıcaklık, debi ve basınç değerleri verilmiştir [51].

**Tablo 5.1** Simav Belediyesi Jeotermal Enerji Merkezi Isıtma Sistemi Abone Bilgileri [51].

Abone Tipi	Abone Miktarı (Adet)
Konut	4044
İşyeri	527
Resmi Daire	23
Okul	11
Cami	9
Sera	54
Konut (Sera)	20
Eynal Kaplıcaları Termal Tesisleri	-
Toplam	4726

**Tablo 5.2** Eynal Kaplıcalarındaki Mevcut ve Açılmakta Olan Sıcak Su Kuyularının Yapıldıkları Yıl, Derinlik, Sıcaklık, Debi ve Basınç Değerleri [51].

Kuyu No	Delindiği Yıl	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C) K.D (Kuyu dibi)	Debi (l/s)	Basınç (Atü) (Artezyen kuyu başı basıncı)
EJ-1	1987	725	162 KD	72	5
E-6	1994	169	157 KD	60-80	4,5
E-8	1997	205	161 KD	50	4
EJ-3	1997	424	151 KD	40-60	3,5-4
E-9	2005	208	98	60	4,5
E-10	2005	288	108	80-100	4,5
E-11	2005	502	99	35	3,5(tahmini)
E-12	2005	300	Sondaj devam etmektedir		

Simav Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemi, Eynal bölgesinden sağlanan yaklaşık 72 l/s (160 °C) ve 80 l/s (157 °C) debili iki adet kuyudan alınan jeotermal akışkanla çalıştırılmaktadır. Merkez kuyu başı binasında, iki kuyudan sağlanan su-buhar karışımı yoğunlaştırma tanklarında, soğuk su ve sistem dönüş suyu ile karıştırılarak

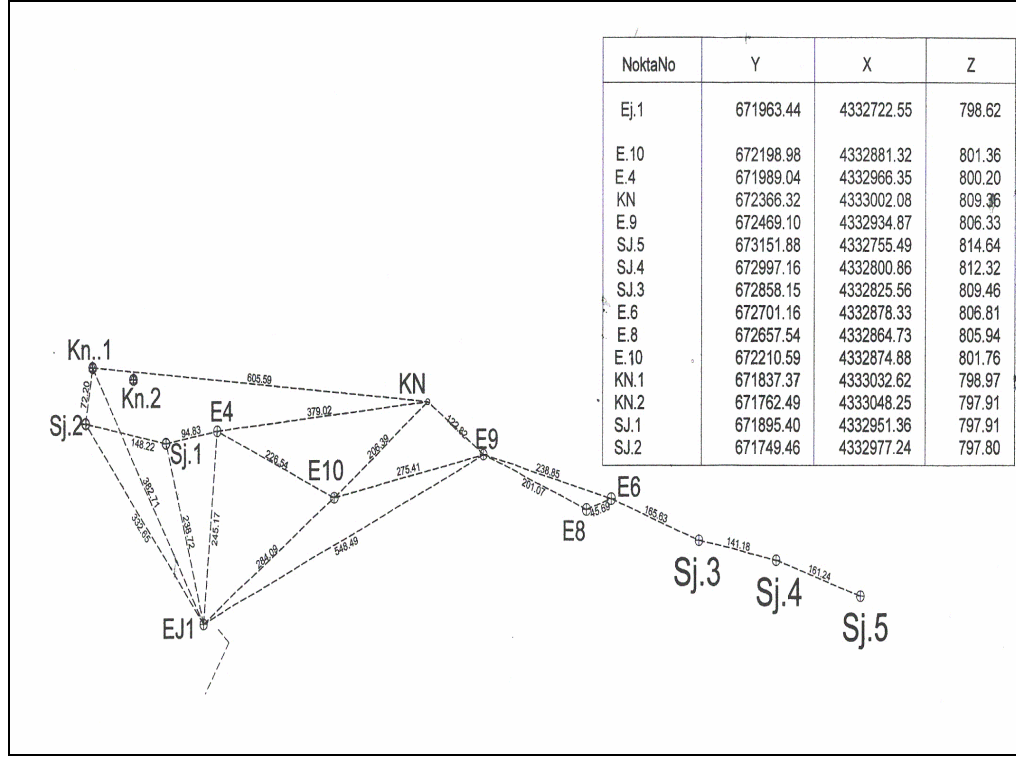
98 °C olarak şehir merkezi eşanjör binasına pompalanmaktadır. Şehir merkezi eşanjör binasında yedi adet eşanjör olup toplam ısı transfer yüzeyi 1400 m<sup>2</sup> K'dir. Eşanjörlerden geçirilerek ısısı alınan termal su 48 °C olarak Eynal bölgesine geri dönmekte, bu suyun bir kısmı sistemi beslemekte, geri kalan kısmı, aquapark, hamamlar ve çamaşırhanelerin sıcak su ihtiyacını karşılamak üzere kaplıca içi kullanıma sevk edilmektedir. Şekil 5.2'de Simav jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin eşanjör dairesine ait resimler verilmiştir.



**Şekil 5.2** Simav Jeotermal Bölgesel Isıtma Sisteminin Eşanjör Dairesine Ait Resimleri.

## 5.1 Simav Jeotermal Sistemi Kuyuları

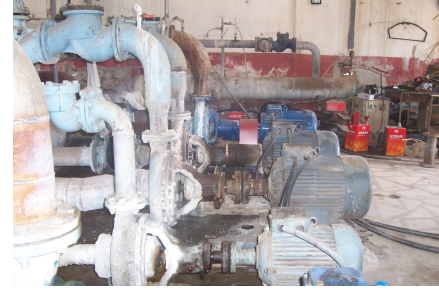
Şekil 5.3’de Simav jeotermal kuyu yerleşim planı verilmiştir [51].



Şekil 5.3 Simav Jeotermal Kuyu Yerleşim Planı [51].

### 5.1.1 EJ 1 Kuyusu

EJ1 kuyusu 1987 yılında 725 m derinlikte açılmıştır. Kuyu dibi sıcaklığı 162°C, debisi 72 l/s'dir. Artezyen kuyu başı basıncı 5 Atü'dür. Şekil 5.4'de EJ1 kuyusuna ait resimler verilmiştir.



Şekil 5.4 EJ1 Kuyusuna Ait Resimler.

### 5.1.2 E2 Kuyusu

Re-enjeksiyon amaçlı kullanılan kuyudur.

### 5.1.3 EJ3 Kuyusu

EJ3 kuyusu 1997 yılında 424 m derinlikte açılmıştır. Kuyu dibi sıcaklığı 151°C, debisi 40-60 l/s'dir. Artezyen kuyu başı basıncı 3.5-4 Atü'dür.

### 5.1.4 E5 Kuyusu

Re-enjeksiyon amaçlı kullanılan kuyudur.

### 5.1.5 E6 Kuyusu

E6 kuyusu 1994 yılında 169 m derinlikte açılmıştır. Kuyu dibi sıcaklığı 157°C, debisi 60-80 l/s'dir. Artezyen kuyu başı basıncı 4.5 Atü'dür. Şekil 5.5'de E6 kuyusuna ait resimler verilmiştir.



Şekil 5.5 E6 Kuyusuna Ait Resimler.

### 5.1.6 E8 Kuyusu

E8 kuyusu 1997 yılında 205 m derinlikte açılmıştır. Kuyu dibi sıcaklığı 161°C, debisi 50 l/s'dir. Artezyen kuyu başı basıncı 4 Atü'dür. Şekil 5.6'da E8 kuyusuna ait resimler verilmiştir.



Şekil 5.6 E8 Kuyusuna Ait Resimler.

### 5.1.7 E9 Kuyusu

E9 kuyusu 2005 yılında 208 m derinlikte açılmıştır. Kuyu dibi sıcaklığı 98°C, debisi 60 l/s'dir. Artezyen kuyu başı basıncı 4.5 Atü'dür. Şekil 5.7'de E9 kuyusuna ait resimler verilmiştir.





Şekil 5.7 E9 Kuyusuna Ait Resimler.

### 5.1.8 E10 Kuyusu

E10 kuyusu 2005 yılında 288 m derinlikte açılmıştır. Kuyu dibi sıcaklığı 108 °C, debisi 80-100 l/s'dir. Artezyen kuyu başı basıncı 4.5 Atü'dür. Şekil 5.8'de E10 kuyusuna ait resimler verilmiştir.



Şekil 5.8 E10 Kuyusuna Ait Resimler.

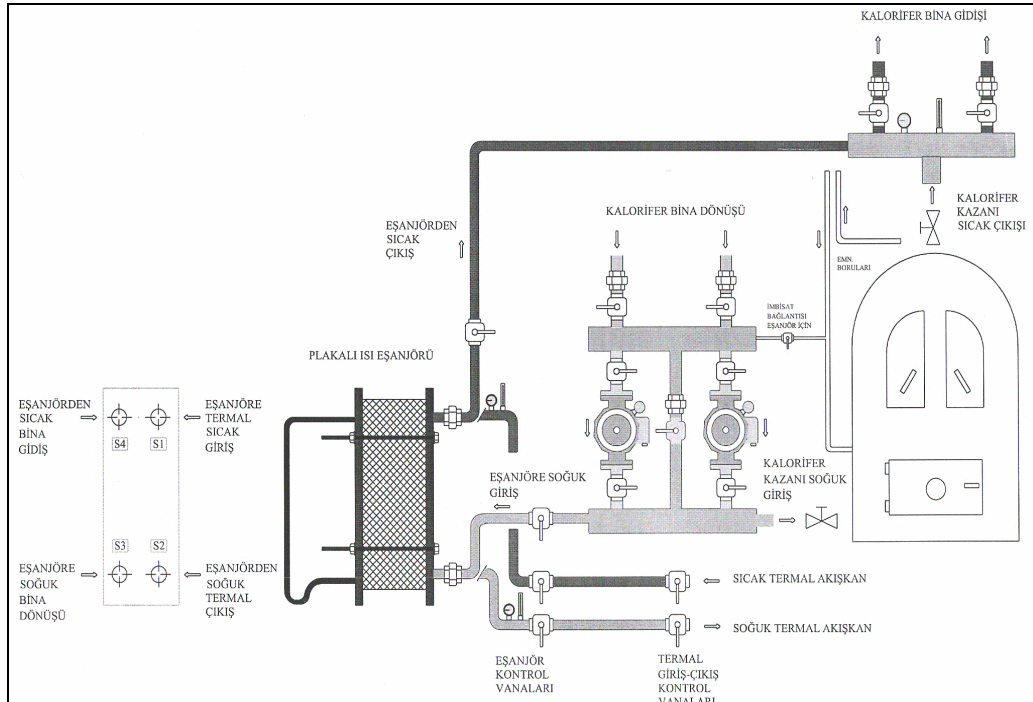
### 5.1.9 E11 Kuyusu

E11 kuyusu 2005 yılında 502 m derinlikte açılmıştır. Kuyu dibi sıcaklığı 99 °C, debisi 35 l/s'dir. Artezyen kuyu başı basıncı 3.5 Atü'dür.

## 5.2 Simav Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistemi Bina Altı Uygulaması

Bölge ısıtma dağıtım şebekesi, dört bölge, eşit yol (tichelman) sistemi ile tasarlanmış, ana hatlar 300 mm çapında, izoleli çelik borular, tali hatlar ısı yüklerine göre daha küçük çaplı borular kullanılarak yapılmıştır. Şehir içi dağıtım sistemi hava koşullarına göre 70-75 °C gidiş, 50 °C dönüş şartlarında çalıştırılmaktadır.

Bina ısıtmalarında da, aynen şehir sisteminde olduğu eşanjör kullanılmaktadır. Bina eşanjörlerinin hesap sisteminde 70 °C - 45 °C şartları esas alınmakta, bina eşanjörlerinin 60 °C - 42 °C seçimi bu esasa göre yapılmaktadır. Özet olarak Simav Merkezi Isıtma Sistemi; Kuyu başı – Merkez eşanjör binası – Bina eşanjörü – Petekler şeklinde üç kademeli kapalı devre şeklinde dizayn edilmiştir. Şekil 5.9’da Simav jeotermal merkezi ısıtma sisteminin konutlardaki bina altı eşanjör sistem şeması verilmiştir [51]. Şekil 5.10’da ise bazı binaların bina altı eşanjör sistemlerinin resmi verilmiştir.



Şekil 5.9 Simav Jeotermal Merkezi Isıtma Sisteminin Konutlardaki Bina Altı Eşanjör Sistem Şeması [51].



(a)



(b)

**Şekil 5.10** Bazı Binaların Bina Altı Eşanjör Sistemlerinin Resmi.

(a) Kolektörlü Bina Altı Eşanjörü

(b) Kolektörsüz Bina Altı Eşanjörü

## 6. GÖNEN ve SİMAV JEOTERMAL BÖLGESEL ISITMA SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Tablo 6.1’de Gönen ve Simav jeotermal bölgesel sistemlerinin fiziki boyutta karşılaştırılması verilmiştir.

**Tablo 6.1** Gönen ve Simav Jeotermal Isıtma Sistemlerinin Fiziki Boyutta Karşılaştırılması.

	<b>Gönen Merkezi Isıtma Sistemleri</b>	<b>Simav Merkezi Isıtma Sistemleri</b>
<b>1.</b>	Sistemde otomatik kontrol kullanılmamaktadır.	Sistemde otomatik kontrol kullanılmamaktadır.
<b>2.</b>	Kuyulardaki üretim pompalar vasıtasıyla yapılmaktadır.	Kuyulardaki üretim artezyen şeklinde olmaktadır.
<b>3.</b>	Jeotermal akışkan, ortalama 70 °C sıcaklık ve toplam 141 l/s debiye sahiptir. (eğer bütün kuyular aynı anda çalışırsa)	Jeotermal akışkan, ortalama 134 °C sıcaklık ve 427 l/s debiye sahiptir. (eğer bütün kuyular aynı anda çalışırsa)
<b>4.</b>	Eşanjör dairesinde 8 adet eşanjör bulunmaktadır.	Eşanjör dairesinde 7 adet eşanjör bulunmaktadır.
<b>5.</b>	4 tanesi re-enjeksiyon amaçlı olmak üzere toplam 12 adet aktif halde çalışan kuyu bulunmaktadır.	2 tanesi re-enjeksiyon amaçlı olmak üzere toplam 9 adet aktif halde çalışan kuyu bulunmaktadır.
<b>6.</b>	Bölge ısıtması dağıtım şebekesi çift borulu dal sistemi şeklindedir.	Bölge ısıtması dağıtım şebekesi dört bölgeli eşit yol (ticelman) sistemi şeklindedir.
<b>7.</b>	Konutlarda sıcak su dağıtımını sirkülasyon pompalarıyla sağlanmaktadır.	Konutlarda sıcak su dağıtımını bina altı eşanjör sistemiyle sağlanmaktadır.
<b>8.</b>	İlk olarak 1964 yılında Gönen Park Otelin ısıtılması gerçekleştirilmiştir.	İlk olarak 1987 yılında Eynal Kaplıcalarının ısıtılması gerçekleştirilmiştir.
<b>9.</b>	100 m <sup>2</sup> 'lik konut için 2006 yılı jeotermal enerji yıllık aidatı 768 YTL'dir.	100 m <sup>2</sup> 'lik konut için 2006 yılı jeotermal enerji yıllık aidatı 600 YTL'dir.

## 7. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında yapılan değerlendirme sonucunda aşağıdaki sonuç ve öneriler elde edilmiştir.

1) Üretilen termal suyun enerjisi eşanjörlerde alındıktan sonra belli bir sıcaklığa düşen jeotermal akışkanın tekrar havzaya enjeksiyon edilmesi gerekmektedir. Bunun için reenjeksiyon kuyuları açılmalıdır. Gönen jeotermal ısıtma sistemindeki bütün kuyular üretim kuyusu olarak açıldığından reenjeksiyon amaçlı kuyu açılmamıştır. Bu yüzden jeotermal akışkan havza içerisinde bulunan kullanılmayan 4 adet üretim kuyularına enjekte edilmektedir. Buda havzanın soğumasına sebep olmaktadır. Serpen ve Aksoy yapmış oldukları bir çalışmada 16 yıl içerisinde Gönen Jeotermal havzasında 10 ile 15°C arasında soğuma meydana geldiğini belirtmişlerdir [12]. Ayrıca Şimşek tarafından hazırlanan Gönen Jeotermal Sahasında Reenjeksiyon Kuyu Lokasyonlarını Belirleme Raporunda Şubat 1997 ile Ağustos 1998 tarihleri arasında (yaklaşık 1.5 yıl) G3 kuyusunda 11°C, G7 kuyusunda 7°C ve G8 kuyusunda 4°C soğuma olduğunu ifade etmiştir [52]. Havzadaki su sıcaklığının düşmesini önlemek için reenjeksiyon amaçlı kuyular açılmalı ve re-enjekte edilen düşük sıcaklıktaki jeotermal akışkan direkt üretim kuyularına karışmadan, tekrar ısınarak havzaya gelmesi sağlanmalıdır. Simav jeotermal ısıtma sisteminde üretim amaçlı açılan kuyulardan 2 tanesi reenjeksiyon amaçlı olarak çalıştırılmaktadır. Bu olay zamanla Simav jeotermal havzasındaki su sıcaklığının düşmesine neden olacak ve gelecekte Simav merkezi ısıtma sistemi üzerinde olumsuz etkiler oluşturacaktır. Bu yüzden en kısa zaman içerisinde Simav Jeotermal havzasında reenjeksiyon amaçlı kuyular açılmalıdır.

2) Gönen Jeotermal havzasının termal modellenmesi yapılmadığından ve kendini yenileyebilen akışkan miktarı belli olmadığından açılan üretim kuyularından istenilen sonuçlar alınamamaktadır. Yeni açılan kuyu daha önce açılan kuyularla

beraber çalıştığı için yalnız başına üretimde elde edilen kapasite, kuyuların ortak çalışması sonucunda azalmaktadır. 2002 yılında Gözübol tarafından yapılan çalışmada Gönen jeotermal sahasında açılan kuyuların tek başına çalıştıklarında G7 30 l/s, G8 40 l/s ve G10 ise 20 l/s olarak debi değerlerini ölçmüştür [53]. Bu kuyuların hepsi aynı anda çalıştığında yapılan ölçümler sonucunda G7 20 l/s, G8 20 l/s ve G10 20 l/s olarak debi değerleri elde edilmiştir [49]. Bu da kuyuların aynı anda çalışmasının birbirlerini etkilediğini göstermektedir. Ayrıca kuyuların birbirine yakın açılması da etkilenmelerine sebep olmaktadır. Debi eksikliğinin karşılanabilmesi için Şimşek danışmanlığında Hacettepe Üniversitesi Karst Su Kaynakları ve Araştırma Merkezi tarafından hazırlanan raporda Gönen Jeotermal Sahasındaki ana hazne kayalarının Paleozoyik yaşlı mermerlerden oluştuğunu yapılacak derin bir sondajla bu seviyelerden daha yüksek debide ve sıcaklıkta jeotermal su elde edilebileceğini belirtmişlerdir [52]. Simav'daki jeotermal kuyuların debilerinin yüksek olması nedeniyle bütün kuyular aynı anda çalışmamaktadır. Bu yüzden kuyularda debi eksilmesi oluşmamaktadır. Ancak ileriki yıllarda Gönen jeotermal havzasında yaşanan problemlerle karşılaşılması için re-enjeksiyon kuyularının havzayı besleyecek şekilde açılması gerekmektedir.

3) Gönen jeotermal ısıtma sisteminde toplam debinin eksik olmasından dolayı kış aylarında (0 °C sıcaklık değerinin altında) sistem yetersiz kalmakta ve tüm kuyular çalıştırıldığı için de üretim kuyuları ve jeotermal pompaları dinlendirilememektedir. Şu anda kullanılan kuyu içi pompalarının bir çoğu jeotermal özellikli pompalar olmayıp seçimleri 30-56 m' de çalışacak şekilde yapıldığından şu anda 89 m'de çalıştırıldıkları içinde verim ve üretim düşüklüğü oluşturmaktadır. Ayrıca pompaların sistem için uygun olmamalarından dolayı çok sık arızaya sebebiyet vermektedirler. Gönen bölgesel ısıtma sistemine ek abone alınmamalı hatta zamanla meydana gelebilecek debi ve sıcaklık düşmelerine önlem olarak sistem iyileştirilmeli (eşanjör, boru izolasyonu, otomatik kontrol ve bina yalıtımı) veya abone azaltılmalıdır. Simav jeotermal ısıtma sistemi şu anda kullanılan kapasiteden daha yüksek kapasitede çalıştırılabilir durumdadır. Bundan dolayı bu sistemde debi yetersizliği değil fazla debi bulunmaktadır. Simav'daki kuyuların iki tanesinden elde edilen debi Gönen'deki kuyuların toplam debisinden daha fazladır. Simav'daki

mevcut fazla debinin elektrik santrali ve entegre kullanım gibi farklı alanlarda değerlendirilmesi gerekmektedir.

4) Bölge ısıtması dağıtım şebekesi çift borulu dal şebekesi şeklinde dağıtılmıştır. Dal dağıtım şebekesinde eş basıncın sistemin her yerinde oluşturulması çok zordur. Birde buna bilinçsiz tesisatçıların ve jeotermal çalışanlarının önerdikleri gereğinden büyük bina altı sirkülasyon pompalarının yarattığı basınç dengesizlikleri meydana gelmektedir. Sistemde gidiş ve dönüş boruları arasında eşit basınç olmaması aradaki basınç farkının uç noktalara gittikçe birbirine yaklaşması ve bina içinde dolaşan su basıncının dönüş basıncından daha küçük olması nedeniyle su bina içinden hatta tekrar dönüş yapamamaktadır. Bu yüzden bina içinde kısa devre yaparak sirkülasyon durmakta ve bina ısı ihtiyacı karşılanamamaktadır. Yeterli miktarda termal akışkan sirkülasyonunun olması için her bina için gerektiği kadar debinin bina içine girmesi ve basıncında eşit basınç olması gerekmektedir. Bunun düzenlenmesi için belirli aralıklarla manuel olarak reglaj ayarı yapılmasına rağmen, sisteme yapılan yanlış müdahalelerle ayar bozulmaktadır. Bunun çözümü için otomatik olarak reglaj ayarının yapıldığı (binaya giren debinin ve basıncın kontrol edildiği) reglaj vanalarının sistemin belli yerlerine ve bina sistem girişlerine konulmasını gerekmektedir. Simav'da bölge ısıtma dağıtım şebekesi dört bölgeli, eşit yol (ticelman) sistemi şeklinde dağıtılmıştır. Ayrıca konutlarda bina altı eşanjör sistemi bulunmaktadır. Bu da jeotermal akışkanın gereken debi ve sıcaklıkta kullanılmasını sağlamaktadır. Bu şekilde sistemde gidiş ve dönüş boruları arasında eşit basınç meydana gelmekte ve sisteme aboneler tarafından istenmeyen müdahaleler yapılamamaktadır. Bu da sistemin istenilen şartlarda çalışmasını sağlamaktadır.

5) Gönen jeotermal ısıtma sistemin I. Etabının kuruluşunda dağıtım gidiş boruları CTP (cam elyafı) izoleli borular, dönüş boruları CTP (cam elyafı) izolesiz borulardır. Daha sonraki kullanım yıllarında borularda arızalar meydana geldiğinden CTP ısı borularının yerinden sökülmesi mümkün olmadığından sadece delinen borulara ek yapılarak birbirlerine birleştirme işlemi yapılmaktadır. Birleştirme yapılan borularda çap daralması meydana gelmektedir. Bu işlemlerin sayılarının artması ve sistem kapasitesi üzerinde abone bağlantısı yapıldığı için eşanjörden çıkan ana hat boru çapları yeterli gelmemekte ve sistem çalışma basınçları hesaplanandan

daha yüksek olmaktadır. Dönüş basıncının yükselmesi ve eşanjör dairesinden çıkan giriş ve çıkış basınçları arasındaki fark azalmaktadır. Bu yüzden uç noktalara yakın bölgelerde bina içine sirkülasyon pompasıyla basılan su dönüş hattına bağlantı noktasında oluşan dönüş basıncını yenemediğinden sistem sirkülasyonu olmamakta ve o noktada kısa devre yapmaktadır. Bunu yenebilmek için çözüm olarak dönüş hattına da sirkülasyon pompası konulmaktadır. 2002 yılında I. Etapta ilk dağıtımda kullanılan CTP ısı borularının büyük bir kısmı (genellikle sorunlu olan bölgeler) değiştirilerek yerine pur izoleli çelik borular döşenmiştir. Simav jeotermal ısıtma sisteminde de abone sayısının artması ve şehir içi ana hat CTP borularının (Cam Elyaf Boru) sık sık arıza yapması nedeniyle merkezi ısıtma sisteminde sorunlar meydana gelmiştir. Bu yüzden 1999 yılından itibaren ilk etapta Eynal-Simav arası boru ana hattı iptal edilerek yerine pur izoleli paket çelik boru ana hattı döşenmiştir. 2000 ve daha sonraki yıllarda Simav şehir merkezindeki tüm CTP borular değiştirilerek 2005 mayıs ayı sonu itibariyle muhtelif çaplarda yaklaşık 100 000 metre pur izoleli çelik boru döşenmiştir.



## KAYNAKLAR

- [1] R. Gordon Bloomquist, “Geothermal Space Heating”, *Geometrics* 32 (2003), 513-526.
- [2] Kaya, D., “Renewable energy policies in Turkey”, *Renewable&Sustainable Energy Reviews* 10 (2006), 152-163.
- [3] Erdoğmuş, B., Toksoy, M., Özerdem, B., Aksoy, N., “Economic assessment of geothermal district heating systems:A case study of Balcova-Narlıdere, Turkey”, *Energy and buildings*, (2006).
- [4] Gökçen, G., Koçar, G., Hepbaşlı, A., “Year-end geothermal development status of Turkey, 2002”, International geothermal conference, Reykjavik, Sept. (2003).
- [5] Kaygusuz, K., Kaygusuz, A. “Geothermal energy in Turkey: the sustainable future”, *Renewable&Sustainable Energy Reviews* 8 (2004), 545-563.
- [6] Mertoğlu, O., “Geothermal district heating experience in Turkey”, *GHC Bulletin*, (2001).
- [7] Mertoğlu, O., Canlan, A., Bakır, N., Dokuz, İ., Kaya, T., “Geothermal direct use applications in Turkey: technology and economics”, *Proceedings world geothermal congress 2000, Kyushu-Tohoku, Japan*, (2000).
- [8] Mertoğlu, O., Bakır, N., Kaya, T., “Gethermal applications in Turkey”, *Geometrics* 32 (2003), 419-428.
- [9] Mertoğlu, O., Bakır, N., Kaya, T., “Gethermal application experiences in Turkey”, <http://www.geothermie.deegec-geothermalproceedingsseze> (nisan 2006).
- [10] Hepbaşlı, A., Özgener, L., “Development of geothermal energy utilization in Turkey: a review”, *Renewable&Sustainable Energy Reviews* 8 (2006), 433-460.
- [11] Batik, H., Koçak, A., Akkuş, İ., Şimşek, Ş., Metoğlu, O., Dokuz, İ., Bakır, N., “Geothermal energy utilisation development in Turkey –present geothermal situation and projections-“, *Proceedings world geothermal congress 2000, Kyushu-Tohoku, Japan*, (2000).

[12] Serpen, U., Aksoy, N., “Reinjection experience in Gonen field of Turkey”, Proceedings, Twenty-Ninth workshop on geothermal reservoir engineering Stanford University, Stanford, California, (2004) SGP-TR-175.

[13] Özgener, L., Hepbaşlı, A., Dinçer, İ., “Energy and exergy analysis of the Gonen geothermal district heating system, Turkey”, *Geometrics* 34 (2005), 632-645.

[14] Onat, A., Onar, İ., Mollahüseyinoğlu, Ö., Aslan, A., “Gönen jeotermal ısıtma sisteminde karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri”, Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları enerji yönetimi sempozyumu, Kayseri, (2005), 249-255.

[15] Mollahüseyinoğlu, Ö., Onat, A., Onar, İ., Okuyan, C., “Gönen ve Simav jeotermal sistemlerinin karşılaştırılması”, Teskon 2005 jeotermal enerji semineri, İzmir, (2005), 383-392.

[16] Aslan, A., Çanakçı, C., “Gönen jeotermal bölge ısıtma sistemi rehabilitasyon projesi”, Teskon 2005 jeotermal enerji semineri, İzmir, (2005), 395-411.

[17] Özgener, L., Hepbaşlı, A., Dinçer, İ., “Jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinde performans değerlendirme parametreleri”, Teskon 2005 jeotermal enerji semineri, İzmir, (2005), 371-379.

[18] Köse, R., “Geothermal energy potential for power generation in Turkey: a case study in Simav, Kutahya, *Renewable&Sustainable Energy Reviews* (2005), 1-16.

[19] Köse, R., “Reserach on the generation of electricity from the geothermal resources in Simav region, Turkey”, *Renewable energy*, 30 (2005) 67-79.

[20] Köse, R., Tuğcu, A., Gün, A., “Jeotermal güç santralleri ve Simav jeotermal kaynaklarının elektrik üretiminde kullanılabilirliği”, 3. Uluslar arası ileri teknolojiler sempozyumu, Ankara, (2003), 135-145.

[21] Tuğcu, A., “Simav yöresindeki mevcut jeotermal enerji kaynaklarından elektrik üretiminin irdelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kütahya, (2002).

[22] Şen, Ç., “Gökçeada'nın elektrik enerjisi ihtiyacının rüzgar enerjisi ile karşılanması”, Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, (2003).

[23] Sabır, H., “Kürselleşme sürecinde Türkiye’de enerji sorunu”, Dış Ticaret Dergisi, (2004).

- [24] [www.enerji.gov.tr](http://www.enerji.gov.tr) (nisan 2006)
- [25] <http://atlas.cc.itu.edu.tr/~pdgmb> (mart 2006)
- [26] Küçükçalı, R., “Doğal Gaz-LPG Tesisatı ve Bacalar”, No:345, ISISAN, (2003), 8.
- [27] [www.taek.gov.tr](http://www.taek.gov.tr) (mayıs 2006).
- [28] [www.kto.org.tr](http://www.kto.org.tr) (mart 2006).
- [29] Tübitak-TTGV Bilim-Teknoloji-Sanayi Tartışmaları Platformu “Enerji Teknolojileri Politikası Çalışma Grubu Raporu Çevre Dostu ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları İle İlgili Teknolojiler Alt Grup Raporu”.
- [30] [www.dsi.gov.tr](http://www.dsi.gov.tr) (nisan 2006).
- [31] [www.angelferi.com](http://www.angelferi.com) (nisan 2006).
- [32] [www.eie.gov.tr](http://www.eie.gov.tr) (şubat 2006).
- [33] Atılgan, İ., “Türkiye’nin enerji potansiyeline bakış” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* Cilt 15, No 1, (2000) 31-47.
- [34] [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org) (mayıs 2005).
- [35] Kılıç, N., “Dünyada ve Türkiye’de enerji sektörüne bakış ve jeotermal enerji potansiyelinin irdelenmesi”, İzmir ticaret odası yayını No:56, (1998).
- [36] [www.maden.org.tr](http://www.maden.org.tr) (nisan 2005).
- [37] [www.jeotermalderneği.org.tr](http://www.jeotermalderneği.org.tr) (mart 2006).
- [38] Ayaz, M., E., Kavak, N., S., Topaloğlu, M., “Dünyada ve Türkiye’de önemli bazı jeotermal alanları ve Sivas yöresindeki jeotermal alanların özellikleri”, I. Ulusal çevre kongresi, Sivas, (2004), 101-111.
- [39] Satman, A., “Jeotermal enerjinin doğası”, Teskon 2005 jeotermal enerji semineri, İzmir, (2005), 3-18.

[40] Anonim, “Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı”, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu Jeotermal Enerji Çalışma Grubu, DTP.2609-ÖİK620, Ankara, (2001).

[41] Özüdoğru, S., Babür, E., “Jeotermal Akışkan Üretim ve Re-enjeksiyon Kuyuları”, Teskon 2001 Jeotermal Enerji doğrudan ısıtma sistemleri: Temelleri ve tasarımı semineri, İzmir, (2001), 41-106.

[42] Satman, A., “Tekrar-Basma (re-enjeksiyon)”, Teskon 2005, Jeotermal Enerji semineri, İzmir, (2005), 121-141.

[43] Satman, A., “Reinjection; reservoir engineering assessment of geothermal systems”, Edited by H.J. Ramey, Stanford University, (1981).

[44] Satman, A., Uğur, Z., Onur, M., “The effect of calcite deposition on geothermal well inflow performance”, *Geothermics*, June 1999, 4(1), 425-444.

[45] Satman, A., Serper, U., Uğur, Z., Türkmen, N., “Kızıldere jeotermal rezervuarı üretim performansının ve tekrar-basma testinin analizi”, *Türk Petrol Ve Doğalgaz Dergisi*, Vol. 3, No. 2, (1997), 56-64.

[46] Anonim, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeleri Alt Komisyonu Jeotermal Enerji Çalışma Grubu, DTP.2441-ÖİK497, Ankara, (1996).

[47] Elele, İ., Çanakçı, C., “Bölgesel ısıtma sistemleri ısı merkezleri tasarımı”, Teskon 2001 Jeotermal enerji doğrudan ısıtma sistemleri: Temelleri ve tasarımı semineri, İzmir, (2001), 131-140.

[48] Carella, R., Sommaruga, C., “Spa and industrial uses of geothermal energy in Italia”, Proceedings world geothermal congress 2000, Kyushu-Tohoku, Japan, (2000), 3391-3393.

[49] Anonim, Gönen Jeotermal Enerji müdürlüğü, 2005.

[50] ORME Jeotermal, “Jeotermal merkezi ısıtma sistemi yatırımı teknik ve ekonomik fizibilite raporu”, (1993).

[51] Anonim, Simav Jeotermal Enerji müdürlüğü, 2005.

[52] Şimşek, Ş., “Gönen jeotermal sahasında re-enjeksiyon kuyu lokasyonlarını belirleme raporu”, (1998).

[53] Gözübol A. M., “Gönen Jeotermal Sahasının Hidrojeolojik Etüt Raporu”, (2002).